



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

**GESTIÓN DE ACTIVOS MINEROS, ESTRATEGIA OPERACIONAL EN  
PERÍODOS DE INVIERNO ALTIPLÁNICO POR EFECTOS DE CAMBIO  
CLIMÁTICO, DIVISIÓN RADOMIRO TOMIC, CODELCO.**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN Y  
DIRECCIÓN DE EMPRESAS**

**FERNANDO ENRIQUE MUÑOZ FLORES**

**PROFESOR GUÍA:  
LUIS ZAVIEZO SCHWARTZMAN**

**MIEMBROS DE LA COMISION:  
LORETO BURGOS RODRÍGUEZ  
JACQUES IVES CLERC PARADA**

**SANTIAGO DE CHILE  
2020**

**RESÚMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE:** Magíster en Gestión Y Dirección de Empresas  
**POR:** Fernando Enrique Muñoz Flores  
**FECHA:** 14/07/2020  
**PROFESOR GUÍA:** Luis Zaviezo Schwartzman

**GESTIÓN DE ACTIVOS MINEROS, ESTRATEGIA OPERACIONAL EN PERÍODOS DE INVIERNO ALTIPLÁNICO POR EFECTOS DE CAMBIO CLIMÁTICO, DIVISIÓN RADOMIRO TOMIC, CODELCO.**

El presente trabajo muestra la propuesta de estrategia operacional de la División Radomiro Tomic de la Corporación Nacional del Cobre, Codelco, en periodo de invierno altiplánico, por efectos de cambio climático. El invierno altiplánico acontecido en el periodo de enero a marzo de 2019, generó impactos negativos importantes en el negocio de Radomiro Tomic. El no cumplimiento de los planes de producción y de los compromisos de cobre fino marcaron un quiebre en la forma de definir la operación mina bajo condiciones climáticas adversas. Por esta razón, la estrategia operacional desarrollada permite a la División Radomiro Tomic alcanzar sus objetivos estratégicos en el largo plazo, y así entregar sustento a los intereses de sus dueños.

Los estudios de cambio climático revelan que este fenómeno se encuentra vigente y en constante avance. La temperatura global continuará incrementándose y las precipitaciones en la zona norte del país, donde esta emplazada Radomiro Tomic, reducirán su valor medio volviéndola una zona más seca. Sin embargo, los eventos climáticos extremos, como el invierno altiplánico, serán mas frecuentes y más severos en los periodos futuros. De esta manera, Radomiro Tomic debe integrar a su estrategia la visión del cambio climático, pues afecta directamente a sus intereses y su estrategia de negocio. En base a lo anterior, se ha elaborado una estrategia operacional que permite al área de la Gerencia Mina contar con una serie de actividades que se desarrollan antes, durante y posterior a un fenómeno climático, con el objetivo de garantizar la continuidad operacional mina y con ello la producción de cobre fino. Los puntos mas relevantes de la estrategia operacional están en la comunicación de esta, informando los objetivos y motivaciones, y retroalimentación de los resultados de la implementación de la estrategia conforme se presentan eventos climáticos. Lo anterior es clave para garantizar la mejora continua de los procesos operacionales. Los resultados de la implementación de la estrategia operacional permiten gestionar una alimentación a los chancadores primarios del orden de 2,6 Mt de minerales óxidos y 642 kt de minerales sulfuros. Estos valores representan un total de 25,3 Mlb de cobre fino entre ambos procesos, cifra superior a la no producidas en 2019, estos resultados permiten ser un mejor negocio para el país.

## **Dedicatoria**

A mi padre Fernando y mi madre Margarita, a mi hermano Brian y a mi pareja Daniela. Sin ustedes no sería quien soy, y no tendrías las infinitas ganas de crecer con las cuales me han formado y fomentado a continuar. Los llevo en el corazón siempre, aunque a veces no sea lo suficientemente expresivo para contárselos. Los amo.

## **Agradecimientos**

A todos aquellos que me apoyaron a lo largo del proceso de este magíster, dándome aliento para continuar y no desistir ante la adversidad del tiempo y la falta de afecto hacia quienes quiero y estimo. Llegar a esta instancia da prueba que sus consejos y apoyo fueron importantes para mí, sin ellos, quizá no habría sido lo mismo. Disfrute de cada instante, hice nuevas amistades y cree nuevos lindos recuerdos, que el conocimiento puro no es capaz de captar. Infinitas gracias.

# Tabla de Contenido

1	Introducción .....	1
2	Objetivos.....	3
2.1	Objetivos Específicos .....	3
3	Metodología de Trabajo .....	3
4	Antecedentes Generales .....	4
5	División Radomiro Tomic, Codelco .....	5
5.1	Descripción General .....	5
5.2	Plan P0 2019, División Radomiro Tomic .....	6
5.2.1	Movimiento Mina.....	6
5.2.2	Producción de cobre y molibdeno fino P0 2019 .....	7
6	Cambio climático .....	8
6.1	La economía del Cambio Climático en Chile.....	8
6.2	Conclusiones Cambio Climático en Chile y Zona Norte.....	10
7	Lineamientos Estratégicos Actuales.....	10
7.1	Corporación Nacional del Cobre.....	10
7.2	División Radomiro Tomic.....	10
7.2.1	Operación Mina.....	11
8	Resultados 2019, Invierno Altiplánico.....	13
9	Estrategia Operacional, División Radomiro Tomic.....	14
9.1	Plan de Invierno .....	17
9.2	Propuesta Operaciones Mina .....	20
10	Evaluación Económica .....	22
11	Resultados .....	23
12	Conclusión.....	24
13	Bibliografía .....	25
14	Anexos.....	27

