



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

MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE PÉRDIDAS  
OPERACIONALES EN LA MINA LOS BRONCES

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

OSCAR ADOLFO BRIONES OSSANDÓN

PROFESOR GUÍA:  
YERKO YAVAR DEL PINO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
HANS GÖPFERT HIELBIG  
CAMILO GONZÁLEZ APIOLAZA

SANTIAGO DE CHILE

2017

RESUMEN DE MEMORIA PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE: Ingeniero Civil de Minas  
POR: Oscar Adolfo Briones Ossandón  
Fecha: 31/08/2017  
PROFESOR GUÍA: Yerko Yavar del Pino

## **MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE PÉRDIDAS OPERACIONALES EN LA MINA LOS BRONCES**

Reducir la ocurrencia de eventos no deseados que afecten la continuidad operacional de una faena minera, contribuye a que ésta sea más competitiva y mejore sus resultados globales. Tener un sistema de gestión de pérdidas sólido que facilite el registro y análisis de este tipo de eventos, permitirá determinar adecuadamente cuáles son las causas de pérdidas más importantes en la operación y a su vez, dónde deben enfocar los esfuerzos sus líderes, para implementar las mejoras que optimicen el negocio y disminuyan pérdidas.

Por consiguiente, el objetivo de este trabajo se centrará en realizar un mejoramiento del sistema de gestión de pérdidas operacionales en la mina Los Bronces y analizar los eventos no deseados, de modo de poder establecer cuales son las principales causas de pérdida en la producción de cobre y en la extracción de material dentro de la faena.

Para llevar a cabo este trabajo, primero se realizó un levantamiento de datos, para entender como operaba el sistema de gestión de pérdidas anteriormente, luego se validaron los criterios que definen una pérdida operacional con cada uno de los procesos, posteriormente, se desarrolló un procedimiento de control de pérdidas que estableciera las responsabilidades de cada área ante la ocurrencia de un evento no deseado y finalmente, se realizó un completo análisis sobre los incidentes ocurridos entre el 2016 y 2017, de modo de levantar las principales causas de pérdida en la operación.

Como resultado del mejoramiento del sistema de gestión de pérdidas operacionales se fortalecieron los canales de información, estableciéndose las responsabilidades de cada área ante un evento no deseado, lo que favorece una mejor interacción entre las unidades, además se integraron al sistema las superintendencias de Analyze and Report e Improve, lo que garantiza más oportunidades para enfrentar las pérdidas.

El desarrollo del procedimiento de control de pérdidas permitió la estandarización del manejo de las pérdidas tanto en la mina como en las plantas. Además, permite al área de Risk tener mayor autonomía sobre la obtención de datos, gracias al uso de los softwares Dispatch y SEP.

Dentro de las causas de pérdida más importantes de la operación destacan inchancables, mantenciones no programadas eléctricas en los chancadores, detenciones de las correas, accidentes de camiones, derrames de material y equipos de carguío sin material tronado. La Superintendencia de Improve ha considerado como importantes algunas de estas causas y está trabajando en ellas mediante los mecanismos de “Rapid Result” y la aplicación “Mente”, de modo de generar mejoras y reducir las pérdidas en la faena.

# **IMPROVEMENT OF THE OPERATIONAL LOSS MANAGEMENT SYSTEM AT LOS BRONCES MINE**

Reducing the occurrence of unwanted events that affect the operational continuity contributes to make a mining operation more competitive and improving its overall results. Having a solid loss management system that facilitates the recording and analysis of these types of events, will allow to determine adequately what are the causes of major losses in the operation and, in turn, where the leaders should focus their efforts, to implement the improvements that optimize the business and reduce losses.

Therefore, the objective of this work will be to improve the operational loss management system at Los Bronces mine and analyze the unwanted events, so as to be able to determine the main causes of loss in the mining operation.

In order to carry out this work, a data survey was first performed to understand how the loss management system operated before, then the criteria that define an operational loss with each of the processes were validated, later a loss control procedure was developed that established the responsibilities of each area to the occurrence of an unwanted event and finally a complete analysis was made on the incidents that occurred between 2016 and 2017, in order to raise the main causes of loss in the operation.

As a result of the improvement of the operational losses management system, the information channels were strengthened, establishing the responsibilities of each area before an unwanted event, which favors a better interaction between the units, in addition, the Superintendencies of Analyze and Report and Improve were integrated into the system, which guarantees more opportunities to face losses.

The development of the loss control procedure allowed the standardization of losses management in both mine and plants. In addition, it allows the Risk area to have greater autonomy over data collection, thanks to the use of Dispatch and SEP software.

Among the most important causes of loss of the operation are: non-crushables, unscheduled electrical maintenance in crushers, belt stops, truck accidents, material spills and loading equipment without available material.

The Improve area has considered some of these causes important and is working on them through the "Rapid Result" mechanisms and the "Mente" app, in order to generate improvements and reduce losses in the operation.

*A mi familia,  
por alentarme a cumplir mis sueños  
y por su apoyo incondicional.*

## Agradecimientos

Quiero agradecer, en primer lugar, a mi familia por estar siempre a mi lado, por ser unida y por estar siempre ahí cuando más se necesita. A mi mamá por mostrarme que con perseverancia y trabajo se puede cumplir cualquier sueño, por más difícil que parezca, gracias por tu amor, por tu comprensión, por tu apoyo, por las buenas vibras que siempre entregas, simplemente gracias por ser como eres. A mi papá por todas sus enseñanzas y consejos, por mostrarme lo importante que es el esfuerzo, la responsabilidad y el compromiso, gracias por todo lo que haces por mantener a nuestra familia, que siempre ha sido tu prioridad.

A mis hermanas, Javi gracias por permitirme compartir tantas experiencias y momentos increíbles juntos, gracias por ser además de mi hermana, una amiga. Josefa gracias por ser como eres, aún te veo como una niña, pero al escucharte hablar, me doy cuenta cuanto has madurado, gracias por el cariño que siempre nos entregas. Isi gracias por toda la alegría, risas y energía que entregas a la casa, cuando no estás, siempre haces mucha falta. Gracias a ustedes por permitirme ser su hermano mayor, siempre trataré de protegerlas y de ser un buen ejemplo para ustedes, las quiero mucho.

A ti Tania, por estar a mi lado estos cuatro últimos años llenos de felicidad, apoyándome y entregándome amor incondicional, por estar junto a mí en los buenos y por sobre todo en los malos momentos, por ser mi confidente, gracias por las miles de experiencias únicas junto a ti, muchas gracias por todo, te amo mucho.

A mis amigos de la vida, que siempre están cuando los necesito, especialmente, Eduardo por apoyarme en los malos momentos y por compartir junto a mí algunos de los mejores tiempos, sabes que nuestra amistad durará hasta siempre, gracias también a Javier, Soto, Nico, Daniel, Miguel, Felipe y Lorca.

A mis amigos de la universidad, a los BH (Jercko, Mono, Papaya, Cristobal, Maus, Miguel, Pichi, Klaus, Martín, Checho, Rupert, Javier, Eitel, Orrego, Nacho, Justin, Matu y José que sin ustedes todo hubiese sido más difícil, gracias por los momentos de estudios que fueron los menos y por los momentos de esparcimiento que fueron la mayoría, miles de carretes, chelas piolas, pichangas, asados, aventuras, borracheras, historias, son lo máximo. Gracias también a los mineros, especialmente a los Lelong (Fabians, Jarita, Gringo, Chico, Felipe, Álvaro, Raúl), por ser tan prendidos y apañadores, hicieron de estos dos últimos años de universidad, los mejores, con una gira minera épica y con carretes notables.

Finalmente agradecer a mis profesores guías, por su ayuda, apoyo y dedicación en mi trabajo de título, gracias profesor Hans por sus consejos y por brindarme toda su experiencia, gracias Camilo por tu tiempo y compromiso conmigo, gracias Yerko por estar desde el principio guiándome, apoyarme en mis ideas, por tu dedicación y por compartir conmigo más allá del trabajo. Gracias a Anglo por permitirme desarrollar mi trabajo ahí y a BI por su buena acogida y compañerismo.

## Tabla de contenido

1.	Introducción.....	1
1.1.	Contexto.....	2
1.2.	Objetivos.....	3
1.2.1.	Objetivo general.....	3
1.2.2.	Objetivos específicos.....	3
1.3.	Alcance.....	3
1.4.	Estructura del documento.....	4
2.	Antecedentes de la faena.....	5
2.1.	Antecedentes generales.....	5
2.2.	Recursos y reservas mineras.....	8
2.3.	Antecedentes geológicos de yacimiento.....	9
2.4.	Gerencia Business Improvement and Risk.....	10
2.4.1.	Área de Risk.....	11
2.4.2.	Superintendencia de Analyze and Report.....	12
2.4.3.	Superintendencia de Improve.....	12
3.	Revisión bibliográfica.....	13
3.1.	Norma Asarco.....	13
3.1.1.	Definición de tiempos.....	13
3.2.	Modelo de tiempo Anglo American Copper.....	14
3.2.1.	Definiciones de elemento primario o estado de tiempo.....	15
3.2.2.	Definiciones de elemento secundario o categoría de tiempo.....	16
3.2.3.	Indicadores claves de desempeño (KPI).....	17
3.3.	Sistemas de control de pérdidas operacionales.....	21
3.3.1.	Proyecto Mina Chuquicamata 2000.....	21
3.3.2.	Sistema de gestión de pérdidas División El Teniente.....	23
3.3.3.	Sistema de gestión de pérdidas Candelaria.....	25
3.3.4.	Definiciones de pérdida operacional en otras faenas.....	27
3.3.5.	Procedimiento de control de pérdidas en plantas de la operación Los Bronces 28	
3.4.	Software de detección de pérdidas.....	29
3.4.1.	Dispatch.....	30
3.4.2.	SEP.....	32
3.5.	Métodos de análisis:.....	33
3.5.1.	Pareto.....	33
3.5.2.	Análisis de criticidad.....	34

3.5.3.	Método de los 5 Por qué:.....	35
3.5.4.	Diagrama de Ishikawa .....	35
3.5.5.	Diagrama lógico de falla (árbol de falla) .....	37
4.	Metodología .....	39
5.	Sistema de gestión de pérdidas operacionales: Caso base.....	42
5.1.	Operación del sistema.....	42
5.2.	Análisis del sistema.....	43
6.	Mejoramiento del sistema de gestión de las pérdidas operacionales .....	44
6.1.	Definición y alcance .....	45
6.1.1.	Definición de pérdida operacional.....	45
6.1.2.	Alcance del control de pérdidas operacionales .....	46
6.2.	Levantamiento de criterios .....	47
6.2.1.	Gestión Mina.....	47
6.2.2.	Reuniones con los procesos de mina .....	48
6.2.3.	Gestión Planta .....	49
6.3.	Procedimiento del control de pérdidas en la operación Los Bronces .....	49
6.3.1.	Procedimiento mina-chancado: .....	50
6.3.2.	Procedimiento planta: .....	54
6.4.	Análisis de las pérdidas operacionales .....	58
6.4.1.	Análisis global sobre las pérdidas operacionales .....	59
6.4.2.	Pérdidas operacionales por proceso .....	62
6.4.3.	Levantamiento de las principales causas de pérdidas en la operación .....	72
6.5.	Mecanismos de optimización de los procesos .....	83
6.5.1.	PMO .....	83
6.5.2.	Resultados Rápidos.....	83
6.5.3.	Mente.....	84
7.	Conclusiones.....	85
8.	Recomendaciones .....	87
9.	Glosario y abreviaciones .....	89
10.	Bibliografía.....	90
11.	Anexos .....	92
11.1.	Anexo A: Control de pérdidas .....	92
11.1.1.	Ficha registro de control de perdidas .....	92
11.1.2.	Presentación control de pérdidas caso base.....	94
11.1.3.	Presentación control de pérdidas modificada .....	95
11.1.4.	Resumen Turno.....	98

11.2.	Anexo B: Diagramas de Pareto.....	100
11.3.	Anexo C: Desafíos Mente .....	101
11.4.	Anexo D: Sistemas de las palas cables .....	102



## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1-1: Reducción de precios de commodities que explota Anglo American 2015. ....	2
Ilustración 2-1: Vista satelital de la operación Los Bronces. ....	6
Ilustración 2-2: Fases en la operación Los Bronces. ....	7
Ilustración 2-3: Mapa esquemático de la plantas en la operación Los Bronces. ....	8
Ilustración 2-4: Vista de perfil este-oeste del modelo de bloques del yacimiento Los Bronces. ....	8
Ilustración 2-5: Unidades geológicas Los Bronces. ....	10
Ilustración 2-6: Organigrama Vicepresidencia de Operaciones. ....	11
Ilustración 2-7: Organigrama de la Gerencia Business Improve and Risk. ....	11
Ilustración 3-1: Mapa de procesos mina División El Teniente. ....	24
Ilustración 3-2: Esquema de la metodología del sistema de gestión de pérdidas en la División El Teniente. (Arce, et al., 2008) ....	25
Ilustración 3-3: Diagrama de flujo del control de pérdidas en las plantas. ....	29
Ilustración 3-4: Sistema Dispatch. (Modular Mining System, 2014) ....	31
Ilustración 3-5: Modelo minero en Dispatch. (Modular Mining System, 2014) ....	31
Ilustración 3-6: Funcionamiento SEP. ....	32
Ilustración 3-7: Gráfico del Analizador de Eventos. (Gómez & Gómez, 2008) ....	33
Ilustración 3-8: Matriz de criticidad. ....	34
Ilustración 3-9: Diagrama causa-efecto o Ishikawa. ....	37
Ilustración 3-10: Diagrama lógico de falla o árbol de falla. ....	38
Ilustración 4-1: Principales etapas para el desarrollo del trabajo. ....	39
Ilustración 4-2: Flujo de procesos mina-planta. ....	40
Ilustración 5-1: Esquema de la interacción entre las áreas en el sistema de control de pérdidas operacionales: caso base. ....	42
Ilustración 6-1: Esquema de la interacción entre las áreas en el sistema mejorado de control de pérdidas operacionales. ....	45
Ilustración 6-2: Pérdidas operacionales en el modelo de tiempo AAC. ....	46
Ilustración 6-3: Limite de batería. ....	46
Ilustración 6-4: Resumen de las etapas del procedimiento de control de pérdidas. ....	50
Ilustración 6-5: Esquema del procedimiento de control de pérdidas mina-chancado. ....	53
Ilustración 6-6: Esquema procedimiento de control de pérdidas planta. ....	57
Ilustración 6-7: Matriz de criticidad en producción. ....	79
Ilustración 6-8: Matriz de criticidad en extracción. ....	81
Ilustración 6-9: Mecanismo de Rapid Result (Reyes & Berenguela, 2016). ....	84
Ilustración 11-1: Ficha de Registro Control de Pérdidas: descripción y causas. ....	92
Ilustración 11-2: Ficha de Registro Control de Pérdidas: planes de acción e impacto. ....	93
Ilustración 11-3: Ficha de Registro Control de Pérdida: análisis causa-raíz. ....	93
Ilustración 11-4: Presentación de control de pérdidas. ....	94
Ilustración 11-5: Presentación de control de pérdidas modificada. ....	95
Ilustración 11-6: Control de pérdidas principales pérdidas. ....	96
Ilustración 11-7: Control de pérdidas detalle principales pérdidas. ....	97
Ilustración 11-8: Presentación control de pérdidas: fichas del mes. ....	98
Ilustración 11-9: Resumen turno. ....	99
Ilustración 11-10: Desafío Mente: Espera por Tronadura. ....	101
Ilustración 11-11: Desafío Mente: Accidentes en la conducción. ....	102

Ilustración 11-12: Sistema de levante. ....	103
Ilustración 11-13: Sistema de empuje. ....	104
Ilustración 11-14: Sistema de giro. ....	104
Ilustración 11-15: Sistema de propulsión. ....	105
Ilustración 11-16: Balde.....	105
Ilustración 11-17: Tornamesa.....	106
Ilustración 11-18: Bastidor.....	106

## Índice de Tablas

Tabla 1-1: Cumplimiento 2016. ....	2
Tabla 2-1: Resultados cobre fino y molibdeno fino 2013-2016.....	5
Tabla 3-1: Norma Asarco. ....	14
Tabla 3-2: Modelo de tiempo Anglo American Copper.....	14
Tabla 3-3: Metodología general Proyecto Mina Chuquicamata 2000.....	22
Tabla 3-4: Definición de pérdidas en Chuquicamata.....	23
Tabla 3-5: Pérdidas operacionales en AMSA. (Bonzi, 2016) .....	27
Tabla 3-6: Comparación definición de pérdida operacional. ....	28
Tabla 6-1: Criterios sobre pérdidas operacionales. ....	47
Tabla 6-2: Matriz criterio aplicación de análisis causa-raíz en mina-chancado.....	51
Tabla 6-3: Matriz criterio aplicación de análisis causa-raíz en planta.....	55
Tabla 6-4: Detalle pérdidas mina y planta. ....	61
Tabla 6-5: Pérdidas asociadas a material extraído. ....	61
Tabla 6-6: Tabla de criticidad causas de pérdida cobre fino. ....	80
Tabla 6-7: Tabla de criticidad causas de pérdida extracción.....	82

## Índice de Gráficos

Gráfico 6-1: Frecuencia de eventos por proceso entre enero 2016 - agosto 2017.....	59
Gráfico 6-2: Impacto de las pérdidas en toneladas de cobre fino por proceso (enero 2016 - agosto 2017). .....	60
Gráfico 6-3: Distribución mensual de incidentes por proceso.....	61
Gráfico 6-4: Valorización de pérdidas en cobre fino y MUSD.....	62
Gráfico 6-5: Pérdidas operacionales por perforación y tronadura en cobre fino. ....	63
Gráfico 6-6: Pérdidas operacionales por perforación y tronadura en extracción. ....	64
Gráfico 6-7: Pérdidas operacionales por carguío en cobre fino.....	64
Gráfico 6-8: Pérdidas operacionales por carguío en extracción. ....	65
Gráfico 6-9: Pérdidas operacionales por transporte en extracción.....	66
Gráfico 6-10: Pérdidas operacionales por servicios mina en extracción. ....	67
Gráfico 6-11: Pérdidas operacionales por mantención mina en extracción.....	68
Gráfico 6-12: Pérdidas operacionales por chancado en cobre fino. ....	69
Gráfico 6-13: Pérdidas operacionales por planta de molienda Los Bronces en cobre fino. ....	70
Gráfico 6-14: Pérdidas operacionales por planta de molienda Confluencia en cobre fino. ....	71
Gráfico 6-15: Pérdidas operacionales por plata Las Tórtolas en cobre fino y molibdeno fino. ....	72
Gráfico 6-16: Pérdidas en toneladas de cobre fino por hora. ....	73
Gráfico 6-17: Pérdidas en material de extraído por hora.....	75
Gráfico 6-18: Impacto promedio en cobre fino por evento. ....	76
Gráfico 6-19: Impacto promedio en millones de dólares por evento. ....	77
Gráfico 6-20: Impacto promedio en material de extracción por evento. ....	78
Gráfico 6-21: Análisis de las principales causas de pérdida en cobre fino. ....	79
Gráfico 6-22: Principales causas de pérdida de cobre fino. ....	80
Gráfico 6-23: Análisis de principales causas de pérdida en extracción.....	81
Gráfico 6-24: Principales causas de pérdida de material extraído. ....	82
Gráfico 11-1: Pareto de causas de pérdida en cobre fino. ....	100
Gráfico 11-2: Pareto de causas de pérdida en material extraído. ....	101

## Índice de Ecuaciones

Ecuación 3-1: Tiempo controlable.....	17
Ecuación 3-2: Utilización general.....	18
Ecuación 3-3: Efectividad general de los equipos.....	18
Ecuación 3-4: Disponibilidad física.....	18
Ecuación 3-5: Disponibilidad mecánica/eléctrica.....	18
Ecuación 3-6: Disponibilidad operacional.....	19
Ecuación 3-7: Relación de mantención.....	19
Ecuación 3-8: Uso de disponibilidad física.....	19
Ecuación 3-9: Eficiencia.....	19
Ecuación 3-10: Rendimiento efectivo.....	19
Ecuación 3-11: Rendimiento operativo.....	20
Ecuación 3-12: Tiempo medio entre detenciones.....	20
Ecuación 3-13: Tiempo medio entre detenciones no programadas.....	20
Ecuación 3-14: Tiempo medio entre fallas.....	20
Ecuación 3-15: Tiempo medio para reparar detenciones.....	20
Ecuación 3-16: Tiempo medio para reparar detenciones no programadas.....	21
Ecuación 3-17: Tiempo medio para reparar fallas.....	21
Ecuación 3-18: Criticidad.....	35

# 1. Introducción

La minería es definida como el proceso de extracción de material de origen natural desde la tierra, con el objetivo de generar un beneficio económico. (Newman, 2010).

En Chile, la industria minera es parte fundamental de la economía, tanto por su participación en el PIB (8% en el 2016), generación de empleo (9% de la participación en empleo directo del país, sumado a un 22% en empleo indirecto generado en otros sectores), destino de la Inversión Extranjera Directa (20% del total en el 2015), proyectos de inversión, exportaciones (50,8% de la participación de exportaciones a nivel nacional en el 2016) y aporte a los ingresos fiscales (Cochilco, 2017). En el mundo, Chile es el principal productor de cobre, con 5,55 millones de toneladas de cobre fino, teniendo una participación del 28% de la producción mundial.

Así, para Chile las perspectivas del sector minero son positivas en el mediano plazo pero no están exentas de riesgos, los cuales vienen dados por una caída del precio del cobre en los últimos años y a la pérdida de competitividad de la industria chilena en el escenario mundial asociada al incremento de costos de producción, en particular dada la baja ley del metal, mayores distancias de transporte y el alto costo de la energía.

Una de las formas de mejorar la competitividad de una operación minera, es reducir la ocurrencia de eventos no deseados que afecten la continuidad operacional. En la minería pueden ocurrir incidentes con distinto nivel de impacto, desde pinchazos en los neumáticos, derrames de material y atollos hasta huelgas, daños ambientales y accidentes fatales que incluso pueden ocasionar el cierre de la faena.

Para reducir estos eventos, primero se debe tener un sistema robusto que permita controlar y gestionar las pérdidas, estableciendo canales de información sólidos, que permitan un correcto análisis y posterior levantamiento de las principales causas de pérdida en la operación. Esto permitirá determinar adecuadamente, dónde se deben enfocar los esfuerzos de los líderes de la operación, para implementar las mejoras que optimicen el negocio.

La presente memoria asume el desafío de mejorar el actual sistema de gestión de pérdidas operacionales de la mina Los Bronces y analizar los eventos no deseados, con el objetivo de levantar las causas de pérdidas más críticas de la faena.

## 1.1. Contexto

Anglo American, compañía que administra la mina Los Bronces, ha tenido un fuerte impacto en sus utilidades en los últimos años debido a la baja del precio de sus commodities, donde el cobre tuvo una reducción del 28% el año 2015.

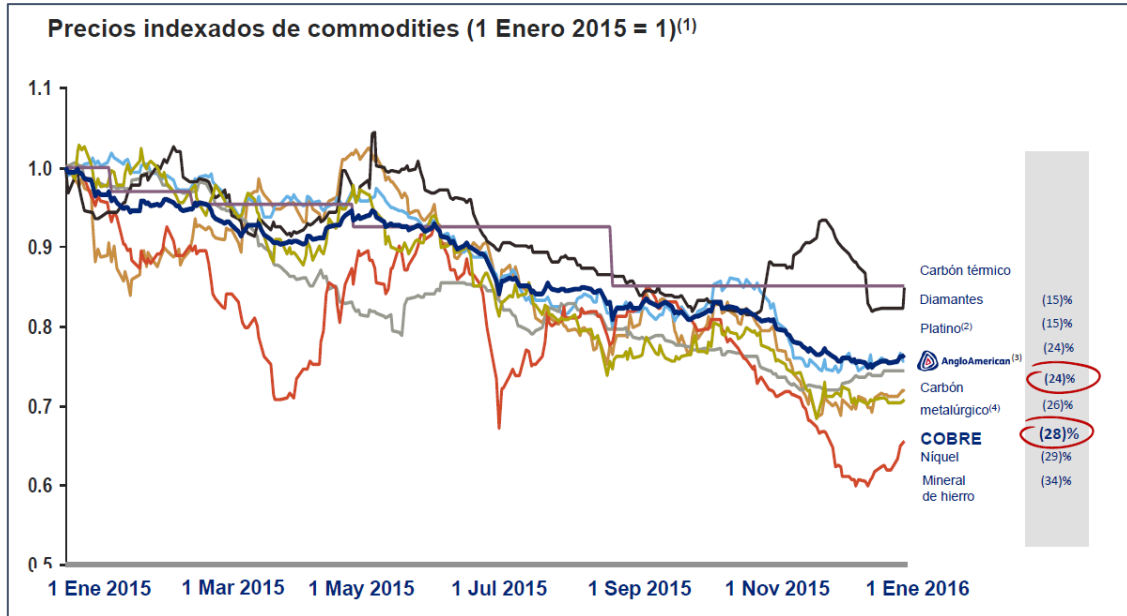


Ilustración 1-1: Reducción de precios de commodities que explota Anglo American 2015.

Los Bronces, específicamente, tuvo un 2016 complicado debido a una serie de eventos no deseados ocurridos en la faena: un invierno riguroso que obligó a detener las operaciones por un tiempo mayor al presupuestado, el drenaje (dewatering) de la mina que provocó interrupciones de la extracción de la fase Donoso 1, la ruptura del mineroducto, que ocasionó derrames de mineral en el río Colina, huelgas del personal propio y contratistas, accidentes, inchancables, entre otros múltiples eventos. Es por esto que se obtuvieron resultados muy por debajo de lo proyectado:

Tabla 1-1: Cumplimiento 2016.

Ítems	Budget	Real 2016	Cumplimiento
<b>Movimiento mina [Mton]</b>	15.556	11.241	72%
<b>Cobre [Mtf]</b>	370	307	83%
<b>Concentrado [Mtf]</b>	333	271	81%
<b>Cátodos [Mtf]</b>	37	36	97%
<b>Molibdeno [ktf]</b>	2,88	2,51	87%

Debido a esto surge la necesidad de optimizar los procesos, para disminuir los eventos que producen pérdidas. Pero dada la capacidad finita de gestión y trabajo de cada uno de los que componen esta operación, se hace necesario filtrar y priorizar las iniciativas que realmente impactan en los resultados y que van acorde a los lineamientos establecidos por Los Bronces.

Por ello, se necesita realizar un completo análisis para determinar cuales son las causas de pérdidas más críticas dentro de la operación, para así poder concentrar los esfuerzos en disminuir las pérdidas originadas por esas causas.

Sin embargo para poder realizar los análisis de forma adecuada, primero se debe mejorar el actual sistema de gestión de pérdidas operacionales, ya que presenta algunas debilidades y cuenta con varias oportunidades para su perfeccionamiento.

Precisamente, estos dos últimos puntos, mejoramiento del sistema de gestión de pérdidas y análisis de los eventos, son el motivo del desarrollo de la presente memoria.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Realizar un mejoramiento del sistema de gestión de pérdidas operacionales, de modo de establecer canales de información y constituir una metodología adecuada para levantar las principales causas de pérdidas de la operación.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Validar los criterios sobre las pérdidas operacionales por cada uno de los procesos.
- Estandarizar la gestión sobre las pérdidas operacionales de mina y planta.
- Mejorar la reportabilidad y el seguimiento de las pérdidas.
- Analizar y cuantificar los eventos de pérdida.
- Levantar las pérdidas operacionales más relevantes por proceso.

## **1.3. Alcance**

Se realiza el control de pérdidas operacionales, a los eventos dentro de la mina o planta que cumplan los criterios definidos entre el área de Risk y los respectivos procesos.

Es importante destacar que las pérdidas operacionales en Anglo American están asociadas a eventos y no a desempeño operacional.

Los eventos analizados corresponden al periodo entre enero del 2016 a agosto del 2017.

Por restricciones de tiempo, las mejoras que se realicen a las causas levantadas, los resultados obtenidos y su posterior seguimiento, estarán fuera de los alcances de este trabajo.



## **1.4. Estructura del documento**

La estructura de la memoria realizada consta de diez capítulos, además del capítulo de anexos. Cada uno de estos capítulos compone partes diferentes del trabajo realizado tanto de investigación como de desarrollo propio. Los contenidos de cada uno de ellos se detallan a continuación:

### **1. Introducción**

En este capítulo se describe el tema de memoria, el contexto y motivación bajo el cual se realiza el trabajo, los objetivos tanto generales como específicos y los alcances que se consideraron para el desarrollo del tema de memoria.

### **2. Antecedentes de la faena**

Este capítulo describe las características y condiciones de la mina estudiada, junto con la información necesaria de la Gerencia de Business Improvement and Risk, para realizar el trabajo.

### **3. Revisión bibliográfica**

Consta de toda la literatura científica publicada, además de la información encontrada en libros y tesis, relacionada con el tema de memoria que sirve como apoyo para el trabajo que se realizará a lo largo de la memoria.

### **4. Metodología**

En este capítulo se describe la metodología que se utiliza para la realización del trabajo y lograr cumplir con los objetivos planteados en el primer capítulo antes descrito.

### **5. Sistema de gestión de pérdidas operacionales: Caso base**

En este capítulo se describe cómo inicialmente operaba el control de pérdidas, además se analiza fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades que presenta este sistema.

### **6. Mejoramiento del sistema de gestión de pérdidas operacionales**

En este capítulo se describen las modificaciones al sistema de gestión de pérdidas junto a los análisis de los eventos y el levantamiento de las causas de pérdidas en la operación.

### **7. Conclusiones**

De acuerdo a los resultados y análisis realizados se genera el capítulo de conclusiones las cuales son acorde a los objetivos que se plantean al inicio del trabajo.

### **8. Recomendaciones**

Las recomendaciones son líneas de estudio que pueden seguirse por otros pares o estudiantes a partir del trabajo realizado en la memoria.

### **9. Glosario y abreviaturas**

En este capítulo se detallan todas las abreviaturas utilizadas en el documento.

### **10. Bibliografía**

Este capítulo consta de la lista de literatura científica publicada utilizada durante la realización de la memoria.

## 2. Antecedentes de la faena

### 2.1. Antecedentes generales

La memoria se desarrolla en la empresa Anglo American, que es una de las compañías mineras más grandes del mundo, con operaciones en los cinco continentes, producción de distintos minerales, tales como platino, diamantes, níquel, carbón térmico y metalúrgico, cobre, niobio y fosfatos. Y con decenas de miles de empleados alrededor del mundo.

En Chile, Anglo American se dedica a la exploración, producción y comercialización de cobre y molibdeno, estando dentro de las cinco mineras de cobre más grande del país. Actualmente, tiene participación en cuatro operaciones de Chile: 50,1% en Anglo American Sur (lo restante está en manos de Codelco-Mitsui, 29,5%, y de Mitsubishi, 20,4%), que incluye a las minas a rajo abierto Los Bronces y El Soldado, ubicadas en las regiones de Santiago y Valparaíso respectivamente y a la fundición de Chagres situada en la quinta región; además del 44% de participación en la mina a rajo abierto Collahuasi, de la región de Tarapacá.

La memoria se lleva a cabo, específicamente, en la operación Los Bronces, uno de los yacimientos de cobre más ricos del mundo, que se encuentra en plena Cordillera de los Andes, a 65 kilómetros de Santiago y a 3.500 metros sobre el nivel del mar. Sus coordenadas geográficas son 33° 01' latitud sur y 70° 18' longitud oeste.

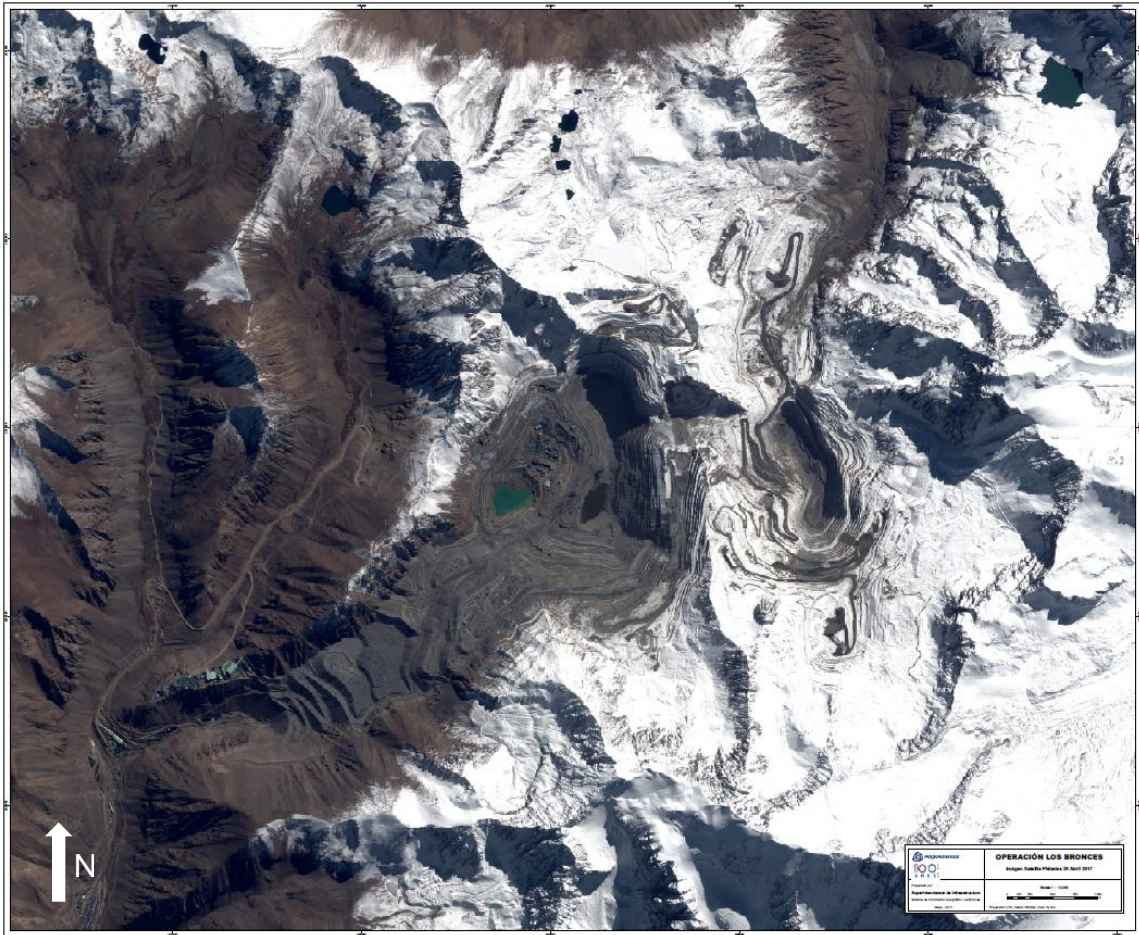
Los Bronces cuenta con una dotación de alrededor de 2.000 trabajadores, entre personal propio y contratistas, y mueve diariamente aproximadamente 450 [kton] de material, de las cuales 160 [kton] son alimentadas a planta, 60.000 toneladas a la planta de molienda Los Bronces y 100.000 a la planta de molienda Confluencia. Una vez molido, el mineral es transportado a través de uno de los dos mineroductos de 56 kilómetros a la planta de flotación Las Tórtolas 1 o Las Tórtolas 2, donde se sigue procesando, obteniéndose concentrado de cobre y concentrado de molibdeno. Adicionalmente, botaderos de óxidos son lixiviados, para obtener cátodos de cobre de alta pureza (tras un proceso de extracción por solvente y electroobtención), sumando así tres productos comercializables.

A continuación, se muestran los resultados de los cuatro últimos años de producción de cobre fino y molibdeno fino en la mina Los Bronces:

*Tabla 2-1: Resultados cobre fino y molibdeno fino 2013-2016.*

<b>Producción</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
<b>Cobre [ktf]</b>	416,3	405,5	401,2	307,2
<b>Molibdeno [ktf]</b>	3,3	3,8	2,4	2,5

La Ilustración 2-1 muestra una fotografía satelital de abril del 2017 de Los Bronces:



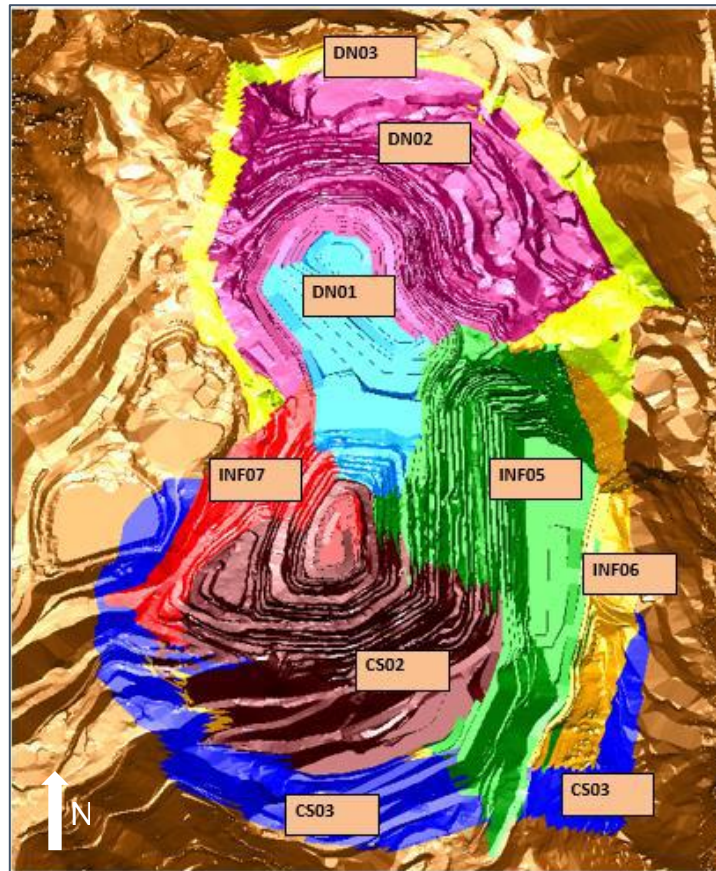
*Ilustración 2-1: Vista satelital de la operación Los Bronces.*

Los Bronces es una mina a rajo abierto que se explota bajo condiciones desafiantes: sobre los 3.500 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas bajo cero la mayoría del año, con 40 días afectada por las condiciones climáticas y 8 metros de nieve el año pasado.

La operación cuenta con 10 perforadoras (4 eléctricas y 6 diésel), 6 palas eléctricas (2 de 60 [yd<sup>3</sup>] y 4 de 73 [yd<sup>3</sup>]), 3 palas hidráulicas, 2 cargadores frontales, 72 camiones mineros (con capacidad mayor a las 320 [ton]) y 34 equipos de servicio.

A julio del 2017, la faena cuenta con tres fases operativas: Donoso 1 (DN01), Casino 2 (CS02) e Infernillo 5 (INF05). Con dos fases en desarrollo: Donoso 2 (DN02) e Infernillo 7 (INF07) y 3 fases en proyecto: Donoso 3 (DN03), Casino 3 (CS03) e Infernillo 6 (INF06). La Ilustración 2-2 muestra la distribución de todas las fases de la operación, incluidas las que se encuentran operativas, en desarrollo o en proyecto:





*Ilustración 2-2: Fases en la operación Los Bronces.*

El esquema de la Ilustración 2-3 muestra la distribución de las plantas de la operación. Una vez que el mineral fue tronado, cargado y transportado, se vierte uno de los dos chancadores giratorios primarios que tienen una capacidad nominal de tratamiento de 6.000 [t/h], para ser conminuido. Luego, el mineral es transportado por medio de correas al acopio de la planta Los Bronces o al acopio de la planta Confluencia, para posteriormente realizar la molienda. La planta Los Bronces cuenta con dos molinos SAG, harneros, chancadores de pebbles, tres molinos de bolas, hidrociclones y dos espesadores. La planta Confluencia posee un molino SAG, harneros, chancadores de pebbles, dos molinos de bolas, hidrociclones y dos espesadores. Se cuenta con dos mineroductos o STP, la tubería 1 tiene un largo de 56 [km], un diámetro de 24", una diferencia de cota de 2.604 [m] y une las plantas de Los Bronces con Las Tórtolas 1, mientras que la tubería 2 tiene un largo de 51 [km], un diámetro de 28", una diferencia de cota de 2.230 [m] y conecta las plantas Confluencia con Las Tórtolas 2. En las plantas Las Tórtolas 1 y 2 se realiza la flotación colectiva, mientras en las Plantas Moly 1 y Moly 2 se realiza la flotación selectiva de cobre y molibdeno, posteriormente el mineral es espesado y filtrado, para obtener concentrados de 32% de cobre con una humedad del 8%.



Ilustración 2-3: Mapa esquemático de la planta en la operación Los Bronces.

## 2.2. Recursos y reservas mineras

En el 2012, el yacimiento Los Bronces contaba 5.700 millones de toneladas de recursos geológicos con ley promedio de cobre de 0,44%, de las cuales, 1.513 millones de toneladas correspondían a reservas mineras de sulfuros con ley promedio de cobre de 0,59% y 546 millones de toneladas correspondían a reservas mineras de óxidos con una ley promedio de cobre de 0,30%. Teniendo la mina Los Bronces un LOM (Life of mine), estimado, mayor a 30 años.