## Índice de Tablas

Tabla 1: Movimientos mina generales P0 2019, (Fuente P0 2019).....	6
Tabla 2: Movimientos generales diarios por fase, (Fuente P0 2019).....	7
Tabla 3: Producción de cobre y molibdeno fino según P0 2019, (Fuente P0 2019).....	7
Tabla 4: Clasificación de eventos climáticos según tipo y magnitud, (Fuente Elaboración Propia) .....	11
Tabla 5: Identificación de acciones ante eventos climáticos en los procesos mina, (Fuente Elaboración Propia) .....	12
Tabla 6: Identificación de impactos por la prevención o mitigación de los riesgos asociados a eventos climáticos en la operación mina, (Fuente Elaboración Propia) .....	12
Tabla 7: Flujo de caja mensual, plan de acción invierno altiplánico mina, (Fuente Elaboración Propia) .....	22
Tabla 8: Resultados evaluación económica, (Fuente Elaboración Propia) ....	22
Tabla 9: Anexo C, Evaluación económica, (1 de 3), (Fuente Elaboración Propia) .....	41
Tabla 10: Anexo C, Evaluación económica, (2 de 3), (Fuente Elaboración Propia) .....	42
Tabla 11: Anexo C, Evaluación económica, (3 de 3), (Fuente Elaboración Propia) .....	43

# Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Metodología de Trabajo (Fuente Elaboración Propia).....	4
Ilustración 2: Mapa principales operaciones mineras del sector norte de Chile. (Fuente consejo minero).....	5
Ilustración 3: Predicciones de precipitaciones del modelo meteorológico en Chile, (Fuente La economía del Cambio Climático en Chile).....	9
Ilustración 4: Predicciones de aumento de Tº del modelo meteorológico en Chile, (Fuente La economía del Cambio Climático en Chile).....	9
Ilustración 5: Diagrama de estrategia operaciones mina, (Fuente Elaboración Propia) .....	15
Ilustración 6: Estados de alerta, definición de plan de invierno, (Fuente Plan de Invierno Mina RT).....	18
Ilustración 7: Medidas de control para definición de plan específico de áreas de la División, Fuente (Plan de Invierno Mina RT) .....	19
Ilustración 8: Procesos de operaciones mina, (Fuente Elaboración Propia) .	34
Ilustración 9: Diagrama procesos planta, (Fuente Elaboración Propia) .....	37
Ilustración 10: Diagrama (1) procesos de óxidos Radomiro Tomic, (Fuente SIP Mobile RT) .....	38
Ilustración 11: Diagrama procesos de lixiviación y obtención de PLS, (Fuente SIP Mobile RT) .....	39
Ilustración 12: Proceso de extracción por solventes, (Fuente SIP Mobile RT) .....	39
Ilustración 13: Diagrama proceso sulfuros Radomiro Tomic, (Fuente SIP Mobile RT) .....	40
Ilustración 14: Cambio en la temperatura media en superficie (1986-2005 a 2081-2100), (Fuente Cambio Climático en Chile: Ciencia, Mitigación y Adaptación) .....	48
Ilustración 15: Cambio en la precipitación media (1986-2005 a 2081-2100), (Fuente Cambio Climático en Chile: Ciencia, Mitigación y Adaptación) .....	48

# 1 Introducción

En los meses de enero, febrero y marzo de 2019, el fenómeno climático denominado invierno altiplánico generó múltiples daños en la infraestructura interna y externa de las mineras emplazadas al interior de la ciudad de Calama y alrededores. Particularmente en el mes de febrero, intensas lluvias acompañadas de tormentas eléctricas y chubascos agua nieve, en la zona más alta de la cordillera, generaron importantes impactos negativos en el negocio minero, debido a la imposibilidad de mantener la operación mina y planta debido a las dificultades operativas que cada faena presentó, producto del clima y de los daños a la infraestructura que se evidenciaron, las cuales dificultaban o inhabilitaron los accesos a las instalaciones importantes dentro de la cadena de producción de cobre.

Faenas como División Radomiro Tomic, de la Corporación Nacional del Cobre, desde ahora CODELCO, estimaban en sus reportes de producción del mes de marzo de 2019 una merma de dos millones de toneladas (Mt), de movimiento total mina que no se pudieron movilizar debido a las lluvias. Junto con lo anterior la capacidad de producir cobre a partir de la alimentación de stock de minerales a la planta de procesamiento tampoco fue posible, debido a que los circuitos mina no se encontraban en condiciones para su utilización, puesto que es de uso manera normal y frecuente la bischofita en las rutas mina, y esta en contacto con el agua lluvia genera una superficie en la cual los neumáticos de los camiones de extracción mina (CAEX) perdían la adherencia por lo tanto, la operación misma no era factible.

Aún en un escenario de operación minera viable, las correas transportadoras de mineral reducido de tamaño desde los chancadores primarios, secundarios y terciarios tampoco podían ser utilizadas, producto del deslizamiento de los polines en la superficie de la correa. En la superficie de esta, producto de la acumulación de agua y que no contaba con protección ante eventuales lluvias, esto generaba una superficie de contacto resbalosa entre ambos elementos haciendo no viable el acarreo de minerales desde una estación a otra.

De esta manera el fenómeno climático generó pérdidas de producción a la remoción de material para la exposición de reservas minerales futuras, como a la producción presente de cobre fino, así el impacto del negocio, si bien se puede cuantificar directamente en el cobre fino que se dejó de producir como efecto del fenómeno, existe una perdida futura que no es tan clara de cuantificar a la fecha.

Otras Divisiones de CODELCO también fueron afectadas en menor o mayor magnitud, Chuquicamata, Ministro Hales, Gabriela Mistral y la operación de El Abra, cuyo dueños son en un 49% CODELCO y el 51% restante pertenece a la



empresa Freeport McMoRan (FCX) sufrió los daños más significativos durante el periodo de invierno altiplánico de 2019, la minera estuvo paralizada alrededor de 30 días, registrando intermitencias en su operación mina, pero también se evidenciaron daños severos en la infraestructura de la planta, producto que la zona donde esta estaba instalada sufrió directamente por el cauce de las aguas lluvias, las cuales tomaron rumbo, según preliminarmente se entiende, por una quebrada antigua, de la cual que no se había registrado actividad hasta la fecha.

El fenómeno climático acontecido en 2019 dejó en evidencia la necesidad de realizar cambios en la estrategia del negocio minero del norte grande del país, esto respecto de la planificación de sus operaciones en un invierno altiplánico, el cual en tendencia se observa más impredecible y de mayor impacto para los resultados del mismo negocio. Para ello, se debe entender de manera acabada el fenómeno del cambio climático y significancia en el invierno altiplánico de la zona de la gran minería del cobre, de esta manera se podrán analizar los escenarios posibles en base a estrategias operacionales que mitiguen sus impactos negativos y tomen las oportunidades pertinentes al fenómeno, conservando y en lo posible incrementando el valor al negocio minero de División Radomiro Tomic.

Por lo tanto el presente trabajo de titulación para optar al título de MBA de Gestión y Administración de Empresas versión Minería de la Universidad de Chile, tiene como misión dar un amplio entendimiento del fenómeno cambio climático, para contextualizarlo en la región de emplazamiento de División Radomiro Tomic, y de esta manera generar una visión de los cambios futuros en el fenómeno de invierno altiplánico que acontecerán en la División, para adoptar en base a las mejores prácticas de la industria estrategias operacionales que permitan no solo mitigar los impactos negativos que el fenómeno climático produce, sino tomar las oportunidades de negocio que se generen producto del estudio.

## 2 Objetivos

Definir la estrategia operacional de la mina en División Radomiro Tomic que permita asegurar el cumplimiento, en los meses de invierno altiplánico, de la producción de cobre fino, es decir, alimentación a los procesos de óxidos y sulfuros de acuerdo a la planificación minera.

### 2.1 Objetivos Específicos

Para alcanzar el objetivo principal se definen los siguientes objetivos específicos:

- Generar una estrategia que permita Gerencia Mina, mantener la continuidad operacional durante el periodo de invierno altiplánico.
- Generar una estrategia operacional que permita a la Gerencia Mina cumplir con los requerimientos de envío de minerales óxidos y sulfuros a los chancadores primarios en los periodos de invierno altiplánico de acuerdo a la planificación.

## 3 Metodología de Trabajo

La metodología de trabajo aborda el objetivo general y los objetivos específicos, a través de una línea de trabajo ordenada que permite identificar las oportunidades y los aspectos relevantes del estudio. La metodología revela información pertinente que se aborda en el cuerpo de este documento e invita al análisis para generar conclusiones y sugerencia a partir de la misma. De esta manera se decide su incorporación o no a la estrategia operacional de División Radomiro Tomic, ver Ilustración 1. La metodología de trabajo se sustenta en el estudio del cambio climático a partir de documentos elaborados por académicos y entidades relacionadas con el tema. Respecto de las oportunidades operacionales para el desarrollo de una estrategia para la operación mina de invierno altiplánico se realiza un benchmarking de aquellas faenas con experiencia en trabajos mineros con condiciones climáticas adversas.

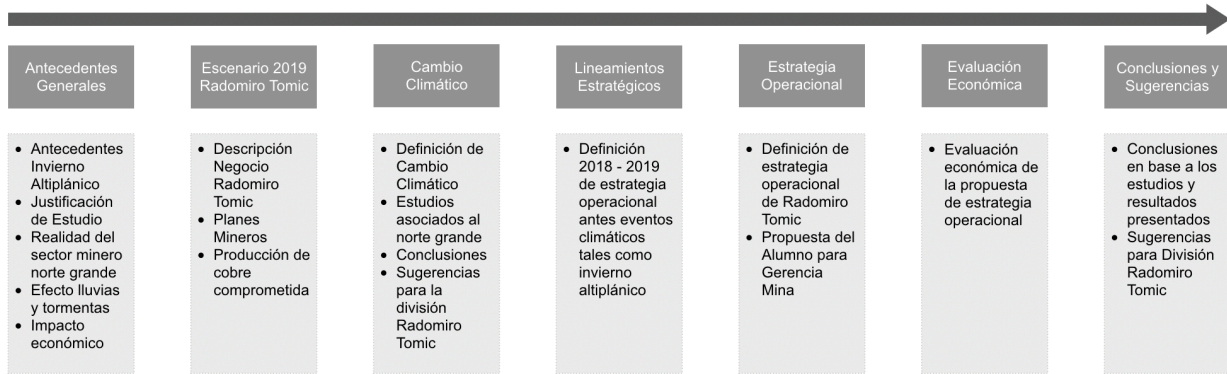


Ilustración 1: Metodología de Trabajo (Fuente Elaboración Propia)

## 4 Antecedentes Generales

La División Radomiro Tomic de Codelco, está emplazada en la segunda región de Chile, Región de Antofagasta, específicamente en la ciudad de Calama. Esta zona corresponde al distrito minero de mayor relevancia actual para el país, pues en el se emplazan las operaciones mineras de mayor envergadura a nivel nacional e internacional. En la Ilustración 2 se muestra el mapa de las principales operaciones y proyectos mineros de la segunda región, y parte de la primera región, Región de Tarapacá, donde se encuentra Doña Inés de Collahuasi y Quebrada Blanca. Con esta información se generó una base de datos que permite elaborar una estrategia de trabajo en base a las mejores prácticas de la industria del sector colindante a la operación de Radomiro Tomic, como lo es Minera Escondida, Doña Inés de Collahuasi, El Abra, Centinela, entre otras. El distrito minero de la segunda región, específicamente el seleccionado en un área segregada de color naranja, ver Ilustración 2, representa aproximadamente un 56% de la producción de cobre fino de 2016, ya sea a partir de concentrados de cobre como cátodos electroobtenidos. La División Radomiro Tomic en el año 2016 alcanzó una producción de 318 kt de cobre fino, de las cuales del orden de un 30% se contabilizó mediante el envío de minerales sulfurados a la concentradora de la División Chuquicamata con el objetivo que esta procese dichos minerales y posteriormente genere la venta de estos. De esta manera, existen dos procesos de minerales de los cuales Radomiro Tomic debe sustentar su producción en los meses de invierno altiplánico, tanto la línea de óxidos como la de sulfuros. El clima en el área achurada (Ilustración 2) es similar a lo largo de su extensión longitudinal, sin embargo, en la sección transversal, se diferencia principalmente por la altura física, dado que, en pocos kilómetros de avance, sección oeste – este, se alcanzan alturas del orden de los 4.600 m.s.n.m, como lo es el caso de Doña Inés de Collahuasi.