A continuación, se muestra una vista de perfil del modelo de bloques del yacimiento:

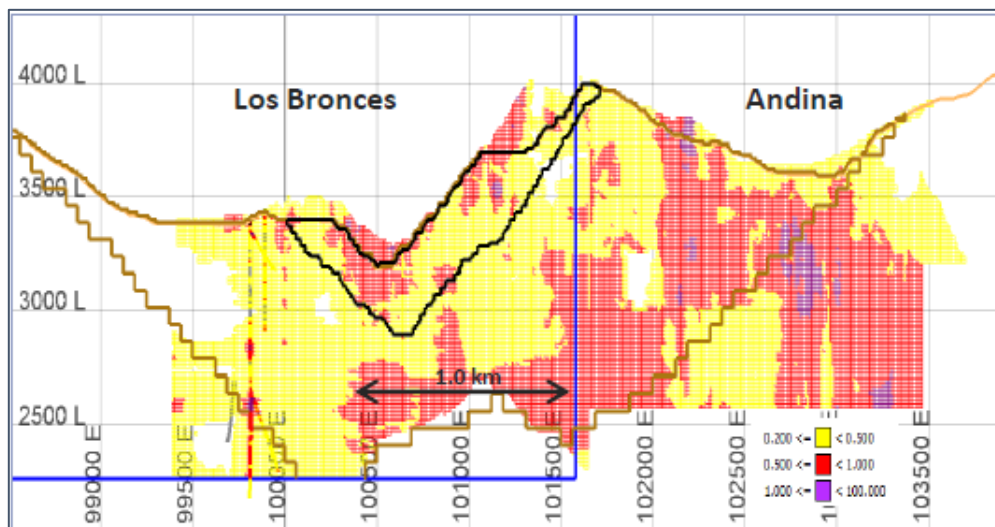


Ilustración 2-4: Vista de perfil este-oeste del modelo de bloques del yacimiento Los Bronces.

### **2.3. Antecedentes geológicos de yacimiento**

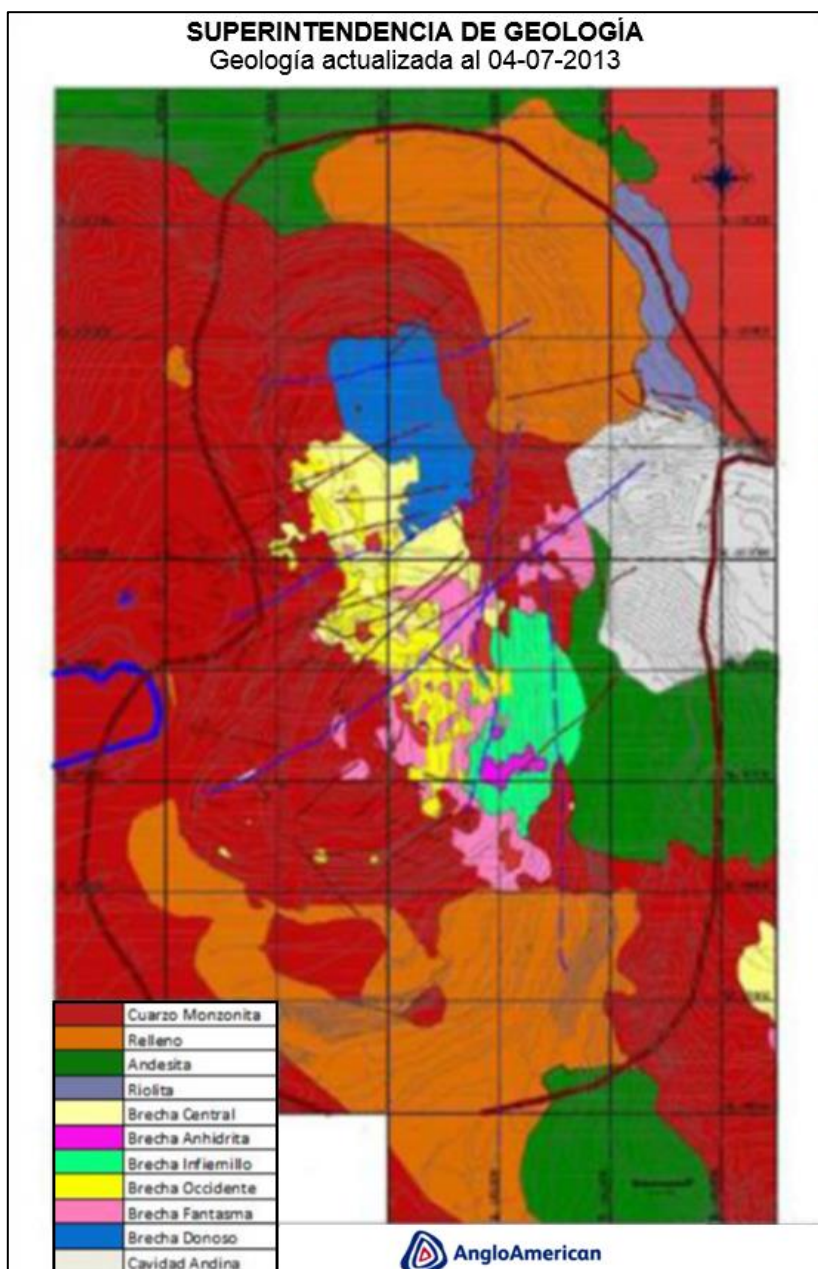
El yacimiento consiste en un sistema de tipo pórfido cuprífero que cubre un área aproximada de 12 [km<sup>2</sup>], en el que posteriormente se emplazan varias brechas hidrotermales, dispuestas en un cuerpo tubular de dirección general N-S.

El pórfido cuprífero presenta la zonación típica tanto en la alteración como mineralización, con su centro ubicado en el área de la mina Río Blanco, distante 1 kilómetro hacia el noreste.

En el sector de Los Bronces, la mineralización es diseminada, en tanto que en el sector este se presenta en vetillas. La diseminación disminuye rápidamente hacia el oeste y la alteración principal en el área del yacimiento es de tipo cuarzo-sericítica.

Cada brecha presenta sus propias características en cuanto a volumen, forma, matriz, clastos y tipo de mineralización, siendo la composición y características de la matriz, los factores principales para la clasificación de las brechas.

A continuación, se muestra un mapa con la distribución de las unidades geológicas presentes en Los Bronces:



*Ilustración 2-5: Unidades geológicas Los Bronces.*

## 2.4. Gerencia Business Improvement and Risk

La memoria se desarrollara específicamente en el área de Risk de la Gerencia de Business Improvement and Risk. Esta gerencia se encarga de la optimización de activos en la operación Los Bronces, trabajando junto a los procesos para implementar iniciativas de mejoras e innovación. Además se ocupa del reporte y análisis de los principales KPIs de la mina y planta, y de la gestión de los riesgos críticos que afectan a la operación.

Esta gerencia le reporta directamente al Vicepresidente de Operaciones, al igual que Gerencia Mina, Gerencia Plantas, Gerencia Planificación Mina, Gerencia Seguridad y Salud Ocupacional, Gerencia Anglo Operational Model (AOM), Gerencia de



Infraestructuras y Aguas y Gerencia de Medio Ambiente, formando todas ellas parte del staff de gerentes, que es una reunión semanal donde exponen los principales actividades de sus áreas. A continuación, se muestra el organigrama de la Vicepresidencia de Operaciones:

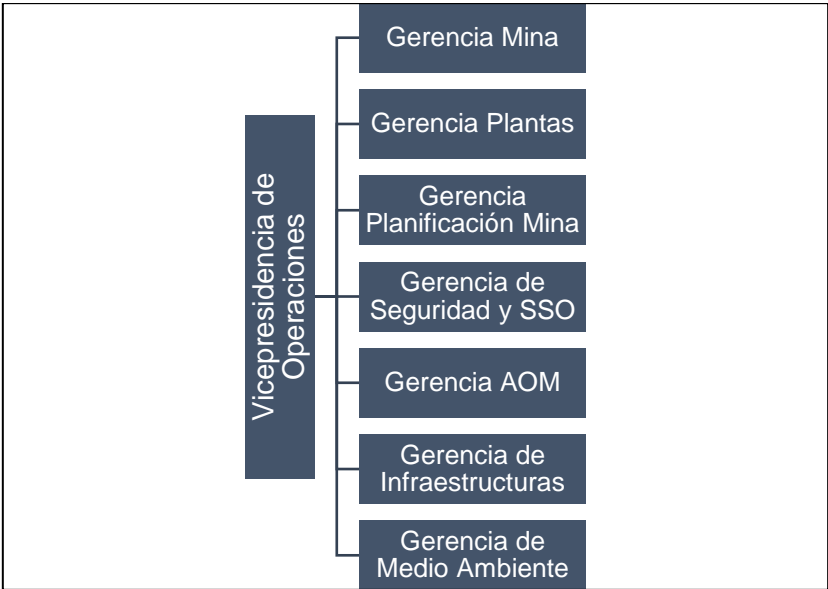


Ilustración 2-6: Organigrama Vicepresidencia de Operaciones.

La Gerencia de Business Improvement and Risk está compuesta por la Superintendencia de Analyze and Report, la Superintendencia de Improve y el área de Risk, la Ilustración 2-7 detalla el organigrama de la gerencia:

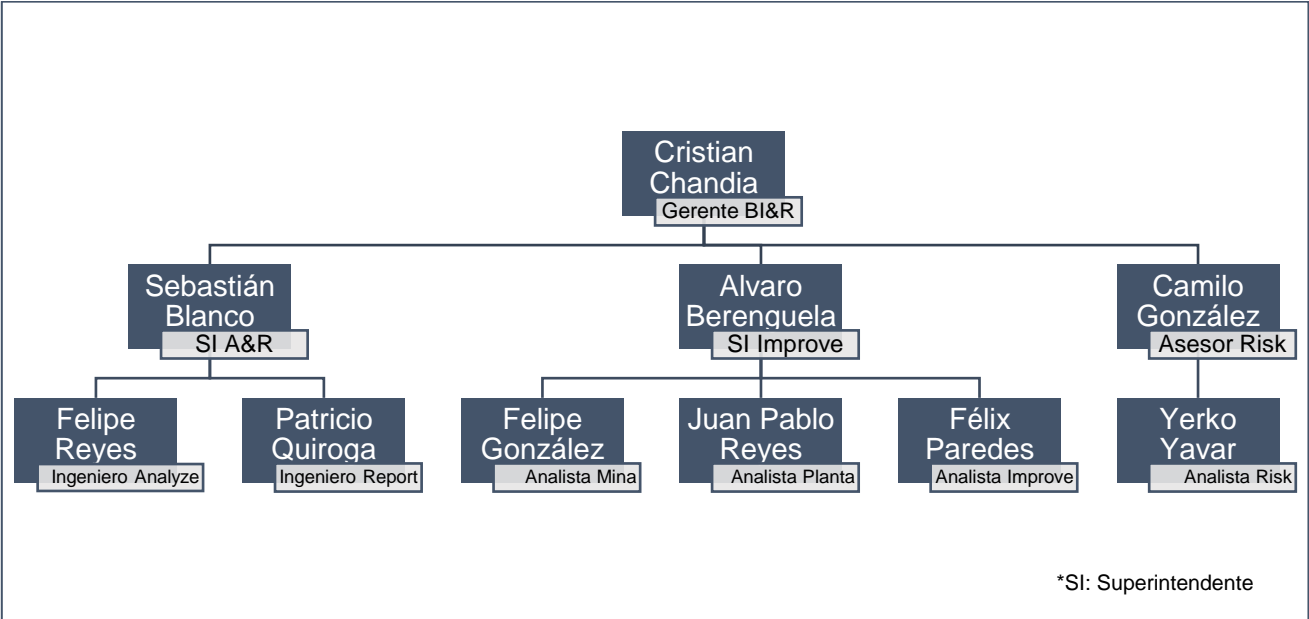


Ilustración 2-7: Organigrama de la Gerencia Business Improve and Risk.

**2.4.1. Área de Risk**

El área de risk se ocupa de tres temas principalmente:



- Gestión de riesgos operacionales, donde se encarga de reconocer y gestionar los riesgos prioritarios de la operación, realizar el seguimiento del cumplimiento de las actividades de monitoreo de los controles críticos, por parte de los superintendentes, mediante la implementación del sistema Operational Risk Management (ORM).
- Gestión de auditorías, donde es responsable de velar por el cumplimiento de los compromisos adquiridos por las distintas áreas con el Vicepresidente de Operaciones.
- Control de pérdidas operacionales, donde se encarga de registrar y consolidar las pérdidas en mina y planta, detallando el impacto por áreas y su cuantificación en cobre fino y en millones de dólares.

### **2.4.2. Superintendencia de Analyze and Report**

El área de Analyze and Report (A&R) se encarga de gestionar los principales KPIs de la operación, para analizar el desempeño de cada área, generando reportes diarios, semanales y mensuales para los stakeholders más importantes de la compañía.

Estos análisis ayudan a identificar los procesos que el área de Improve debe priorizar para implementar iniciativas de mejora y generar valor. Finalmente, en la misma línea, el área de A&R se encarga de realizar un seguimiento a las mejoras que fueron implementadas por el equipo de Improve, para ver si se logran los resultados esperados en el tiempo.

### **2.4.3. Superintendencia de Improve**

El área de Improve es responsable de generar e implementar planes de mejora, liderar proyectos y desarrollos tecnológicos con terceros y gestionar grupos de innovación, para optimizar el negocio. Para realizar esto, utiliza distintos mecanismos y metodologías como: Project Management Office (PMO), Rapid Result, Mente, Mine to Mill.

En principio se ingresan una gran cantidad de desafíos e ideas de mejoras, pero dada la capacidad finita de gestión y trabajo de cada uno de los que componen esta operación, se hace necesario filtrar y jerarquizar las iniciativas y proyectos, enfocándose en las que realmente impactan en los resultados y que van acorde a las prioridades establecidas para Los Bronces. En este sentido, Improve funciona como un embudo en donde entran todos los desafíos, ideas e iniciativas, procedentes de diferentes áreas y lugares geográficos, las cuales se analizan, evalúan, priorizan y asignan. (Reyes & Berenguela, 2016)

Según los desafíos seleccionados, se generan equipos que trabajan bajo la metodología de los Resultados Rápidos (Rapid Results) y proyectos bajo la metodología PMO, adicionalmente problemas en la operación pueden ingresar como desafíos en la aplicación Mente. En la sección 6.5 se profundizara sobre estos mecanismos.

## 3. Revisión bibliográfica

### 3.1. Norma Asarco

La norma Asarco (Le-Feaux, et al., 1998) es el marco de referencia utilizado para la definición de conceptos y distribución de los tiempos en que el equipo, máquina o instalación incurren durante la operación. Con los adecuados ajustes a la realidad operacional de la mina, pondera una serie de variables y proporciona indicadores del comportamiento y rendimiento de los equipos empleados en la extracción, beneficio e industrialización de los minerales. Esta norma es la aplicada en la mayoría de las operaciones mineras en Chile, mas no en Los Bronces. Por lo que es explicada para posteriormente diferenciarla del modelo de tiempo que impera en la operación Los Bronces.

#### 3.1.1. Definición de tiempos

**Nominal:** Espacio de tiempo en que se produce la medición (espacio muestral). Este dependerá del tiempo de continuidad de faena productiva.

**Fuera de servicio:** Espacio de tiempo en que el equipo se encuentra fuera de servicio o no disponible, ya sea, por una mantención programada o imprevistos de tipo mecánico o eléctrico.

**Disponible:** Espacio de tiempo en que el equipo se encuentra mecánicamente habilitado para cumplir con su función de diseño.

**Reserva:** Espacio de tiempo en que el equipo se encuentra mecánicamente apto para cumplir su función de diseño no teniendo operador que lo utilice, o que bajo una condición específica del avance de la operación no pueda ser operado.

**Operativo:** Espacio de tiempo en que el equipo se encuentra mecánicamente apto, con operador y cumpliendo con las actividades asociadas a la operación.

**Demoras programadas:** Espacio de tiempo en que el equipo no cumple su función de diseño debido a actividades normadas por ley, como lo son: el medio turno o colación y el cambio de turno.

**Demoras no programadas:** Espacio de tiempo en que el equipo no puede cumplir con su función de diseño, debido a condiciones propias de la operación o ineficiencias de esta.

**Efectivo:** Espacio de tiempo en que el equipo se encuentra desarrollando las actividades específicas de diseño para las cuales ha sido adquirido por la organización.

**Pérdidas operacionales:** Espacio de tiempo en que el equipo no puede cumplir con su función de diseño, debido a la espera de equipo complementario.

Tabla 3-1: Norma Asarco.

<b>Tiempo nominal</b>			
<b>Tiempo disponible</b>			<b>Fuera de servicio (M/R)</b>
			<b>Programado</b>
			<b>Imprevisto</b>
<b>Tiempo operativo</b>			<b>Reservas</b>
<b>Tiempo efectivo</b>	<b>Perdidas operacionales</b>	<b>Demoras</b>	
		<b>Programada</b>	<b>No programada</b>

### 3.2. Modelo de tiempo Anglo American Copper

La operación Los Bronces tiene un modelo de tiempo propio, que tiene varias diferencias respecto al de la norma Asarco y al de otras faenas.

El propósito del modelo de tiempo AAC es establecer un estándar para la medición del desempeño de los equipos de las operaciones administradas por la Unidad de Negocios de Anglo American Cobre, que permita agregar valor en la interpretación de indicadores productivos de los equipos principales. (Anglo American Copper, 2015)

A continuación se muestra la estructura del modelo de tiempo Anglo American Copper:

Tabla 3-2: Modelo de tiempo Anglo American Copper.

<b>Tiempo total calendario (T000)</b>										
<b>Tiempo controlable (T100)</b>									<b>Tiempo no controlable (N000)</b>	
<b>Tiempo físicamente disponible (T200)</b>						<b>Tiempo no disponible (D000)</b>				
<b>Tiempo operativo (T300)</b>		<b>Tiempo perdido (L000)</b>			<b>Detención operacional programada (D400)</b>	<b>Detención operacional no programada (D300)</b>	<b>Mantenimiento programada (D200)</b>	<b>Mantenimiento no programada (D100)</b>	<b>Eventos no controlables (N200)</b>	<b>No programado para producir (N100)</b>
<b>Operación efectiva/ primaria (P200)</b>	<b>Operación no productiva / secundaria (P100)</b>	<b>Demora (L300)</b>	<b>Reserva (L200)</b>	<b>Consecuencia (L100)</b>						

Dentro de las principales diferencias con la norma Asarco están:

- Profundización en nivel de detalle en la categoría de Tiempo Perdido, entendido en la norma Asarco como Reserva.
- Agrupación de categorías de tiempo, en los estados de Tiempo Operativo y Tiempo no Disponible respectivamente.

- Transferencia de categoría de tiempo Demoras Operacionales desde estado de Tiempo Operativo a Tiempo Perdido.
- Incorporación de categorías para Eventos no Controlables.

### **3.2.1. Definiciones de elemento primario o estado de tiempo**

Un elemento primario o estado de tiempo es la agrupación de elementos secundarios o categorías de tiempo de una misma naturaleza.

#### **3.2.1.1. Tiempo total calendario (T000)**

Es el total potencial de horas disponibles.

- Anualizado =  $24 \times 365 = 8760$  horas (considerando año no bisiesto)
- Mensual =  $24 \times 31 = 744$  horas (considerando mes de 31 días)
- Semanal =  $24 \times 7 = 168$  horas

#### **3.2.1.2. Tiempo controlable (T100)**

Es el tiempo atribuible a cualquier factor controlable por la operación.

#### **3.2.1.3. Tiempo no controlable (N000)**

Es el tiempo en que los equipos no están en condiciones de agregar valor por factores fuera del alcance de gestión de la operación.

#### **3.2.1.4. Tiempo físicamente disponible (T200)**

Tiempo en que el equipo se encuentra mecánica y operacionalmente disponible para cumplir su función de diseño.

#### **3.2.1.5. Tiempo no disponible (D000)**

Tiempo en que el equipo no se encuentra inmediatamente disponible para la producción. También comúnmente conocido como tiempo fuera de servicio.

#### **3.2.1.6. Tiempo operativo (T300)**

Tiempo en que el equipo se encuentra física y mecánicamente disponible para realizar su función de diseño y está siendo utilizado para alguna tarea, ya sea directa o indirectamente relacionada con la producción.

#### **3.2.1.7. Tiempo perdido (L000)**

Tiempo en que el equipo se encuentra física y mecánicamente disponible para realizar su función de diseño, pero no está siendo utilizado.

### **3.2.2. Definiciones de elemento secundario o categoría de tiempo**

Una categoría de tiempo es la máxima segmentación de un estado de tiempo y es la compilación de todas las razones de una misma naturaleza. Asimismo, a partir de las categorías se generan las bases de cálculo para los indicadores de desempeño.

#### **3.2.2.1. Tiempo de operación efectiva / primaria (P200)**

Tiempo en el cual el equipo está siendo utilizado para una tarea directamente relacionada con la producción y cumpliendo con su función de diseño.

#### **3.2.2.2. Tiempo de operación no productiva / secundaria (P100)**

Tiempo en el cual el equipo está siendo utilizado para una tarea directa o indirectamente relacionada con la producción, pero no cumpliendo con su función de diseño.

#### **3.2.2.3. Demora (L300)**

Tiempo que implica un retraso en la producción por parte del activo, y es producido o requerido por la operación. Ejemplos típicos de esta categoría son: cambio de turno, detención por mal clima, evacuación por tronadura, charlas o reuniones, falta de operador, entre otros.

#### **3.2.2.4. Reserva (L200)**

Tiempo que implica inactividad del activo de manera voluntaria o planificada (al momento de ser requerido, el equipo debe encontrarse inmediatamente disponible para ser utilizado, de lo contrario, no puede considerarse como Reserva). Ejemplos típicos de esta categoría son: no requerido para producción, equipo de repuesto o redundante.

#### **3.2.2.5. Consecuencia (L100)**

Tiempo de detención del equipo producto de eventos fuera del alcance de gestión de la operación unitaria. Esta categoría está orientada a detenciones que se generan como consecuencia de intermitencias aguas arriba o aguas abajo en una cadena del proceso. Ejemplos típicos de esta categoría son: cortes de energía interno, baja tensión interna, sin material tronado.

#### **3.2.2.6. Detención operacional programada (D400)**

Tiempo de detención (voluntaria) requerida por operaciones, que implica que los equipos sean inoperables. Ejemplos típicos de esta categoría son; inspección, toma de muestras, revisión sistemas de monitoreo, limpieza.

### **3.2.2.7. Detención operacional no programada (D300)**

Tiempo de detención (involuntaria) causada por operaciones, que implica que los equipos sean inoperables. Ejemplos típicos de esta categoría son: atollo, sobrecarga, embanque, accidentes operacionales, cambio de neumáticos.

### **3.2.2.8. Tiempo de mantención programada (D200)**

Tiempo de detención resultado de trabajos de mantención incluidos en el plan de mantención semanal confirmado. Corresponde a trabajos programados en los programas de mantenciones semanales, mensuales o anuales, considerando: mantenciones programadas, shutdown, inspecciones, backlogs, modificaciones y continuidad de tareas.

### **3.2.2.9. Tiempo de mantención no programada (D100)**

Tiempo de detención resultado de trabajos de mantención no incluidos en el plan de mantención semanal confirmado. Corresponde cuando el equipo está inhabilitado para ser usado y la reparación no está planificada en los programas de mantención semanal, mensual o anual. Ejemplos típicos incluyen averías debido a fallas eléctricas o mecánicas de los equipos.

### **3.2.2.10. Evento no controlable (N200)**

Tiempo de detención atribuible a factores externos a la capacidad de gestión de la operación, afectándola transversalmente en sus procesos productivos. Se consideran eventos externos, tales como el sistema interconectado de energía eléctrica, sistemas de alimentación de agua, desastres medioambientales, huelgas, entre otros.

## **3.2.3. Indicadores claves de desempeño (KPI)**

Son los indicadores que miden el rendimiento productivo del negocio, alinean los comportamientos con los objetivos del corto, mediano y largo plazo. A continuación se definen los indicadores de desempeño de los equipos que mayor impacto tienen en el negocio:

### **3.2.3.1. Tiempo controlable (TC)**

Indica el porcentaje del tiempo total calendario del cual dispone la operación. Una operación con bajo tiempo de eventos no controlables, representa una eficaz definición de estrategia sobre el activo. Una operación con un TC bajo debe plantearse trabajar en sus planes de gestión estratégica del activo.

$$\text{Tiempo Controlable (TC)} = \frac{\text{Tiempo Controlable}}{\text{Tiempo Calendario}} [\%]$$

*Ecuación 3-1: Tiempo controlable.*

### 3.2.3.2. Utilización general (UG)

Indica el porcentaje del tiempo total calendario en que el equipo opera de forma efectiva. Es el indicador máximo de rendimiento, que señala el porcentaje del tiempo total calendario en que el equipo es utilizado de manera efectiva (explotación del activo).

$$\text{Utilización General (UG)} = \frac{\text{Tiempo Operación Efectiva}}{\text{Tiempo Calendario}} [\%]$$

*Ecuación 3-2: Utilización general.*

### 3.2.3.3. Efectividad general de los equipos (OEE)

Indica el porcentaje de la eficiencia productiva de un equipo o proceso, involucrando indicadores de utilización, rendimiento y calidad (definida por cada unidad productiva). Es la jerarquía métrica de mayor nivel, puesto que se enfoca en cuán efectivamente se utilizan los equipos.

$$\text{Efectividad general equipos (OEE)} = UG \times \frac{\text{Producción Real}}{\text{Producción Objetivo}} \times \frac{\text{Calidad Real}}{\text{Calidad Objetivo}} [\%]$$

*Ecuación 3-3: Efectividad general de los equipos.*

### 3.2.3.4. Disponibilidad física (DF)

Indica el porcentaje del tiempo controlable en que el equipo se encuentra en condiciones inmediatas para realizar su función de diseño. Dado que la disponibilidad física del activo es resultado tanto de la mantención como de la operación, es que la gestión de este indicador no es sólo responsabilidad del área de mantención, sino también de operaciones.

$$\text{Disponibilidad Física (DF)} = \frac{\text{Tiempo Físicamente Disponible}}{\text{Tiempo Controlable}} [\%]$$

*Ecuación 3-4: Disponibilidad física.*

### 3.2.3.5. Disponibilidad mecánica/eléctrica (DME)

Indica el porcentaje del tiempo controlable en que el equipo está en condiciones mecánicas y/o eléctricas para estar operativo. Este indicador cuantifica el impacto de la gestión del área de mantención sobre la disponibilidad física, descontando así las indisponibilidades producidas o requeridas por la operación.

$$\text{Disponibilidad Mecánica|Eléctrica (DME)} = \frac{\text{Tiempo en condición ME}}{\text{Tiempo Controlable}} [\%]$$

*Ecuación 3-5: Disponibilidad mecánica/eléctrica.*

### 3.2.3.6. Disponibilidad operacional (DO)

Indica que porcentaje del tiempo mecánica y/o eléctricamente disponible, el equipo está físicamente disponible. Este indicador cuantifica el impacto de la gestión del área de operación sobre la disponibilidad física, descontando así las indisponibilidades producidas o requeridas por la mantención.

$$\text{Disponibilidad Operacional (DO)} = \frac{\text{Tiempo Físicamente Disponible}}{\text{Tiempo en condición ME}} [\%]$$

*Ecuación 3-6: Disponibilidad operacional.*

### 3.2.3.7. Relación de mantención (RM)

Indica el porcentaje del tiempo de mantención programada sobre el total del tiempo empleado para actividades de mantenimiento.

$$\text{Relación de mantención (RM)} = \frac{\text{Tiempo de Mantención Programada}}{\text{Tiempo de Mantención}} [\%]$$

*Ecuación 3-7: Relación de mantención.*

### 3.2.3.8. Uso de disponibilidad física (UDF)

Indica que porcentaje del tiempo físicamente disponible el equipo se encuentra operativo. Es una medida clave para cuantificar las oportunidades de gestión sobre los activos, puesto que únicamente se ve afectada por la inutilización de los activos mientras estos se encuentran disponibles para hacerlo.

$$\text{Uso de Disponibilidad Física (UDF)} = \frac{\text{Tiempo Operativo}}{\text{Tiempo Físicamente Disponible}} [\%]$$

*Ecuación 3-8: Uso de disponibilidad física*

### 3.2.3.9. Eficiencia (EF)

Indica el porcentaje del tiempo operativo en que el equipo opera de forma efectiva. Es una medida significativa para cuantificar el requerimiento neto del equipo en una operación particular. Dado que el tiempo operativo contiene la operación no productiva (como por ejemplo traslados, demoras inherentes al proceso y trabajos secundarios), es que este indicador se transforma en un reflejo potente de las necesidades para cada tipo de operación.

$$\text{Eficiencia (EF)} = \frac{\text{Tiempo Operación Efectiva}}{\text{Tiempo Operativo}} [\%]$$

*Ecuación 3-9: Eficiencia.*

### 3.2.3.10. Rendimiento efectivo (RE)

Indica el rendimiento medido en unidades de producción sobre el tiempo de operación efectiva.

$$\text{Rendimiento Efectivo (RE)} = \frac{\text{Producción (metros o toneladas)}}{\text{Tiempo Operación Efectiva}} \left[ \frac{u}{hr} \right]$$

*Ecuación 3-10: Rendimiento efectivo.*



### 3.2.3.11. Rendimiento operativo (RO)

Indica el rendimiento medido en unidades de producción sobre el tiempo en que el equipo se encuentra operativo.

$$\text{Rendimiento Operativo (RO)} = \frac{\text{Producción (metros o toneladas)}}{\text{Tiempo Operativo}} \left[ \frac{u}{hr} \right]$$

*Ecuación 3-11: Rendimiento operativo.*

### 3.2.3.12. Tiempo medio entre detenciones (TMED)

Indica el promedio del tiempo operativo que transcurre entre una detención que implique inoperatividad o fuera de servicio y la siguiente.

$$\text{Tiempo Medio entre Detenciones (TMED)} = \frac{\text{Tiempo Operativo}}{\text{Conteo de eventos de detención}} [hrs]$$

*Ecuación 3-12: Tiempo medio entre detenciones*

A diferencia de TMEF, TMED incluye las detenciones programadas en el denominador, de modo que  $TMED \leq TMEF$ .

### 3.2.3.13. Tiempo medio entre detenciones no programadas (TMEDnp)

Indica el promedio del tiempo operativo que transcurre entre una detención no programada tanto de mantención como de operaciones y la siguiente. Es un indicador orientado a la confiabilidad de los procesos metalúrgicos.

$$TMED_{np} = \frac{\text{Tiempo Operativo}}{\text{Conteo de eventos de falla}} [hrs]$$

*Ecuación 3-13: Tiempo medio entre detenciones no programadas.*

### 3.2.3.14. Tiempo medio entre fallas (TMEF)

Indica el promedio del tiempo operativo que transcurre entre una detención no programada de mantención y la siguiente.

$$\text{Tiempo Medio entre Fallas (TMEF)} = \frac{\text{Tiempo Operativo}}{\text{Conteo de eventos de falla}} [hrs]$$

*Ecuación 3-14: Tiempo medio entre fallas.*

### 3.2.3.15. Tiempo medio para reparar detenciones (TMPRD)

Indica el promedio del tiempo de detención que implique inoperatividad o fuera de servicio empleado para corregir eventos que provocan la detención.

$$TMPRD = \frac{\text{Tiempo fuera de servicio}}{\text{Conteo de eventos de detenciones}} [hrs]$$

*Ecuación 3-15: Tiempo medio para reparar detenciones.*

### 3.2.3.16. Tiempo medio para reparar detenciones no programadas (TMPRDnp)

Indica el promedio del tiempo de detención no programada tanto de mantención como de operaciones empleado para corregir eventos que provocan la falla.

$$TMPRDnp = \frac{\text{Tiempo de reparaciones no programadas}}{\text{Conteo de eventos de reparaciones}} [\text{hrs}]$$

*Ecuación 3-16: Tiempo medio para reparar detenciones no programadas.*

### 3.2.3.17. Tiempo medio para reparar fallas (TMPRF)

Indica el promedio del tiempo de detención no programada de mantención empleado para corregir eventos que provocan la falla.

$$TMPRF = \frac{\text{Tiempo mantención no programada}}{\text{Conteo de eventos de falla}} [\text{hrs}]$$

*Ecuación 3-17: Tiempo medio para reparar fallas.*

## 3.3. Sistemas de control de pérdidas operacionales

De forma de tener una visión más clara acerca del objetivo y aplicación del control de pérdidas operacionales, se realizó un pequeño benchmarking sobre sistemas de control de pérdidas operacionales en otras faenas. Además se estudió un documento interno sobre el control de pérdidas en las plantas de la operación Los Bronces. Lamentablemente, debido a las políticas de privacidad de las compañías mineras, no se pudo obtener toda la información deseada sobre este tema.

### 3.3.1. Proyecto Mina Chuquicamata 2000

En el año 1998, con el objetivo de alcanzar niveles de excelencia y continuidad operacional en el siglo XXI, la mina de Chuquicamata diseñó el Proyecto 2000.

El Proyecto Mina Chuquicamata 2000 consiste básicamente, en un diagnóstico causal, cuantificación y resolución de pérdidas reales y potenciales que afecten a las personas, equipos, instalaciones y procesos productivos del yacimiento. (Roque, 1998)

Este proyecto se divide, principalmente en cuatro etapas:

- Identificación de pérdidas reales y potenciales.
- Análisis transversal y causal de pérdidas.
- Formalización de planes de acción.
- Ejecución de planes de acción y retroalimentación.

La primera etapa del proyecto consiste en un levantamiento de las pérdidas reales y potenciales de los procesos de mina (perforación, tronadura, carguío, transporte y chancado primario), esto significa consultar las distintas bases de datos y recopilar información relacionada con ineficiencias de los distintos procesos de la mina. Luego esta

información se valida en terreno y como resultado se obtiene un inventario valorizado de pérdidas.

La segunda etapa, se define como la identificación de impactos transversales que una determinada área puede recibir producto de ineficiencias externas, o bien puede ejercer sobre otra relacionada. Además se realiza una jerarquización del inventario de pérdidas para focalizar la resolución de éstas, sobre aquellas cuyo impacto es importante desde el punto de vista de la seguridad y del negocio. Contempla también la participación de las personas en la determinación de las causas basales, definición de soluciones, metas, objetivos y algunas actividades específicas tendientes a minimizar estos efectos, los que se denominan planes de acción.

La tercera, es una etapa de formalización de los planes de acción, es decir, se jerarquiza nuevamente la ejecución de los planes de acción de acuerdo a criterios de factibilidad y oportunidad. En esta etapa se definen las actividades específicas, los recursos, tiempos de ejecución y finalmente los indicadores de desempeño.

Por último, la cuarta etapa es básicamente el control de la ejecución de los planes de acción, lo que significa medir periódicamente los resultados y contrastarlos con las metas definidas, evaluación de la efectividad de las acciones propuestas como soluciones y realimentación de acuerdo a la evaluación.

*Tabla 3-3: Metodología general Proyecto Mina Chuquicamata 2000.*

<b>Etapa</b>	<b>Actividades</b>
I	Identificación de pérdidas reales y potenciales Identificación de impactos al proceso Inventario valorizado de pérdidas Identificación y priorización de eventos críticos Selección de eventos para la acción
II	Identificación causa-efecto Análisis de metodologías de trabajo Grupo de enfoque Tormenta de ideas Factibilidad de implementación de ideas Selección de eventos para la acción Definición de planes específicos
III	Implementación de planes específicos
IV	Ejecución de planes específicos Medición - Evaluación - Retroalimentación

El Proyecto Mina Chuquicamata 2000 focaliza su acción sobre las pérdidas, que se definen como eventos no deseados que ocurren en forma frecuente o que ocurrieron y causaron importantes daños a personas, equipos, instalaciones y/o procesos, además dentro de estos eventos se incluyen las fallas operacionales, que son incidentes que no causan daño visible pero que afectan la continuidad del proceso, como por ejemplo:

detenciones operacionales, mantenciones o reparaciones no programadas, demoras y reserva de equipos. (Roque, 1998)

Tabla 3-4: Definición de pérdidas en Chuquicamata.

Distribución de Tiempo	Definición
<b>Mantenición y reparación</b>	Mantenciones no programadas Reparaciones no programadas Imprevistos menores y mayores Atraso entrega de equipos Re-intervenciones
<b>Reserva</b>	Reserva con o sin asignación de operador
<b>Demoras</b>	Espera de servicios Equipos en espera por falta de asignación Demoras en traslado personal

Si bien este trabajo tiene un alcance, que solo incluye los procesos de mina, básicamente incluye todas las etapas que se quieren implementar en la mejora del sistema de gestión de pérdidas de Los Bronces, definición de pérdida operacional, registro de pérdidas, análisis de eventos y levantamiento de las pérdidas operacionales.

### 3.3.2. Sistema de gestión de pérdidas División El Teniente

De modo de tener un punto de comparación, se realizó una revisión del sistema de gestión de pérdidas que fue implementado el 2008 por la Gerencia de Minas de la División El Teniente.

El objetivo de la Gerencia de Mina fue el de desarrollar un modelo para controlar las pérdidas asociadas a los procesos de extracción y manejo de mineral interior mina, que sirviera de base para la identificación, reporte, contabilización, análisis, y gestión de mejoramiento de factores de pérdida operativa en las actividades productivas. (Arce, et al., 2008)

Específicamente se buscaba: identificar, evaluar y controlar los incidentes operacionales de los equipos y las pérdidas asociadas a los procesos críticos de la cadena de valor e investigar y generar acciones preventivas para minimizar las consecuencias y disminuir la probabilidad de ocurrencia de los incidentes y de las pérdidas.

Para el cumplimiento de estos objetivos: Se requirió diseñar e implementar un sistema de gestión global que permitiera minimizar las pérdidas ocasionadas en los procesos de extracción, traspaso, chancado y transporte de material en la mina para:

- Lograr uniformidad en la gestión de pérdidas para todos los procesos de la mina de la División El Teniente.
- Obtener una gestión proactiva para las pérdidas, mediante los indicadores de resultados.

- Realizar mejoras continuas objetivas, utilizando herramientas de calidad insertas en la Norma ISO 9001/ 2000.

El sistema está compuesto por:

- Aplicación informática que permite registrar, cuantificar y valorizar las pérdidas. (control)
- Módulo de control estadístico de procesos que permite medir y controlar la calidad de los procesos. (gestión)

Este sistema permite controlar y gestionar eficientemente las pérdidas incurridas en el proceso productivo de la Gerencia de Minas. A continuación se muestra un mapa de los procesos de mina y donde se controlan las pérdidas:

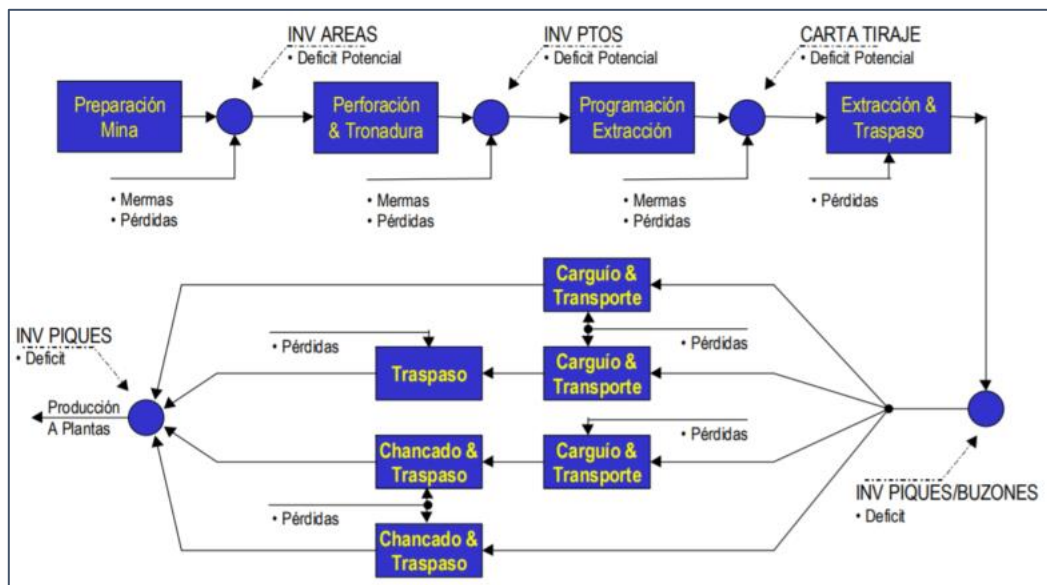


Ilustración 3-1: Mapa de procesos mina División El Teniente.

A continuación se muestra un esquema sobre la metodología del sistema de gestión de pérdidas, la cual no se estudiará a fondo, debido a que por las políticas de privacidad, la división El Teniente no la detalla:

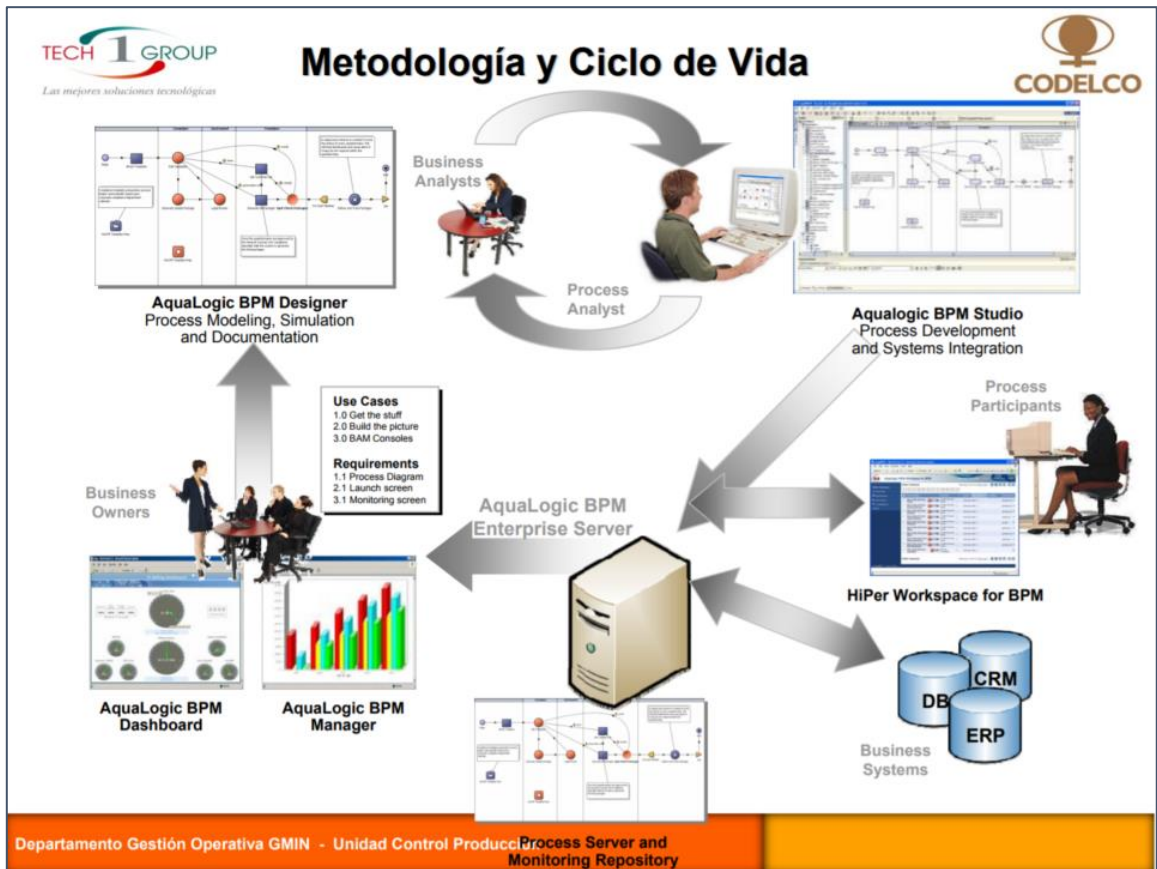


Ilustración 3-2: Esquema de la metodología del sistema de gestión de pérdidas en la División El Teniente. (Arce, et al., 2008)

Este sistema permite visualizar y gestionar en tiempo real la producción de la Gerencia de Minas, la descripción y detalle de los eventos causantes de pérdidas reales, potenciales y de costo. Además facilita la gestión proactiva de dichas pérdidas, con el fin de mitigarlas o eliminarlas, junto con decisiones más rápidas y menos burocráticas.