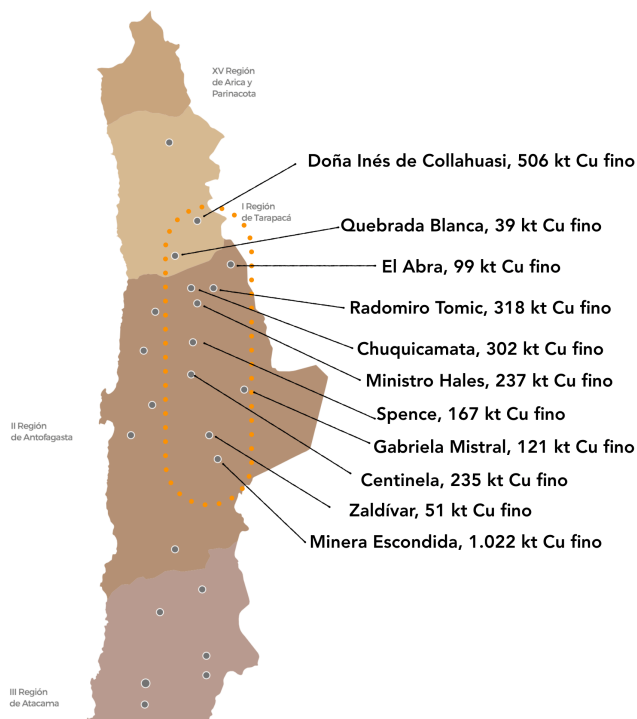


Ilustración 2: Mapa principales operaciones mineras del sector norte de Chile. (Fuente consejo minero)

## 5 División Radomiro Tomic, Codelco

### 5.1 Descripción General

La División Radomiro Tomic es, desde su creación, un referente en el mercado internacional del cobre por su gestión moderna, eficiente, y también por sus resultados. El nombre de la División se origina en un homenaje póstumo al destacado parlamentario y diplomático nacional Radomiro Tomic Romero, quien fue uno de los precursores de la "Chilenización del Cobre" en la década del 60. Radomiro Tomic es una operación minera ubicada a 40 km al norte de la comuna de Calama, a 3.000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m). corresponde a un yacimiento de explotación a rajo abierto para la obtención de minerales oxidados con una ley promedio de 0.25 % Cu S (cobre soluble). Cuenta con reservas del orden de 1.800 Mt de sulfuros, con una ley promedio 0.50 % Cu T (cobre total). Los minerales oxidados, una vez extraídos de la mina, son enviados a los procesos de chancados primario, secundario y terciario, para posteriormente pasar a los procesos de curado en cinta y su posterior depositación en pilas dinámicas las cuales son regadas durante todo su ciclo con ácido sulfúrico, y así producir una solución rica en cobre, denominada PLS, esta solución se envía a la planta de extracción por solventes, y luego a la planta de electroobtención donde se producen cátodos de cobre con un 99,99% de pureza en planchas de 1 m x 1 m con un peso aproximado de 70 kg por plancha. Sus reservas de mineral sulfurado son procesados en la concentradora de la División Chuquicamata, a través de la

entrega diaria de mineral que se realiza por la correa overland de la planta de sulfuros.

## 5.2 Plan P0 2019, División Radomiro Tomic

La División Radomiro Tomic cada año realiza un programa presupuesto el cual tiene como objetivo establecer los lineamientos del negocio minero junto con los procesos mina. Para lograr este lineamiento se plantea la línea base la cual, debe ser cumplida por las áreas de mina y planta. Este plan confiere los parámetros operacionales que dan sustento al presupuesto acordado.

Con el objetivo de contextualizar el escenario base que se debe cumplir durante el periodo 2019, y buscando una aproximación semejante para el periodo 2020 y su invierno altiplánico, se presenta el P0 2019 de RT, el cual contiene los hitos y variables más importantes a satisfacer durante el periodo y por las cuales el negocio minero se sustenta.

### 5.2.1 Movimiento Mina

En la Tabla 1 se presentan los principales movimientos mina asociados a la extracción total y de periféricos, estos últimos hacen referencia a la descarga geotécnica<sup>1</sup>, rípios pila, rípios transitorios<sup>2</sup> y remanejo de materiales. Se proyectó entonces realizar un movimiento total de 267 Mt en 2019, lo que significó del orden de 738 ktpd de materiales desde los distintos orígenes definidos. Respecto de la extracción mina se definió lograr 225 Mt, esto representa del orden de 615 ktpd para alcanzar la meta. Respecto del mineral apilado en la línea de óxidos se presupuestó lograr 63 Mt apiladas, lo que representa del orden de 168 ktpd. Estos indicadores son desafiantes para operaciones mina, debido a la configuración original del rajo y que a inicios del periodo 2019, un equipo P&H XPA (Pala 202) fue dado de baja por estrategia operacional y reducción de costos.

Área	Compromiso	P0 2019	
		ktpd	ktpa
Mina	Movimiento Total	738	267.617
	Extracción Mina	615	225.518
	Remanejo	42	16.478
	Descarga Geotécnica	22	7.830
	Rípios Pila	14	5.109
	Rípios Transitorios	42	15.182
Planta	Apilamiento	168	63.203

Tabla 1: Movimientos mina generales P0 2019, (Fuente P0 2019)

<sup>1</sup> Corresponde a la necesidad operacional de remover material de la sección oeste del rajo para desconfinar la pared del mismo sector, la falla oeste ha debilitado el macizo rocoso y hace necesario la remoción de este material.

<sup>2</sup> Corresponde a la remoción de un sector de botadero de rípios a otro sector definido.

En la Tabla 2 se presentan los movimientos diarios, segregados por fase, que se establecen para lograr el presupuesto, cabe destacar que los cumplimientos de minerales óxidos y sulfuros están sujetos a las fases que los albergan, de esta manera los movimientos de la fase 23 y 33, si bien son distancias equivalentes más prolongadas, poseen la ventaja de contener sulfuros de alimentación. Es importante destacar que en la planificación minera se contempla que la operación es continua todos los días del año exceptuando febrero, pues este considera con 26 de 28 días operativos producto de la pérdida operacional que significarían eventuales lluvias o mal tiempo.

	Unidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total P0 2019
<b>FASES</b>	<b>Días</b>	<b>31</b>	<b>26</b>	<b>31</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>31</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>363</b>
Fase 22	Ktpd	70	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
Fase 25	Ktpd	0	24	30	85	85	85	80	80	80	80	80	80	66
Fase 27	Ktpd	175	180	175	175	175	155	175	175	175	175	175	175	174
Fase 29	Ktpd	175	185	185	155	185	185	185	185	185	185	185	185	182
Fase 33	Ktpd	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Fase 34a	Ktpd	16	40	50	30	26	0	0	6	0	2	21	17	17
Fase 34b	Ktpd	14	0	0	0	4	30	30	24	30	28	9	13	15
Fase 35	Ktpd	105	105	105	100	100	115	105	105	105	105	90	105	104
<b>Extracción Total</b>	<b>Ktpd</b>	<b>605</b>	<b>606</b>	<b>595</b>	<b>595</b>	<b>625</b>	<b>620</b>	<b>625</b>	<b>625</b>	<b>625</b>	<b>625</b>	<b>610</b>	<b>625</b>	<b>615</b>
Stock A Chancado	Ktpd	29	59	36	40	31	13	12	17	15	10	11	12	23
Remanejo	Ktpd	14	15	15	15	14	27	28	24	25	30	30	28	22
Ripios	Ktpd	23	23	27	15	24	12	0	23	0	0	23	0	14
Ripios Transitorios	Ktpd	23	23	23	48	48	48	48	48	48	48	48	48	42
Descarga	Ktpd	45	45	45	45	45	38	0	0	0	0	0	0	22
<b>TOTAL</b>	<b>Ktpd</b>	<b>738</b>	<b>771</b>	<b>740</b>	<b>758</b>	<b>787</b>	<b>758</b>	<b>713</b>	<b>737</b>	<b>713</b>	<b>713</b>	<b>722</b>	<b>713</b>	<b>738</b>

Tabla 2: Movimientos generales diarios por fase, (Fuente P0 2019)

### 5.2.2 Producción de cobre y molibdeno fino P0 2019

En la Tabla 3 se presenta el compromiso de cobre y molibdeno fino que se presupuestó para el periodo 2019, se definió un total de 219.203 tmf de Cu en cátodos y 70,1 ktmf de Cu enviado a la concentradora de División Chuquicamata. Adicionalmente se observa que, en su forma de subproducto se proyectó una producción de 0,8 ktmf de molibdeno.

Producción	Negocio	ktmf
	Línea Óxidos	219,2
	Línea Sulfuros	71,1
	Divisional	290,1
	Molibdeno	0,8

Tabla 3: Producción de cobre y molibdeno fino según P0 2019, (Fuente P0 2019)

## 6 Cambio climático

Para mostrar la necesidad de cambiar el planteamiento de la minería en el norte grande del país, específicamente en la División Radomiro Tomic de Codelco se debe, conocer primero el contexto global que el cambio climático. Para ello, se debe citar al periodo de lluvias que aconteció en el periodo de invierno altiplánico de 2019, el cual fue causó dificultades en la zona involucrada y en particular a las operaciones mineras que se encuentran localizados en el sector. Las primeras aproximaciones a este fenómeno climático se hacen cargo de un contexto habitual que se hace frente cada periodo de invierno altiplánico, sin embargo, las magnitudes con las cuales se presento este fenómeno en este año en particular fueron mayores a los años anteriores, por lo que, expertos comenzaron a asociarlo a efectos del cambio climático.

El cambio climático se entiende de manera general como un cambio en el clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana la que altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural de clima observado durante periodos de tiempo comparables. El cambio climático implica una variación significativa y duradera de los patrones climáticos. Sus causas principales son la quema de combustibles fósiles, la deforestación y la degradación de la cobertura vegetal, y emisión de metano producto de la ganadería. Estas causas generan un aumento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), cuyos efectos pueden incluir: aumento del nivel del mar; retroceso de glaciares, intensificación de eventos meteorológicos extremos como sequías e inundaciones. A continuación, se presenta el estudio de la economía del cambio climático en Chile, sin embargo, para conocer más detalles de estudios generales del cambio climático estos estarán disponibles en el Anexo D

### 6.1 La economía del Cambio Climático en Chile

Los impactos del cambio climático a nivel nacional se entienden a partir del modelo de clima global HadCM3 de la oficina de meteorología de Inglaterra. Este modelo se basa en dos escenarios denominados como A2 y B2, donde A2 es un escenario de altas emisiones de GEI, gases de efecto invernadero, mientras que B2 es un escenario más conservador en cuanto a la emisión de GEI. Las condiciones climáticas según este modelo se presentan en tres periodos distintos, de 2010 a 2039, de 2040 a 2069 y de 2070 a 2100.

En la Ilustración 3 se observa las predicciones de precipitaciones a nivel nacional a partir de la aplicación del modelo HadCM3, se desprende que tanto en el escenario A2 como en el B2 la Región de Antofagasta, en su zona más al Este, incrementará sus niveles de precipitaciones. En la Ilustración 4 se observa las predicciones del modelo para el incremento de temperatura a nivel

nacional para ambos escenarios. Se observa que en los próximos 20 años la temperatura de la Región de Antofagasta subiría del orden de hasta 1° C su temperatura promedio.

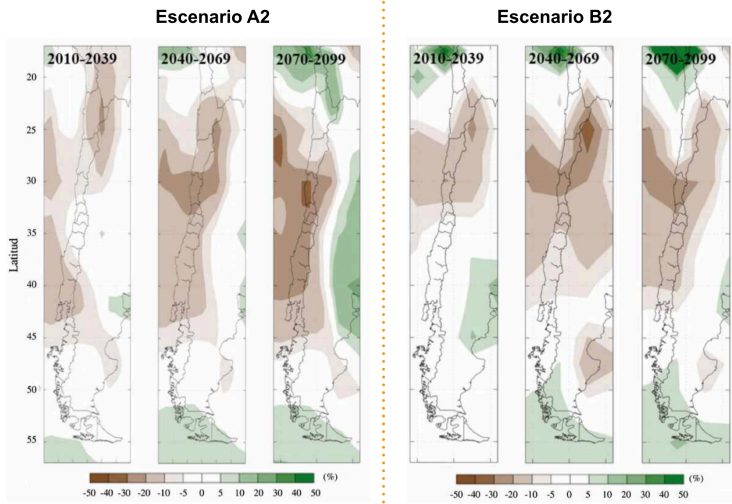


Ilustración 3: Predicciones de precipitaciones del modelo meteorológico en Chile, (Fuente La economía del Cambio Climático en Chile)