Este sistema tiene objetivos muy similares a los que tiene la actual memoria, sin embargo se diferencian en que el sistema está enfocado en una mina subterránea, en que tiene un menor alcance, apuntando sólo a los procesos de extracción y manejo de mineral al interior mina y en que incluye una aplicación informática para el control y gestión de las pérdidas.

### 3.3.3. Sistema de gestión de pérdidas Candelaria

Las minas subterráneas de cobre Santos, Alcaparrosa y Candelaria Norte situadas en el norte de Chile fueron adquiridas por Lundin Mining en octubre del 2014. Las operaciones de estas minas se realizan por empresas contratistas y con el método de explotación sub level stopping.

Actualmente, el sistema de operación y producción es controlado a través de reportes manuales que son llenados por los operadores, los cuáles son digitalizados y posteriormente procesados para gestionar la producción. Dicho sistema de control posee deficiencias tales como:

- Errores de llenado de reportes.
- Errores digitación.
- Información después de 12 horas.
- Tomas de decisiones tardías.
- Problemas de ubicación de la gente y equipos.
- Problemas en la entrega de turno.
- Problemas de control de bombas y ventilación.
- Falta de información en la forma de operar los equipos.
- Riesgos de seguridad en los acercamientos de equipos
- Información segmentada.

Es por ello, que se está estudiando la alternativa de control de equipos y personal, teniendo información en línea por medio del sistema NewTrax que se concentra en cumplir los siguientes objetivos.

- Eliminar los tiempos muertos.
- Eliminar los puntos ciegos, teniendo una mayor seguridad
- Acelerar la evacuación y rescate de mineros
- Eliminar los cuellos de botella en el proceso de producción
- Aumentar la eficiencia y la productividad.

Para cumplir los objetivos anteriores NewTrax tiene los sistemas capaces de medir y controlar detallados a continuación.

- Seguimiento de equipos móviles.
- Seguimiento personal.
- Sistema de evacuación de emergencia.
- Advertencia de proximidad.
- Monitoreo remoto

La principal ventaja de implementar el sistema NewTrax, es el aumento de producción, ya que se espera aumentar las horas efectivas de los equipos, gestionando las pérdidas por:

- Problemas con energía y agua.
- Horas sin petróleo.
- Espera de postura y operador.
- Entrada y salida de turno.
- Charla pre-turno
- Evacuación por tronadura
- Mantenimiento preventivo
- Fallas operacionales

Gracias al sistema NewTrax se pretende ahorrar tiempo de los problemas de operación, lo cual será logrado gracias a la información continua de los procesos y signos vitales de los equipos que permite conocer el sistema. Este tiempo se utilizará como operación



efectiva, lo cual incrementará la disponibilidad, utilización y rendimiento efectivo de todos los equipos que cuenten con el sistema NewTrax, lo cual se traducirá en un aumento de producción.

Si bien este sistema está más enfocado en el control de procesos, dentro de sus características considera el control de tiempos de pérdidas diferenciados, de modo de saber dónde efectuar con precisión las mejoras a los procesos, para maximizar los tiempos efectivos de operación.

### 3.3.4. Definiciones de pérdida operacional en otras faenas

Se estudiaron algunas definiciones de pérdida operacional de otras faenas, de modo de compararlas con lo que se entiende como pérdida operacional en Anglo American y así poder englobar una mejor definición.

#### 3.3.4.1. Pérdida operacional para faenas que usan la norma Asarco

Son las horas en que la unidad de equipo o instalación, estando en condiciones electromecánicas de cumplir su objetivo de diseño, a cargo de su(s) operador(es) y con una tarea asignada, no puede realizarla por motivos ajenos a su funcionamiento intrínseco, como son los traslados, esperas de equipo complementario y en general por razones originadas en la coordinación de las operaciones.

#### 3.3.4.2. Pérdida operacional en AMSA

Son sólo las esperas de los equipos. Se utiliza para gestionar dichas esperas y aplica para el carguío, transporte y chancado. Cada operación mostrará como mide este tiempo y luego se estandarizará. La Tabla 3-5 muestra las actividades que se consideran como pérdida operacional. (Bonzi, 2016)

*Tabla 3-5: Pérdidas operacionales en AMSA. (Bonzi, 2016)*

	<b>Camiones</b>	<b>Carguío</b>	<b>Perforadoras</b>	<b>Chancado</b>
<b>Espera de carguío</b>	X			
<b>Espera de camión</b>		X		X
<b>Espera de chancado</b>	X	X		

#### 3.3.4.3. Pérdida operacional en Lundin Mining Candelaria

Son los tiempo en que un equipo se encuentra fuera de servicio, debido a que está sin aire, agua o electricidad o por problemas de terreno. (Lundin Mining, 2017)

La Tabla 3-6 muestra el resumen de las definiciones de pérdida operacional de las distintas operaciones vistas. Comparando Los Bronces con las demás minas, es Chuquicamata la faena a la que más se asemeja:



Tabla 3-6: Comparación definición de pérdida operacional.

Faena	Definición de pérdida operacional
Los Bronces	Eventos no deseados que impactan significativamente a la producción de cobre fino o a la extracción de material, debido a detenciones operacionales, mantenciones no programadas o como consecuencia de otro proceso aguas arribas o aguas abajo.
Chuquicamata	Eventos no deseados que ocurren en forma frecuente o que ocurrieron y causaron importantes daños a personas, equipos, instalaciones y/o procesos, además dentro de estos eventos se incluyen las fallas operacionales, que son incidentes que no causan daño visible pero que afectan la continuidad del proceso
Pelambres	Son sólo las esperas de los equipos. Se utiliza para gestionar dichas esperas y aplica para el carguío, transporte y chancado
Candelaria	Son los tiempo en que un equipo se encuentra fuera de servicio, debido a que está sin aire, agua o electricidad o por problemas de terreno
Norma Asarco	Espacio de tiempo en que el equipo no puede cumplir con su función de diseño, debido a la espera de equipo complementario.

### 3.3.5. Procedimiento de control de pérdidas en plantas de la operación Los Bronces

Para el diseño del procedimiento de mina y planta se usó como base un procedimiento anterior realizado por la Superintendencia de Ingeniería y Planificación Mantención Plantas, aplicado a las plantas de la operación Los Bronces.

En este procedimiento se realiza para regular, estandarizar y controlar los análisis y reportabilidad de fallas y para facilitar el seguimiento e implementación de las medidas de control que se definan a través de los análisis de causa raíz de las fallas. (Veloso & Cárdenas, 2015)

El procedimiento define la metodología para gestionar las pérdidas y la responsabilidad de cada área en las actividades relacionadas con el control de pérdidas. La Ilustración 3-3 muestra el diagrama de flujo de la metodología para gestionar las pérdidas en las plantas de la operación Los Bronces:

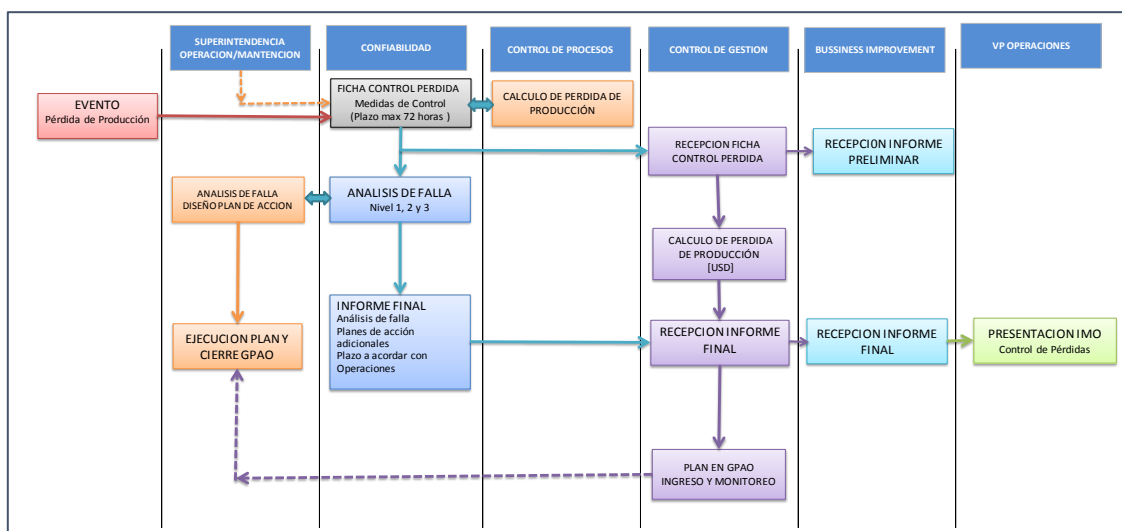


Ilustración 3-3: Diagrama de flujo del control de pérdidas en las plantas.

En resumen el procedimiento es el siguiente: una vez que ocurre un evento no deseado en alguna de las plantas, el área de Confiabilidad tiene 72 horas para generar una Ficha de Registro de Control de Pérdida en la que contiene una descripción del evento ocurrido, equipos afectados, la fecha del suceso y su duración. El área de Control de Procesos agrega en la ficha, el cálculo de la pérdida de producción en toneladas de mineral procesado y/o toneladas de cobre fino. La superintendencia de operación o mantenimiento en donde se originó el evento, debe realizar un análisis causa raíz (método de los cinco ¿por qué?, método de causa-efecto o método árbol de falla según el impacto de la pérdida) y generar planes de acción correctivos con responsables encargados de implementarlos.

Posteriormente, la ficha de registro de pérdidas es entregada a Control de Gestión Planta, quien calcula el impacto de la pérdida en millones de dólares, sube al sistema GPAO (gestión planes de acción operaciones) los planes de acción definidos anteriormente y realiza el seguimiento para que éstos se ejecuten en los plazos acordados.

El área de Risk de la Gerencia de Business Improvement and Risk recibe las fichas y consolida la información, para posteriormente mostrarlas mensualmente en la reunión de staff de los gerentes.

### 3.4. Software de detección de pérdidas

Una parte fundamental en el sistema de gestión de pérdida es tener sistemas confiables, de modo de poder registrar adecuadamente todos los incidentes que ocurren en la operación. Para el caso de la mina y chancado se utiliza el software Dispatch y para planta la herramienta Sistema de Eventos Planta (SEP). A continuación se describen ambos sistemas:

### **3.4.1. Dispatch**

#### **3.4.1.1. Descripción del sistema**

Dispatch es una herramienta de gestión que busca optimizar la asignación de camiones a palas, botaderos y chancado, maximizando la utilización del tiempo y minimizando las pérdidas, en tiempo real. (Lagos, 2007)

Dispatch tiene varios objetivos como por ejemplo:

- Automatizar y optimizar asignaciones de camiones.
- Archivar datos para equipos de carguío, transporte y auxiliares.
- Asignación de combustible automáticamente.
- Recolector de datos para mantenimiento.
- Mezclar minerales.
- Reportabilidad propia y a través de PowerView según la necesidad del cliente.
- Aumentar productividad.
- Reducir costos de operación.

#### **3.4.1.2. Operación del sistema**

Dispatch es una herramienta que registra los eventos que se desarrollan durante los ciclos de operación. En base a esta información, el sistema de forma automática determina la ruta óptima de acarreo de material. Las operaciones básicas del sistema son:

1. Registro de eventos del ciclo de acarreo de material relevante e importante para la empresa.
2. Traspaso de los datos en tiempo real y posterior decodificación.
3. El sistema registra los datos y guarda la información.
4. El software procesa los datos y gestiona asignaciones de manera óptima de destino a los camiones de extracción.
5. Finalmente, el sistema hace un envío de la asignación al camión respectivo para que realice la ruta óptima.



Ilustración 3-4: Sistema Dispatch. (Modular Mining System, 2014)

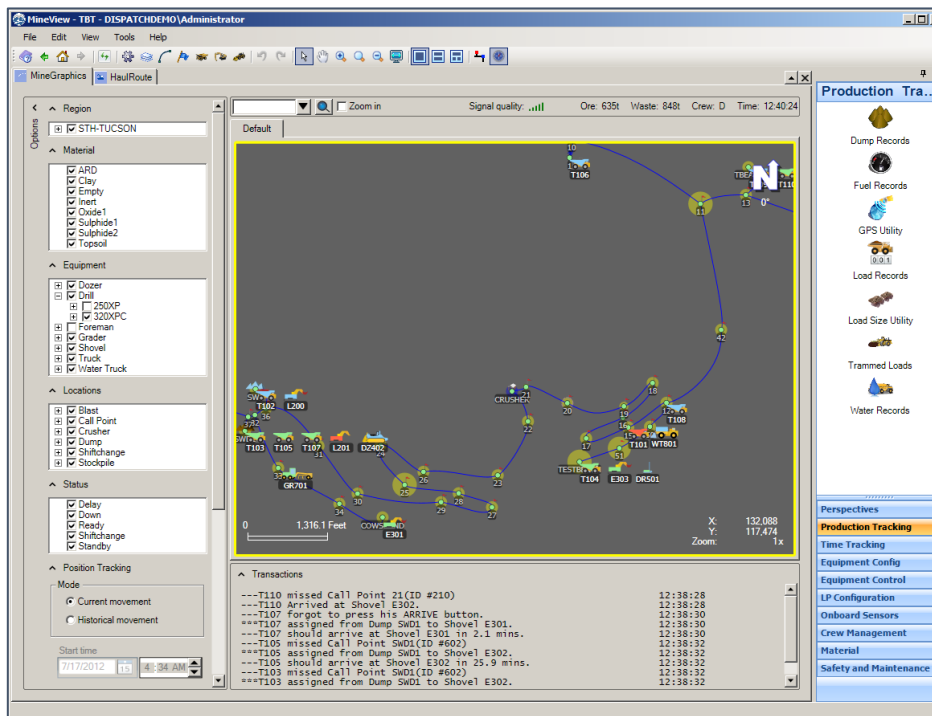


Ilustración 3-5: Modelo minero en Dispatch. (Modular Mining System, 2014)

Los parámetros entregados por el software Dispatch, son medidos según la configuración en terreno de los equipos y exportados hacia la nube de datos, para posteriormente ser visualizados a través de la plataforma Powerview, lo que se logra mediante una programación en lenguaje SQL. El resultado es una hoja de datos tabulada, separada por comas, con los campos necesarios para el estudio de cada KPI. Es de estas planillas

de Excel que se extrae la información sobre los eventos de pérdida de los equipos más importantes en el negocio minero.

### 3.4.2. SEP

El software Sistema de Eventos Planta o SEP busca analizar la información recopilada a partir de su clasificación en intervalos de tiempo asociados a la ocurrencia de un evento predefinido (Gómez & Gómez, 2008).

Un “evento” es el intervalo de tiempo asociado a la ocurrencia de una detención en el equipo. Como ejemplo, un evento puede ser definido como las detenciones de un equipo, un sobre / bajo valor de una variable de proceso, etc.

La implementación del SEP va de la mano con el uso del modelo de tiempos Anglo American Copper descrito en la sección 3.2, para así categorizar los distintos tipos de detenciones con el fin de generar indicadores claves de desempeño para todas las plantas de la operación.

El software SEP funciona de la siguiente forma:



Ilustración 3-6: Funcionamiento SEP.

La aplicación “Analizador de Eventos”, permite visualizar cualquier reporte creado por un usuario, para uno o más equipos, para una o más modos de falla y manejando una serie de parámetros, los que permiten al usuario realizar análisis sobre los resultados de manera amistosa, visualizándolos a través de gráficos de distinto tipo o a través de listados y/o tabla de datos.

Dichos resultados son expresados en uno o más indicadores operacionales. El usuario puede manipular el rango de tiempo de datos que desea consultar, así como también puede definir la agrupación del despliegue del resultado.

Es desde el Analizador de Eventos, donde se extraerán los eventos no deseados, asociados a pérdidas en los equipos de planta, de forma de poder contrastar la información recibida desde Control de Gestión Planta.

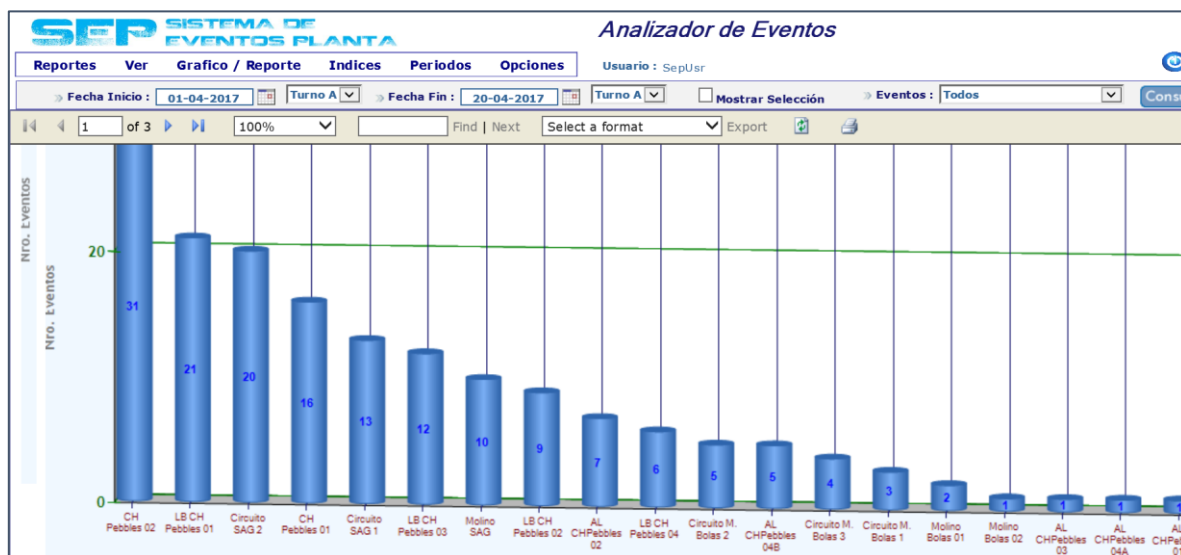


Ilustración 3-7: Gráfico del Analizador de Eventos. (Gómez & Gómez, 2008)

### 3.5. Métodos de análisis:

En esta sección se explicaran algunos métodos de análisis usados para levantar las principales pérdidas, además los métodos de análisis de causa raíz incorporados dentro del procedimiento diseñado.

#### 3.5.1. Pareto

El diagrama de Pareto es una gráfica para organizar datos de forma que estos queden en orden descendente, de izquierda a derecha y separados por barras. Constituye un sencillo y descriptivo método de análisis que permite discriminar entre las causas más importantes de un problema (las pocas y vitales) y las causas que no son lo son tanto (las muchas y triviales) (Juran, 1975) (Otto Lorenz & Pareto, 2014).

Las ventajas del diagrama de Pareto pueden resumirse en:

- Permite centrarse en los aspectos cuya mejora tendrá más impacto, optimizando por tanto los esfuerzos.
- Proporciona una visión simple y rápida de la importancia relativa de los problemas.
- Ayuda a evitar que se empeoren algunas causas al tratar de solucionar otras y ser resueltas.
- Su visión gráfica del análisis es fácil de comprender y estimula al equipo para continuar con la mejora

### 3.5.2. Análisis de criticidad

La criticidad es un indicador proporcional al riesgo, que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, permitiendo direccionar el esfuerzo y los recursos a las áreas donde es más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad y administrar el riesgo.

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer jerarquías entre:

- Instalaciones
- Sistemas
- Equipos
- Elementos de un equipo

De acuerdo con su impacto total del negocio, obtenido del producto de la frecuencia de fallas por la severidad de su ocurrencia, sumándole sus efectos en la población, daños al personal, impacto ambiental, pérdida de producción y daños en la instalación.

Además, apoya la toma de decisiones para administrar esfuerzos en la gestión de mantenimiento, ejecución de proyectos de mejora, rediseños con base en el impacto en la confiabilidad actual y en los riesgos. (Romero Carranza, 2013)

Para determinar la criticidad de una unidad o equipo se utiliza una matriz de frecuencia por consecuencia de la falla. En un eje se representa la frecuencia de fallas y en otro los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá la unidad o equipo en estudio si le ocurre una falla.

La matriz tiene un código de colores que permite identificar la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el Valor de Criticidad de la instalación, sistema o equipo bajo análisis. La Ilustración 3-8 muestra el ejemplo de una matriz de criticidad.



Ilustración 3-8: Matriz de criticidad.



La criticidad se determina cuantitativamente, multiplicando la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por la suma de las consecuencias de la misma, estableciendo rasgos de valores para homologar los criterios de evaluación.

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

*Ecuación 3-18: Criticidad.*

### 3.5.3. Método de los 5 Por qué:

Este es un método simple, que se basa en analizar sistemáticamente las posibles causas de un problema, a través de preguntarse al menos cinco veces: “por qué”. Se considera que al no encontrar una nueva respuesta, después de varias veces, es lo que permite identificar la verdadera causa raíz del problema (Toyada & Ohno, 1988). Por ejemplo:

Falla: Eje de Compresor quebrado:

Se comienza desde acá hacia atrás:

1. ¿**Por qué** se quebró el eje?  
R: Porque se trabó el compresor.
2. ¿**Por qué** se trabó el compresor?  
Porque se agripó el rodamiento lado motriz.
3. ¿**Por qué** se agripó el rodamiento lado motriz?  
R: Porque estaba sin lubricación.
4. ¿**Por qué** estaba sin Lubricación?  
R: Porque no aparece en ninguna pauta de mantenimiento que se debe lubricar.
5. ¿**Por qué** la tarea lubricar no aparece en ninguna pauta de mantención?  
R: Porque no se consideró la lubricación dentro del plan.

Solución: Incorporar la lubricación de los rodamientos del eje del compresor y otros componentes en las pautas de mantención de 500 Hrs. La incorporación al sistema Ellipse la realiza la Unidad de Planificación y la ejecuta el equipo de Lubricadores de la planta.

### 3.5.4. Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa, también llamado diagrama de causa-efecto, consiste en una representación gráfica sencilla (parecido a una espina de pescado) en la que una línea en el plano horizontal, representa el problema a analizar. (Ishikawa, 1986)

A este eje horizontal van llegando líneas oblicuas que representan las causas valoradas como tales por las personas participantes en el análisis del problema. A su vez, cada una de estas líneas que representa una posible causa, recibe otras líneas perpendiculares que representan las causas secundarias. Cada grupo formado por una posible causa



primaria y las causas secundarias que se le relacionan forman un grupo de causas con naturaleza común. Este tipo de herramienta permite un análisis participativo mediante grupos de mejora o grupos de análisis, que mediante técnicas como por ejemplo la lluvia de ideas, sesiones de creatividad, y otras, facilita un resultado óptimo en el entendimiento de las causas que originan un problema, con lo que puede ser posible la solución del mismo.

La primera parte de este diagrama muestra todas aquellos posibles factores que puedan estar originando alguno de los problemas que se tiene, la segunda fase, luego de la lluvia de ideas, es la ponderación o valoración de estos factores a fin de centralizarse específicamente sobre los problemas principales, esta ponderación puede realizarse ya sea por la experiencia de quienes participan o por investigaciones in situ que sustenten el valor asignado.

#### **3.5.4.1. Metodología**

Para empezar, se decide cual característica de calidad, salida o efecto se quiere examinar y continuar con los siguientes pasos:

1. Dibujar un diagrama en blanco, como el que se observa en la Ilustración 3-9
2. Escribir de forma breve el problema o defecto (falla).
3. Escribir las categorías que se consideren apropiadas al problema: máquina, mano de obra, materiales, métodos, son los más comunes y aplican en muchos procesos, sin embargo estos dependerán del tipo de falla y la naturaleza de ella.
4. Realizar una lluvia de ideas (brainstorming) de posibles causas y relacionarlas a cada categoría (familia de causas).
5. Preguntarse ¿por qué? a cada causa, no más de dos o tres veces.
6. Empezar por enfocar tus variaciones en las causas seleccionadas como fácil de implementar, bajo costo y de alto impacto.

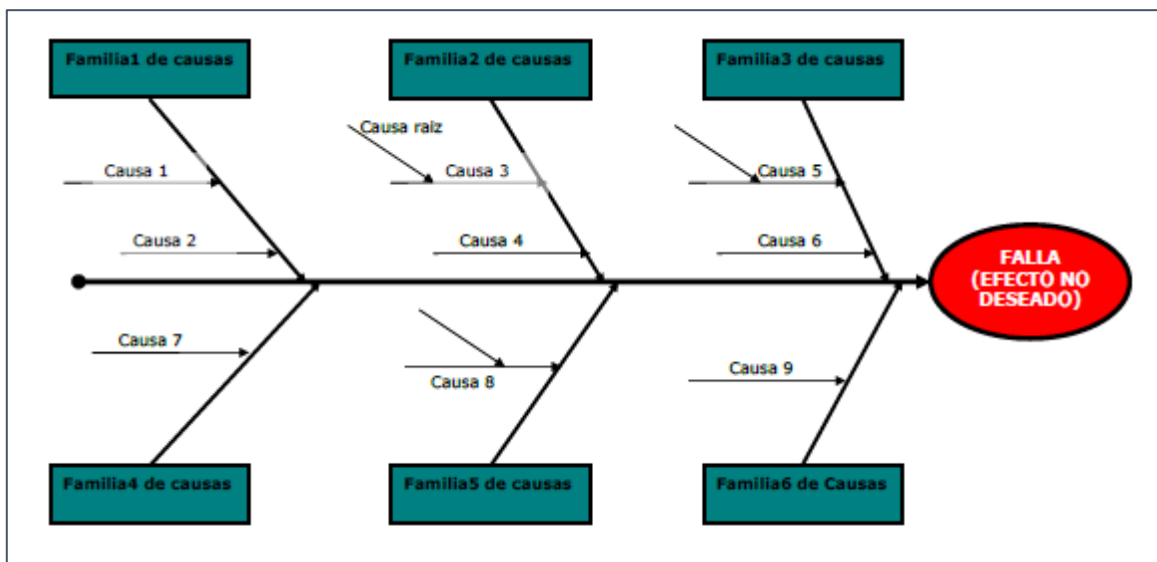


Ilustración 3-9: Diagrama causa-efecto o Ishikawa.

### 3.5.5. Diagrama lógico de falla (árbol de falla)

Método de mayor profundidad para el análisis que llega hasta la determinación de las denominadas “causas ocultas” o deficiencias latentes de los sistemas de administración. (Ericson, 1999)

#### 3.5.5.1. Metodología

Este método se puede aplicar siguiendo los pasos, detallados a continuación:

1. En el cuadro superior de la Ilustración 3-10, describir en 2 ó 3 palabras el evento o falla.
2. En el nivel inmediatamente inferior, describir todos los modos de falla posibles que pudieron haber ocasionado la avería.
3. Luego, descartar aquellos modos que debido a la naturaleza de la falla o al contexto operacional del momento no aplican y continuar un nivel más hacia abajo con las causas directas, enmarcando todas las causas que pudieron ocasionar los modos de falla seleccionados, a este nivel se le llama Hipótesis.
4. Descartar, a continuación, aquellas hipótesis que a juicio del equipo o por los antecedentes emanados de la investigación no son aplicables al tipo de evento y continuar un nivel más, para determinar ahora las causas directas, debido al componente o elemento físico.
5. Determinar en el siguiente nivel inferior las causas intermedias o factores contribuyentes, debido a la intervención humana o elemento humano.

6. En el último nivel, determinar las causas indirectas o las deficiencias latentes del sistema, que ayudaron a que el humano se comportara de la manera que lo hizo y el elemento físico fallara como falló. Este es el nivel final y en base a las causas aquí determinadas deberán generarse planes de acción, con responsables y fechas bien acotadas.

Los diversos niveles de las causas del árbol lógico de falla se representan dentro de cajas de colores, por convención y para facilitar su interpretación, una vez que todos se hayan familiarizado con la metodología.

En la siguiente Ilustración se observa un típico árbol lógico de fallas, con sus respectivas cajas de colores y todos sus niveles de análisis.

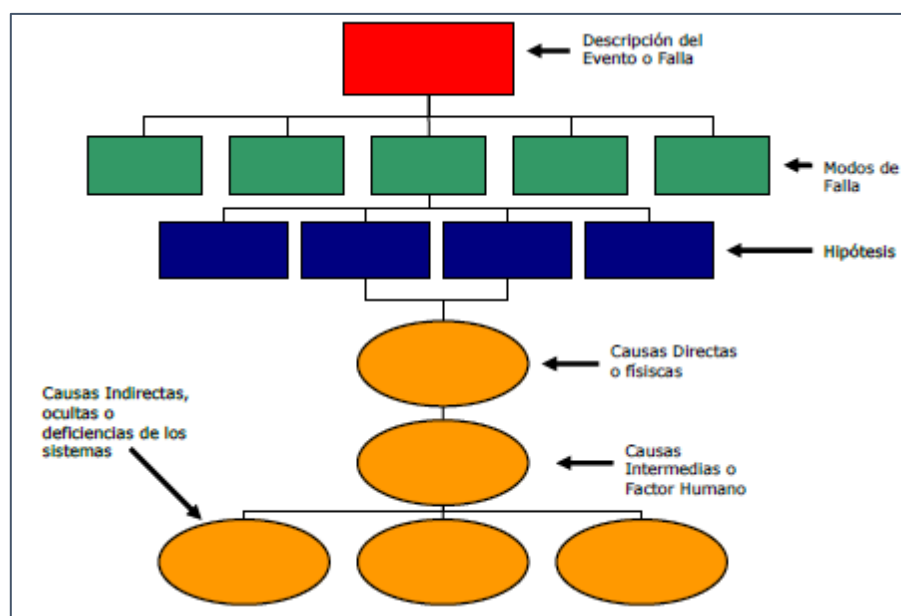
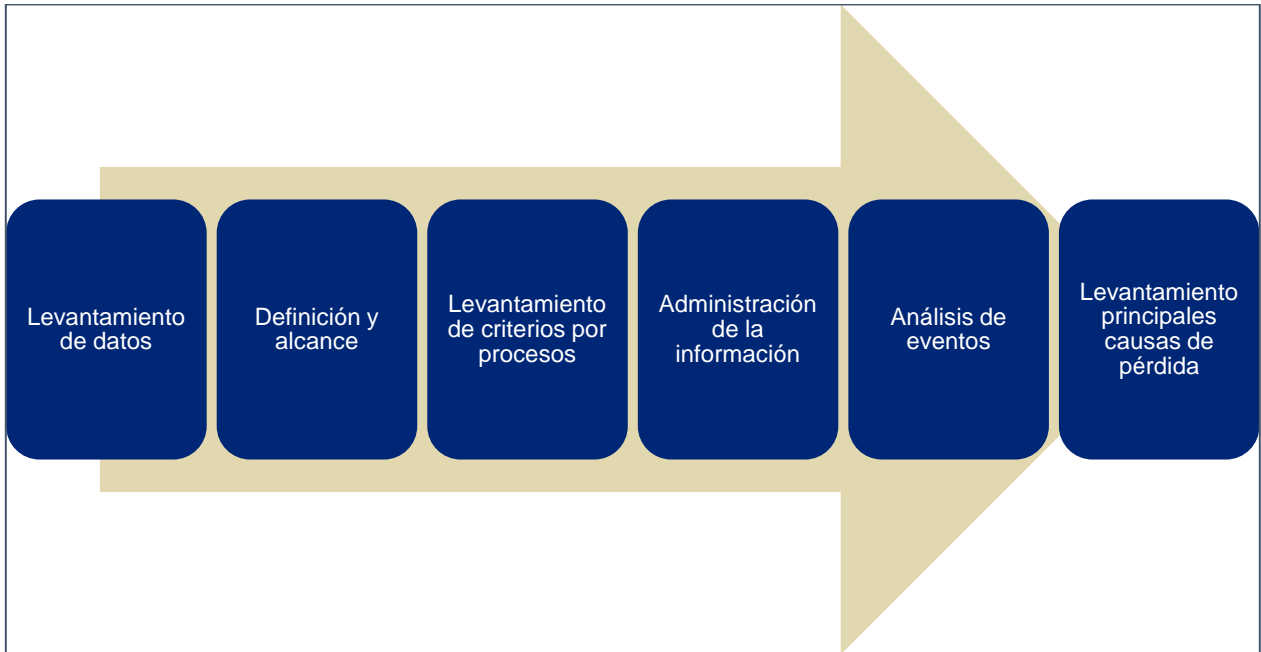


Ilustración 3-10: Diagrama lógico de falla o árbol de falla.

## 4. Metodología

A continuación se detalla la metodología utilizada en la realización del trabajo, las principales etapas ejecutadas se indican en la Ilustración 4-1:



*Ilustración 4-1: Principales etapas para el desarrollo del trabajo.*

La primera etapa consiste en introducirse en el sistema de control de pérdidas de la operación Los Bronces, básicamente entender el papel del área de Risk en el control de pérdidas, de las interacciones con otras áreas para el manejo de la información, de la forma de registrar, analizar y consolidar las pérdidas, a quién, cómo y cada cuánto se le presentan los resultados obtenidos. Además se estudia los roles tanto del área de Analyze and Report como del área de Improve, para planificar cómo trabajar en conjunto.

Luego se examina la información almacenada sobre pérdidas operacionales de los años 2015 y 2016, tanto desde bases de datos como de fichas de pérdidas elaboradas por los procesos.

La base de datos cuenta con una descripción de los eventos no deseados que ocasionan la pérdida, el área afectada, la fecha y la duración del incidente, con su respectivo impacto en toneladas de producción o extracción y en dinero. Junto a esto, gráficos con frecuencia de eventos por procesos, acumulados al año y por mes, sumado a gráficos del impacto mensual y anual en cobre fino y en dólares.

La base de datos se modifica, añadiendo una columna de causas, de modo de agrupar eventos, que según las descripciones, sean originados por causas similares. Además se cambia el foco de los análisis, apuntando a los procesos responsables de la pérdida y no a los procesos afectados, de modo de entender posteriormente, dónde se debe hacer gestión para disminuir las pérdidas.

Para esto es necesario levantar el mapa de procesos de la operación, que incluye a cada una de las áreas que participan en la cadena de valor de la producción de concentrado de cobre, concentrado de molibdeno y en la producción de cátodos de cobre. De modo de poder distribuir las pérdidas de acuerdo al proceso responsable del incidente. Este mapa de procesos es validado por la Gerencia de Business Improvement and Risk, la Superintendencia de Gestión Mina y Control de Gestión Planta. A continuación se muestra el detalle:

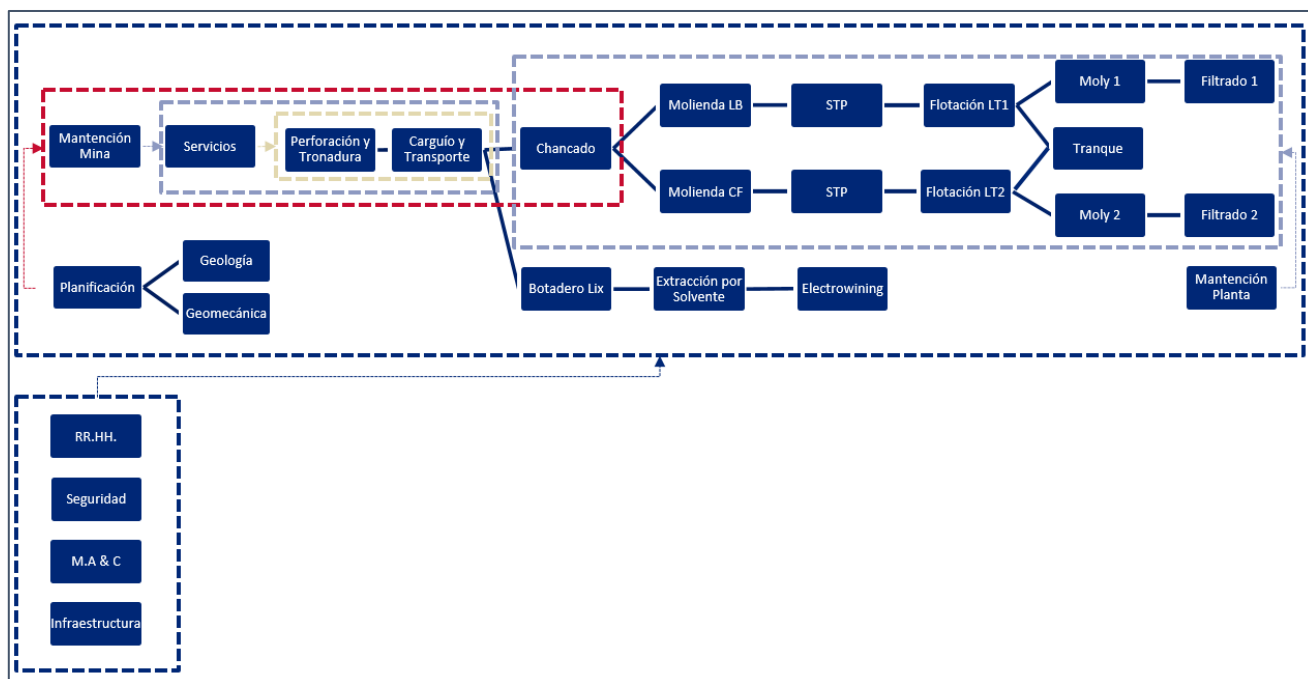


Ilustración 4-2: Flujo de procesos mina-planta.

A la base de datos además, se le incorporan funciones adicionales, como información sobre equipos afectados, pérdidas de toneladas de molibdeno fino, gráficos de Pareto a las causas de pérdida por proceso, leyes y recuperaciones diaria para tener mayor exactitud de las pérdidas de cobre fino y análisis más profundos, para determinar las causas de pérdida más relevantes en la operación.

De forma paralela al levantamiento de datos, se trabaja buscando en la literatura información sobre pérdidas operacionales y sistemas de control de pérdidas en otras faenas, con el objetivo de definir lo que es una pérdida operacional, determinar el alcance del control de pérdidas operacionales y comenzar a idear un procedimiento para la gestión de pérdidas operacionales.

Posteriormente se desarrolla la etapa del levantamiento de criterios por procesos, donde el área de Risk se reúne con Gestión Mina y Gestión Planta para acordar los criterios que definen a una pérdida operacional, para luego validarlos en reuniones con los procesos más importantes de la mina, además de levantar las principales pérdidas del respectivo

proceso, contrastarlo con la información almacenada y finalmente esclarecer algunas de las principales causas de pérdidas.

Luego se capacita al área de Risk en los software Dispatch para mina-chancado y SEP (Sistema de Eventos de Planta) para planta, de modo de poder incluir estos programas en el procedimiento. En el caso de Dispatch, para extraer los eventos de pérdidas, que cumplan con los criterios definidos, directamente desde las bases de datos, que genera la plataforma Powerview. Mientras que para el caso del SEP, usarlo como mecanismo de verificación y complementación de la información recibida sobre los eventos de pérdidas de las plantas.

Una vez realizado todos los pasos anteriores, se comienza a diseñar un procedimiento de control de pérdidas, de modo de establecer las etapas que se deben seguir cuando ocurre un evento no deseado y establecer responsables para cada una de estas etapas.

Posteriormente se realiza el análisis de los eventos, de modo de establecer las áreas que tienen mayor impacto en las pérdidas, las que ocasionan más incidentes y la valorización en millones dólares que significan las pérdidas. Además determinar cuáles son las causas de pérdida más relevantes por proceso, analizando impacto por evento, frecuencia e impacto acumulado.

Finalmente se levantan las principales causas de pérdida de la operación, tanto para producción de cobre fino como para extracción material desde la mina, de acuerdo análisis de: Pareto, impacto por evento, impacto por hora, frecuencia, impacto acumulado y criticidad. Estas causas se presentan al área de Improve para que, dependiendo de los lineamientos de la operación y disponibilidad de recursos, traten algunas de estas causas de pérdida como desafíos, en algunos de sus mecanismos de optimización.

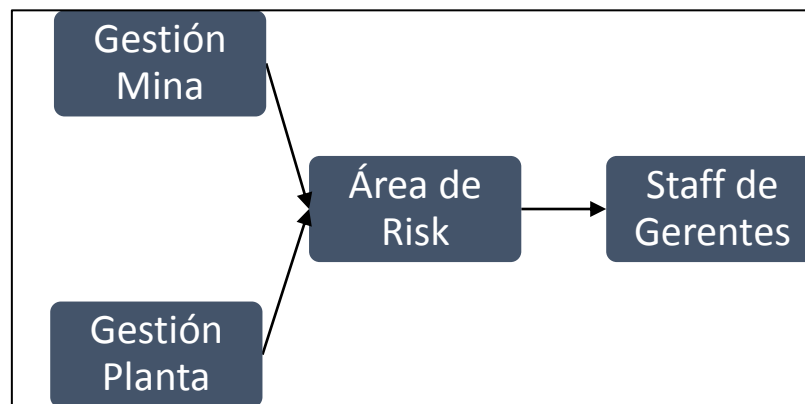
## 5. Sistema de gestión de pérdidas operacionales: Caso base

El objetivo de este capítulo es describir cómo funcionaba el sistema de gestión de pérdidas en el área de Risk hasta antes de las modificaciones que se le hicieron. En el próximo capítulo se explicará las mejoras que se implementaron al sistema de gestión de pérdidas operacionales y sus resultados.

### 5.1. Operación del sistema

El área de Risk recibía mes a mes la información de las pérdidas operacionales desde Gestión Mina y Gestión Planta, con el objetivo de consolidar la información, presentarla al Gerente de Business Improvement and Risk y éste a su vez al staff de gerentes.

A continuación se muestra el diagrama de la gestión de la información sobre las pérdidas operacionales del caso base:



*Ilustración 5-1: Esquema de la interacción entre las áreas en el sistema de control de pérdidas operacionales: caso base.*

La información sobre las pérdidas operacionales era recepcionada por el área de Risk mensualmente, como un resumen de eventos desde Gestión Mina y como fichas de control de pérdida desde Gestión Planta.

Las fichas de registro de pérdidas operacionales incluían descripción, fecha, hora y duración del evento, impacto de la pérdida, análisis causa-raíz y planes de acción correctivos con sus respectivos responsables. Mientras que los resúmenes de eventos por parte de la mina, incluían la descripción, fecha, duración e impacto.

Esta información se consolidaba en una base de datos, para generar gráficos de frecuencia de eventos por procesos, acumulados al año y por mes, sumado a gráficos del impacto mensual y anual en cobre fino y en dólares, para posteriormente presentarla al staff de gerentes. En el capítulo de Anexos A en la sección 11.1.2 se muestra un ejemplo de lo que se presentaba al staff de gerentes.

## 5.2. Análisis del sistema

Se realiza un análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas) para poder tener un completo diagnóstico sobre la situación del sistema de gestión de pérdidas. Esto permitirá entender mejor la problemática a tratar y facilitará la toma de decisiones al momento de plantear mejoras en el futuro.

Debilidades:

- Falta de un procedimiento estandarizado para gestionar las pérdidas.
- Falta de un mecanismo para contrastar la información recibida desde mina y planta.
- No se mide el costo en dinero de las pérdidas asociadas a la extracción de material.

Fortalezas:

- Sistema sencillo.
- Conciencia general de los trabajadores de la operación, sobre la importancia de evitar y controlar las pérdidas de producción o extracción.
- La información se presenta directamente al Vicepresidente de Operaciones y al staff de gerentes.
- Abierto a modificaciones.

Amenazas:

- Críticas por parte de los procesos por la determinación de los criterios para definir una pérdida, pues los expertos se sienten excluidos de esta decisión.
- No contar con la información si es que Gestión Mina o gestión planta no la envían. Ya que el área de Risk carece de autonomía para la obtención de datos.
- El sistema de control de pérdidas no está trabajando junto a las Gerencias de RRHH, Seguridad, Infraestructura y Medio Ambiente, siendo que un evento no deseado dentro de estas áreas puede tener un impacto tremendo para la operación.

Oportunidades:

- Mejorar los análisis de las causas de pérdidas
- Lograr mayor visibilidad de las causas de pérdidas
- Aprovechar los sistemas de adquisición de información como Dispatch y SEP
- Generar mejoras sobre las principales causas de pérdidas.
- Aprovechar para incluir más datos en la presentación al staff gerentes.



## **6. Mejoramiento del sistema de gestión de las pérdidas operacionales**

Este capítulo es sobre las modificaciones que se implementan para mejorar el sistema de gestión de pérdidas operacionales en Los Bronces y el resultado obtenido de los análisis a las causas de pérdidas por proceso y globales en la operación.

El mejoramiento del sistema de gestión de pérdidas operacionales en la mina Los Bronces incluye la ejecución de varios puntos:

- Definición clara de lo que es una pérdida operacional, de cuando se debe reportar y del alcance del control de pérdidas dentro de la operación.
- Definición de los criterios que se deben cumplir para que un evento se considere como pérdida operacional y validación de estos criterios por parte de los procesos.
- Diseño e implementación de un procedimiento de control de pérdidas estandarizado para mina y planta, donde se define la metodología de trabajo que se debe seguir ante un evento de pérdida y la responsabilidad que debe cumplir cada área para el correcto control de pérdidas.
- Mayor autonomía en la adquisición de la información por parte del área de Risk.
- Fortalecimiento de los canales de información, de modo que exista comunicación efectiva entre las áreas de: Risk, Gestión Mina y Gestión Planta, Confiabilidad, Analyze and Report, Improve y los procesos de mina y de planta.
- Análisis más profundos, que permitan levantar las causas de pérdida más relevantes de cada uno de los procesos y seleccionar las causas más críticas para la operación.
- Incorporación de información adicional en la presentación al staff de gerentes. Tal como se muestra en los Anexos A sección 11.1.3
- Mayor visibilidad de las pérdidas, ya que además de la presentación mensual del control de la pérdidas al staff de gerentes, la información ingresará mensualmente como input al área de Analyze and Report para ayudar a sus análisis y trimestralmente como input al área de Improve, para considerar como posible desafío a mejorar.

A continuación se muestra un mapa esquemático de cómo interactúan las áreas luego de la implementación de las mejoras al sistema de gestión de pérdidas:

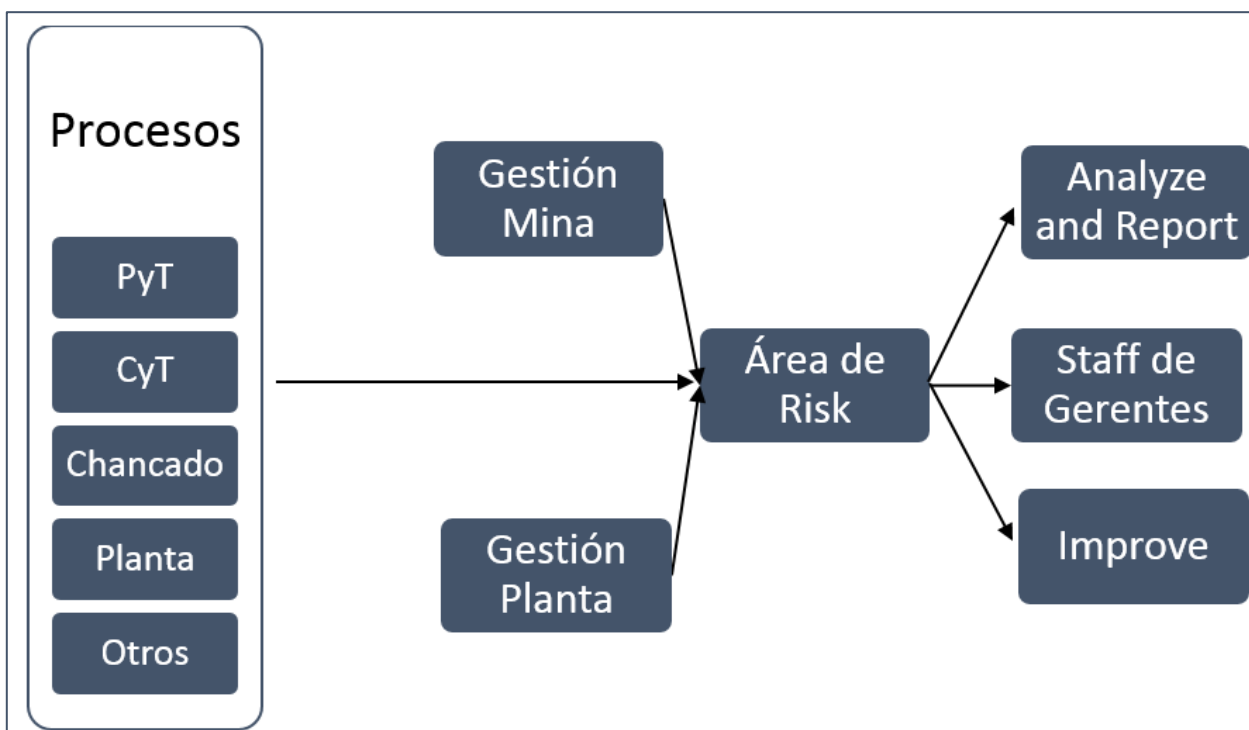


Ilustración 6-1: Esquema de la interacción entre las áreas en el sistema mejorado de control de pérdidas operacionales.

Este esquema muestra la incorporación de los procesos en el sistema de control de pérdidas, participando en la validación tanto de los criterios como de las principales pérdidas por área, además en la realización de los análisis causa-raíz y de los planes de acción. También se agrega el área de Analyze and Report, para contrastar la información y colaborar en sus análisis mes a mes y el área de Improve para levantar trimestralmente las causas de pérdidas más relevantes de la operación, permitiendo abordar estas causas y posibilitar el desarrollo de mejoras.

Ahora se detalla las mejoras al sistema de gestión de pérdidas operacionales:

## 6.1. Definición y alcance

### 6.1.1. Definición de pérdida operacional

Se define como pérdida operacional a todo evento no deseado, que impacta significativamente a la producción de cobre fino o a la extracción de mineral, debido a una detención operacional o una mantención no programada.

- En la mina se considera pérdida operacional cuando el evento supera a alguno de los siguientes criterios:
  - 15 [kton] de mineral alimentado a chancado (más del 10% de la producción).
  - 45 [kton] de material extraído (más del 10% de la extracción).
- En planta se considera pérdida operacional cuando un evento supera a alguno de los siguientes criterios:
  - 15 [kton] de mineral procesado (más del 10% de la producción).

- 75 [ton] de cobre fino (más del 10% de la producción).

Según el modelo de tiempo de Anglo American Copper explicado en el capítulo 3.2, las pérdidas operacionales son causadas debido a detenciones operacionales no programadas, por mantenciones no programadas o como consecuencia de otro proceso aguas arriba o aguas abajo, siempre que éste no haya sido registrado con antelación, de modo, de que no exista duplicidad en las pérdidas.

Tiempo total calendario (T000)										
Tiempo controlable (T100)								Tiempo no controlable (N000)		
Tiempo físicamente disponible (T200)						Tiempo no disponible (D000)				
Tiempo operativo (T300)			Tiempo perdido (L000)							
Operación efectiva / primaria (P200)	Operación no productiva / secundaria (P100)	Demora (L300)	Reserva (L200)	Consecuencia (L100)	Detención operacional programada (D400)	Detención operacional no programada (D300)	Mantenimiento programada (D200)	Mantenimiento no programada (D100)	Evento no controlable (N200)	No programado para producir (N100)

Ilustración 6-2: Pérdidas operacionales en el modelo de tiempo AAC.

### 6.1.2. Alcance del control de pérdidas operacionales

El control de pérdidas será aplicable a todos los eventos no deseados, que cumplan con los criterios anteriormente descritos, ocurridos en los procesos de mina, en la planta de molienda Los Bronces, en la planta de molienda Confluencia, en la planta de flotación Las Tórtolas o en la planta de cátodos San Francisco.



Ilustración 6-3: Limite de batería.

En una segunda etapa de implementación se espera incluir eventos que afecten a RRHH, seguridad, infraestructura y medio ambiente

Se tendrá autonomía en la obtención de datos tanto en mina como en chancado, pues se tiene acceso a la información que entrega Dispatch, en el caso de planta no se tendrá independencia en la adquisición de los datos, pues la información sobre las pérdidas es recibida desde Gestión Planta, ya que el cálculo de las pérdidas de producción no es tan directo como en mina, sin embargo, para contrastar y complementar esta información, se accede al software SEP (Sistema de Eventos en Planta) y se revisan los eventos más importantes del mes.

Se levantarán las principales causas de pérdidas de la operación al área de Improve, de modo que les sirva de input para futuras optimizaciones de procesos.

## 6.2. Levantamiento de criterios

Se desarrollaron reuniones con Gestión Mina y Gestión Planta para acordar los criterios para definir una pérdida operacional, luego se plantearon estos criterios a los superintendentes de los procesos más importantes de la mina, de modo de validarlos o modificarlos de ser necesario. Además, se utilizaron las reuniones con los procesos para: mostrar las propuestas de mejoras del sistema de gestión de pérdidas operacionales, revisar y validar las principales causas de pérdidas por proceso, acordar canales de información ante la necesidad de más detalles sobre algún evento y recibir recomendaciones de parte de los expertos para mejorar este sistema.

Los criterios acordados y validados para definir a un evento no deseado como pérdida operacional son los mostrados a continuación en la Tabla 6-1. Se establecieron así, por corresponder al diez por ciento de la extracción o producción diaria:

*Tabla 6-1: Criterios sobre pérdidas operacionales.*

<b>Criterios</b>	
<b>Mina</b>	Mayor a 15 [kton] de mineral alimentado
	Mayor a 45 [kton] de material extraído
<b>Planta</b>	Mayor a 15 [kton] de mineral procesado
<b>Flotación</b>	Mayor a 75 [ton] de cobre fino

### 6.2.1. Gestión Mina

El objetivo de esta reunión fue mostrar la propuesta de trabajo que realiza el área de Risk sobre el control de pérdidas a la Superintendencia de Gestión Mina, debido a que se trabajará estrechamente junto a esta área. Por lo tanto, se definieron los roles de cada área (que serán especificados en el procedimiento de la sección 6.3.) y se acordaron capacitaciones en el software Dispatch, de modo de facilitar la extracción de información de los eventos desde esta herramienta.

La reunión fue fundamental para acordar los criterios que definen una pérdida operacional en mina. En cuanto a la alimentación a chancado se validó la propuesta de registrar un evento como pérdida cuando se superan las 15 [kton] de mineral alimentado (equivalente

aproximadamente al 10% de la producción diaria). Para la extracción se modificó el criterio existente, cambiando el parámetro de 25 [kton] a 45 [kton], debido a que esta última cifra corresponde al 10% de la extracción diaria de la mina. Estos criterios son los que se presentaron a los superintendentes de los procesos de mina, para que fueran validados por ellos.

### **6.2.2. Reuniones con los procesos de mina**

Se desarrollaron reuniones con el Superintendente de Perforación y Tronadura, con el Superintendente de Operaciones Mina y con el Superintendente de Servicios Estándares, con el objetivo de mostrar la nueva propuesta sobre el control de pérdidas, validar los criterios para definir una pérdida operacional, mostrar las principales pérdidas que se tenían registradas en estos procesos entre el 2016 y primer semestre del 2017 y contrastarlo con lo que ellos ven en terreno, llegar a un segundo nivel de detalle en las causas más importantes y acordar canales de información.

Los superintendentes aprobaron las mejoras que se querían implementar en cuanto al control de pérdidas operacionales y validaron los criterios que se les presentó para definir una pérdida operacional en mina.

En cuanto a las principales pérdidas en perforación y tronadura, el superintendente concordó con la información que se le mostró, siendo la generación de bolones, los retrasos post tronadura y tener a una pala sin material tronado las pérdidas más relevantes causadas por perforación y tronadura.

Además indicó que más del 80% de las pérdidas en PyT, se deben al retraso en la entrega de plataformas de perforación por parte de los equipos de servicio. Estos retrasos causan:

- Una demora en la perforación, lo que se traduce en tener que poner más equipos de perforación de los que se tenía planificado previamente, teniendo un menor uso de cada una de las perforadoras (una maquina en vez de hacer los 13.000 metros mensuales que está capacitada, sólo realiza 8.000 metros por mes) y por consiguiente un mayor gasto en perforación y tronadura al tener equipos adicionales trabajando.
- Si el retraso es demasiado, puede llegar a significar que se atrase una tronadura en uno o dos días, dejando palas sin material tronado disponible.

En el caso de carguío y transporte, el Superintendente de Operación Mina estuvo de acuerdo con la información que se le mostró sobre las pérdidas en estos procesos, siendo para él, los traslados de palas, los atollos de tuberías HDPE, las fallas operacionales y detenciones por daño en los neumáticos los temas más relevantes. Sin embargo, recomendó que las pérdidas sobre clima se establecieran aparte, debido a que le quita peso a otros eventos (clima adverso es el evento preponderante en CyT y no se puede hacer mucho más de lo que se hace actualmente para controlarlo).

El Superintendente de Servicios Mina coincidió en que las principales pérdidas asociadas a su proceso son punto de trabajo obstruido, derrames de material, cortes de energía,

pistas bloqueadas y corte del cable que alimenta de energía a la pala. Además, indicó que actualmente se está trabajando con la metodología Rapid Result para disminuir las pérdidas asociadas a pista bloqueada.

En cuanto a los canales de información, para recibir más detalles si ocurre un evento ocasionado por la Superintendencia de Perforación y Tronadura hay que comunicarse con el Superintendente de PyT o con el Jefe de Perforación; si el responsable es la Superintendencia de Operaciones Mina hay que comunicarse con el Jefe de Mantenimiento Transporte, con el Jefe de Mantenimiento Carguío, con el Superintendente de Planificación Mantenimiento Mina o con el Jefe de Capacitación según corresponda; y si el responsable es la Superintendencia de Servicios Mina hay que comunicarse con el Superintendente Servicios Estándares LB o con el Jefe de Caminos.

### **6.2.3. Gestión Planta**

El objetivo de esta reunión fue presentar la propuesta de trabajo que realiza el área de Risk sobre el control de pérdidas a Gestión Planta, debido a que se trabajará en forma conjunta con esta área. Por lo tanto, se definieron los roles de cada área, lo cuales serán especificados en el procedimiento de la sección 6.3. Además se acordaron capacitaciones en el software SEP, de modo de facilitar la extracción de información de los eventos ocurridos en la planta.

La reunión fue primordial para acordar los criterios que definen una pérdida operacional en planta. En cuanto a las etapas anteriores a la flotación, se validó la propuesta de registrar un evento como pérdida cuando se superan las 15 [kton] de mineral procesado (tonelaje equivalente aproximadamente al 10% de la producción diaria). Para el caso de los eventos no deseados ocurridos desde la flotación hasta el filtrado se acordó definirlos como pérdida operacional cuando el impacto es mayor a 75 toneladas de cobre fino. Estos criterios son validados por gestión planta en los procesos de planta.

Gestión Planta se comprometió a entregar un resumen con todos los eventos de pérdida del mes, los primeros días del mes siguiente de ocurridos los hechos y entregar las respectivas fichas de registro de control de pérdidas por cada evento ocurrido.

### **6.3. Procedimiento del control de pérdidas en la operación Los Bronces**

El objetivo de establecer un procedimiento para la operación Los Bronces, es poder regular, estandarizar y controlar los análisis y reportabilidad de pérdidas operacionales y facilitar el seguimiento e implementación de las medidas de control que se definan a través de un proceso eficiente y efectivo de análisis de causa raíz de la falla.

La información sobre las pérdidas operacionales tendrá diferentes procedimientos de recepción y gestión, dependiendo si es que la pérdida se origina dentro de un proceso de mina-chancado, o si es que ocurre en un proceso de planta. Sin embargo mina y planta tendrán una gestión de la información estandarizada, siguiendo las mismas etapas, solo

cambiando, en algunos casos, el responsable de realizar una actividad determinada. Los pasos a seguir son:



Ilustración 6-4: Resumen de las etapas del procedimiento de control de pérdidas.

La gestión sobre las pérdidas operacionales por parte del área de Risk, se llevará a cabo mes a mes, para los eventos no deseados ocurridos tanto en mina como en planta, con el objetivo de mostrar los resultados a los gerentes y al Vicepresidente de Operaciones en la reunión de staff.

En esta reunión se mostrará la cantidad de eventos causado por las distintas áreas, el impacto de las pérdidas en toneladas de cobre fino, su cuantificación en millones de dólares y el detalle sobre las cinco principales causas de pérdida en mina y en planta acumuladas al año. En el capítulo de Anexos A en la sección 11.1.3 se muestra la presentación mejorada sobre el control de pérdidas al staff de gerentes.

A continuación, se detallan los procedimientos del control de pérdidas operacionales para mina-chancado y para planta:

### 6.3.1. Procedimiento mina-chancado:

#### 6.3.1.1. Descripción de la actividad

En el caso de que ocurra un evento no deseado en la mina o chancado, que involucre una pérdida mayor al 10% de la producción o de la extracción diaria, se denominará evento nivel 1 y el área de Risk extraerá mensualmente la información del evento desde Dispatch. Mayores detalles del suceso se obtendrán del reporte Resumen Turno del día en que ocurrió el evento (En Anexos A sección 11.1.4 se explica lo que contiene un reporte Resumen Turno). Para obtener un mayor nivel de detalle de la causa que originó la pérdida, el área de Risk se comunicará con Gestión Mina quienes a su vez solicitarán esta información a un encargado (previamente determinado) de la superintendencia responsable de la pérdida.

En mina y chancado se confeccionará una Ficha de Control de Pérdidas y su respectivo análisis de causa raíz de la falla, para

- Aquellas fallas individuales que ocasionen una pérdida de producción superior al 25% (40 [kton] de mineral alimentado a chancado o 115 [kton] de material extraído).
- Aquellas fallas repetitivas, por misma causa, cuando en su conjunto ocasionen una pérdida de producción superior al 25%.

Si ocurre un pérdida operacional en la mina o chancado cuyo impacto sea mayor a un 25% de producción o extracción diaria, la Superintendencia de Gestión Mina, es la que determinará el tonelaje asociado a la pérdida y será la responsable de asegurar que la



superintendencia a cargo de la pérdida realice la Ficha Registro Control de Pérdida y el respectivo análisis de causa raíz (Ishikawa).

Cuando se genere un evento no deseado en la mina o chancado cuya consecuencia sea una pérdida mayor a un 50% de producción o extracción diaria, se considerará como evento nivel 3. En este caso, la Superintendencia de Gestión Mina, cuantificará el impacto de la pérdida y velará por la realización, por parte de la superintendencia responsable de la pérdida, de la Ficha Registro Control de Pérdida y el respectivo análisis de causa raíz (árbol de falla).

Para cada nivel existe una metodología de análisis, que se indica en la siguiente tabla:

*Tabla 6-2: Matriz criterio aplicación de análisis causa-raíz en mina-chancado.*

<b>Nivel</b>	<b>Impacto de pérdida</b>	<b>Análisis requerido</b>	<b>Quien participa</b>	<b>Responsable</b>
1	Entre 10% - 25% producción diaria.	Análisis básico.	Área Risk, Gestión Mina y encargado de la superintendencia responsable.	Superintendencia de Gestión Mina
2	Entre 25% - 50% producción diaria.	Análisis causa raíz: Método de causa –efecto.	Equipo conformado por supervisores de las áreas involucradas en la pérdida.	Superintendencia de Gestión Mina
3	Mayor a 50% producción diaria	Análisis de causa raíz estructurado: Método árbol de falla.	Equipo multidisciplinario, participación eventual de especialistas externos	Superintendencia de Gestión Mina

Los eventos de nivel 1 son analizados por personal del área de Risk en primer caso, y por la Superintendencia de Gestión Mina con el apoyo del encargado de la superintendencia responsable de la pérdida, en caso de necesitar mayor nivel detalle de la causa.

Los eventos de nivel 2 y 3 requerirán un estudio más detallado, por lo que será necesario el análisis de la causa raíz por parte de la superintendencia responsable de la pérdida.

### **6.3.1.2. Metodología**

Las etapas para el análisis y seguimiento del control de pérdidas se describen a continuación:

- I. Los criterios para determinar si un evento corresponde a una pérdida operacional, fueron definidos entre el área de Risk y la Superintendencia de Gestión Mina, los cuales fueron validados por los distintos procesos de mina.



- II. La Superintendencia de Gestión Mina reporta la ocurrencia de un evento nivel 2 o 3, evalúa la pérdida de producción, de acuerdo al tonelaje tratado, leyes, recuperación y duración de detención. Paralelamente, avisa a la superintendencia del proceso responsable de la pérdida, quien tiene un plazo máximo de 72 horas, de ocurrido el evento nivel 2 o 3, para realizar el análisis causa raíz y generar la Ficha Registro Control de Pérdida (Anexos A sección 11.1.1).
- III. La superintendencia responsable de la pérdida define los planes de acción correctivos y la Superintendencia de Gestión Mina subirá la información al sistema Gestión de Planes de Acción de Operaciones (GPAO) con las medidas de control que se definan, en un plazo no mayor a 24 horas de recibida la ficha.
- IV. Los primeros días del mes Gestión Mina enviará las fichas de los eventos de nivel 2 y 3 al área de Risk de la Gerencia de Business Improvement.
- V. El área de Risk se encargará de extraer mensualmente desde el sistema Dispatch la información sobre eventos que cumplan los criterios de una pérdida operacional. (Nivel 1, 2 y 3)
- VI. Para los eventos de nivel 1, el área de Risk buscará en el Resumen Turno correspondiente al día que ocurrió la pérdida operacional, datos adicionales del evento. En caso de requerir más información se la solicitará al área de Despacho y si es que fuera necesario un mayor nivel de detalle de la causa, el área de Gestión Mina solicitará esta información a un encargado de la superintendencia responsable de la pérdida, previamente designado
- VII. Por otro lado, el área de Risk calculará el impacto del evento en la alimentación a chancado o en la extracción de la mina, usando las horas de duración del evento que fueron indicadas por el software Dispatch y multiplicándolas por el rendimiento de los equipos (palas eléctricas, palas hidráulicas, cargadores frontales, camiones o chancadores) previstos en el short-term. Luego con la información de las recuperaciones y las leyes diarias extraídas desde planta (Reporte Control Diario Planta), se obtiene el impacto en toneladas de cobre fino de la pérdida operacional.
- VIII. Posteriormente el área de Risk contrastará y complementará la información sobre las pérdidas, utilizando los antecedentes del reporte de Control Diario Mina desarrollados por el área de Analyze and Report.
- IX. Una vez verificada la información, el área de Risk cuantificará la pérdida en millones de dólares, para ello se extraerá la información del precio del cobre y de los costos operacionales promedios del mes, desde área de finanzas del Informe Mensual de Operaciones (IMO).
- X. Finalmente el área de Risk realizará un informe con las pérdidas mensuales y acumuladas al año, realizando un completo análisis sobre la distribución e impacto de las pérdidas por área, la valorización en cobre fino y millones de dólares de las pérdidas por mes y el levantamiento de las principales pérdidas en mina y en planta. Este informe será presentado al staff de gerentes de la operación.

### 6.3.1.3. Diagrama de flujo

A continuación, se muestra un esquema que indica las etapas que componen el procedimiento de control de pérdidas mina-chancado, la secuencia de las tareas, la temporalidad de acción y las áreas responsables de cada etapa:

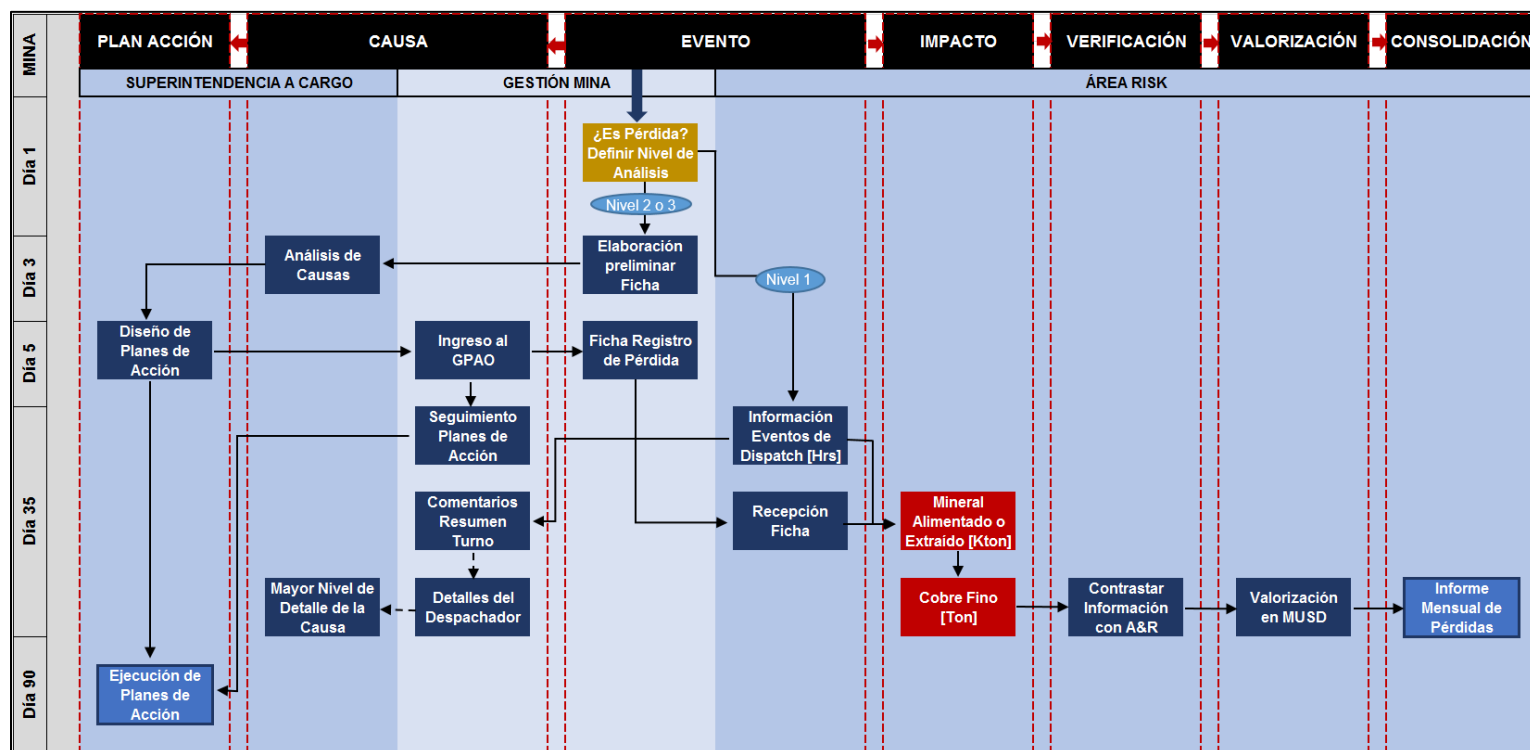


Ilustración 6-5: Esquema del procedimiento de control de pérdidas mina-chancado.

### 6.3.1.4. Responsabilidades

Para la adecuada coordinación entre las áreas que participan en el proceso, se establecen las siguientes responsabilidades:

#### a. Superintendencia del proceso responsable del evento:

- En el caso de los eventos nivel 2 o 3, realiza el análisis causa-raíz.
- Diseña los planes de acción correctivos.
- Envía la ficha de análisis de falla a Gestión Mina, junto a los planes de acción generados.
- Ejecuta planes de acción acordados.
- Cierra evento en GPAO en los plazos definidos para cada caso.
- En el caso de los eventos nivel 1, la superintendencia debe determinar a un encargado para, en caso de requerirse, dé más detalles sobre las causas de alguna pérdida operacional a Gestión Mina

## **b. Superintendencia de Gestión Mina**

- Determina nivel del evento, si es nivel 2 o 3, genera una Ficha de Registro Control de Pérdidas Operacionales con la descripción del evento, las causas y el impacto.
- Se encarga de supervisar que la superintendencia de proceso responsable del evento complete la ficha con el análisis causa-raíz de la pérdida y los planes de acción a realizar.
- Sube los planes de acción definidos en las Fichas de Control de Pérdida y los análisis de falla al sistema GPAO
- Hace seguimiento y control para el oportuno cierre de los planes de acción subidos al sistema GPAO
- Envía Fichas terminadas, a principio del mes siguiente en que ocurrieron los eventos, al área de Risk.
- Envía diariamente un reporte Resumen Turno al área de Risk, para poder revisar el detalle de los principales incidentes del día
- Para los eventos de nivel 1, se deberá determinar un ingeniero de despacho que facilite detalles sobre los eventos del mes al área de Risk, en caso de ser requerido.

## **c. Área de Risk**

- Extrae mensualmente (a principio de mes) desde Dispatch, la información (descripción y horas de duración) sobre eventos que cumplen con los criterios de una pérdida operacional.
- Recepciona las Fichas Registro Control de Pérdida desde Gestión Mina.
- Calcula el impacto de toneladas perdidas por evento, en la alimentación de mineral a chancado o en la extracción de material desde mina, de acuerdo a los rendimientos de los equipos (palas, camiones, chancadores) previstos por la Superintendencia de Planificación Corto Plazo en el short-term. También calcula las pérdidas en cobre fino, utilizando las leyes y recuperaciones diarias que entrega la planta.
- Contrasta y complementa la información sobre las pérdidas, con lo que indica el área de Analyze and Report en el reporte Control Diario Mina.
- Valoriza las pérdidas en millones de dólares, con la información promedio mensual del precio del cobre y los costos de operación, extraída desde el área de Finanzas (IMO).
- Analiza los resultados obtenidos sobre las pérdidas, presentando un informe mensual al staff de gerentes, donde se muestra la frecuencia de eventos y su impacto por área; la valorización mensual y acumulada al año en cobre fino y millones de dólares; y el detalle sobre las principales pérdidas en mina del año.

### **6.3.2. Procedimiento planta:**

#### **6.3.2.1. Descripción de la actividad**

En planta se confeccionará una Ficha de Control de Pérdidas y su respectivo análisis de

causa raíz de la falla, para

- Aquellas fallas individuales que ocasionen una pérdida de producción superior al 10% (15 [kton] de mineral procesado o 75 [ton] de cobre fino).
- Aquellas fallas repetitivas, por misma causa, cuando en su conjunto ocasionen una pérdida de producción superior al 10%.

Cada vez que se genere un evento no deseado en las operaciones cuya consecuencia sea la pérdida de cobre o molibdeno fino, el área de Confiabilidad determinará el impacto de la pérdida de producción, dicho impacto se deberá clasificar en uno de los 3 niveles establecidos.

Para cada nivel existe una metodología de análisis, que se indica en Tabla 6-3:

*Tabla 6-3: Matriz criterio aplicación de análisis causa-raíz en planta.*

Nivel	Impacto de pérdida	Análisis requerido	Quien participa	Responsable
1	Entre 10% - 25% producción diaria.	Análisis básico: Método de los 5 ¿por qué?	Mantenedores y/u Operadores, supervisores del área	Área de Confiabilidad
2	Entre 25-50% producción diaria.	Análisis causa raíz: Método de causa – efecto.	Equipo conformado por supervisores, planificadores, operadores, mantenedores y asesor de confiabilidad	Área de Confiabilidad
3	Mayor a 50% producción diaria.	Análisis de causa raíz estructurado Método árbol de falla.	Equipo multidisciplinario, participación eventual de especialistas externos	Área de Confiabilidad

### 6.3.2.2. Metodología

Las etapas para el análisis y seguimiento del control de pérdidas se describen a continuación:

- I. Los criterios para determinar si un evento corresponde a una pérdida operacional, fueron definidos entre el área de Risk y Control de Gestión Planta y validado por los procesos de planta.
- II. El área de Confiabilidad, con participación de la superintendencia del proceso afectado por la detención, tiene un plazo máximo de 72 horas, de ocurrido el evento, para realizar el análisis correspondiente y generar la Ficha Registro Control de Pérdida (Anexos A). Paralelamente Control de Procesos evalúa la pérdida de producción, de acuerdo a tonelaje tratado, leyes, recuperación y duración de detención o restricción de tonelaje.
- III. El área de Confiabilidad y la superintendencia involucrada en el evento, acuerdan el nivel de análisis para las fallas (1, 2 y 3 de acuerdo a la Tabla 6-3) y definen el

plazo estimado máximo para desarrollar la ficha definitiva.

- IV. La ficha con el análisis de falla definitivo y los planes de acción correctivos, será enviada al superintendente del proceso afectado, para su revisión y aprobación. Posteriormente será distribuido a los interesados y a Control de Gestión Planta.
- V. Control de Gestión Planta subirá la información al sistema GPAO con los planes de acción que se definan, en un plazo no mayor a 24 horas de recibida la ficha y será el responsable por el seguimiento de las medidas de control y del cierre respectivo en el GPAO.
- VI. Control de Gestión Planta enviará mensualmente (a principio de mes) al área de Risk las fichas y un resumen sobre el detalle de las pérdidas operacionales en la planta del mes anterior.
- VII. El área de Risk contrastará y verificará la información sobre las pérdidas, utilizando el software SEP (Sistema de Eventos en Planta)
- VIII. El área de Risk cuantificará las pérdidas en millones de dólares, de acuerdo al último valor de ganancia marginal oficial que se disponga desde el área de Finanzas (IMO).
- IX. Finalmente el área de Risk deberá realizar un informe con las pérdidas mensuales y acumuladas al año, realizando un completo análisis sobre la distribución e impacto de las pérdidas por área, la valorización en cobre fino y millones de dólares de las pérdidas por mes y levantar las principales pérdidas en mina y en planta. Este informe será presentado al staff de gerentes de la operación.

### **6.3.2.3. Diagrama de Flujo**

A continuación, se muestra un esquema que indica las etapas que componen el procedimiento de control de pérdidas planta, la secuencia de las tareas, la temporalidad de acción y las áreas responsables de cada etapa:

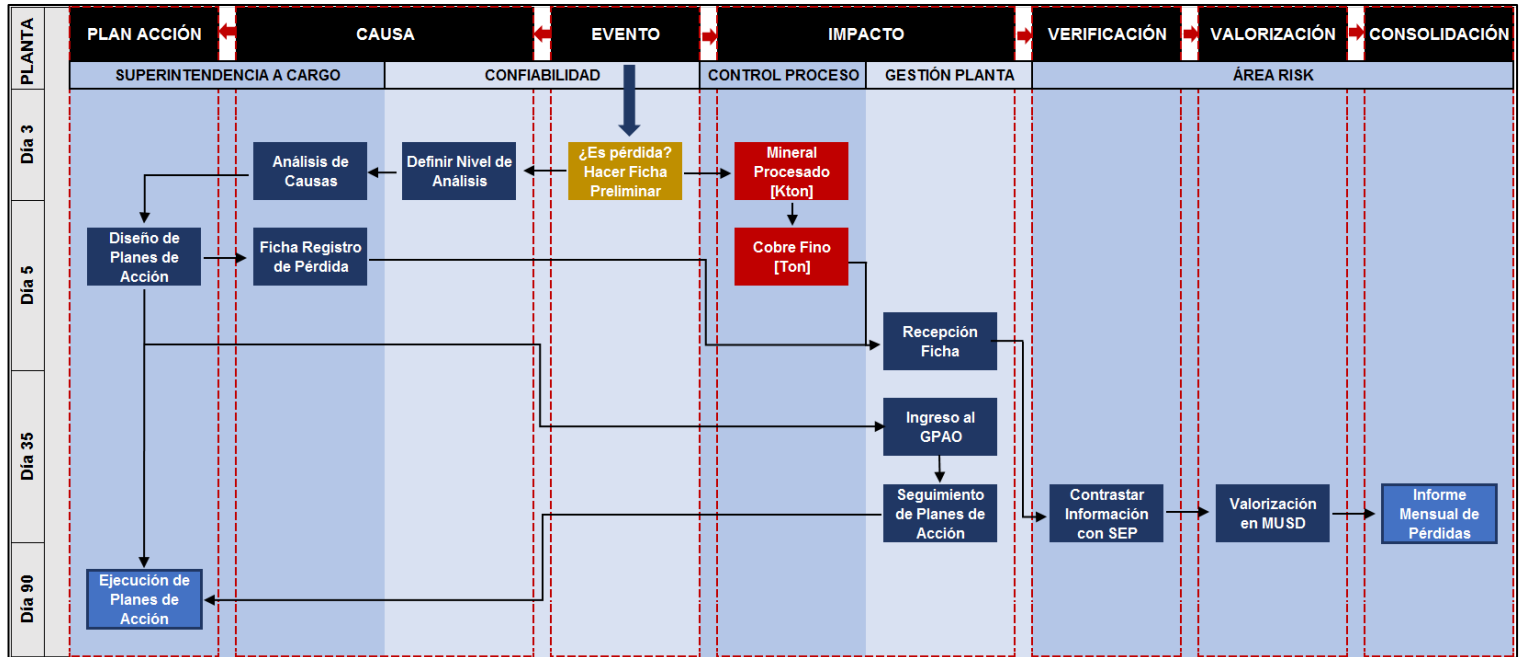


Ilustración 6-6: Esquema procedimiento de control de pérdidas planta.

#### 6.3.2.4. Responsabilidades

Para la adecuada coordinación entre las áreas que participan en el proceso, se establecen las siguientes responsabilidades:

##### a. Superintendencia del proceso responsable del evento:

- Determina el nivel de impacto de la pérdida de producción (inmediata).
- Realiza el análisis de falla correspondiente al nivel de impacto de la pérdida y el envío de la Ficha de Registro Control de Pérdida definitiva.
- Incentiva la participación activa en la investigación del evento.
- Diseña planes de acción.
- Ejecuta planes de acción acordados.
- Cierra evento en GPAO en los plazos definidos para cada caso.
- Acuerda con el área de Confiabilidad el nivel del análisis de falla.

##### b. Confiabilidad

- Junto con la superintendencia responsable de la pérdida deciden el nivel de análisis que se debe realizar, dependiendo del impacto del evento.
- Confecciona y envía Ficha Registro Control de Pérdida preliminar al área de Control de Gestión. (Máximo 72 horas de ocurrido el evento).
- Incentiva la capacitación y aplicación de las herramientas para realizar los análisis de falla.
- Incentiva el desarrollo del proceso de investigación oportuno de las pérdidas por

- fallas y apoya a las superintendencias de los procesos.
- Controla y hace seguimiento al envío oportuno de la ficha definitiva con el análisis de falla al área de Control de Gestión, conforme a los plazos establecidos.
- Apoya en implementación de planes de acción, en caso de ser necesario.