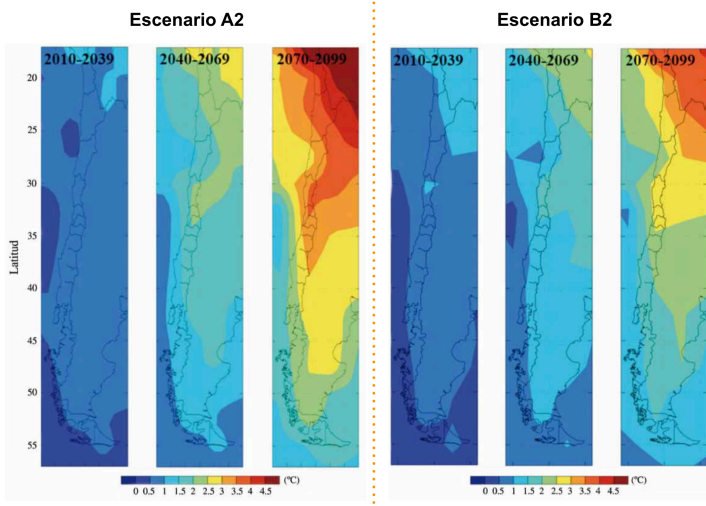


Ilustración 4: Predicciones de aumento de Tº del modelo meteorológico en Chile, (Fuente La economía del Cambio Climático en Chile)

Los resultados de la aplicación de este modelo sugieren que la región de Antofagasta y en particular la zona más cercana a la Cordillera de los Andes incrementaría en los próximos 20 años, su nivel de precipitaciones y temperatura promedio, por lo cual se concluye que se evidenciarán más fenómenos climáticos que traerán lluvias a la zona minera de Calama y desertificarán el resto del año, antelando un escenario hídrico difícil de sustentar.



## 6.2 Conclusiones Cambio Climático en Chile y Zona Norte.

A partir de los estudios presentados en los capítulos anteriores se desprende que, producto del cambio climático, la temperatura de la superficie terrestre incrementará su magnitud promedio en los periodos futuros, mientras que las precipitaciones decrecerán en la zona norte de latitudes altas. A excepción de lo presentado en el escenario B2 (Ilustración 3), donde se observa que en el escenario hasta el año 2039 las precipitaciones promedio incrementaría desde el rango de los -20% a -10% promedio anual al rango de -10% a -5 %, este escenario es similar para el escenario A2 (Ilustración 3) sin embargo este fenómeno ocurriría ya en el periodo 2070 en adelante. Lo anterior no implica que si bien, las precipitaciones aun mantendrían la definición de zona de desierto al territorio que sostiene la gran minería del cobre nacional, los fenómenos climáticos se verán acrecentados por estos cambios climáticos, por lo tanto, el periodo de invierno altiplánico será cada vez más húmedo y hostil. De esta manera, se observa que en tendencia las empresas mineras, y en especial División Radomiro Tomic, debe incorporar a su estrategia de trabajo la forma de operar en condiciones climáticas adversas, generando planes de acción que permitan ser una operación sostenible ante el cambio climático.

## 7 Lineamientos Estratégicos Actuales

Para definir que intereses deben ser resguardados con la estrategia operacional a continuación se presentan los lineamientos estratégicos declarados por Codelco y División Radomiro Tomic.

### 7.1 Corporación Nacional del Cobre

Los lineamientos estratégicos de la corporación son claros y transparentes, ser una empresa de minería eficiente, innovadora, sustentable, diversa y transparente para asegurar los excedentes hacia Chile. Actualmente la frase que gobierna a la corporación es “Nos transformamos hoy por el futuro de Chile” y posteriormente a esto se presentan los resultados de un periodo específico, por ejemplo, hasta el tercer trimestre de 2019 se han producido 1.120.000 tmf de cobre y se ha obtenido un costo C1 promedio de 143,1 cUSD/lb (minería eficiente), lo que implicó excedentes del orden de 603 MUSD (compromiso con el país). Por lo tanto, el mensaje es claro para las divisiones que componen la corporación.

### 7.2 División Radomiro Tomic

Actualmente Radomiro Tomic se encuentra inmersa en un proceso de cambio transformacional y cultural para ser la operación preferida y así poder optar a la realización de su proyecto estructural Sulfuros RT Fase II, la cual

extendería la vida útil de la División de manera significativa. El proceso de transformación establece que la División debe ser sustentable, en materia de costos y en base a las normativas legales y ambientales vigentes, se reconoce que la minería actual es más competitiva y con ello se establecen nuevos desafíos para lograr la operación minera que Chile necesita. Para ello se establecen una serie programas de inmersión dentro de los cuales está la incorporación de la innovación como carta de navegación, la migración a equipos autónomos en miradas al proyecto de sulfuro, el escaso recurso hídrico y con ello la implementación de una planta desaladora. Estos son algunos de los aspectos estratégicos que la División ha adoptado para sustentar el negocio en el tiempo, sin embargo, el invierno altiplánico de 2019 tuvo resultados negativos para el negocio de la División, por lo tanto, se debe adoptar, como parte de la estrategia, una operación minera que sea capaz, primero de reconocer el fenómeno de cambio climático como parte del problema para el negocio futuro.

En base a lo anterior y establecer un orden de magnitud de los impactos y las acciones estratégicas que actualmente se han utilizado en la División, se ha definido una clasificación tentativa para los eventos climáticos acontecidos hasta la fecha de realización de este documento, de esta manera se organiza para cada proceso mina las acciones preventivas y mitigantes, ver Tabla 4.