#### **c. Control de Procesos**

- Valoriza pérdida de producción del evento en toneladas de mineral y cobre fino.
- Participa en la investigación y análisis de falla, de ser necesario

#### **d. Control de Gestión Planta**

- Sube los planes de acción definidos en las Fichas de Control de Pérdida y los análisis de falla al sistema GPAO.
- Envía las fichas definitivas y resumen de pérdidas al área de Risk, a principio del mes siguiente a que ocurrieron los eventos.
- Hace seguimiento y control para el oportuno cierre de los planes de acción subidos al sistema GPAO

#### **e. Área de Risk**

- Recepciona las Fichas Registro Control de Pérdida y el resumen mensual de las pérdidas desde Control de Gestión Planta.
- Verifica la información sobre las pérdidas entregada por Control de Gestión Planta, usando el software SEP, de modo de complementar y contrastar los datos.
- Valoriza las pérdidas en millones de dólares, con la información promedio mensual del precio del cobre y los costos de operación, extraída desde Finanzas (IMO).
- Analiza los resultados obtenidos sobre las pérdidas, realizando una presentación mensual al staff de gerentes, donde se muestra la frecuencia de eventos y su impacto por área; la valorización mensual y acumulada al año en cobre fino y millones de dólares; y el detalle sobre las principales pérdidas en planta del año.

### **6.4. Análisis de las pérdidas operacionales**

Luego de haber definido lo que es una pérdida operacional, de haber acordado y validado los criterios con los procesos y de haber creado un procedimiento para el control y gestión de las pérdidas operacionales, el siguiente paso es realizar un completo análisis de los incidentes producidos entre enero del 2016 y agosto del 2017 con el objetivo de poder levantar las principales causas de pérdida de la operación Los Bronces.

### 6.4.1. Análisis global sobre las pérdidas operacionales

La primera parte del análisis consiste en distribuir los eventos según la superintendencia responsable de la pérdida operacional, diferenciándose de la forma que se analizaba en el caso base, que solo se enfocaba en el impacto, los 347 eventos ocurrido entre enero del 2016 y agosto del 2017 se dividen de la siguiente manera:

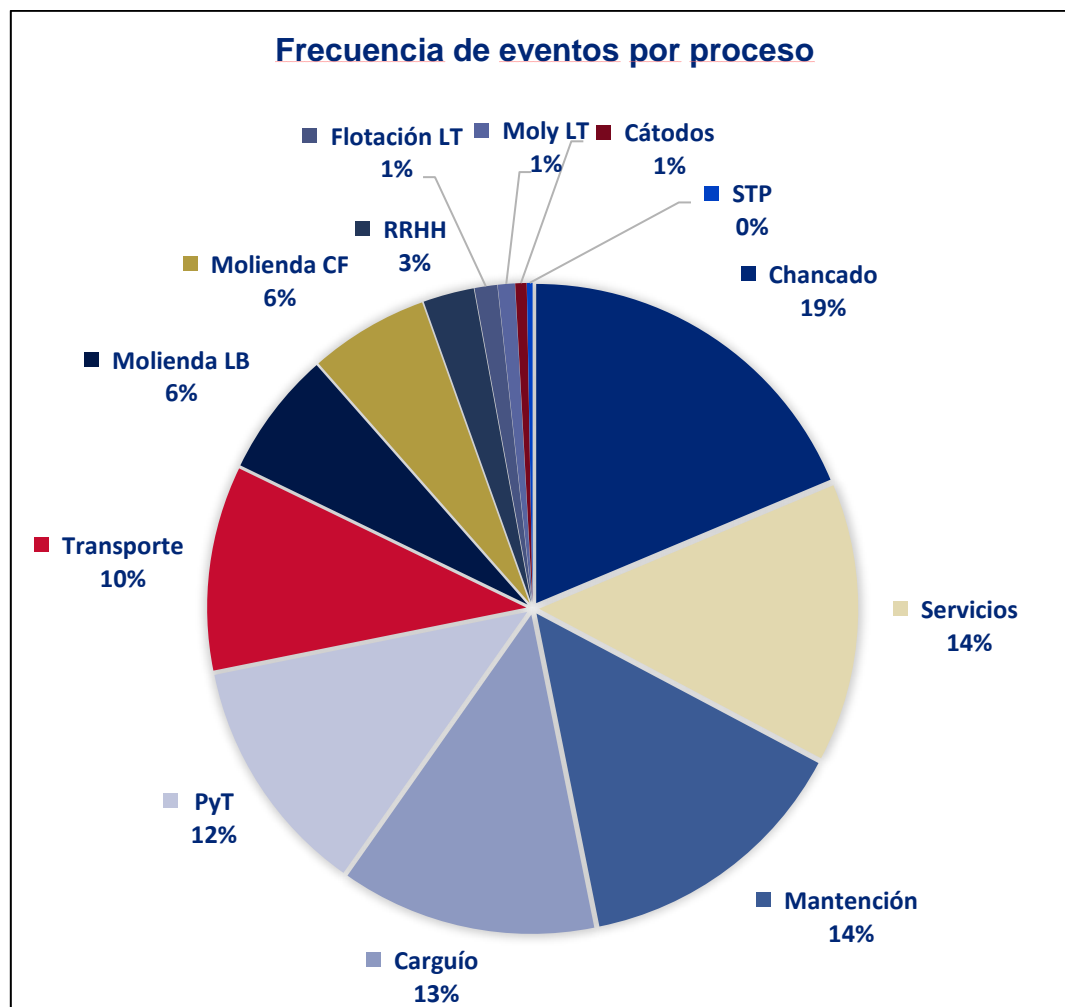


Gráfico 6-1: Frecuencia de eventos por proceso entre enero 2016 - agosto 2017.

El Gráfico 6-1 muestra que entre los eventos causados por chancado, mantención mina, servicios mina, carguío, perforación y tronadura corresponden aproximadamente al setenta y cinco por ciento de la cantidad total de eventos de la operación. Siendo los incidentes en chancado los más recurrentes, con 65 casos. Más adelante se detallarán los incidentes correspondientes a cada proceso.

Posteriormente, se analiza el impacto en cobre fino de las pérdidas dentro de cada proceso. Es importante destacar que los eventos asociados a pérdidas de extracción de material no se consideran como pérdidas de cobre fino, pues la mina cuenta con un sobrecarguío del 25%, por lo que se asume que cuando ocurre un evento que afecta a la extracción, este no impactará directamente la alimentación a chancado, pues se



compensará extrayendo más de otro sector. En el capítulo 8 se aborda en más detalle este tema.

La distribución del impacto de las pérdidas en cobre fino por proceso, queda configurada de la siguiente manera:

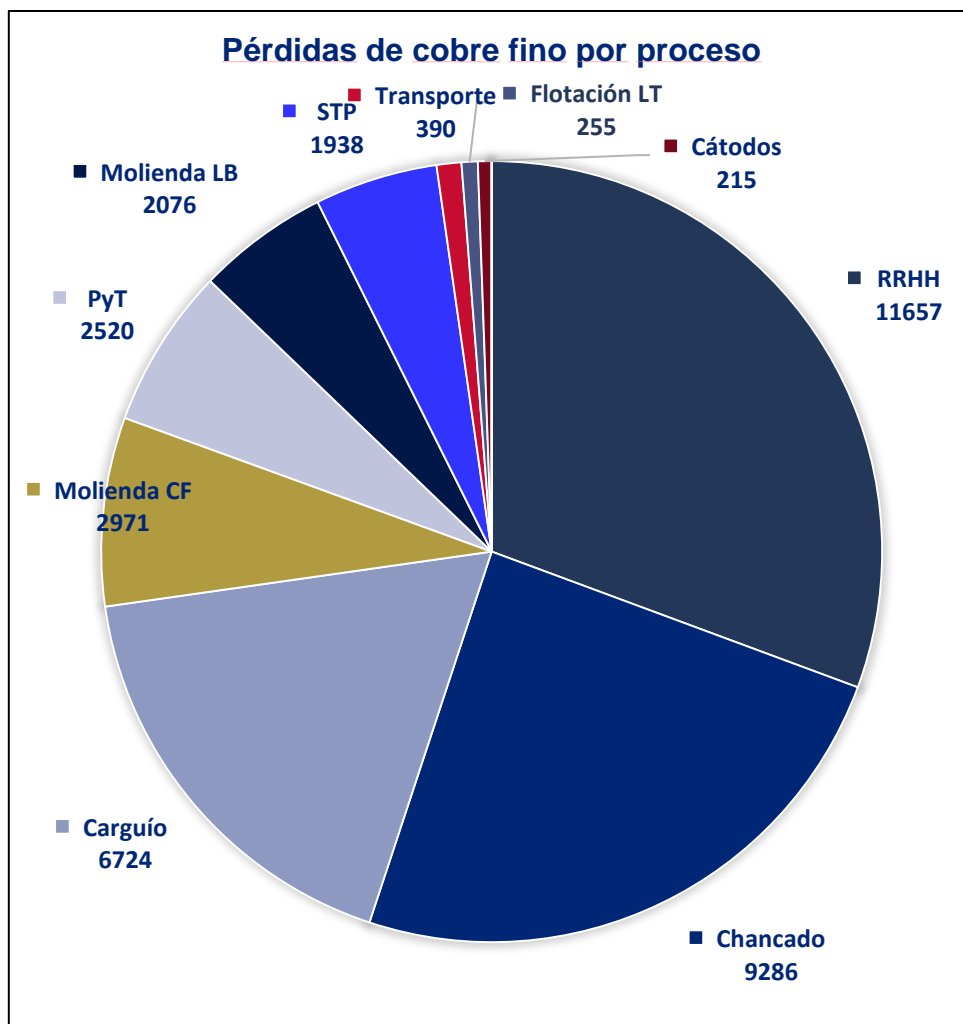


Gráfico 6-2: Impacto de las pérdidas en toneladas de cobre fino por proceso (enero 2016 - agosto 2017).

El Gráfico 6-2 muestra que entre recursos humanos, chancado y carguío originan más de la mitad de la pérdidas de cobre fino de la operación, sin embargo es importante destacar que el año 2016 fue un año particular, pues se rompió una racha de más de 10 años sin movilizaciones de trabajadores, con dos huelgas de larga duración, una en septiembre de personal interno de Anglo American y otra en noviembre de contratistas. Exceptuando estos eventos, se tienen pérdidas totales de:

Tabla 6-4: Detalle pérdidas mina y planta.

Gerencia	Pérdida en cobre fino [ton]	Pérdida [MUS\$]
Mina	11.934	\$23,40
Planta	14.450	\$30,01
<b>Total</b>	<b>26.384</b>	<b>\$53,41</b>

Y en cuanto a pérdidas operacionales asociadas a la extracción de material en la mina se tiene:

Tabla 6-5: Pérdidas asociadas a material extraído.

Pérdidas	Extracción [kton]
Mina	14.957

La ocurrencia de eventos no deseados por proceso, se distribuyen mensualmente de la siguiente forma:

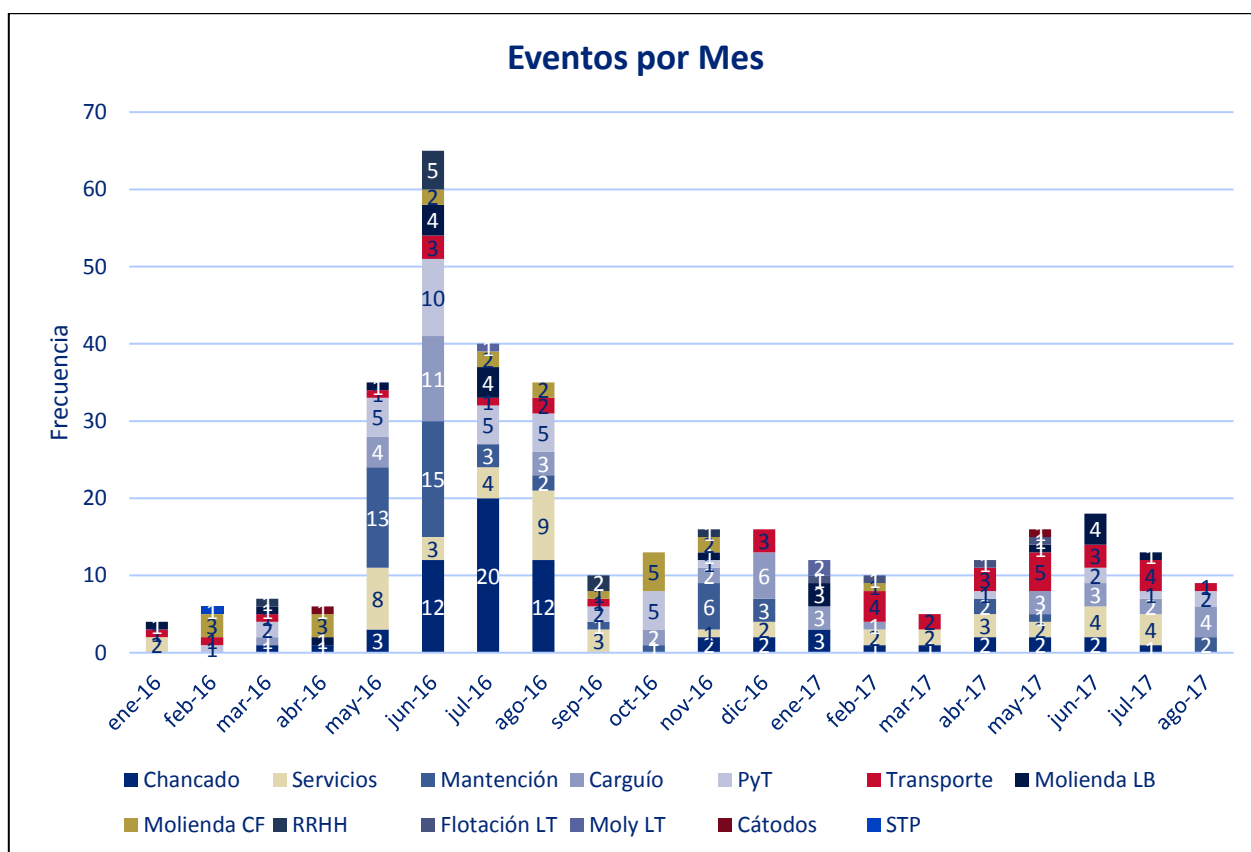


Gráfico 6-3: Distribución mensual de incidentes por proceso.

El Gráfico 6-3 muestra que en los meses de invierno (mayo, junio, julio y agosto) es cuando ocurren la mayor cantidad de incidentes de pérdidas, esto debido principalmente al clima adverso y sus consecuencias secundarias como congelamiento de equipos, reparación de pistas, atollos en los chancadores, entre otros.

El Gráfico 6-4 es coherente con el gráfico anterior, mostrando que el mayor impacto de las pérdidas ocurre en los meses de invierno. Sin embargo, también se observan otros tres meses con altas pérdidas: febrero, septiembre y noviembre, esto se debe a eventos excepcionales. En febrero del 2016 se produjo la rotura del mineroducto que conecta la planta Los Bronces con la planta Las Tórtolas 1, produciéndose un derrame de mineral al río Colina, por lo que se detuvo la producción de la planta Los Bronces por varios días para reparar la tubería, limpiar el río y realizar la respectiva investigación. Las elevadas pérdidas de cobre fino en septiembre y noviembre se explican por las movilizaciones de trabajadores internos y contratistas respectivamente, donde la última se prolongó por más de 2 semanas.

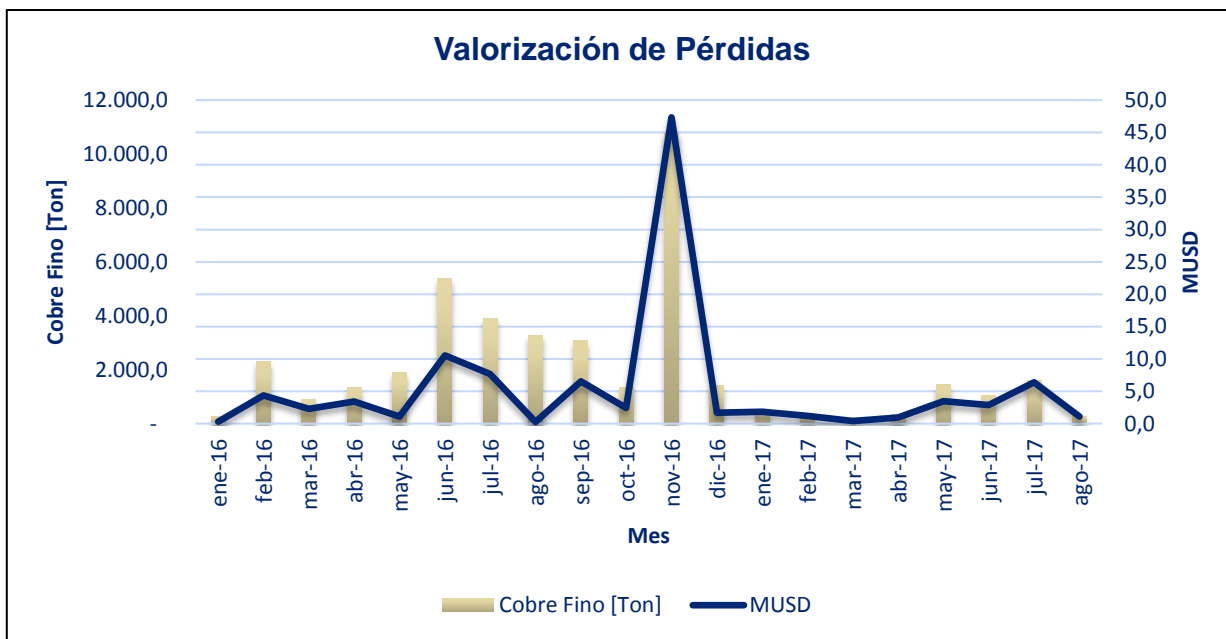


Gráfico 6-4: Valorización de pérdidas en cobre fino y MUSD.

## 6.4.2. Pérdidas operacionales por proceso

Tras estos análisis, se estudia las causas de pérdidas por proceso, de manera de establecer su frecuencia e impacto, tanto para las pérdidas de cobre fino como para el material extraído. Para ello se genera un diagrama de Pareto por cada proceso, debido a que constituye un método de análisis sencillo y descriptivo, que permite discriminar entre las causas más importantes de un problema (las pocas y vitales) y las que lo son menos (las muchas y triviales).

### 6.4.2.1. Pérdidas operacionales en perforación y tronadura

El Gráfico 6-5 muestra las causas de pérdida de cobre fino, originados por la Superintendencia de Perforación y Tronadura, que afectan la alimentación a chancado. La línea amarilla indica el porcentaje acumulado que influyen las pérdidas dentro del proceso, de modo, que es necesario enfocarse en las que están dentro del 80% más relevantes. En este caso la “generación de bolones” y las “esperas por tronadura”.

Los bolones afectan de dos formas, en el caso que se detecten en la mina se deberá realizar tronadura secundaria, significando más tiempo y costos a que si se hubiese realizado la tronadura bien la primera vez. En el caso, que los bolones no se detecten en la mina, llegaran a chancado, lo que provoca que se retrase la alimentación al chancador, debido al uso del martillo picarroca para disminuir el tamaño de los bolones.

Por otro lado, antes y durante cada tronadura se establece un radio de seguridad para proteger a equipos y personas, se considera una pérdida operacional por “espera por tronadura” cuando se deja de alimentar mineral a chancado, debido a que los equipos que fueron trasladados, se demoran más de lo planificado en volver a iniciar su operación.

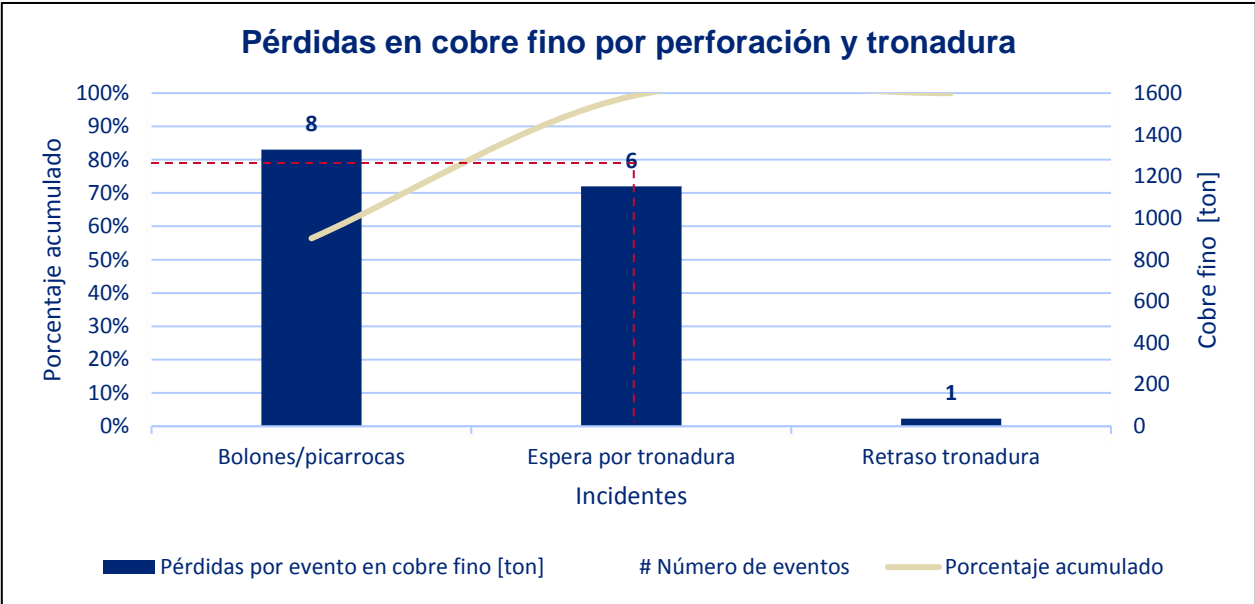


Gráfico 6-5: Pérdidas operacionales por perforación y tronadura en cobre fino.

En cuanto a las pérdidas operacionales en la extracción, a cargo de la Superintendencia de Perforación y Tronadura, la principal causa de pérdida, con casi el 90% del impacto, es dejar a las palas sin material tronado. Esto debido al retraso o suspensiones de tronaduras, por el retraso en las entregas de plataformas de perforación por parte de la Superintendencia de Servicios Mina.

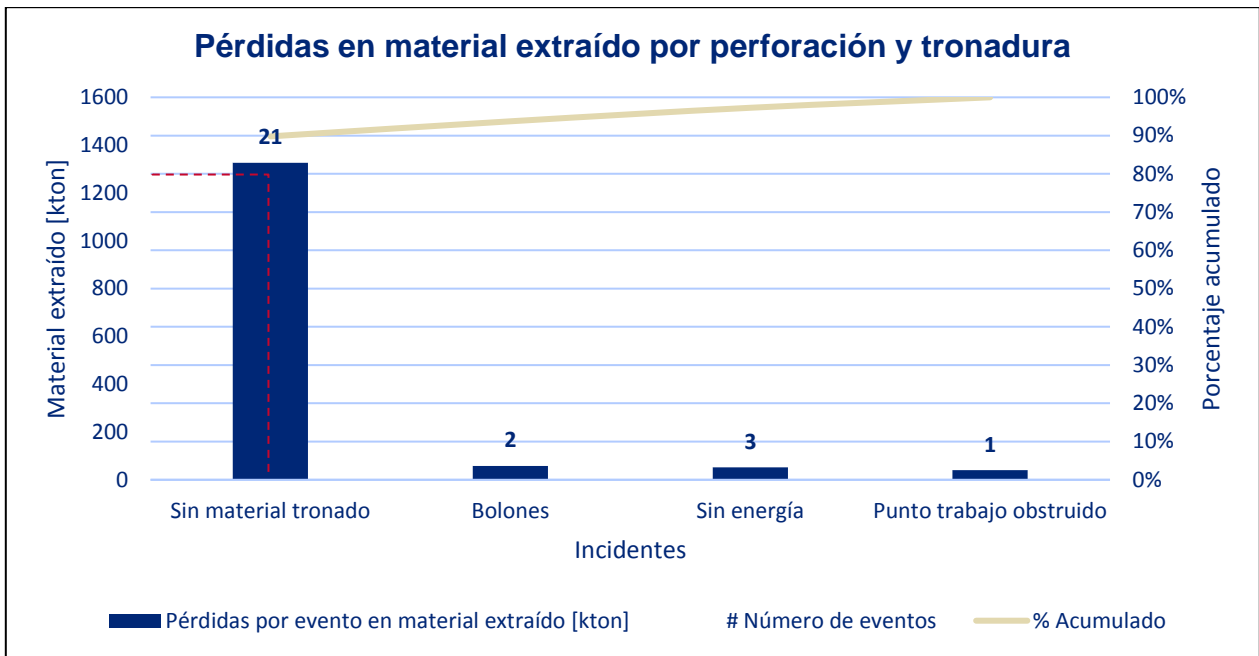


Gráfico 6-6: Pérdidas operacionales por perforación y tronadura en extracción.

#### 6.4.2.2. Pérdidas operacionales en carguío y transporte

A continuación se muestran los gráficos de Pareto sobre las pérdidas tanto en carguío como en transporte.

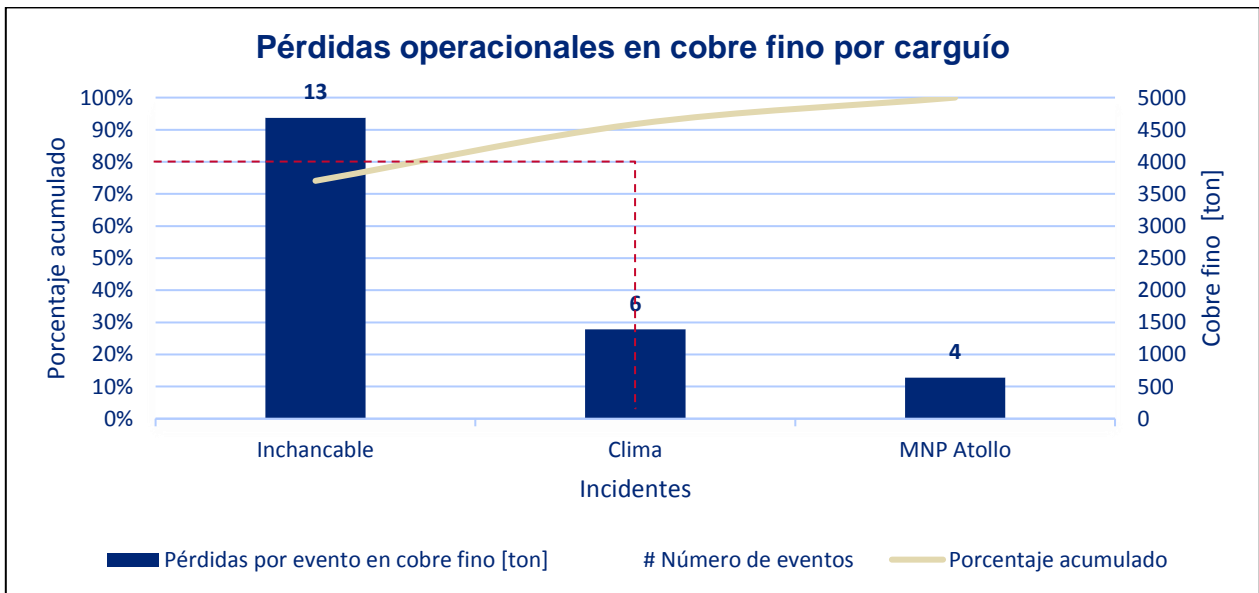


Gráfico 6-7: Pérdidas operacionales por carguío en cobre fino.

En el Gráfico 6-7 se muestra que las causas de pérdida más relevantes en carguío para la alimentación a chancado son los “inchancables” y pérdidas por “clima adverso”. En la reunión con el Superintendente de Operaciones Mina, fue sugerido analizar el clima de manera aparte, ya que es una causa externa a la operación, es por ello que, en este caso, el análisis se enfocará en los “inchancables” y los “atollos”.

Los inchacables son atribuidos al carguío debido a que, si bien el impacto lo recibe el chancado, son las palas o cargadores frontales quienes recogen material de desgaste o pierden dientes de pala y lo cargan a los camiones, siendo responsables de generar la pérdida operacional. Los inchacables producen detenciones del chancado de más de 20 horas.

En el caso de los atollos, solo se incluyen los que se generan por desechos extraídos desde la mina, lo más típico en la actualidad son restos de tuberías de HDPE (usadas para extraer el agua del fondo de la mina), que son cargadas por las palas y cuando llegan al chancado provocan atollos que detienen al chancador entre dos y cuatro horas.

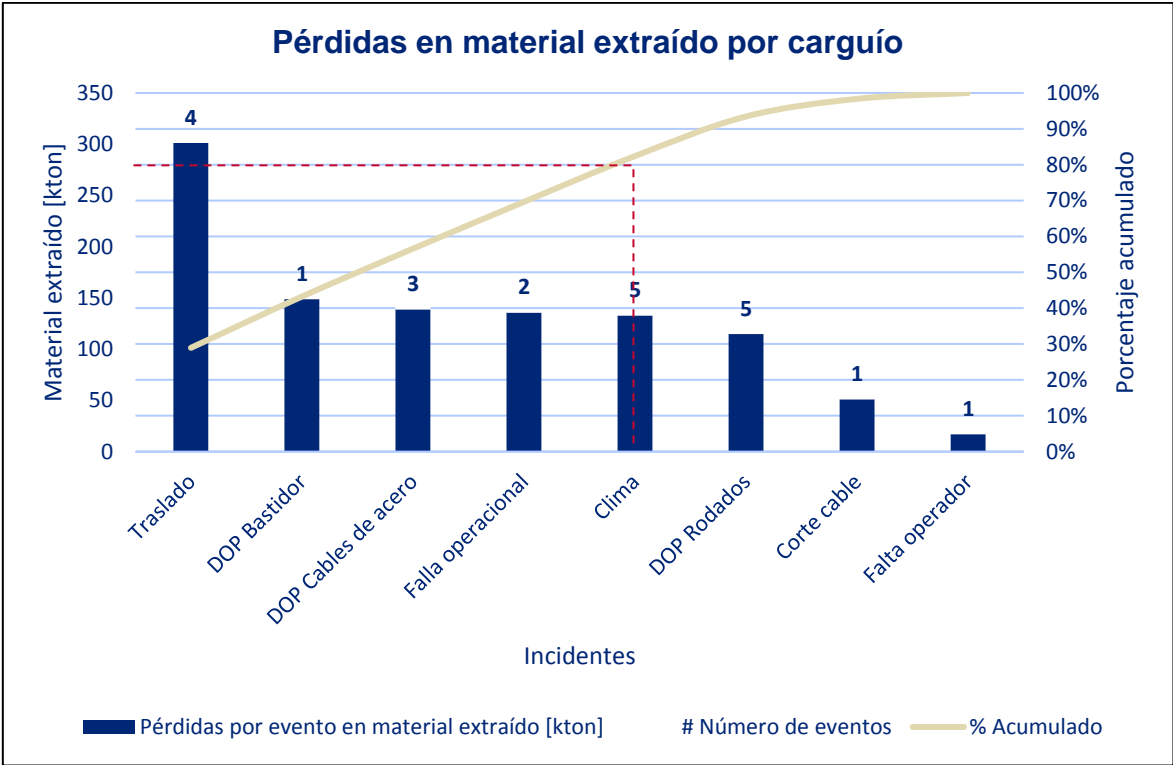


Gráfico 6-8: Pérdidas operacionales por carguío en extracción.

El Gráfico 6-8 muestra las causa de pérdida en la extracción de material, asociadas a carguío, donde las más relevantes son detenciones operacionales de las palas debido a “fisuras en el bastidor”, corte o cambio de los “cables de acero” y “corte de la oruga”, además de “traslado de palas”, que obstruye la labor de las otras palas del mismo sector.

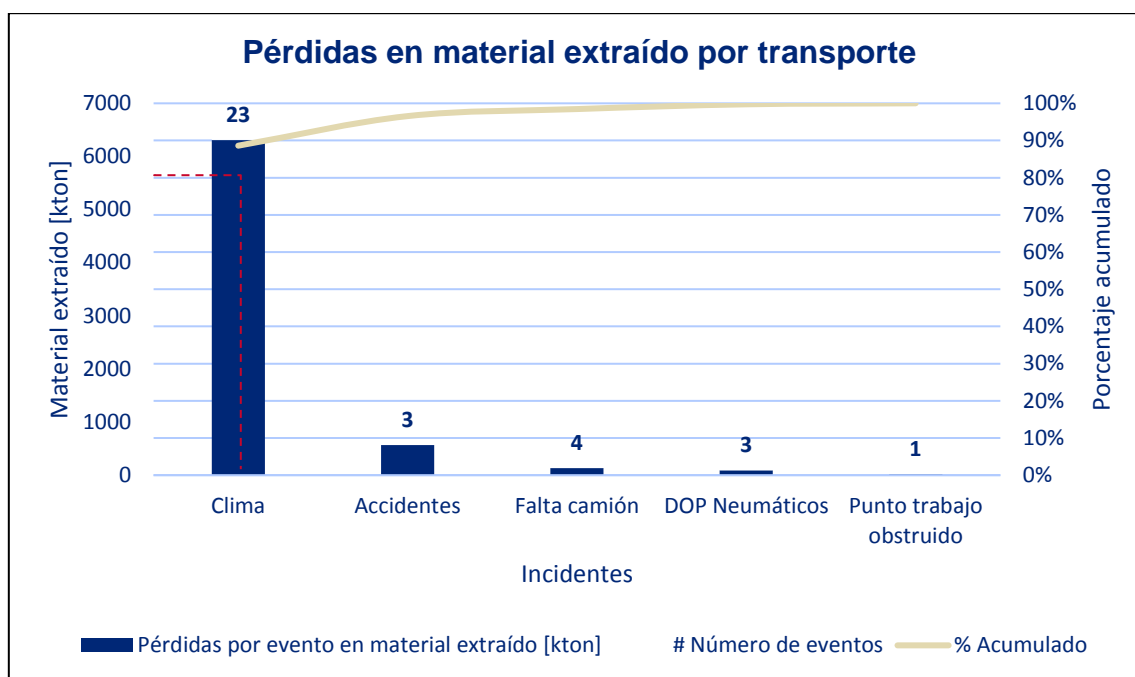


Gráfico 6-9: Pérdidas operacionales por transporte en extracción.

El Gráfico 6-9 muestra que la principal pérdida de extracción de material, asociadas a transporte es “clima adverso”. Las pérdidas por clima adverso son asignadas a los camiones, por ser los equipos más afectados por los eventos climáticos, debido a la afectación de caminos, lo que obligada a colocar cadenas para el uso de camiones, lo que se traduce en varias horas de detención o menores velocidades de traslado. Sin embargo cuando se le presentó esta información al Superintendente de Operaciones Mina, sugirió visualizar el clima de forma diferenciada, de modo de no subestimar las demás causas de pérdidas. Por lo tanto, apartando “clima”, las causas de pérdida más importantes originadas por los camiones son “accidentes”, “falta de camiones” y “detenciones operacionales por neumáticos”.

Los accidentes son eventos no deseados prioritarios, ya que por la magnitud de los equipos, un accidente puede significar además de la pérdida de continuidad operacional y del daño material, pérdida de vidas.

En cuanto a la falta de camiones, se considera pérdida operacional cuando una pala pasa un tiempo significativo sin poder cargar material, debido a que no le llegan camiones. (Equivalente al tiempo acumulado necesario para cumplir con los criterios definidos en la sección 6.1.1).

En cuanto a los neumáticos, éstos se ven muy afectados principalmente por irregularidades en las pistas o por derrames de material debido a camiones sobrecargados o mal cargados.

#### 6.4.2.3. Pérdidas operacionales en servicios minas

Según la información obtenida desde el 2016 a agosto del 2017, y tal como se muestra en el Gráfico 6-10, las causas de pérdidas más importantes en la Superintendencia de

Servicios Mina son: “derrame de material”, “punto de trabajo obstruido”, “corte de energía” y “caminos”.

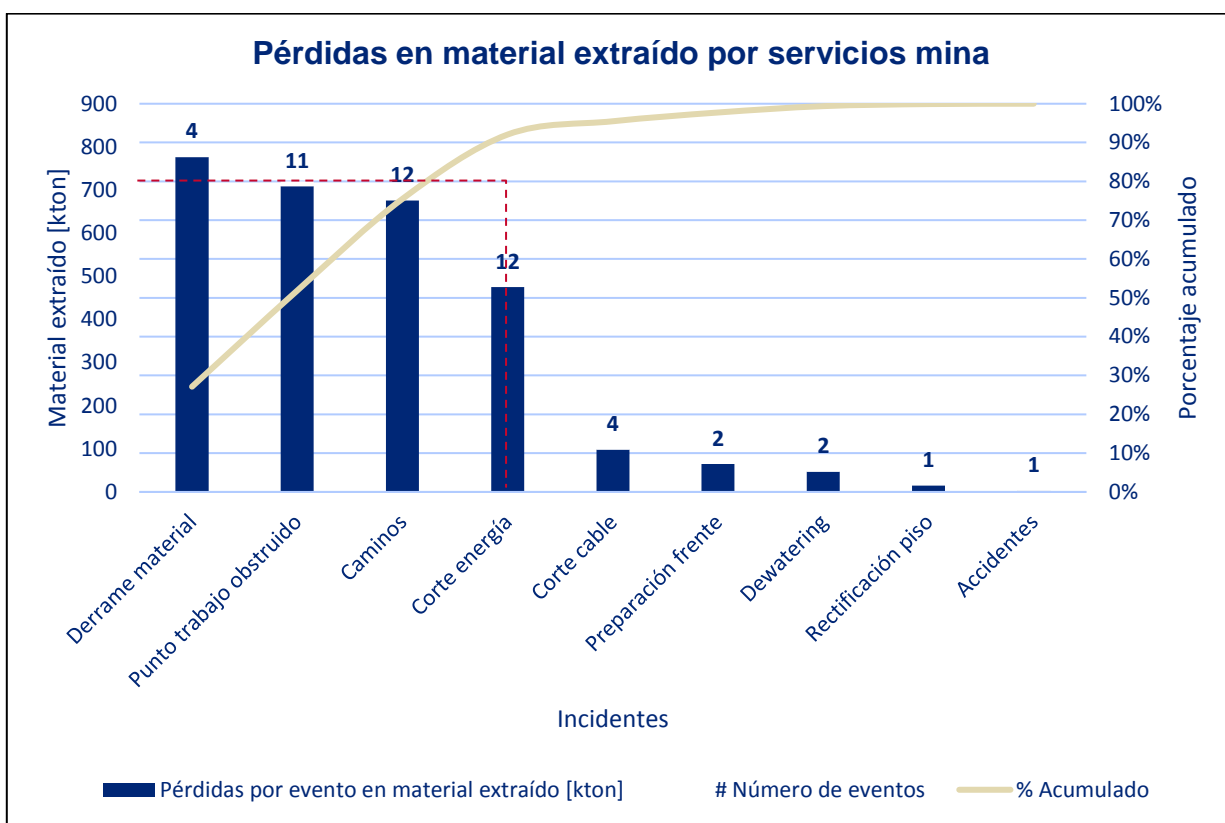


Gráfico 6-10: Pérdidas operacionales por servicios mina en extracción.

“Derrames de material” corresponde a los eventos en que se produce caída de material desde un banco superior, obstruyendo parte de los caminos o afectando a alguna pala.

“Punto de trabajo obstruido” se refiere a que una pala no puede cargar el material extraído a los camiones, debido a no cuenta con el espacio suficiente o por la presencia de algún equipo que impide maniobrar.

En el rotulo de “caminos”, se incluyen pérdidas operacionales debido a reparaciones de las pistas, rectificaciones de rampas y pistas bloqueadas.

Los “cortes de energía” se realizan por: mantenimientos de las líneas de alta tensión, movimiento de los cables debido a tronaduras o traslados de equipos y recuperación de los estándares operacionales.

#### 6.4.2.4. Pérdidas operacionales en mantención mina

Las principales causas de pérdida en la Superintendencia de Mantención Mina son las asociadas a mantenencias no programadas en las palas, debido a que son los equipos más grandes, y a su vez los más críticos en la mina. El Gráfico 6-11 muestra que las pérdidas más relevantes son: “mantenencias no programadas (MNP) de motor”, “MNP de levante”, “MNP estructurales” y “MNP eléctricas”, además de extensiones de



mantenciones por “falta de repuestos”. En el capítulo de Anexos D se explica en detalle los sistemas que conforman una pala cable, lo que ayuda a entender mejor las mantenciones que se le realizan a las palas. A continuación se muestra un gráfico de Pareto con las principales causas de pérdidas en la Superintendencia de Minería:

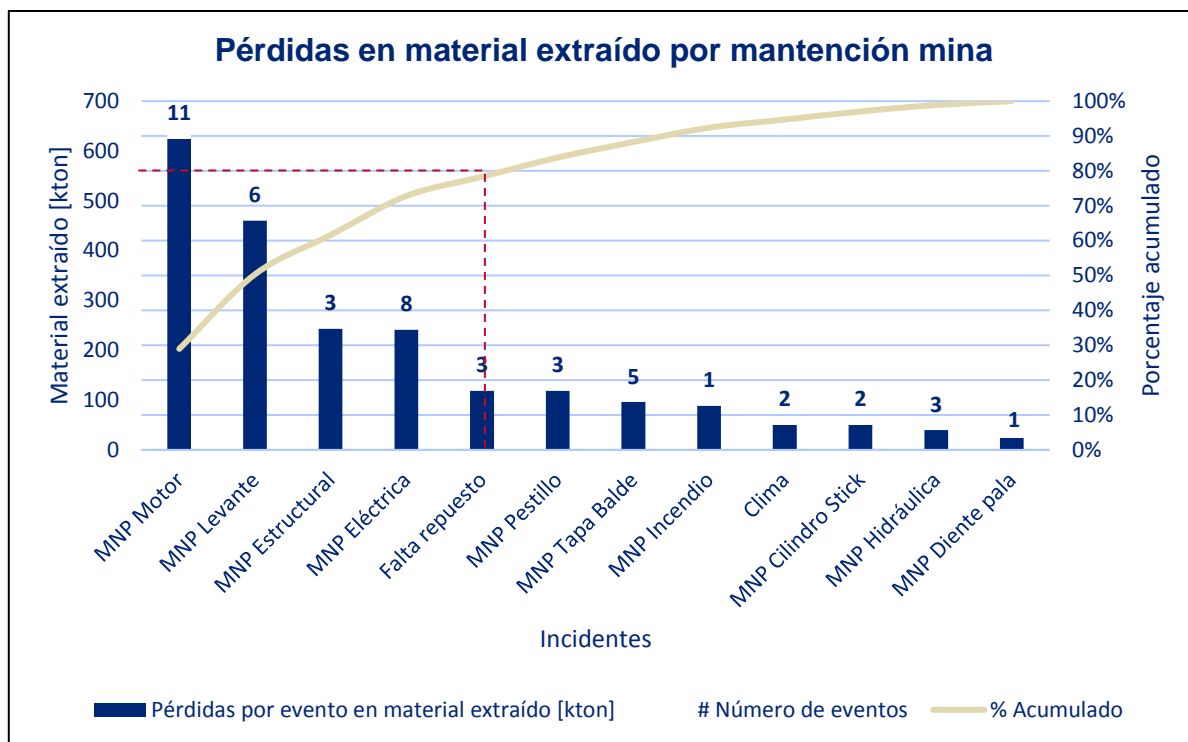


Gráfico 6-11: Pérdidas operacionales por mantenimiento mina en extracción.