<b>Tormentas</b>	<b>Tormentas eléctricas</b>	Corresponde a un evento climático que puede generar descargas eléctricas tales como, relámpagos o rayos y que se encuentra dentro del radio de 24 km de la división o que esta presente en esta última.
<b>Lluvias / Chubascos Agua – Nieve / Nieve</b>	<b>Intermitentes de baja intensidad</b>	Se presentan lluvias, chubascos de agua nieve o nieve de manera intermitente y esporádica, su acumulación no genera inconvenientes para sostener la operación mina, solo se deben tomar acciones preventivas.
	<b>Intermitentes de mediana intensidad</b>	Se presentan lluvias, chubascos de agua nieve o nieve de manera intermitente, su acumulación genera o comienza a generar inconvenientes para sostener la operación mina, por lo que se toman acciones de resguardo.
	<b>Intermitentes o constantes de alta intensidad</b>	Se presentan lluvias, chubascos de agua nieve o nieve de manera intermitente o constante, su acumulación y caída genera inconvenientes para sostener la operación mina, por lo que se toman acciones de resguardo y se detiene la operación

Tabla 4: Clasificación de eventos climáticos según tipo y magnitud, (Fuente Elaboración Propia)

### 7.2.1 Operación Mina

En la Tabla 5 se presentan los procesos mina y las acciones que se toman producto de la aproximación, presencia o permanencia de un evento climático. Se consideran como procesos de operaciones mina todos aquellos que involucran su participación en la extracción de minerales y su depositación en los chancadores primarios de óxidos y sulfuros. Estos procesos son perforación, tronadura, carguío y transporte, se han identificado para cada uno de estos procesos acciones preventivas y correctivas para controlar los riesgos asociados a un evento climático, ver Tabla 5.

		Perforación	Tronadura	Carguío	Transporte
Tormentas	Tormenta Eléctrica	No se ingresa al personal a la mina si existe alerta de tormenta eléctrica en la zona o si la tormenta ya esta presente en la mina, se resguarda al personal en sala de cambio mina			
		Torres de perforadoras deben ser descendidas ante la presencia de tormenta eléctrica	Se suspende proceso de tronadura No se realizan adelantos de tronadura No se ingresa con el personal de ENAEX a realizar labores de adelantos o preparación de tronadura	Se suspende las actividades de la mina si la tormenta está dentro del radio de 24 km	Se suspende las actividades de la mina si la tormenta está dentro del radio de 24 km
Lluvias / Chubascos Agua Nieve / Nieve	Intermitentes Baja Intensidad	Se continua con la operación	Se analiza particularmente si se realiza el proceso de tronadura	Se continua con el proceso de carguío	Se continúa con la operación
		Se realiza un chequeo continuo de los equipos	Se incrementa la distancia entre equipos para el Traslado de los explosivos al punto de carga	Se verifica el estado del equipo de manera continua	Se incrementa la distancia efectiva entre camiones de extracción de 50 m a 100 m
		Se verifica funcionamiento de plumillas y calefacción	No se realizan amarres hasta contar con datos respecto del sistema frontal	Se verifica funcionamiento de plumillas y calefacción	Se disminuye la velocidad de tránsito de todo vehículo liviano y pesado
			No se realiza carguío de pozos hasta que se cuente con información actualizada respecto del sistema frontal	Se observa estado de cables eléctricos en equipos que corresponda	Se realiza comunicación radial de los resguardos de la operación mina y se establecen actualizaciones respecto del estado de las rutas
	Intermitentes Mediana Intensidad	Se retira al personal que este expuesto a las condiciones climáticas adversas	No se ingresa a la mina en estas condiciones, se espera que la condición climática cese y se entreguen reporte de este suceso. Para hacer ingreso a la mina los supervisores de la faena deben autorizar el acceso una vez revisadas todas las rutas del sector.	Se continua el carguío en aquellos puntos que se pueda realizar el proceso	En el caso de contar con las condiciones de operación se continúa con el proceso de transporte
		Se retira a todo personal que se encuentre en equipos que presenten dificultades para operar		Se monitorean frentes de carguío por eventuales desprendimientos de material producto del agua ingresada al macizo rocoso	Camiones de extracción comienzan a deslisarse producto del agua acumulada en la ruta
		Se chequean condiciones de patios de perforación		Comienzan a generarse problemas eléctricos en los equipos, fallas de cables de cola, fallas de plumillas, sistemas de calefacción	Camiones de Extracción comienzan a deslisarse producto del agua acumulada en la ruta y la activación de la bischoflita agregada en los sector planos
		Se chequean rutas de acceso		Se generan problemas en subestación electricas	Camiones de Extracción comienzan a deslisarse producto del agua acumulada en la ruta y la activación de la bischoflita agregada en los sector planos y que el llevetada a las rampas de acceso por los neumáticos de camiones de extracción
	Intermitentes Constantes Alta Intensidad	No se ingresa a la operación si es inicio de turno	No se ingresa a la operación si es inicio de turno	No se ingresa a la operación si es inicio de turno	No se ingresa a la operación si es inicio de turno
		Se retira a todo personal si la operación ya está cursando Se espera una mejora en las condiciones climáticas entregada por los encargados de los reportes meteorológicos, los supervisores mina ingresan a realizar chequeos preoperacionales, luego este da las directrices de retorno a la operación según corresponda	Se retira a todo personal si la operación ya está cursando	Se retira a todo personal si la operación ya está cursando	Se retira a todo personal si la operación ya está cursando

Tabla 5: Identificación de acciones ante eventos climáticos en los procesos mina, (Fuente Elaboración Propia)

Una vez identificadas las acciones que se ejercen en cada proceso producto de un evento climático, se procede a analizar el impacto que este genera en el negocio minero mina, ver Tabla 6, de esta manera se pueden identificar las oportunidades existentes para establecer lineamientos estratégicos que permitan mantener la continuidad operacional ante eventos climáticos.