Las mantenciones no programadas (MNP) de motor corresponden principalmente a daños al motor propel, movimiento de giro más lento y problemas en la partida, dejando al equipo de carguío no disponible 35 horas en promedio cada vez que ocurre uno de estos eventos, lo que corresponde a pérdidas por 57 [kton] de material extraído.

Las MNP de levante corresponden a problemas en el sistema de izado o levante del balde de una pala cable correspondiente a una detención promedio de 33 horas, lo que significan pérdidas por 77 [kton] de extracción.

Las “MNP estructurales” se deben principalmente a fisuras en el balde de la pala y a daños en la tornamesa, que implican tener al equipo no disponible por 29 horas, traduciéndose en pérdidas por 81 [kton] de material de extracción.

Las “MNP eléctricas” corresponden a fallas en la propulsión, en el empuje, en el sistema eléctrico, fuente de poder quemada, entre otros. Estas fallas se repiten más a menudo, pero tienen un menor impacto que las mantenciones anteriores, significando tener a los equipos detenidos por 10 horas en promedio, con un impacto 30 [kton] por evento.

Finalmente la “falta de repuestos” se traduce en que la Superintendencia de Minería deba extender las mantenciones de equipos, teniéndolos fuera más del tiempo programado.

### 6.4.2.5. Pérdidas operacionales en chancado

Como se dijo al principio de esta sección, chancado es el proceso responsable de la mayor cantidad de eventos no deseados en la operación y el segundo proceso con mayor impacto. A continuación, se muestra cuáles son las causas de pérdida en la Superintendencia de Chancado:

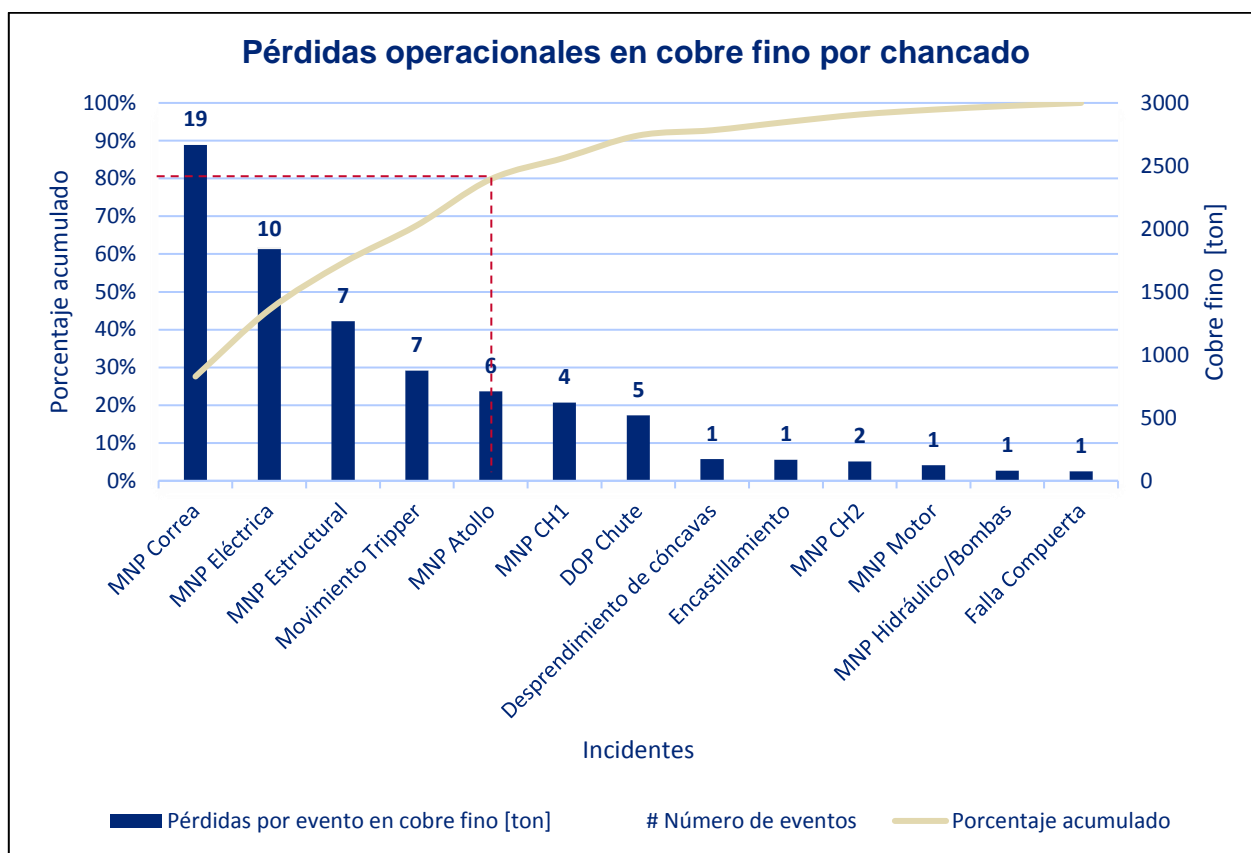


Gráfico 6-12: Pérdidas operacionales por chancado en cobre fino.

Como se observa en el Gráfico 6-12, las principales pérdidas por el proceso de chancado son: “mantenciones no programadas de las correas”, “MNP eléctricas”, retrasos por el “movimiento del tripper”, “MNP estructurales” y “atollos”.

En cuanto a las “mantenciones no programadas de las correas”, éstas se deben a cortes en las correas, detenciones, reparaciones, limpiezas, fallas de motor, cambios de polines, entre otras (Gómez, 2013). Actualmente, ésta es la causa de pérdida de producción más frecuente en la operación, con 17 eventos.

Las “mantenciones no programadas eléctricas” se deben principalmente a fallas en el motor, caídas del sistema eléctrico, falla en los transformadores y panne en alguno de los chancadores. (Farfan, 2014)

El carro de tripper corresponde a un sistema móvil que eleva la correa transportadora y la distribuye de manera tal que deja caer el mineral que transporta (Wilhelm, 2013). Este sistema permite tener varios puntos de vaciado, distribuyendo de mejor manera el mineral

en un acopio. Se consideran pérdidas asociadas al carro de tripper, cuando éste se mueve de forma inadecuada, no distribuyendo bien el mineral, lo que puede ocasionar que algunas zonas queden muy altas y no se pueda alimentar al stockpile, deteniendo el chancador.

Las “mantenciones no programadas estructurales” están asociados a daños a las carcasas superior o inferior, daños al eje principal, quiebre del gorro araña, fracturas de pernos, entre otros.

Finalmente, las “MNP por atollos” responsables de chancado, corresponden a la caída de material interno del chancador, que provoca atollos en la abertura inferior, teniendo que detener al chancado.

#### 6.4.2.6. Pérdidas operacionales en molienda

Como se dijo al principio del documento, se cuenta con dos plantas de molienda en la operación, Los Bronces y Confluencia. A continuación, se muestran las causas de pérdida por cada planta.

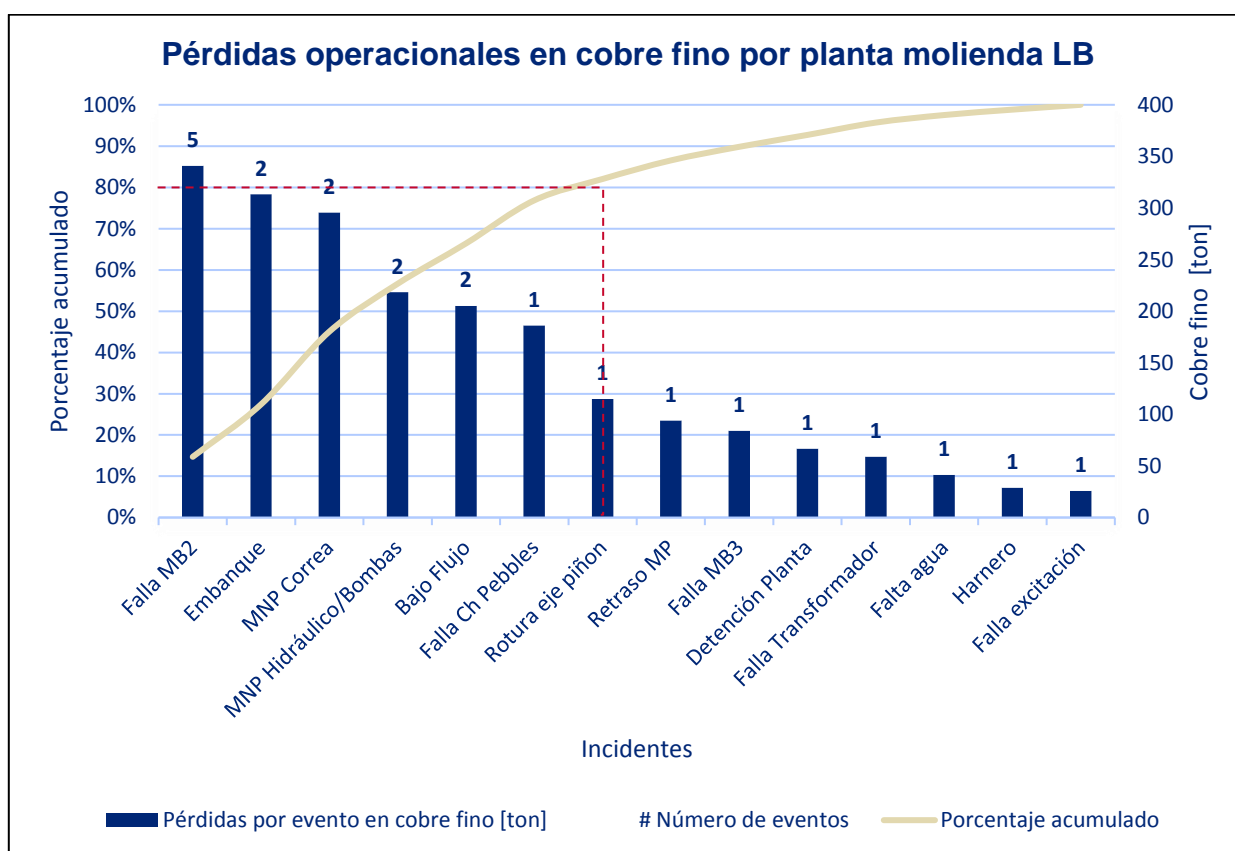


Gráfico 6-13: Pérdidas operacionales por planta de molienda Los Bronces en cobre fino.

El Gráfico 6-13 muestra que las principales pérdidas operacionales en la planta Los Bronces, se producen por “fallas en el molino de bolas 2”, “embanques”, “mantenciones no programadas de las correas” e “hidráulicas”, “bajo flujo” y “fallas en los chancadores de pebbles”.

Las principales fallas en el molino de bolas 2 son caídas del Trommel, desplazamiento del eje de piñón, fallas en el monorriel y en el motor. Se producen embanques en las líneas de alimentación, en las líneas de impulsión de los ciclones y en los espesadores. Las mantenciones no programadas más importantes de las correas que alimentan a los molinos, son: por fallas en los reductores y por aprisionamientos. Las mantenciones no programadas hidráulicas se deben esencialmente a fallas en el sistema de lubricación.

El Gráfico 6-14 indica que las principales causas de pérdidas en la planta de molienda Confluencia son las “fallas en los chancadores de pebbles”, “fallas en los espesadores” y “daños en los revestimientos” de los molinos SAG.

Los principales incidentes de los chancadores de pebbles son daños en excéntrica, desprendimiento de corazas, fallas en bujes superior e inferior, fallas por sobrecorriente en motor y falta de lubricación.

En cuanto a las fallas en los espesadores, estas corresponden principalmente a alto torque en las rastras, alta interfase y embanques.

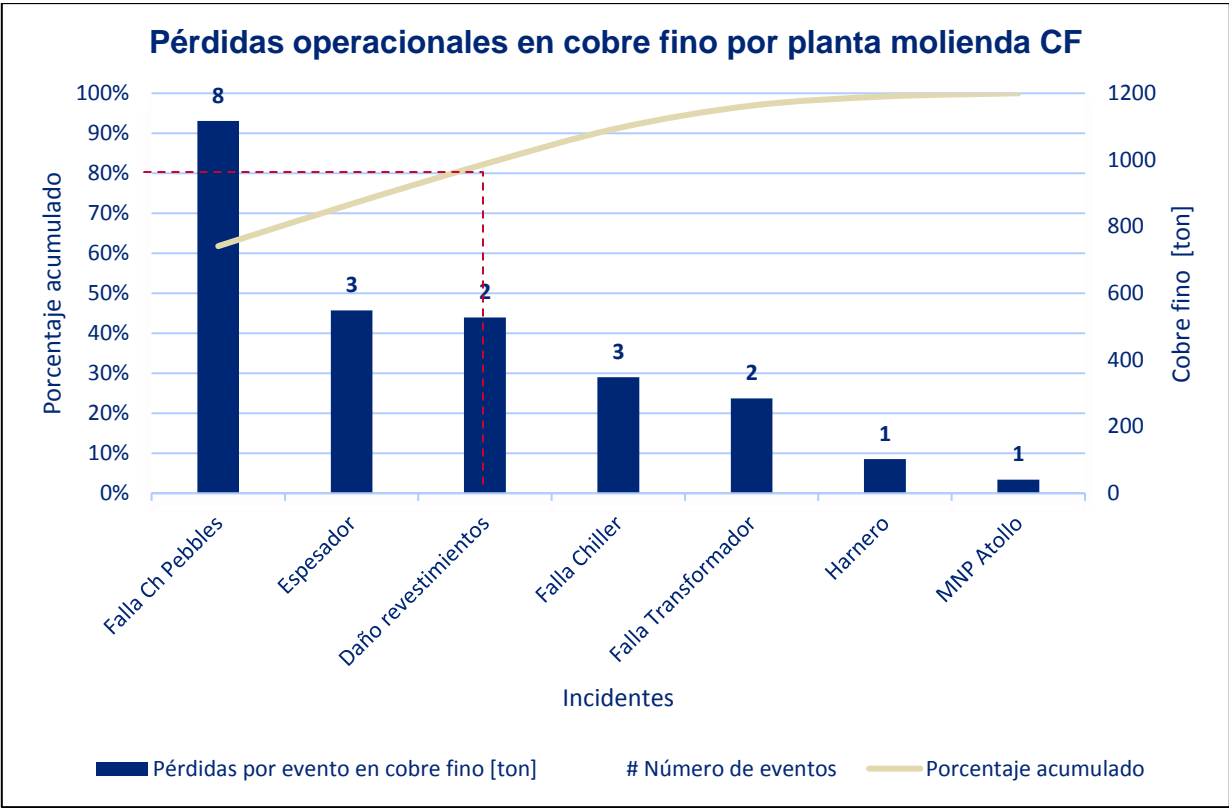


Gráfico 6-14: Pérdidas operacionales por planta de molienda Confluencia en cobre fino.

### 6.4.2.7. Pérdidas operacionales en flotación

En cuanto a las pérdidas operacionales en flotación, se registran los eventos ocurridos tanto en las plantas de flotación colectiva Las Tórtolas 1 y Las Tórtolas 2, como en las plantas de flotación selectiva Moly 1 y Moly 2.

A continuación se muestran los principales eventos desarrollados en las plantas de flotación, donde se dividen en eventos que impactan el cobre fino y eventos que impactan el molibdeno fino.

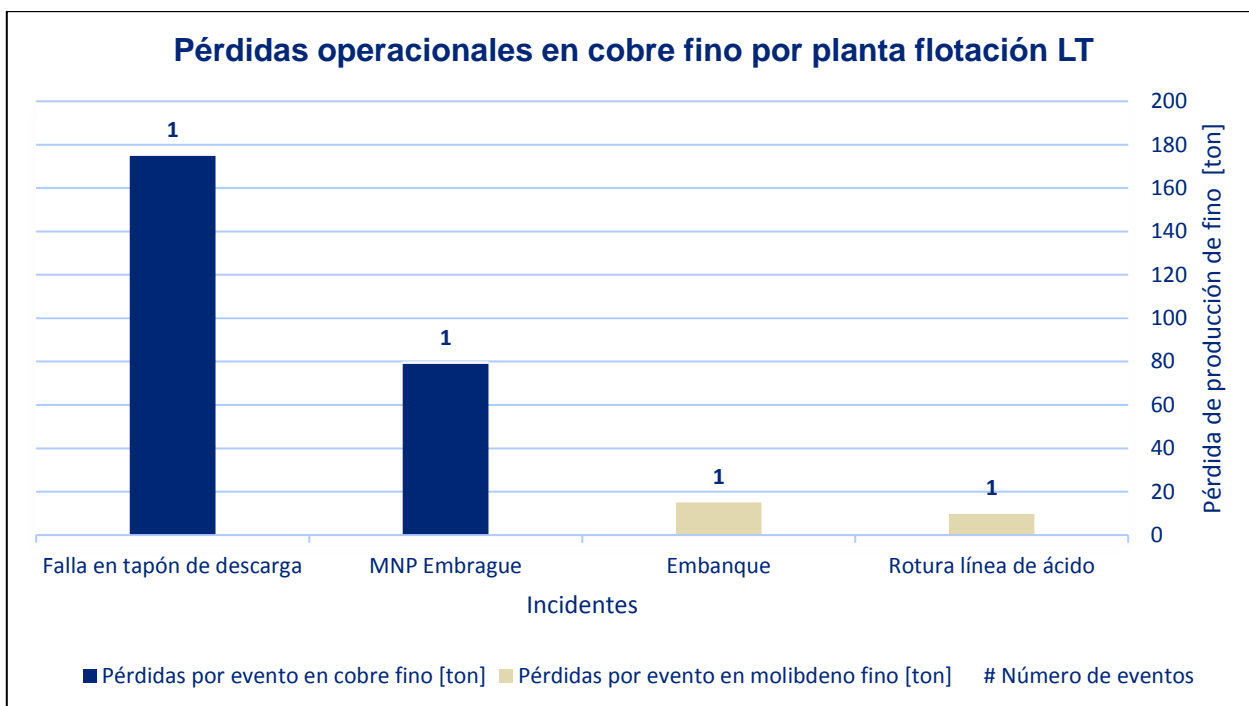


Gráfico 6-15: Pérdidas operacionales por planta Las Tórtolas en cobre fino y molibdeno fino.

Tal como muestra el Gráfico 6-15, han sucedido pocos los eventos entre el 2016 y 2017, sin embargo, expertos del área aseguran que años anteriores, eventos críticos se han producido por fallas en los espesadores y en los filtros.

### 6.4.3. Levantamiento de las principales causas de pérdidas en la operación

Una vez levantadas las principales causas de pérdidas por proceso, es necesario seleccionar las causas de pérdidas más relevantes de la operación. Para ello se analizaron factores como: criticidad, frecuencia, impacto promedio por evento e impacto por hora.

#### 6.4.3.1. Análisis de impacto promedio por hora

El primer análisis que se realiza, es el cálculo de la pérdida de cobre fino por hora, que genera cada incidente, junto con el cálculo promedio por proceso, de modo de poder

reconocer a los procesos críticos y los eventos que provocan un alto impacto en pocas horas.

Las barras azules y celestes del Gráfico 6-16 indican la pérdida de cobre fino por hora de los distintos incidentes de la operación, la línea amarilla señala las pérdidas de cobre fino por hora promedio de cada proceso, los números en rojo corresponden al total de eventos por proceso y los números en blanco (y en azul) indican frecuencia de eventos por incidente.

Es importante destacar que este gráfico no muestra todos los eventos que impactan en el cobre fino, sino que sólo los casos con mayor reiteración y mayor relevancia, sin embargo, en el promedio por proceso están incluidos todos los eventos.

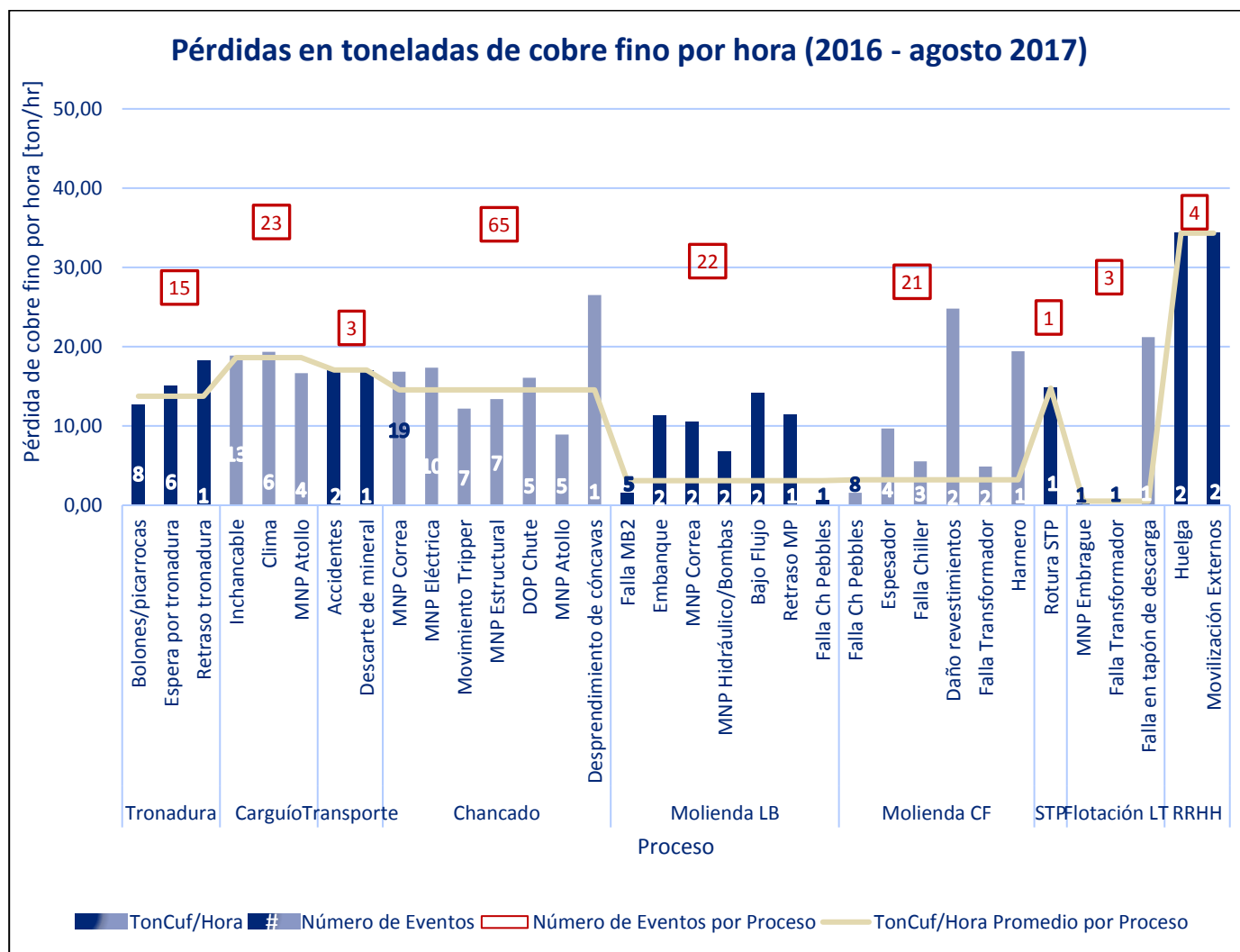


Gráfico 6-16: Pérdidas en toneladas de cobre fino por hora.

Como se observa en el Gráfico 6-16, la ocurrencia de un incidente de responsabilidad de recursos humanos, es el que más impacta en cobre fino por hora, debido a que este tipo de eventos, movilizaciones internas o externas, en general afectan a toda la operación. Luego se advierte que los eventos ocurridos en la mina (PyT o CyT) y chancado tienen

un impacto en cobre fino por hora similar, con una diferencia porcentual menor al 25%, esto se debe a que este tipo de incidentes afecta a la alimentación de un chancador, por lo que el valor es aproximadamente el rendimiento promedio de los equipos de chancado. Posteriormente se observa que los procesos de molienda y flotación tienen un impacto en cobre fino por hora con una diferencia porcentual, con respecto a los casos anteriores, mayor al 80%, esto se debe a que poseen más equipos en paralelo, por lo que si se detiene un equipo, hay otro que puede cumplir su función, sólo produciéndose disminuciones en el material tratado. Por el contrario, en el caso de la rotura del STP afecta a una de las dos únicas líneas de alimentación a las plantas de flotación Las Tórtolas, por lo que su nivel de impacto por hora es mucho mayor.

De forma análoga, se realiza este análisis en el Gráfico 6-17 para los incidentes que afectan la extracción (impacto en material extraído por hora), sin embargo los resultados obtenidos son mucho menos variables entre procesos, teniendo una baja diferencia porcentual entre ellos, debido a que cuando ocurre un evento, la mayoría de las veces se mide por la consecuencia en horas de detención en las palas que fueron afectadas y esto se multiplica por el rendimiento por hora planificado de cada pala, por lo que los resultados obtenidos son básicamente los rendimientos promedios de las palas. La excepción son los equipos de transporte, pues cuando ocurre un evento asociado a los camiones, se mide directamente las horas de detención y rendimientos de éstos. Y debido a que el rendimiento por hora de un camión es mucho menor al de una pala, un incidente en un equipo de transporte tiene un impacto por hora mucho menor.

Al igual que en el caso anterior, este gráfico no muestra todos los eventos que impactan en la extracción, sino solo los casos más reiterativos y con mayor relevancia, sin embargo, en el promedio por proceso sí se incluyen todos los eventos.

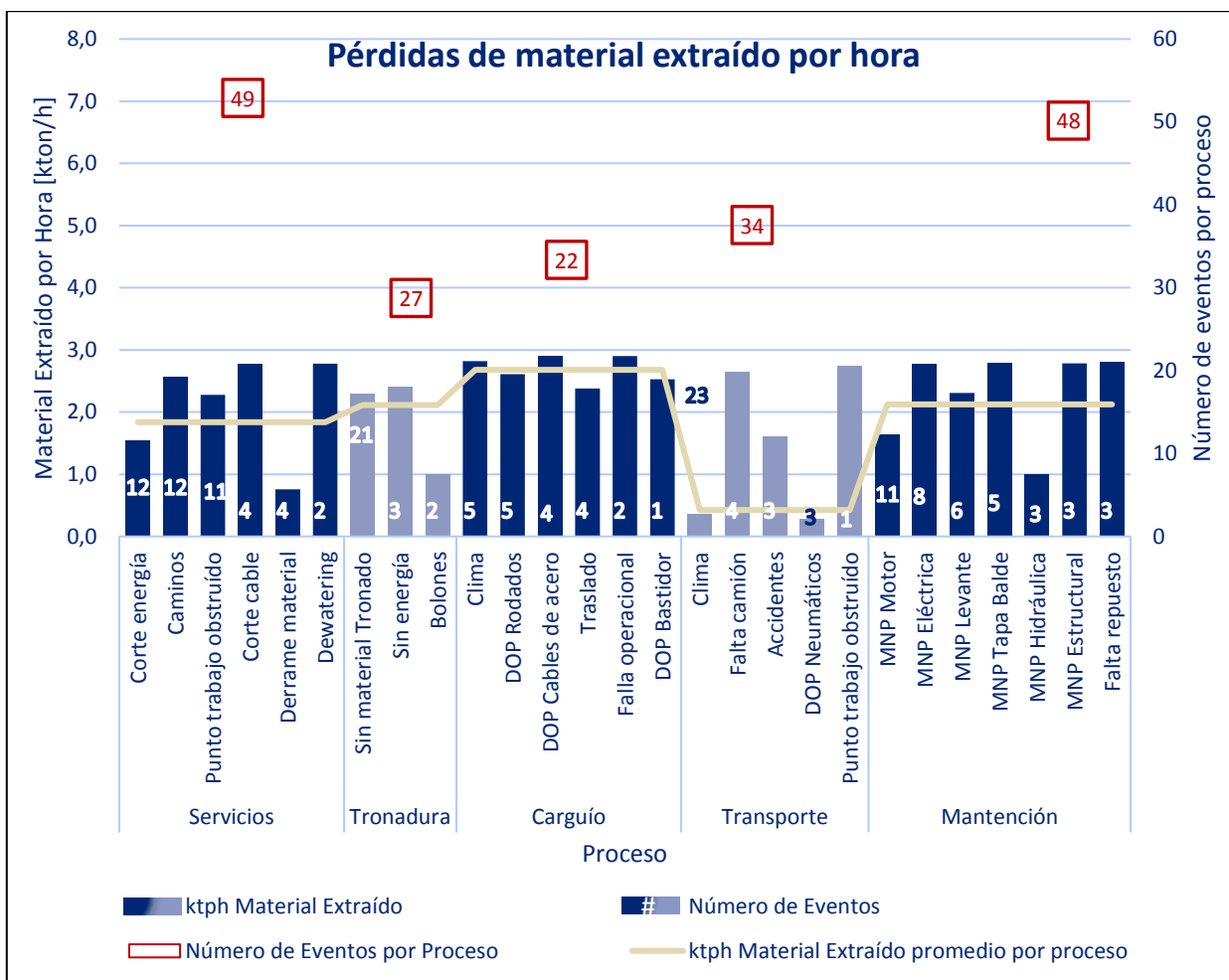


Gráfico 6-17: Pérdidas en material de extraído por hora.

#### 6.4.3.2. Análisis de impacto promedio por evento

Luego se procede a analizar el impacto promedio por evento que provoca cada uno de los incidentes, tanto en cobre fino, millones de dólares y en extracción, además de obtener el promedio por proceso.

El Gráfico 6-18 muestra en las barras azules y celestes, el impacto en cobre fino por evento de las distintas causas que generan pérdidas y la línea amarilla el promedio por proceso. Es importante destacar que este gráfico no muestra todos los eventos que impactan en el cobre fino, sino sólo los casos con mayor reiteración y mayor relevancia, sin embargo, en el promedio por proceso si están incluidos todos los eventos. Además la muestra no contiene los incidentes cuyos responsables fueron RRHH y STP, debido a que, son eventos excepcionales y que tienen un impacto muy grande respecto a los incidentes de los demás procesos.



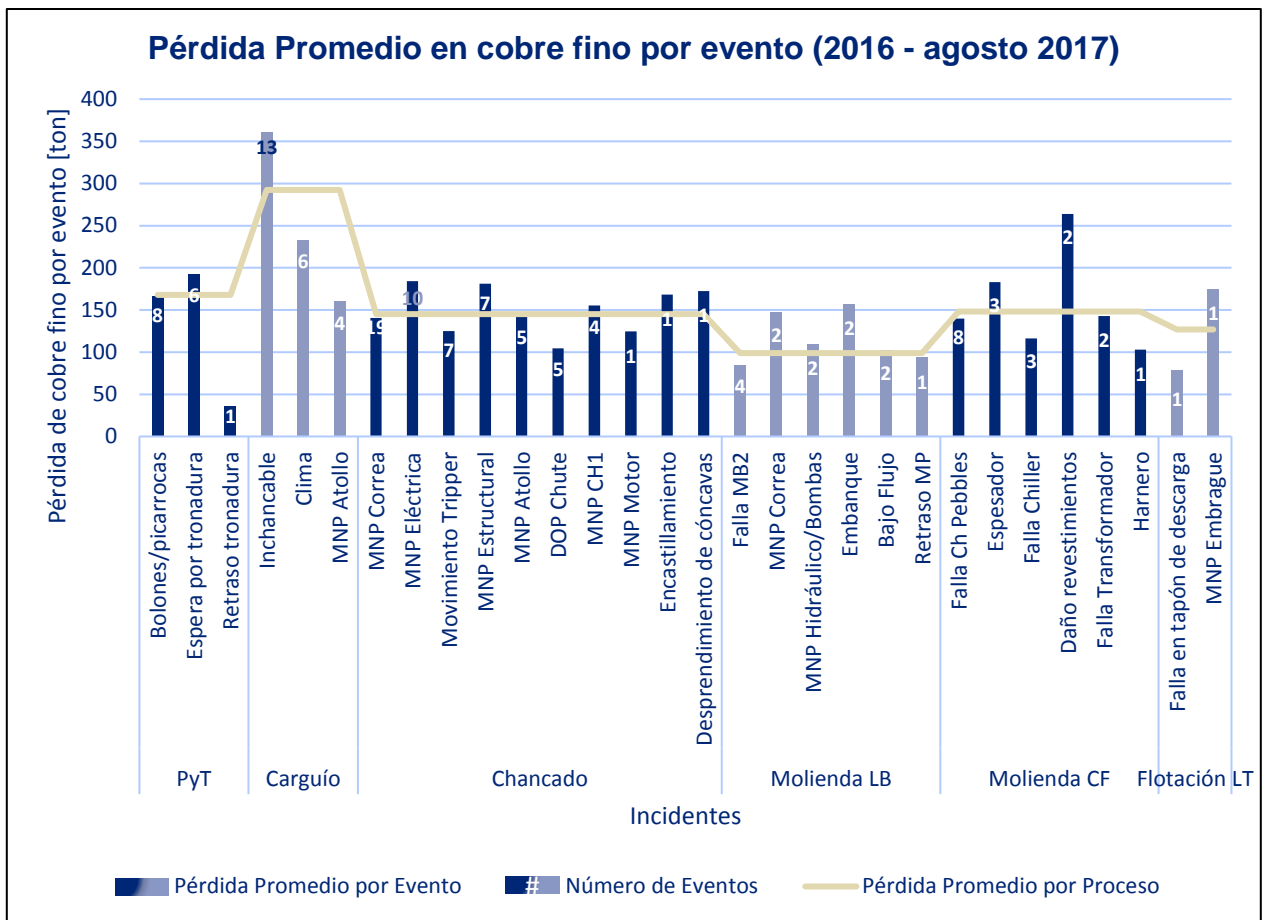


Gráfico 6-18: Impacto promedio en cobre fino por evento.

El Gráfico 6-18 indica que los incidentes causados por carguío, perforación y tronadura son los que más impactan en la producción de cobre fino, debido a que uno de estos eventos puede afectar por varias horas la alimentación al chancado. Específicamente, son los “inchancables” y las “espera por tronadura” los incidentes que mayor repercusión en la producción. En la misma línea, los eventos en chancado y en molienda más críticos son: “mantenciones no programadas eléctricas”, “desprendimiento de cóncavas”, “fallas en chancadores de pebbles”, “fallas en los espesadores” y “daños en los revestimientos” de los molinos SAG.

El Gráfico 6-19 muestra el impacto en millones de dólares que provoca la ocurrencia un evento y el promedio del impacto por proceso, básicamente se expone el dinero que deja de ganar la compañía por la ocurrencia de un determinado incidente.

Al igual que en el caso anterior este gráfico no muestra todos los eventos, sino sólo los casos con mayor reiteración y mayor relevancia, sin embargo, en el promedio por proceso si están incluidos todos los eventos. Además, tampoco se muestran los incidentes cuyos responsables fueron RRHH y STP, debido a que, son eventos excepcionales y tienen un impacto muy grande respecto a los incidentes de los demás procesos.

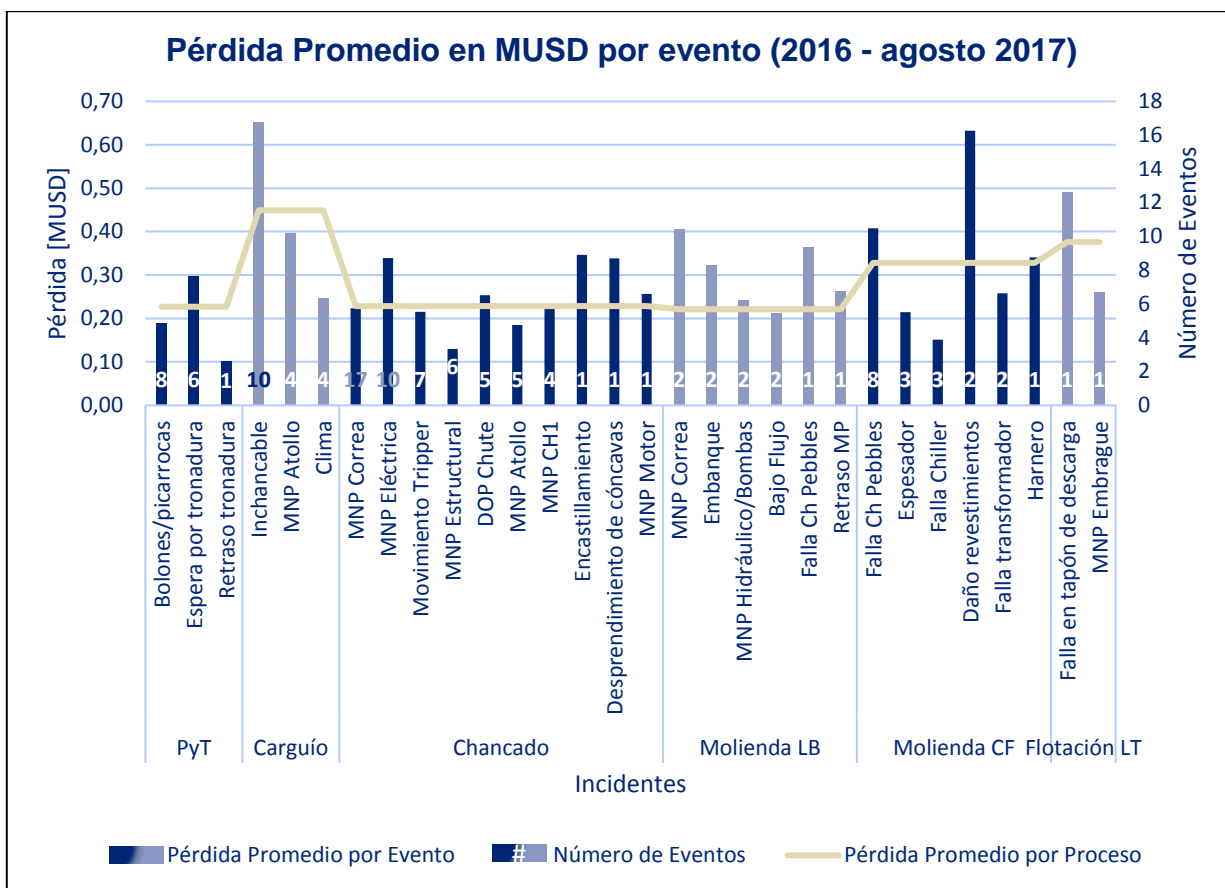


Gráfico 6-19: Impacto promedio en millones de dólares por evento.

Como es de esperar, los eventos que provocan un mayor impacto en dinero, están en línea con los resultados del Gráfico 6-18, pues sólo ha variado el precio del cobre y los costos operacionales mes a mes. Este gráfico permite apreciar la magnitud de cada incidente, por ejemplo, por la ocurrencia de un evento de inchancable, la compañía deja de ganar USD\$850.000.

En las pérdidas por extracción de material se analiza el impacto por evento, de la misma forma que para el caso de las pérdidas por producción de cobre fino. Se debe considerar que este gráfico no muestra todos los eventos, sino sólo los casos con mayor reiteración y mayor relevancia, sin embargo, en el promedio por proceso si están incluidos todos los incidentes.

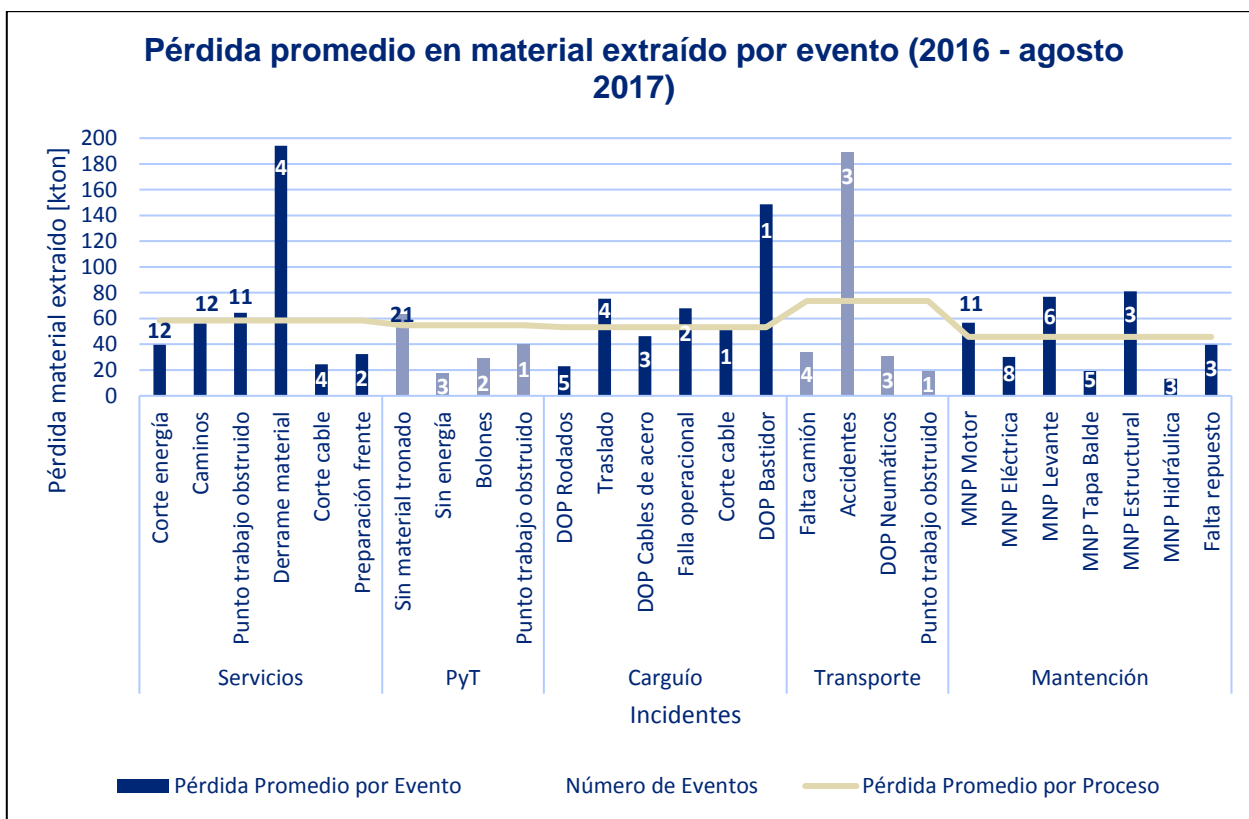


Gráfico 6-20: Impacto promedio en material de extracción por evento.

El Gráfico 6-20 muestra que transporte es el proceso que provoca una mayor pérdida por evento en la extracción de material, esto debido principalmente a los eventos de “accidentes”, ya que choques entre camiones han impedido el acceso a algunas de las fases por varias horas, dejando a las palas sin poder vaciar material a los camiones y esto sumado a casos en que camiones han impactado directamente palas, dejándolas inoperativas por varios días.

El impacto promedio por evento del resto de los procesos, tiene una baja diferencia porcentual, destacando los “derrames de material” en servicios mina, palas “sin material tronado” por PyT, “traslados” y “fisura del bastidor” en carguío y “mantenciones no programadas de levante” y “estructurales” en mantención mina.

### 6.4.3.3. Análisis de criticidad a las principales causas de la operación

El objetivo de todos estos análisis es determinar cuáles son las causas de pérdida más importante de la operación, tanto en la producción de cobre fino como en la extracción de material.

En primer lugar se realiza un diagrama de Pareto a todas las causas de la operación, donde se organiza el impacto en cobre fino acumulado por causa, de forma que éstas queden en orden descendente, de izquierda a derecha y separadas por barras, de modo de asignar un orden de prioridades (Anexos B Gráfico 11-1). Tras esto, se consideran solo las causas que influyen en el 80% de las pérdidas en cobre fino, tal como se muestra en el Gráfico 6-21.

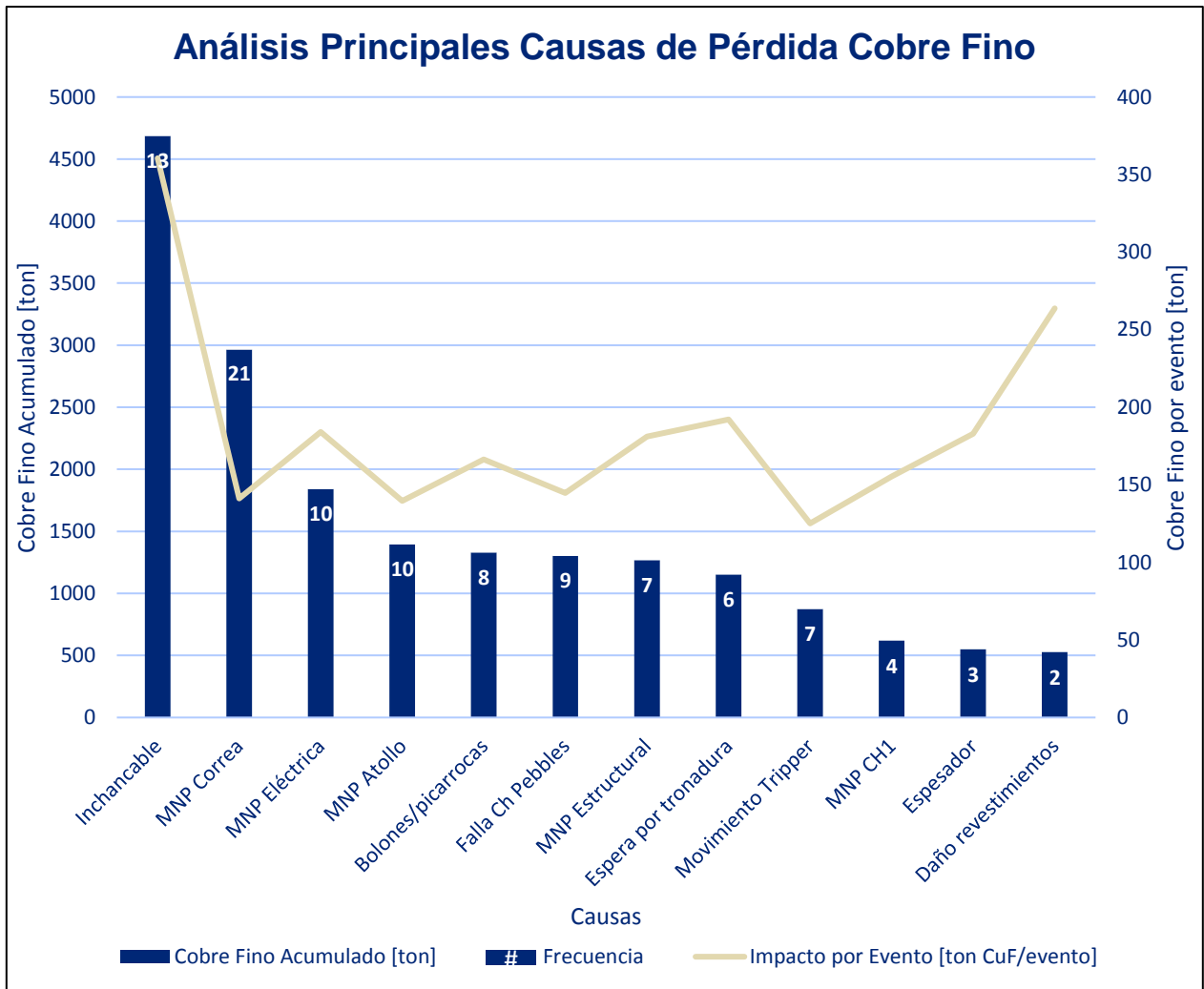


Gráfico 6-21: Análisis de las principales causas de pérdida en cobre fino.

A estas causas se le aplica un análisis de criticidad, de acuerdo a dos factores: el impacto por evento y la frecuencia de incidentes. Debido a que el área de Improve buscará mejorar procesos donde las fallas o incidentes sean reiterativos y que a su vez afecten significativamente a la producción. Por lo tanto, se diseña una matriz de criticidad que relaciona ambos factores, en el eje Y la frecuencia, que se divide en alta, media y baja, mientras en el eje X se tiene el impacto por evento, que se divide en cinco niveles. El color rojo indica que se trata de causas extremadamente críticas, el color dorado indica causas medianamente críticas y el color celeste indica que las causas no son tan relevantes. A continuación se muestra la matriz:

Frecuencia	Alta	3	6	9	12	15
	Media	2	5	8	11	14
	Baja	1	4	7	10	13
		1	2	3	4	5
		Impacto por evento				

Ilustración 6-7: Matriz de criticidad en producción.

Tanto la frecuencia real, como el impacto real de las causas son ponderados en factores de frecuencia e impacto respectivamente, para poder facilitar el uso de la matriz y así obtener resultados consistentes. La Tabla 6-6 muestra los factores de cada incidente y su respectivo índice de criticidad:

Tabla 6-6: Tabla de criticidad causas de pérdida cobre fino.

Causa de pérdida	Impacto por evento [ton CuF]	Frecuencia [#]	Factor impacto	Factor frecuencia	Criticidad
Inchancable	360,5	13	5	Alta	15
Daño revestimientos	263,8	2	4	Baja	10
MNP Correa	141,2	21	3	Alta	9
MNP Eléctrica	184,1	10	3	Alta	9
Bolones/picarrocas	166,3	8	3	Media	8
Falla Ch Pebbles	144,8	9	3	Media	8
MNP Estructural	181,1	7	3	Media	8
Espera por tronadura	192,2	6	3	Media	8
MNP CH1	155,4	4	3	Baja	7
Espesador	183,0	3	3	Baja	7
MNP Atollo	139,6	10	2	Alta	6
Movimiento Tripper	125,1	7	2	Media	5

De acuerdo a los parámetros de frecuencia e impacto, el Gráfico 6-22 muestra las principales causas de pérdida en la producción de cobre fino: “inchancables”, “MNP de correas”, “MNP eléctricas de chancado”, “daño en los revestimientos de los molinos”, “generación de bolones”, “falla en chancadores de pebbles”, “espera por tronadura”, “MNP estructurales de los chancadores” y “atollos”. Estas causas cubren el 73% de las pérdidas de cobre fino en la operación.

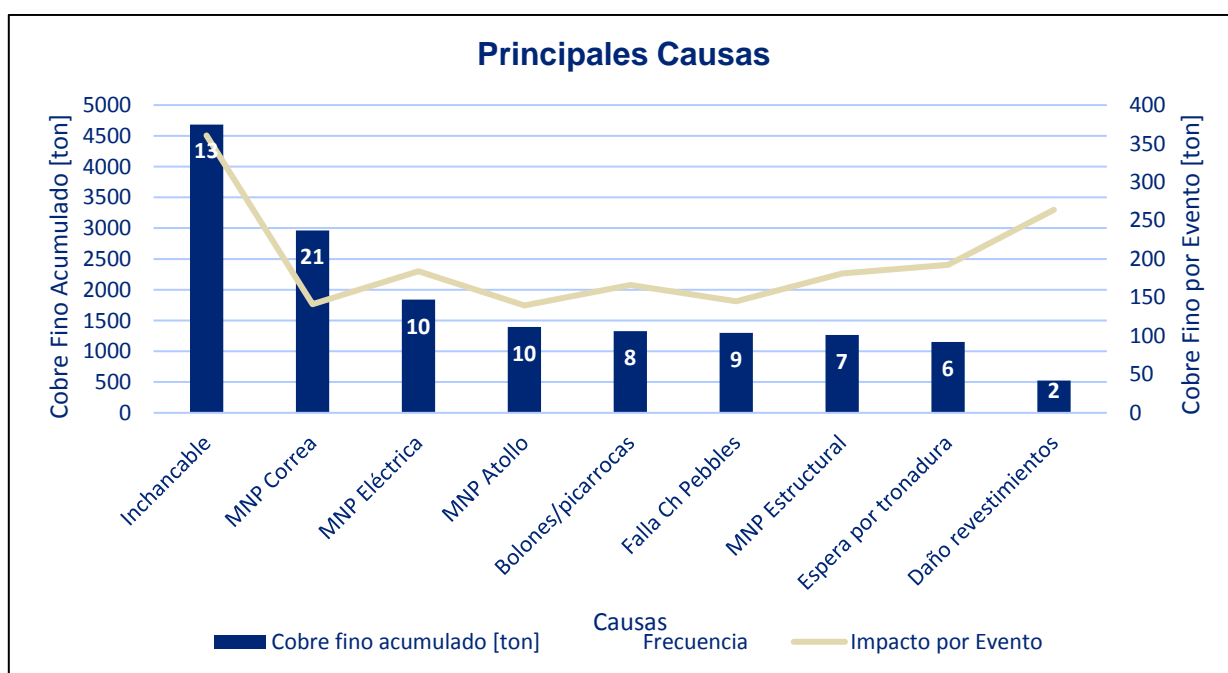


Gráfico 6-22: Principales causas de pérdida de cobre fino.

En el caso de las causas de pérdida por extracción, en primer lugar se descartaron las pérdidas asociadas a clima adverso, ya que si bien actualmente se toman medidas para mitigar las pérdidas, esta causa se considera como externas. Luego, se sigue la misma metodología anteriormente descrita, se realiza un diagrama de Pareto, de modo, de determinar las causas de pérdida que impactan al 80% de la extracción (Anexos B Gráfico 11-2), quedando las siguientes causas:

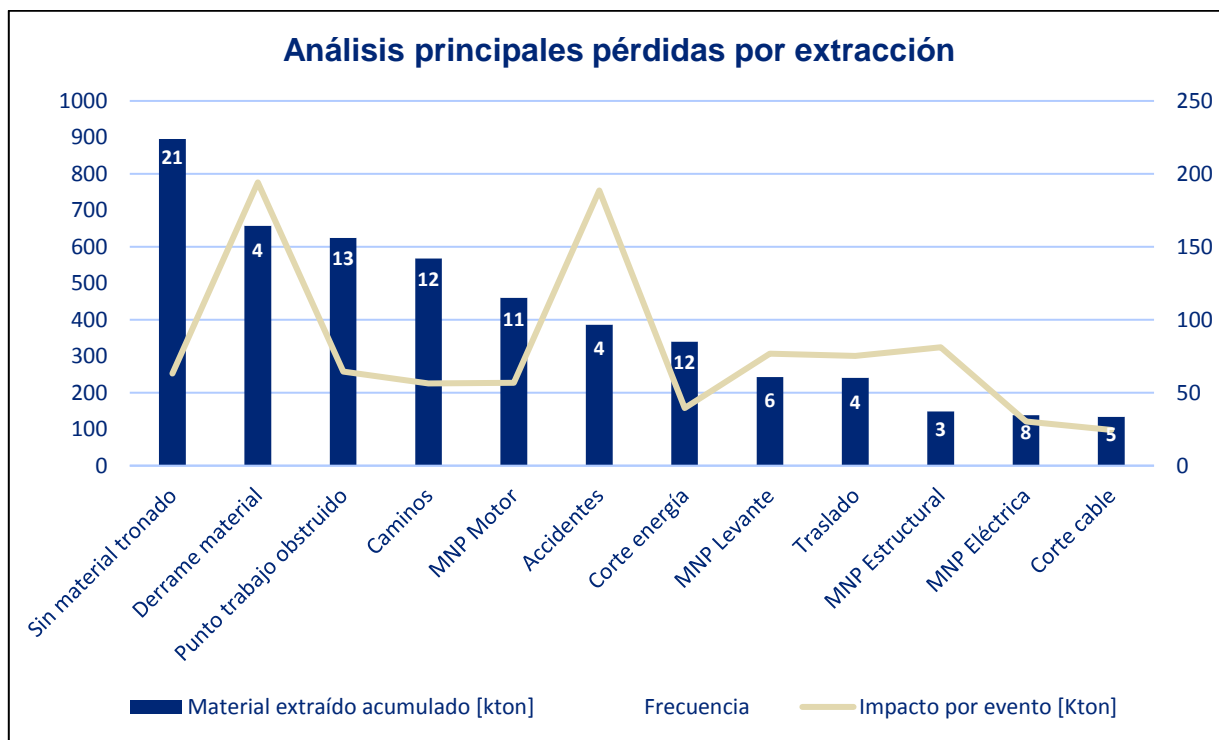


Gráfico 6-23: Análisis de principales causas de pérdida en extracción.

Como se dijo anteriormente el área de Improve buscará abordar las causas de pérdida que sean reiterativas y que a su vez tengan un alto impacto, por lo que en el caso de los incidentes en extracción también se hace una matriz de criticidad, ponderando las causas en factores de frecuencia e impacto, para así establecer cuáles son los eventos más relevantes. En la Ilustración 6-8 se muestra la matriz de criticidad para las causas de pérdidas asociadas a la extracción y la Tabla 6-7 señala el factor de frecuencia, el factor de impacto y el índice de criticidad por causa:

Frecuencia	Alta	3	6	9	12	15
	Media	2	5	8	11	14
	Baja	1	4	7	10	13
		1	2	3	4	5
		Impacto por evento				

Ilustración 6-8: Matriz de criticidad en extracción

Tabla 6-7: Tabla de criticidad causas de pérdida extracción.

Causa de pérdida	Impacto por evento [kton]	Frecuencia [#]	Factor impacto	Factor frecuencia	Criticidad
Derrame material	194,1	4	5	Media	14
Accidentes	188,6	4	5	Media	14
Sin material tronado	63,2	21	3	Alta	9
Punto trabajo obstruido	64,4	13	3	Alta	9
MNP Levante	76,8	6	3	Media	8
Traslado	75,3	4	3	Media	8
MNP Estructural	81,0	3	3	Baja	7
Caminos	56,4	12	2	Alta	6
MNP Motor	56,8	11	2	Alta	6
Corte energía	39,6	12	1	Alta	3
MNP Eléctrica	30,2	8	1	Media	2
Corte cable	24,5	5	1	Media	2

Por lo tanto, en el Gráfico 6-24 se muestran las principales causas de pérdida en la extracción debido a su relevancia para la operación: “accidente de los camiones”, “derrame de material”, “palas sin material tronado”, “punto de trabajo obstruido”, “traslados de palas”, “mantenciones no programas de motor” y “de levante” en los equipos de carguío y “pistas o caminos afectados”. Estas causas representan el 67% del total de pérdidas en extracción.

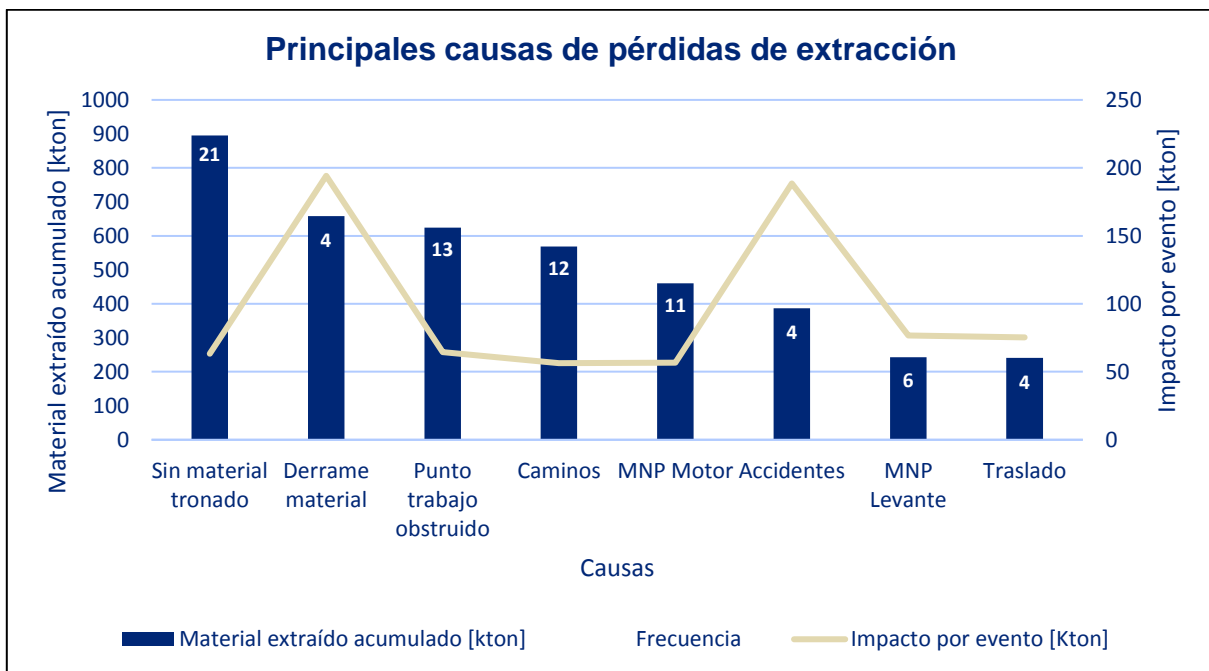


Gráfico 6-24: Principales causas de pérdida de material extraído.

Los eventos de “derrame de material” y “accidentes” son altamente críticos para la operación debido a que la ocurrencia uno de estos incidentes, además del alto impacto en la extracción, significa riesgos a las personas y los equipos.

## **6.5. Mecanismos de optimización de los procesos**

La Superintendencia de Improve tiene varios mecanismos para formar grupos de trabajo en pos de mejorar algún proceso, implementar nuevas tecnologías y fomentar la innovación.

Tres veces al año (marzo, julio y noviembre), el área de Improve recibe desafíos, iniciativas y propuestas sobre temas críticos de la operación desde la Superintendencia de Analyze and Report y los agrupa dentro del pipeline (metodología de embudo donde entran varias ideas y desafíos, y salen un par de proyectos para ser implementados mediante las herramientas de Project Management Office (PMO), Rapid Result y Mente). Se acordó que desde ahora, se incluirá la información proporcionada por el área de Risk del control de pérdidas, como input, para la posibilidad de implementar mejoras a los procesos en Los Bronces.

Las causas de pérdida más importantes de la operación, determinadas en la sección anterior, son levantadas al área de Improve, quienes usan la información como input y dependiendo de los lineamientos de la compañía, los recursos que tengan disponibles, el costo y tiempo que significaría la implementación de mejoras, abordaran o no algunas de las causas, para desarrollarlas como desafíos mediante alguno de estos tres mecanismos: PMO, Rapid Results y Mente.

### **6.5.1. PMO**

Es un proyecto que se gestiona y controla mediante los estándares de una oficina de gestión de proyectos (del inglés PMO, Project Management Office). Las características que debe tener un proyecto para ser gestionado vía PMO son:

- Su foco está directamente relacionado con las necesidades de la operación.
- Sus beneficios se inician en el corto plazo.
- No requiere de equipo multidisciplinario en su gestión.
- Depende solo de un departamento/área de la organización.
- Duración o alcance del proyecto mayor a 100 días.
- Control de avance o de resultados, en forma quincenal o mensual.

### **6.5.2. Resultados Rápidos**

Un Rapid Result es un proceso estructurado, que comprende pequeñas partes de la estrategia a largo plazo y una implementación en ciclos alcanzables en el corto plazo. El enfoque destaca a los equipos como responsables de los desafíos y sus soluciones, quienes generalmente conocen las soluciones y solo necesitan tiempo y enfoque estructurado para aplicar ideas innovadoras y resolver los problemas de forma creativa y eficaz. Los equipos Rapid Result son compuestos por grupos multidisciplinarios de varios niveles, para explorar las soluciones innovadoras según los desafíos definidos.

A continuación se muestra un esquema con la metodología de trabajo de los Rapid Result:



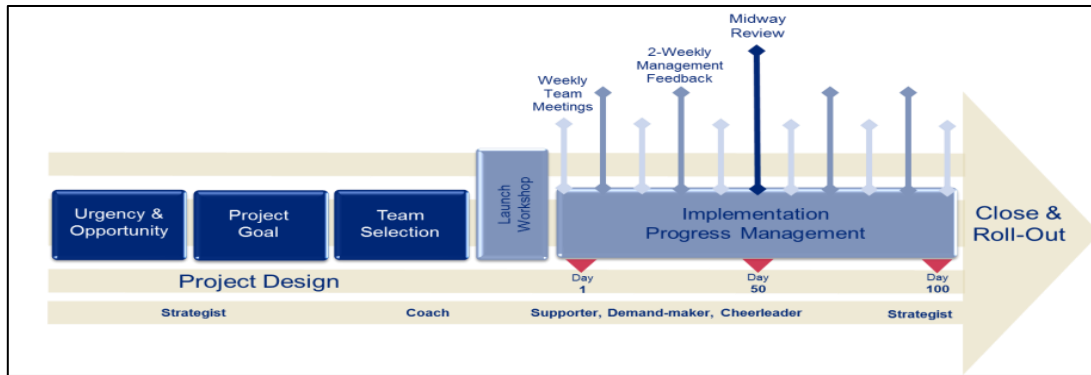


Ilustración 6-9: Mecanismo de Rapid Result (Reyes & Berenguela, 2016).

Concretamente, en marzo, tras levantar las pérdidas por proceso a Improve, esta área consideró relevante la causa de pérdida “camino”, que considera las detenciones por reparaciones de caminos y bloqueo de pistas, por lo que pasando las etapas de mayor ingeniería, esta causa fue considerada para realizar mejoras del proceso a través del mecanismo de Rapid Result.

En ese sentido se confeccionó un equipo compuesto por el Superintendente de Servicios, el Jefe de Caminos, un planificador de corto plazo, el Jefe de Capacitación de operadores y supervisores de Gestión Mina, para trabajar en conjunto para implementar mejoras dentro de 100 días, para así disminuir las detenciones en pista, optimizar el proceso y por consiguiente reducir las pérdidas en torno a este tema.

### 6.5.3. Mente

Mente en una aplicación, disponible para todos los trabajadores de Anglo American, donde el área de Improve sube desafíos cada 3 meses, de acuerdo a 4 directrices de la compañía como lo son: seguridad, excelencia operacional, reducción de costos y bienestar de las personas.

El principio básico detrás de Mente es usar la creatividad colectiva para resolver los desafíos y problemas expuestos por el área de Improve. Es una especie de un mercado financiero donde se puede invertir dinero virtual en ideas de mejora. Las ideas que logren el dinero virtual suficiente o que sean realmente buenas, pasaran a una etapa evaluación de expertos dentro del área involucrada, para posteriormente ser aplicadas como un piloto y en el caso que tenga buenos resultados será aplicada de manera global.

El área de Improve ingresará algunas de las principales causas de pérdida como desafíos en la aplicación Mente, de manera de levantarla a toda la operación y en conjunto crear ideas para optimizar el proceso responsable de la pérdida.

En el mes de marzo se levantaron las causas de pérdidas que se tenían hasta ese momento al equipo de Improve y se tomaron dos de ellas como desafíos para Mente: “espera por tronadura” y “accidentes en la conducción” (tal como se muestra en Anexos C en la Ilustración 11-10 y la Ilustración 11-11).

## 7. Conclusiones

Se realizan varias mejoras al sistema de gestión de pérdidas existente en Los Bronces, lo que permite tener un mecanismo mucho más robusto de lo que se tenía anteriormente. Logrando concientizar sobre la importancia de realizar un adecuado control de pérdidas, ya que permite establecer donde poner el foco para mejorar los resultados globales de la operación.

Se logra fortalecer los canales de información de modo de tener mayor interacción con los distintos entes de la operación. Además, fundamental para generar una mayor visibilidad tanto del control de pérdidas como de las principales pérdidas que son registradas, fue el trabajo en conjunto con las otras áreas de la Gerencia de BI&R, Analyze and Report para contrastar la información y ayudar a los análisis mes a mes e Improve para levantar trimestralmente las causas de pérdida más relevantes de la operación, permitiendo abordar estas causas y posibilitar el desarrollo de mejoras.

Se establecieron los criterios para considerar un evento como pérdida operacional, donde en primera instancia fueron acordados entre las áreas de Risk, Gestión Mina y Gestión Planta, para luego ser validado por los procesos, de modo de considerar la opinión de los expertos. En cuanto a los criterios se definieron tres niveles de impacto, sobre el 10% de la producción o extracción diaria se denomina evento nivel 1, mayor al 25%, evento nivel 2 y sobre el 50%, evento nivel 3, fijándose para cada caso una metodología de análisis distinta.

Se diseña un procedimiento para el control de pérdidas operacionales en Los Bronces, que permite la comunicación efectiva entre áreas, definiendo las respectivas actividades que se deben realizar cuando ocurre un evento de pérdida, clarificando quién y cómo: reporta, analiza la causa raíz, diseña los planes de acción, cuantifica el impacto y consolida toda la información. Quedando así estandarizada la gestión de pérdidas en mina y planta, donde ambas gerencias siguen las mismas etapas, sólo diferenciándose en los responsables a cargo de éstas.

El procedimiento de control de pérdidas permite al área de Risk tener mayor autonomía sobre la obtención de datos, en el caso base solo se recibía la información desde Gestión Mina y Gestión Planta, sin embargo ahora se extraen las pérdidas de mina y chancado directamente desde Dispatch y se utiliza el software SEP para contrastar la información recibida desde Gestión Planta sobre las pérdidas.

Como resultado de los análisis a las pérdidas registradas entre el 2016 y agosto del 2017, se obtienen pérdidas acumuladas de 26,4 [kton] de cobre fino equivalente a 53,4 [MUSD], concluyéndose que el proceso de chancado es el que registra mayor cantidad de eventos no deseados y que más impacta en las pérdidas de producción de cobre fino.

Son levantadas las causas de pérdida más críticas de la faena, de acuerdo principalmente a los criterios de frecuencia e impacto por evento. Destacan como pérdidas de producción de cobre fino: “inchancables”, “MNP de correas” y “MNP eléctricas de los chancadores”, mientras que entre las pérdidas asociadas a extracción sobresalen: “accidentes de camiones”, “derrames de material”, detenciones de equipos de carguío por encontrarse

“sin material tronado”, o con su “punto de trabajo obstruido”. Si se quiere mejorar los resultados de globales en Los Bronces, es necesario abordar algunas de estas causas e impulsar mejoras en los procesos responsables de las principales pérdidas, para disminuir su impacto.

Dentro de los resultados concretos obtenidos tras los levantamientos al área de Improve de las principales causas de pérdida, está la inclusión de “Pista Bloqueada” como Rapid Result y la incorporación como desafío en la aplicación Mente de “Esperas por Tronaduras” y “Accidentes en la conducción”. Cuando se terminó este trabajo, estas labores se encontraban en etapas tempranas, por lo que los resultados obtenidos tras las mejoras están fuera de los alcances de la memoria.

## 8. Recomendaciones

Se debe afinar la implementación del sistema de gestión de pérdidas operacionales ya que si bien la mayoría del sistema está funcionando, hay algunas actividades que no se están cumpliendo al 100%, como la generación de fichas de control de pérdida por parte de la mina. Por lo que es necesario que las áreas internalicen cada una de las responsabilidades definidas en el procedimiento y así el sistema funcione cada vez mejor.

Una forma de optimizar el sistema de gestión de pérdidas dentro del área de Risk, sería automatizar el llenado de la base de datos directamente desde Dispatch y SEP, ya que serviría para que el proceso de llenado fuera más rápido, se mantuviera siempre actualizado y se evitaran errores de tipeo. De forma que el ingeniero de Risk sólo agregue la información de las fichas, para detallar los eventos.

Es importante destacar que los eventos asociados a pérdidas de extracción de material no se están incluyendo como pérdida en cobre fino ni en dinero. Por lo que se recomienda incluirlas en los resultados finales, para ello se podría usar la REM (relación estéril mineral) para tener una aproximación del mineral que se pierde cuando hay pérdidas asociadas a la extracción, sin embargo dentro de las reuniones con los procesos se dejó en claro que este cálculo no es directo, debido a que cuando ocurren eventos en la mina (por ejemplo, la detención de una pala) generalmente se extrae más material de otro sector, compensando la pérdida, debido a que la mina cuenta con un sobrecarguío del 25%.

La ocurrencia de un incidente en la mina, sin embargo, trae consigo importantes consecuencias: el costo oportunidad por no tener a los equipos funcionando, que sería el costo fijo de los equipos; el costo de remanaje en caso de que los camiones no puedan alimentar a chancado y deban descargar en los stock (debido a un incidente que impida el uso del chancador); la diferencia de leyes al extraer de un sector distinto al planificado (debido a un incidente), significando un incumplimiento en el cobre fino proyectado, afectando además la ejecución del plan, lo que provoca problemas a largo plazo, pues se puede agotar una fase antes de lo planeado o retrasar la explotación de una fase que esté en desarrollo. Por lo que para mejorar el sistema y tener resultados más acabados de las pérdidas en dinero, sería necesario incluir estos costos fijos y de remanaje además del costo asociado a los daños que sufre un equipo debido a un evento no deseado.

Sería recomendable además revisar la forma en que valorizan las pérdidas en dinero, el Gerente de Finanzas, el Gerente Corporativo de Mantenimiento Mina y el Gerente de Planificación de Proyectos, de modo que el sistema de gestión use la misma metodología y así estar alineado con la forma en que lo realizan los líderes de la operación.

En una segunda etapa sería muy importante incorporar al sistema de gestión de pérdidas los eventos que son de responsabilidad de las Gerencias de Recursos Humanos, Seguridad, Infraestructura y Medio Ambiente, pues la ocurrencia de un evento no deseado en alguna de estas áreas puede traer consecuencias de alto impacto para la operación.

Finalmente se recomienda analizar los resultados obtenido tras la implementación de mejoras a algunos de los eventos de perdida expuestos, de modo, de poder comprobar si es que el desarrollo de las mejoras realmente permitió disminuir las pérdidas en el proceso respectivo y a su vez las pérdidas globales en la operación.

## 9. Glosario y abreviaciones

A&R: Analyze and Report.

AOM: Anglo Operational Model.

BI&R: Business Improvement and Risk.

CS02: Fase Casino 2.

CS03: Fase Casino 3.

CF: Planta de molienda Confluencia.

DN01: Fase Donoso 1.

DN02: Fase Donoso 2.

DN03: Fase Donoso 3.

DOP: Detención operacional.

GPAO: Gestión de Planes de Acción de Operaciones.

IMO: Informe Mensual de Operaciones.

INF05: Fase Infernillo 5.

INF06: Fase Infernillo 6.

INF07: Fase Infernillo 7.

KPI: Key Performance Indicators.

LB: Planta de molienda Los Bronces.

LT: Planta de flotación Las Tórtolas.

LOM: Life of mine. Tiempo de vida de la mina.

M.A. y C: Medio ambiente y comunidades.

MNP: Mantención no programada.

ORM: Operational Risk Management.

PMO: Project Management Office.

RCFA: Análisis causa raíz de la falla (Root cause fault analysis).

RR: Rapid Result.

RRHH: Recursos Humanos.

SEP: Sistema de Eventos Planta.

SI: Superintendente.

STP: Sistema de Transporte de Pulpas.

## 10. Bibliografía

- ANGLO AMERICAN COPPER, 2015. Time Model GTS 20, Santiago, Anglo American.
- ARCE, C., GUZMÁN, C. & NÚÑEZ, M. L., 2008. Sistema de Gestión de Pérdidas para la Gerencia Mina División El Teniente, Rancagua, Tech1Group.
- BARRIENTOS, V., 2014. Análisis de Factores Operacionales en Detenciones y Productividad de Sistema de Carguío y Transporte en Minería A Cielo Abierto. Memoria de Ingeniero Civil de Minas. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- BONZI, J. I., 2016. Propuestas de Mejora de la Utilización Efectiva en Base a Disponibilidad de la Flota de Carguío y Transporte en Minera Los Pelambres. Memoria de Ingeniero Civil de Minas. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- COCHILCO, 2017. Minería en Cifras, Santiago, Consejo Minero.
- ERICSON, C., 1999. Fault Tree Analysis - A History. Orlando, The Boeing Company.
- FARFAN, F., 2014. Plan de Mantenimiento Preventiva del Chancador Primario Fuller en División Andina Codelco, Memoria de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Valdivia, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería.
- GÓMEZ, C. & GÓMEZ, V., 2008. Aplicación analizador de eventos SEP, Santiago, Contac.
- ISHIKAWA, K., 1986. ¿Qué es el control total de calidad?: La modalidad japonesa. Segunda ed. Tokio, Editorial Norma.
- JURAN, J., 1975. The Non-Pareto Principle; Mea Culpa, New York, McGraw-Hill.
- LAGOS, E., 2007. Gestión Operativa del Sistema de Despacho Estudio Técnico y Económico. Memoria de Ingeniero Civil de Minas. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- LE-FEAUX, R., VÁSQUEZ, A. & GALDAMES, B., 1998. Diseños y Operaciones de Minas a Cielo Abierto. Primera ed. Santiago, Universidad de Chile.
- LUNDIN MINING, 2017. NewTrax System Purchase for underground mines, Copiapó, Lundin Mining Corporation.
- MODULAR MINING SYSTEM, 2014. Dispatch. [En línea] Available at: <<http://www.modularmining.com/es/product/dispatch/>> [Último acceso: 28 abril 2017].

NEWMAN, A., 2010. A Review of Operations Research in Mine Planning, Santiago, Informs, p. 222-245.

GÓMEZ, M., 2013. Análisis de Falla en Maquinaria Minera. Memoria de Ingeniero Civil Electricista. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

OTTO LORENZ, M. & PARETO, V., 2014. Aiteco. [En línea] Available at: <<https://www.aiteco.com/diagrama-de-pareto/>> [Último acceso: 25 mayo 2017].

REYES, J. P. & BERENGUELA, A., 2016. Revista Expo Agility Los Bronces, Santiago, Anglo American Copper.

ROMERO CARRANZA, J. L., 2013. Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmotadora de algodón. Memoria de Ingeniero Industrial. Sevilla, Escuela Técnica Superior de Ingeniería.

ROQUE, H., 1998. Control de Pérdidas y Mejoramiento de Procesos en la Mina Chuquicamata. Memoria de Ingeniero Civil de Minas. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

SOLIS, R., 2013. Estrategias de aseguramiento de disponibilidad palas de cable de mina Radomiro Tomic. Magister en Gestión y Dirección de Empresas. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

TOYADA, S. & OHNO, T., 1988. Toyota production system: beyond large-scale production, Portland, CRC Press.

VELOSO, J. & CÁRDENAS, H., 2015. Procedimiento Control de Pérdidas Planta Anglo American, Santiago, Superintendencia Planificación Mantención Planta.

WILHELM, S., 2013. Mejoramiento de la Gestión de Carga Viva en Acopios Los Colorados Minera Escondida. Memoria de Ingeniero Civil de Minas. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.



## 11. Anexos

### 11.1. Anexo A: Control de pérdidas

#### 11.1.1. Ficha registro de control de perdidas

Las fichas de registro de pérdidas operacionales incluyen descripción, fecha, hora y duración del evento, impacto de la pérdida y planes de acción correctivos con sus respectivos responsables. A continuación se muestra el formato de la Ficha de Registro Control de Pérdidas que se describe en el procedimiento:

Ficha registro control de pérdidas	
Incidente Operacional	Responsable Plan
Breve Descripción	
Causas Raíz	

19

Ilustración 11-1: Ficha de Registro Control de Pérdidas: descripción y causas.



## 11.1.2. Presentación control de pérdidas caso base

Hasta el año 2016, se presentaba la siguiente slide al staff de gerentes, donde se mostraba: la frecuencia de eventos no deseados que impacta en cada proceso, la distribución de eventos por mes, pérdidas acumuladas al año y mensuales en cobre fino y su equivalente en dólares.

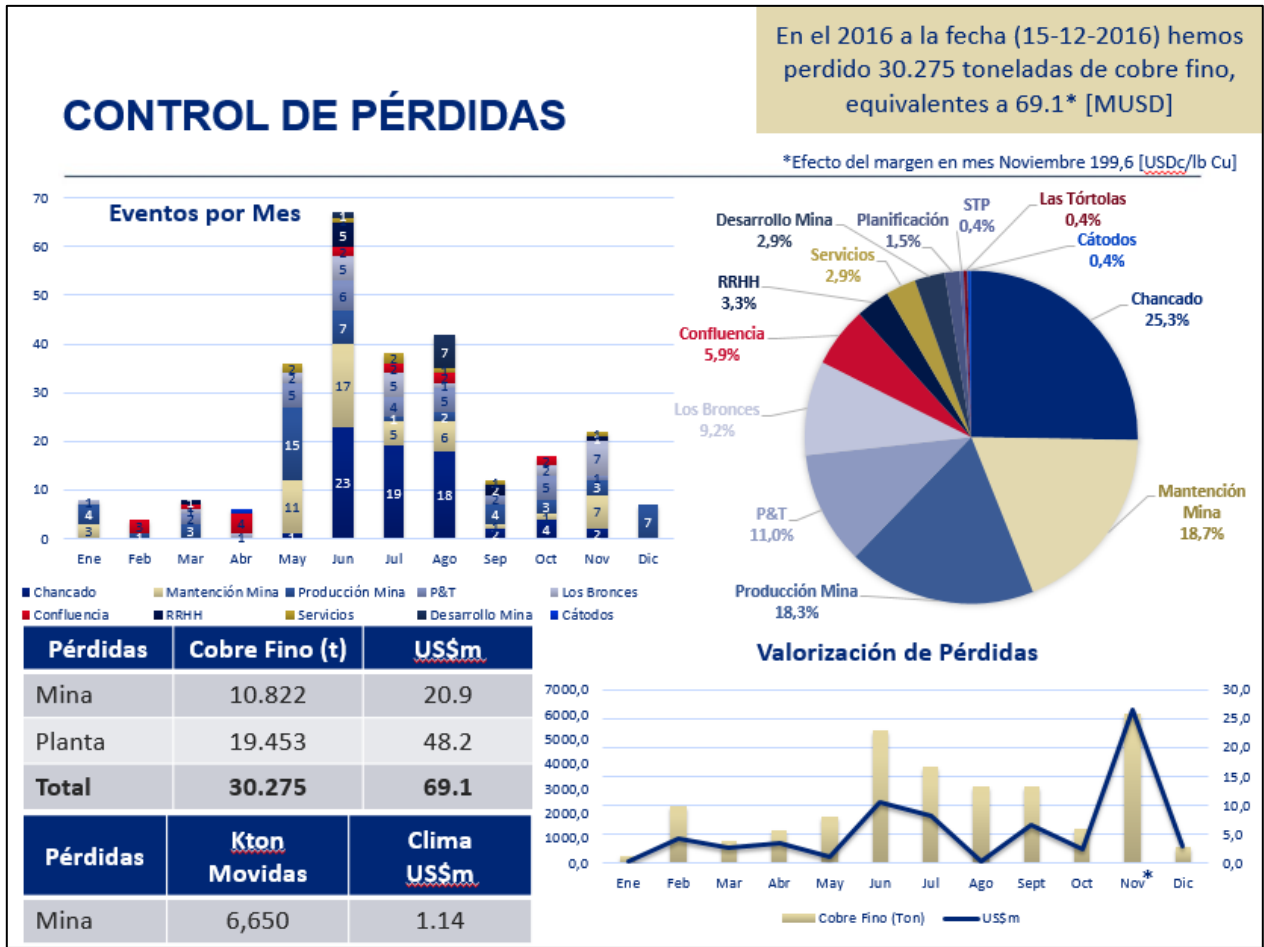


Ilustración 11-4: Presentación de control de pérdidas.

### 11.1.3. Presentación control de pérdidas modificada

Dentro del mejoramiento del sistema de gestión de pérdidas operacionales, está la modificación de la presentación al staff de gerentes. Se cambia el sentido del registro de eventos, enfocándose en los procesos causantes de la pérdida y no en los impactados, por lo que ahora se muestra la frecuencia de eventos no deseados causados por cada proceso, la distribución de eventos por mes, pérdidas acumuladas al año y mensuales en cobre fino y su equivalente en dólares. Además se agregan dos slide que muestran las cinco causas de pérdida de cobre fino más importantes en lo que va del año en mina y las cinco más importantes en planta, además se incluye a las cinco causas de pérdida de material extraído más relevantes de la operación. Finalmente se agrega un respaldo con el detalle de las diez causas con mayor impacto en producción y extracción, sumado a las fichas de registro control de pérdidas del mes.

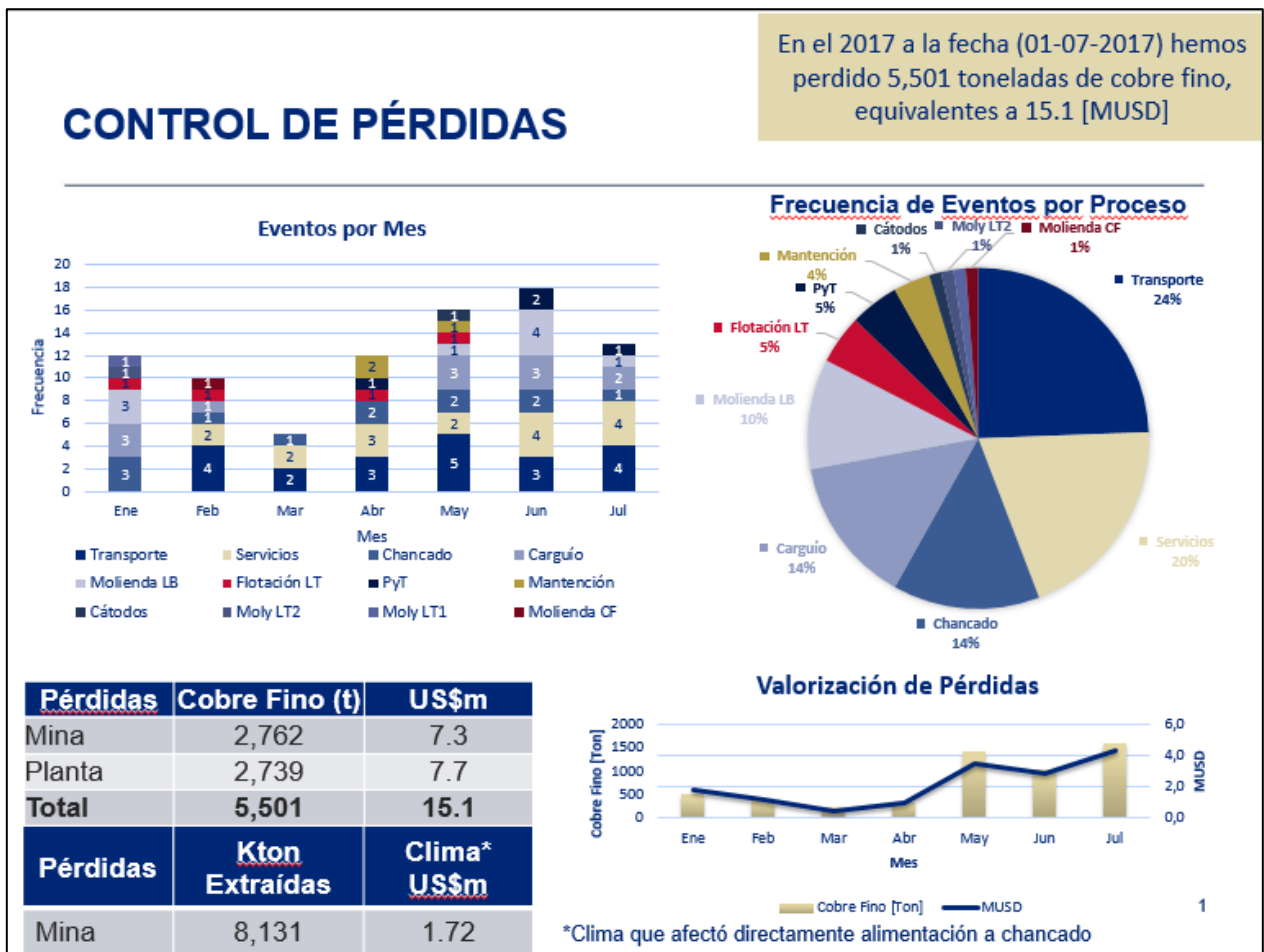


Ilustración 11-5: Presentación de control de pérdidas modificada.

# CONTROL DE PÉRDIDAS

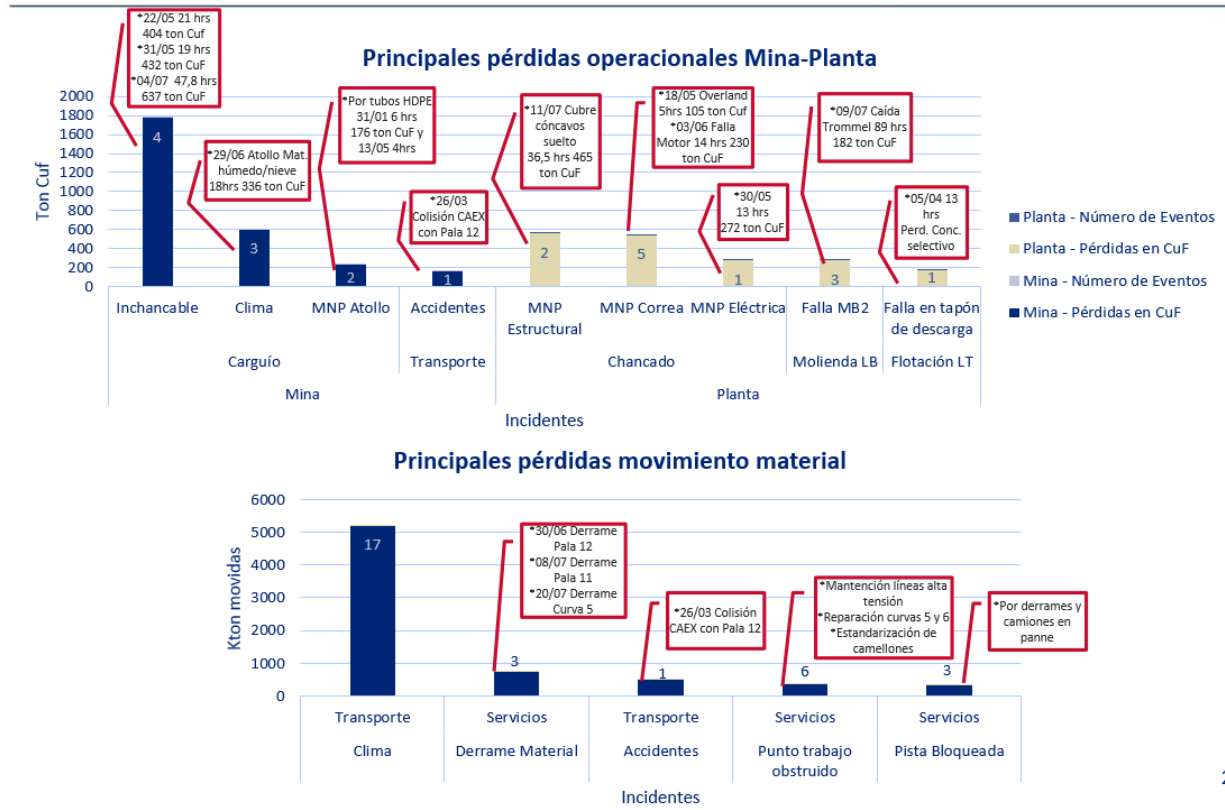


Ilustración 11-6: Control de pérdidas principales pérdidas.

## DETALLE PRINCIPALES EVENTOS 2017

Detalle Principales Causas de Pérdidas de Cobre Fino									
Descripción	Gerencia	Proceso	Equipo	Incidente	Fecha	Pérdida [hrs]	Pérdida Kton Tratadas	Pérdida [Ton Cuf]	Pérdida [MUS\$]
Perdida de Concentrado Colectivo Planta LT2	Planta	Flotación LT	Tapón alim	Falla tapón descarga	05-04-2017	8,3		175,0	0,49
Inchancable/Elemento de desgaste Casino 2 por Pala 11	Mina	Carguío	CH02	Inchancable	22-05-2017	21,4	85,0	404,0	0,97
MNP – Eléctrica	Planta	Chancado	CH02	MNP Eléctrica	30-05-2017	13,4	47,5	272,2	0,65
Inchancable/Elemento desgaste Stock Donoso por Pala 7	Mina	Carguío	CH02	Inchancable	31-05-2017	19,0	86,0	432,0	1,04
MNP Correa/Falla Motor Correa	Planta	Chancado	CH02	MNP Correa	03-06-2017	13,7	49,0	229,7	0,63
Atollo mineral Húmedo Nieve	Mina	Carguío	CH01	Clima	29-06-2017	17,7	42,0	336,2	0,92
Inchancable	Mina	Chancado	CH01	Inchancable	04-07-2017	47,8	113,0	636,7	1,75
Caída de Trommel Molino de Bolas 2	Planta	Molienda LB	MB2	Falla MB2	09-07-2017	89,0	26,7	181,6	0,50
MNP Estructural/Cubre cóncavos suelo	Planta	Chancado	CH01	MNP Estructural	11-07-2017	36,5	86,0	465,2	1,28
Inchancable	Mina	Carguío	CH02	Inchancable	25-07-2017	16,7	59,2	301,2	0,83
<b>Total</b>						<b>283,5</b>	<b>594,5</b>	<b>3433,8</b>	<b>9,05</b>
								<b>62%</b>	<b>60%</b>

Detalle Principales Causas de Pérdidas de Extracción							
Descripción	Proceso	Equipo	Incidente	Fecha	Pérdida [hrs]	Pérdida Kton Movidas	
Accidente colisión CDH 16 con Pala 12 (7 días)	Transporte	PAB12	Accidentes	26-03-2017	176	487,3	
Punto de Trabajo Obstruido/Reparación pista curva 5 y 6 y panne CDH 68	Servicios	Pala 8 y 10	Punto trabajo obstruido	21-04-2017	35	116,1	
Sin Energía Mina por movimiento de cables	Servicios	Pala 5, 8 y 10	Movimiento cables	31-05-2017	36	70,0	
Sin Material Tronado/Se adelantó carguío de derrames	PyT	PAB12	Sin material tronado	01-06-2017	79	151,0	
Accidente/Quebradura de zapatas durante traslado de pala 6 (2 días)	Carguío	PAB06	Traslado	05-06-2017	56	180,0	
Camiones Panne en ruta sector curva 4-5-6 (6-8-12-18-21 de Junio)	Servicios	CAM	Pista Bloqueada	12-06-2017	588	170,0	
Caída de material desde banco superior alcanzando pala 12 (4 días)	Carguío	PAB12	Derrame Material	28-06-2017	51	184,0	
Pista Bloqueada por Panne de Camiones, Derrame y Rep curva 5 (6 días)	Servicios	CAM	Pista Bloqueada	01-07-2017	353	101,0	
Accidente/Caída de Planchón lado derecho (10 días detenida)	Carguío	PAB11	Derrame material	08-07-2017	210	459,6	
Pista Bloqueada por Panne de Camiones y Derrame curva 5 (4 días)	Servicios	CAM	Derrame material	14-07-2017	195	65,0	
Subtotal					1179	2012,0	
Acumulado Clima					18186	5182,9	
<b>Total</b>					<b>19965</b>	<b>7199,9</b>	<b>3</b>
						<b>88%</b>	

Ilustración 11-7: Control de pérdidas detalle principales pérdidas.



## Ficha registro control de pérdidas

<b>Incidente Operacional</b>	<b>Incidente : Daño Pala12 por desprendimiento material</b> Fecha: 28 Junio 2017 / 05:19 am Turno B Duración: Pala 12 – 51.3 hrs. Pérdida: 184 Kton de Estéril	<b>Responsable Plan</b>	Luis Cuello
------------------------------	---	-------------------------	-------------

### Breve Descripción

Pala 12 en proceso de carguío estéril banco 3340 en fase Cas2, se desprende material desde el banco 3340 dañando a la Pala lado derecho / escala por 51 horas. Sin daño a las personas.

#### Pérdidas:

- 13 Kton de estéril banco 3340
- 10 kt de mineral banco 3340
- 11 kt lixiviable banco 3340
- 30 kt lixiviable banco 3325
- 120 kt esteril banco 3325

#### Consecuencias:

- Menor extracción de la Fase Infiernillo.
- Pala 6 no cumple con el plan de extracción , clave para la liberación de patios de perforación.
- Detención de Pala 08 por interferencia de Pala 06 en el ingreso hacia el banco 3790 , por lo cual no cumple su plan de extracción.



### Causa Raíz

1. En investigación por área geomecanica.

### Planes de Acción Correctivos

1. Control de sobre extracción en disparos de contorno, asegurar berma. Diferenciando la extracción en remate cara banco pit final.
2. Reinstrucción a operadores referente a finalización de banco y evaluación de riesgos.

Ilustración 11-8: Presentación control de pérdidas: fichas del mes

### 11.1.4. Resumen Turno

El Jefe de Despacho luego de la reunión con el Jefe de Turno, realiza el reporte Resumen Turno, en donde se muestra los KPI más importantes del día y se comparan con el plan semanal, además se muestran comentarios sobre eventos no deseados ocurridos en cada una de las fases. A continuación se muestra un ejemplo:

**RESUMEN GENERAL DE TURNO - LOS BRONCES**

Movimientos (t)	Real	Plan Sem	vs Plan Sem	Niveles Stocks	164.682
Mov. Mina	376.836	400.120	94%	Confluencia	73.338
Extracción	310.147	321.120	97%	Bronces	91.344
Donoso 1	0	0	NP		
Casino 2	17.309	54.741	32%		
Infiernillo 5	263.712	227.541	116%		
Infiernillo 7A	10.430	24.147	43%		
Donoso 2	18.696	14.690	127%		
Min. Extráido	83.407	71.000	117%		
Min. A Stocks	1.219	0	NP		
Min. a Planta	142.265	150.000	95%		
ppm As	1.683	978	172%		
Ley Cu Total	0,83%	0,62%	134%		
Ley Cu CH1	0,75%				
Ley Cu CH2	0,88%				

Distancia Media Diaria		Real	Plan Sem.	ST
Mov. Mina	Real vs. Planes	6,2	7,0	7,5
Extracción	Remanaje/otros	1,0	3,4	2,6
Casino 2	Extracción	7,3	8,4	6,6
Fase 5	Casino 2	4,4	4,6	4,6
Donoso 1	Fase 5	7,5	9,9	8,9
	Donoso 1	0,0	0,0	0,0

Mineral a Chancadores por Fase (t)		Real	Plan Sem.	vs Plan Sem
Ton Fase Infiernillo	Mineral a Chancadores por Fase (t)	76.797	65.000	118%
Ley Fase Infiernillo		1,00	0,66	152%
Ton Fase Casino		5.391	6.000	90%
Ley Fase Casino		0,65	0,46	141%
Ton Fase Donoso		0	0	NP
Ley Fase Donoso		0,00	0,00	NP

Metros Perforados (m)		Real	Plan Sem.	vs Plan Sem
Metros Perforados (m)		2.217	2.892	77%

**Comentarios Día**

**Seguridad:**

En traslado de Pala 11, se monta oruga derecha sobre camellón central, rompiendo base de pasador de una zapata. Según relato del trabajador, mientras conducía camioneta MA 57 en maniobra para estacionar en sector Nave 9, conductor no se percató de que se encontraba un bins en el área, pasándolo a llevar con la mica trasera izquierda. No se producen lesionados.

Infiernillo 5: Se cumple extracción con desvíos asociados a detenciones en pistas (-2Kton), subsidiado por mayor velocidad media (+25kton) y menor distancia media por apertura curva 5 para acceso a todas las palas (+41kton).

Casino 2: Afectado por menor OT de transporte, dado por panne pala 11 corte oruga 13:47 hrs.. (-48 kton), desvíos asociados a detenciones en pistas (-4 kton).

Infiernillo 7A: Sin material tronado a la espera de tronadura 3505-701/702, realizada a las 18:04 hrs.

Donoso 2: Sin observaciones.

Atraso de 4 buses desde Santiago afecta primera hora del turno B.

**CONTROL KPI DE CARGUO**

FASE/KPI	CASINO 2				FASE 5				STOCKS/OTRO			
	PAB11	PAB12	PAB05	PAB06	PAB08	PAB10	PAB07	PHK09	PHK14	PHK13	CFI08	CFI07
Tons Plan Semanal	54.741	0	51.174	56.009	59.555	60.802	54.000	0	24.147	0	0	0
Tons ST	57.281	21.945	44.554	38.395	46.831	55.816	2.341	16.622	0	3.292	12.698	0
Tons Real	8.127	0	65.312	15.942	86.523	70.350	54.377	22.471	8.046	11.864	13.708	0
DF Plan Semanal	95%	0%	92%	92%	91%	93%	86%	90%	90%	92%	92%	0%
DF Plan ST	86%	85%	90%	82%	82%	91%	86%	80%	83%	86%	81%	0%
DF Real	43%	100%	92%	45%	97%	82%	100%	91%	100%	100%	100%	0%
Uso Plan Semanal	65%	0%	74%	86%	75%	76%	82%	0%	68%	0%	0%	0%
Uso Plan ST	76%	29%	66%	66%	66%	70%	4%	53%	0%	10%	44%	0%
Uso Real	59%	0%	81%	73%	91%	81%	80%	70%	22%	30%	52%	0%
RO Plan Semanal	3.710	3.653	3.150	2.966	3.633	3.615	3.200	1.200	1.650	1.650	1.400	0
RO Plan ST	3.673	3.659	3.124	2.966	3.633	3.651	2.700	1.650	0	1.650	1.500	0
RO Real	1.354	0	3.624	2.010	4.073	4.398	2.817	1.471	1.527	1.636	1.101	0
Espera (h)	1,0	0,0	5,7	2,9	3,9	5,4	2,1	7,6	1,7	1,6	3,7	0,0
Acumulamiento (min)	1,4	0,0	1,4	1,4	1,3	1,2	1,4	1,3	1,8	1,8	1,3	0,0
T. Carga (min)	2,7	0,0	2,1	3,5	2,6	1,7	3,5	4,7	5,0	5,7	5,8	0,0

**CONTROL KPI DE TRANSPORTE**

KPI Transporte	CAT 795F	KOM 830E	KOM 930E	KOM 960E
Tons Real	62.400	2.744	265.816	7.800
RO Real	374	230	360	440
RO Plan Semanal	270	593	331	264
DF Real	75%	100%	86%	50%
DF Plan Semanal	80%	76%	86%	73%
Uso Real	84%	6%	65%	74%
Uso Plan Semanal	90%	25%	80%	88%
FC Real	311	201	299	316
FC Plan Semanal	321	200	297	317

Velocidad Media por Fase		
FASE	Vel [km/h]	Target ST
CASINO	18,3	16,4
DONOSO	0,0	0,0
FASE 5	21,8	19,5
STOCKS	13,5	23,6
TOTAL	21,1	18,9

Movimiento Horas Claves		
Cambio Turno (t)	Real	Target RR
Hora 1	11.259	14.050
Hora 12	13.660	14.050
Relevos (t)		
Promedio	13.307	15.618

Tiempo de Cola en Botadero			
Ubicación	Cola (min)	Descarga (min)	N° Descargas
PRIM	2,2	1,6	157
BSF-3475-LIX	1,7	0,6	433
PRIM DOS	1,6	1,7	275
BSF-3200-PRESMA	1,4	0,5	142
BSF-3530E	1,1	0,5	47
Grand Total	1,6	1,0	1054

Toneladas por Botadero			
Botadero	Toneladas	Plan Sem.	% Camp.
BSF-3200-PRESMA	44.995	38.000	118%
BSF-3530E	14.033	0	NP
BSF-3475-LIX	146.052	110.585	132%
BOT-02-STOCK1	18.696	14.690	127%
	0	0	NP
	0	0	NP

Tiempos de Cola en Carguío		
Pala	Cola (min)	N° Cargas
PAB05	2,3	189
PAB10	1,7	213
PAB08	1,4	247
PHK14	1,4	27
PAB11	1,4	24
PHK09	1,0	42
CFI08	0,7	41
PHK13	0,7	39
PAB07	0,4	179
PAB06	0,1	34
Grand Total	1,1	1035

WATERFALL EXPIT PROPIO SEMANAL VS REAL - CASINO 2



WATERFALL EXPIT PROPIO SEMANAL VS REAL - INFIERNILLO 5

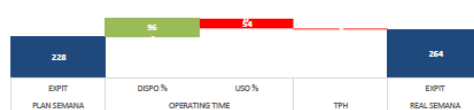


Ilustración 11-9: Resumen turno.



## 11.2. Anexo B: Diagramas de Pareto

A continuación se muestran los diagramas de Pareto realizados para todas las causas de pérdida en la operación, el Pareto asociado a las pérdidas de producción en el Gráfico 11-1 y el Pareto asociado a las pérdidas de extracción en el Gráfico 11-2:

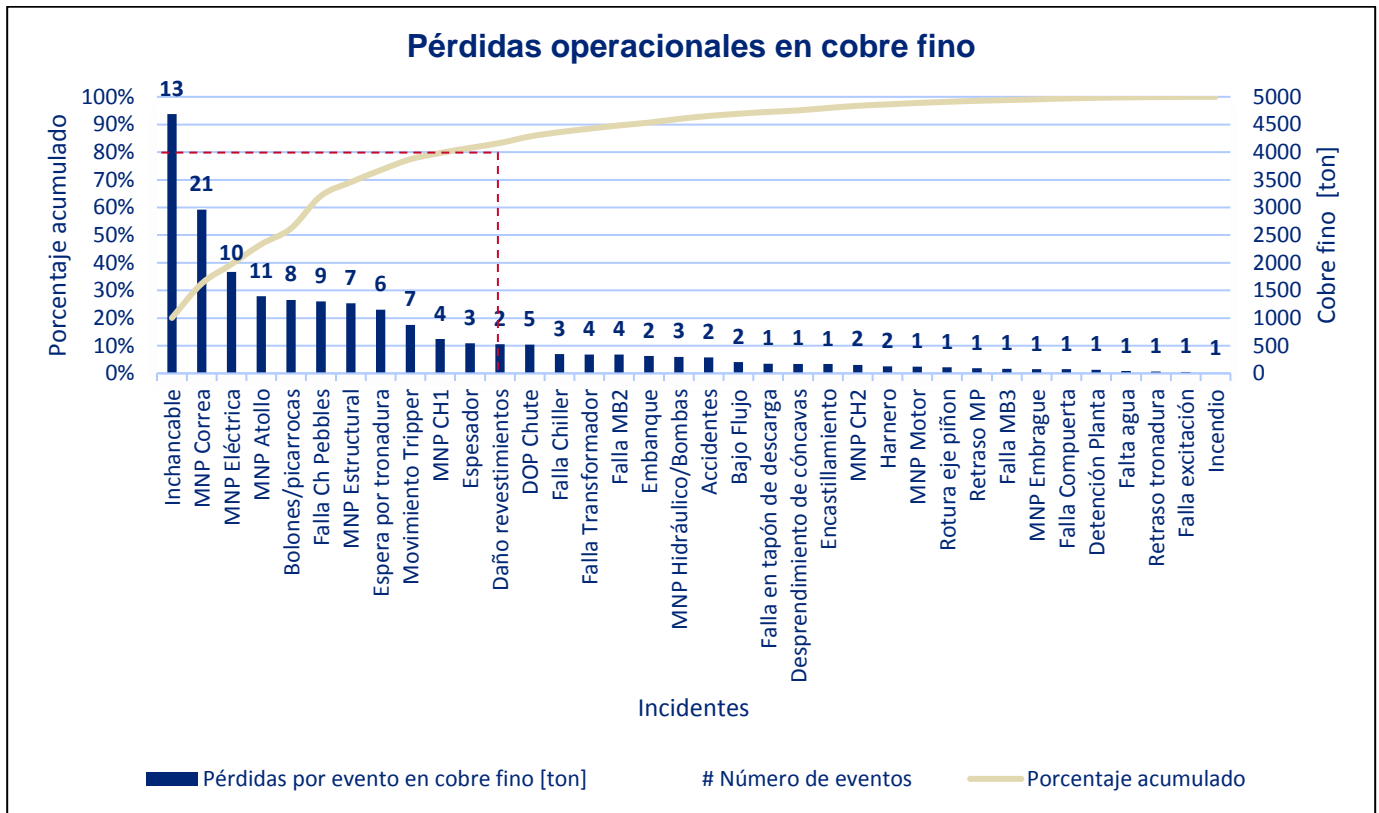


Gráfico 11-1: Pareto de causas de pérdida en cobre fino.

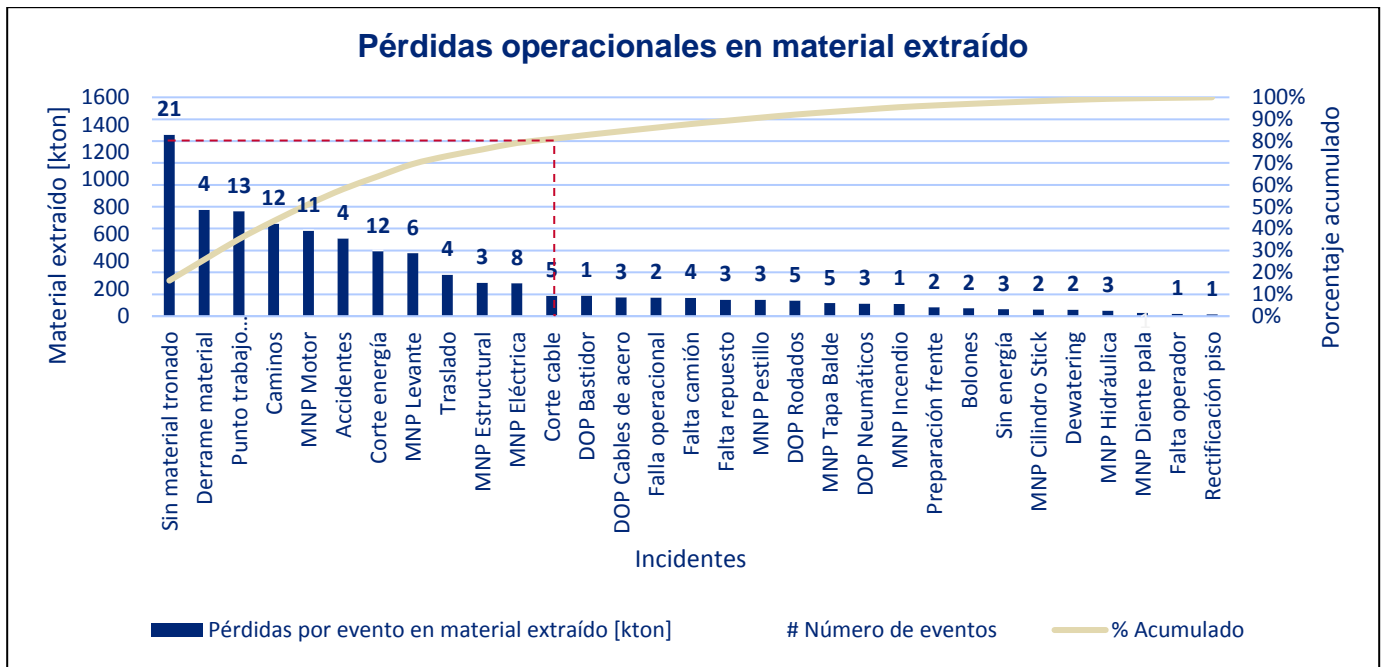


Gráfico 11-2: Pareto de causas de pérdida en material extraído.

### 11.3. Anexo C: Desafíos Mente

Se observa en la Ilustración 11-10 y en la Ilustración 11-11 la incorporación de dos causas de pérdida como desafíos en la aplicación Mente: Esperas por tronaduras y Accidentes en la conducción:

## 🎯 Desafíos

### ¿Cómo podemos disminuir los tiempos perdidos post-tronadura?

Antes y durante cada tronadura se establece un radio de seguridad, tanto para equipos como para personas. Necesitamos acelerar el re-inicio de la operación una vez ocurrida la tronadura.

patrocinado por

Mente Mente

3 días

123 visitas

6 ideas

**¿Por qué es importante?**

Necesitamos aumentar el flujo en la mina, sin embargo, como muchos procesos necesarios, debemos detener por un momento la operación. Acelerar el reinicio de la operación nos permitirá lograr la meta de Los Bronces.

**Recompensa:**


Todos estamos llamados a liderar el cambio en Los Bronces. Sé parte de la Mente de Anglo American.

**Quién obtiene la recompensa:**

Todas las ideas que consigan financiación

Ilustración 11-10: Desafío Mente: Espera por Tronadura.

## ¿Cómo evitamos accidentes en la conducción?

patrocinado por  
Mente Mente 



Día a día estamos expuestos a accidentes en la conducción en diversos equipos, tanto equipos o maquinaria pesada, como en vehículos livianos.



3 días

207 visitas 23 ideas

### ¿Por qué es importante?

La Seguridad es siempre es el punto principal de nuestros programas y por un muy buen motivo. Creemos fehacientemente que TODAS las lesiones son evitables y que, trabajando conjuntamente, podemos hacer de la seguridad un modo de vida, dentro y fuera de nuestro lugar de trabajo.



### Recompensa:

Tu idea nos puede ayudar a evitar accidentes relacionados a la conducción.

Ilustración 11-11: Desafío Mente: Accidentes en la conducción.

## 11.4. Anexo D: Sistemas de las palas cables

A continuación se describen los sistemas de las palas cables, de modo que se entienda de mejor manera cuales son los incidentes que pueden sufrir y a que sistema pertenece cada pieza.

La pala cable realiza 4 movimientos característicos, 3 de los cuales se usan en la carga:

- Excavación (sistema de levante, hoist)
- Empuje (sistema de empuje, crowd)
- Giro (sistema de giro, swing)
- Propulsión (sistema de propulsión, propel).

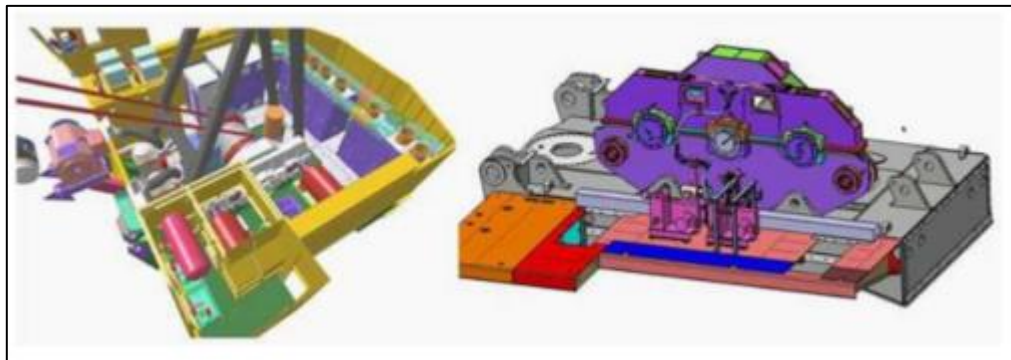
### Sistema eléctrico, electrónico y control

La pala es controlada electrónica y eléctricamente, los principales sistemas se accionan mediante motores eléctricos de corriente continua o alterna, conectados a transmisiones mecánicas a través de acoplamientos. El sistema de distribución de energía eléctrica de la mina suministra corriente alterna a la pala en 6600VAC, mediante un cable de alimentación y subestaciones móviles. La energía del cable de alimentación llega al chasis inferior, se transfiere al chasis superior o tornamesa, a través de un sistema de anillos colectores de alto voltaje hasta la cabina de alto voltaje y posteriormente hasta el transformador principal y auxiliar donde se transforma la energía a niveles de trabajo. Además posee un gabinete de supresión donde se filtran las perturbaciones en las ondas eléctricas, gabinetes de condensadores para compensar las corrientes inductivas mejorando así el factor de potencia y gabinetes auxiliares y sala de control, entre otros. Se tiene una gran cantidad de componentes eléctricos en los distintos gabinetes con que

cuenta la máquina, entre los que se cuentan, resistencias, contactores, fusibles, reactores, interruptores, tiristores, barras, cableado, regletas de fuerza, SCR, entre otros. (Solís, 2013)

### **Sistema de levante**

El sistema de levante es el encargado de levantar el balde, por medio de los cables de levante, los que se enrollan en un tambor, aledaño a la transmisión de levante, situado en el interior de la sala de máquinas. La dirección del movimiento de los cables es cambiada en el extremo de la pluma por una polea. Para producir el giro del tambor se tienen dos motores (DC o AC), los que trabajan sincronizadamente, montados a cada extremo de la transmisión de levante. Cada motor posee un ventilador (blower) que extrae aire del exterior y lo ingresa al interior del motor para mantenerlo a temperaturas de operación óptimas y un freno por cada motor que está acoplado a la transmisión y accionado neumáticamente. Los elementos interiores de la transmisión son intercambiables (primera y segunda reducción, corona). El tambor y la carcasa de la transmisión están diseñadas para la vida de la máquina. (Solís, 2013)



*Ilustración 11-12: Sistema de levante.*

### **Sistema de empuje**

El sistema de empuje extiende o retrae el mango, y por ende el balde, brindándole en conjunto con el sistema de levante un movimiento circular variable al balde, necesario para optimizar el carguío. El mango se extiende o retrae gracias a un mecanismo de cremallera y piñón, accionado por medio de una transmisión modular, que se encuentra apernada en el eje central de la pluma, la que gira accionada por un motor (DC o AC), que trasmite la potencia por medio de un sistema de polea correa. El mango queda limitado en su movimiento en la zona motriz por dos estructuras llamadas correderas, especies de mordazas desmontables. En un costado de la transmisión, en el eje de alta, está instalado un freno accionado neumáticamente. Los piñones que accionan el mango son intercambiables. (Solís, 2013)

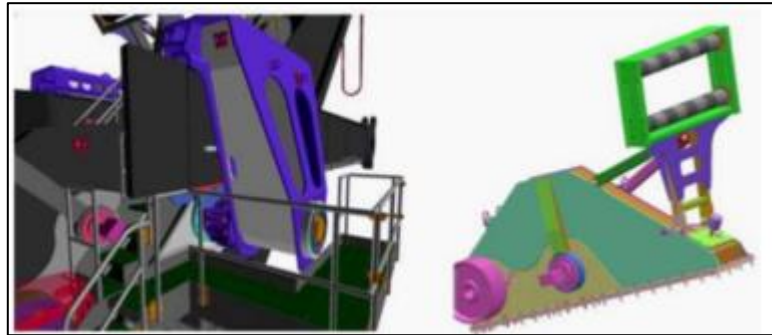


Ilustración 11-13: Sistema de empuje.

## Sistema de giro

El sistema de giro genera el movimiento circular de la parte superior de la pala, entregándole la capacidad de cargar a 180° y realizar giros completos. El componente principal del sistema de giro es la corona, de aproximadamente 6 metros de diámetro. Esta se monta sobre el chasis inferior (carbody y sides frames). Lo componen, además, la pista inferior alojada en chasis inferior y la pista superior, alojada en la superestructura giratoria (revolving frame). Entre ambas pistas, se tiene el sistema de rodillos, sobre los cuales desliza la superestructura superior, cuando gira. Estos elementos forman un rodamiento axial gigante. El giro se produce por la acción de dos o tres piñones sobre la corona. Cada piñón está sujeto a un eje que sale de la transmisión de giro, la cual trabaja gracias al acoplamiento con un motor de corriente continua (DC) o corriente alterna (AC). Sobre cada motor eléctrico, están acoplado un freno de discos accionado neumáticamente. (Solís, 2013)



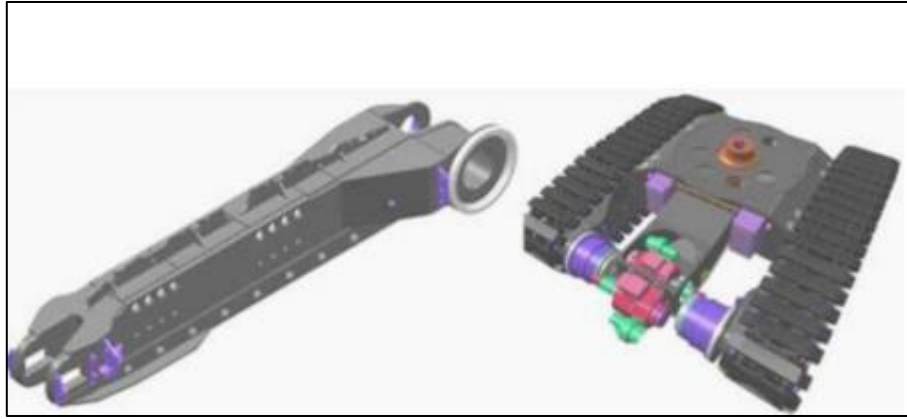
Ilustración 11-14: Sistema de giro.

## Sistema de propulsión

El sistema de propulsión es el encargado de desplazar la pala. Cuenta con dos superestructuras llamadas bastidores (side frames), apernados a una estructura central (car body). En la zona motriz, se aperna un cajón en donde se instalan los motores eléctricos. En cada bastidor se acopla una transmisión y motor eléctrico DC o AC. Los motores transfieren el movimiento a las transmisiones planetarias, las que transmiten potencia a la rueda de propulsión, por medio de un eje. Esto impulsa la oruga,



deslizándose la pala por esta, a través de rodillos. La oruga cuenta con un sistema de tensado y con rieles de desplazamiento, sobre el cual desliza la oruga en la parte superior de cada bastidor. Cada bastidor tiene ocho rodillos de carga, una rueda tensora, una rueda guía y una rueda propulsora por lado. En el extremo del motor, esta acoplado un freno de discos accionado neumáticamente. (Solís, 2013)

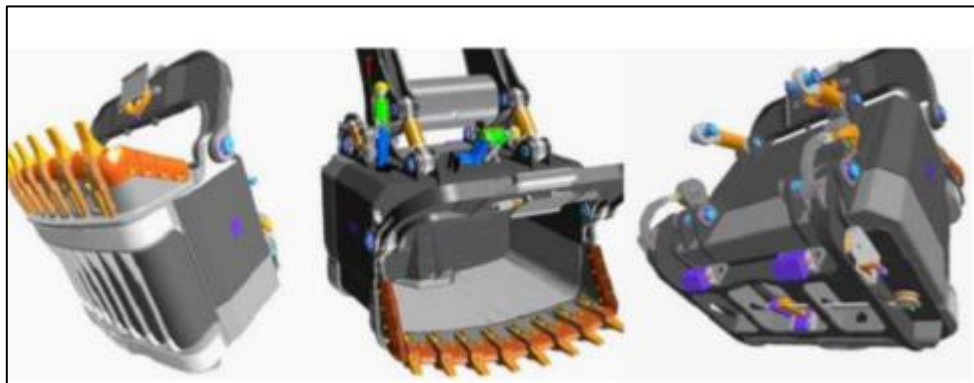


*Ilustración 11-15: Sistema de propulsión.*

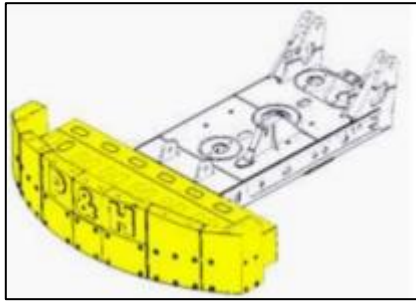
### **Sistema estructural**

Son los elementos que dan rigidez estructural a la máquina, están contruidos por planchas de acero de distinto espesor, soldadas entre ellas en diversos puntos. Está compuesto por estructuras, tales como:

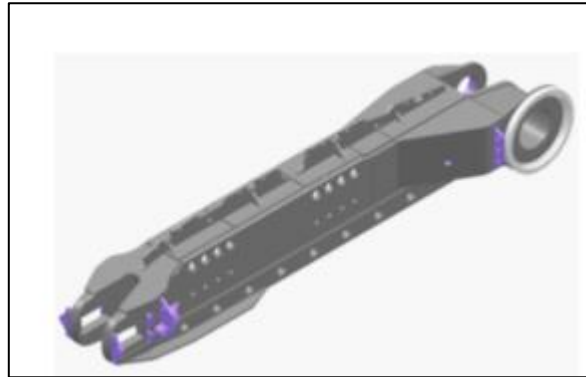
- Pluma (boom)
- Mango (dipper handle)
- Corredera
- Balde (dipper)
- Tornamesa superior (revolving frame)
- Chasis inferior (carbody)
- Bastidores (crawler frame)



*Ilustración 11-16: Balde.*



*Ilustración 11-17: Tornamesa.*



*Ilustración 11-18: Bastidor.*