		Perforación	Tronadura	Carguío	Transporte
Tormentas	Tormenta Eléctrica	PERDIDA DE TONELAJE DE ALIMENTACIÓN A CHANCADOS Y EXTRACCIÓN MINA PARA EL DESPEJE DE RESERVAS			
		PERDIDA DE PERFORACIÓN Y DESPEJE DE RESERVAS, ATRASO EN EL PLAN	ATRASO EN EL PLAN, DESPEJE DE RESERVAS ATRASO EN EL PLAN, DESPEJE DE RESERVAS ATRASO EN EL PLAN, DESPEJE DE RESERVAS	PERDIDA DE TONELAJE DE ALIMENTACIÓN A CHANCADOS Y EXTRACCIÓN MINA PARA EL DESPEJE DE RESERVAS	PERDIDA DE TONELAJE DE ALIMENTACIÓN A CHANCADOS Y EXTRACCIÓN MINA PARA EL DESPEJE DE RESERVAS
Lluvias / Chubascos Agua Nieve / Nieve	Intermitentes Baja Intensidad	SIN EFECTO	SIN EFECTO	SIN EFECTO	SIN EFECTO
		SIN EFECTO	SIN EFECTO DIRECTO PODRÍA RETRASAR EL PROCESO DE TRONADURA	SIN EFECTO	MERMA DE TONELAJE PRODUCTO DE DISMINUCIÓN DEL RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE TRANSPORTE
	SIN EFECTO	ATRASO EN EL PLAN, DESPEJE DE RESERVAS	SIN EFECTO	MERMA DE TONELAJE PRODUCTO DE DISMINUCIÓN DEL RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE TRANSPORTE	
		ATRASO EN EL PLAN, DESPEJE DE RESERVAS	SIN EFECTO	SIN EFECTO	
Intermitentes Mediana Intensidad	PERDIDA DE PERFORACIÓN Y DESPEJE DE RESERVAS, ATRASO EN EL PLAN	ATRASO EN EL PLAN, DESPEJE DE RESERVAS	SIN EFECTO	SIN EFECTO	
	PERDIDA DE PERFORACIÓN Y DESPEJE DE RESERVAS, ATRASO EN EL PLAN		SIN EFECTO	MERMA DE TONELAJE PRODUCTO DE CIERRE TEMPORAL DE CIRCUITOS MINA	
	PERDIDA DE PERFORACIÓN Y DESPEJE DE RESERVAS, ATRASO EN EL PLAN		MERMA EN TONELAJE DE ALIMENTACIÓN A CHANCADOS O DESPEJE DE RESERVAS SEGÚN CORRESPONDA	MERMA DE TONELAJE PRODUCTO DE CIERRE TEMPORAL DE CIRCUITOS MINA	
	PERDIDA DE PERFORACIÓN Y DESPEJE DE RESERVAS, ATRASO EN EL PLAN		MERMA EN TONELAJE DE ALIMENTACIÓN A CHANCADOS O DESPEJE DE RESERVAS SEGÚN CORRESPONDA	MERMA DE TONELAJE PRODUCTO DE CIERRE TEMPORAL DE CIRCUITOS MINA	
Intermitentes Constantes Alta Intensidad	MERMA DE TONELAJE PRODUCTO DE CIERRE TEMPORAL DE CIRCUITOS MINA	ATRASO EN EL PLAN, DESPEJE DE RESERVAS	MERMA EN TONELAJE DE ALIMENTACIÓN A CHANCADOS O DESPEJE DE RESERVAS SEGÚN CORRESPONDA	MERMA DE TONELAJE PRODUCTO DE CIERRE TEMPORAL DE CIRCUITOS MINA	
	MERMA DE TONELAJE PRODUCTO DE CIERRE TEMPORAL DE CIRCUITOS MINA	ATRASO EN EL PLAN, DESPEJE DE RESERVAS	MERMA EN TONELAJE DE ALIMENTACIÓN A CHANCADOS O DESPEJE DE RESERVAS SEGÚN CORRESPONDA	MERMA DE TONELAJE PRODUCTO DE CIERRE TEMPORAL DE CIRCUITOS MINA	
	ATRASO EN EL PLAN, MERMA DE TONELAJE PRODUCTO DEL CIERRE TEMPORAL DE CIRCUITOS MINA				

Tabla 6: Identificación de impactos por la prevención o mitigación de los riesgos asociados a eventos climáticos en la operación mina, (Fuente Elaboración Propia)

Como se observa en la Tabla 6 se entiende que gran parte de las acciones que hoy se toman para mitigar o controlar los riesgos asociados a la operación mina ante condiciones climáticas adversas generan un impacto negativo en el corto, mediano o largo plazo, ver cuadros en amarillo en Tabla 6. Los impactos negativos pueden mermar la producción diaria, semanal o mensual de extracción y movimiento total mina, considerando los movimientos periféricos. Sin dejar de lado la alimentación a los chancadores primarios como merma de corto plazo. En el mediano o largo plazo se observa el aplazamiento y demora del despeje de reservas minerales, tales como óxidos o sulfuros que están considerados en un plan mensual o semanal y que producto de las condiciones climáticas no son incorporadas a la producción real. De esta manera, se condiciona el cumplimiento de las metas de cobre fino, las cuales afectan negativamente el negocio minero de la División.

Un componente de corto plazo que afecta directamente a la gestión mina es el costo directo, C1, el cual está directamente relacionado con el uso de los activos mineros, al presentarse condiciones climáticas adversas, las directrices operativas apuntan a asegurar la alimentación de los chancadores, para ello se desplazan los cargadores sobre neumáticos hacia los stocks de óxido y sulfuro con el fin de asegurar la alimentación con circuitos más cortos y con menor pendiente los cuales en tendencia resisten más los efectos del clima, en comparación con los circuitos de fondo mina. Si bien esto cumple con un objetivo de corto plazo, alimentar a los chancadores no debe ser considerado a cualquier costo, el uso de cargadores frontales significa incurrir en el mayor costo de carguío de la mina, y más aún cuando el mineral que se encuentra en el stock ya posee un costo asociado a su extracción y no necesariamente cumple con los parámetros de calidad, contenido metálico, planificados en esa eventualidad.

Es por esta razón que se plantea como necesario la planificación de estos eventos, para ello se estudia en detalle cada elemento del proceso mina en una línea de tiempo que contemple antes, durante y después del fenómeno climático.

## 8 Resultados 2019, Invierno Altiplánico

El invierno altiplánico acontecido en febrero 2019 significó mermas importantes para el negocio minero de Radomiro Tomic, los procesos de óxidos y sulfuros se vieron afectados por la no posibilidad de operar bajo condiciones climáticas adversas. Solo en este mes, producto de las condiciones del antes, el durante y el después del fenómeno climático significó una pérdida del orden de 575.000 toneladas húmedas de mineral óxido apilado en las pilas de lixiviación, lo que implica del orden de 1.719 toneladas de cobre fino recuperado. En la línea de procesamiento de sulfuros se dejó de enviar del orden de 85.000 toneladas húmedas a División Chuquicamata por vía de la

correa overland, esto implica del orden de 661 toneladas de cobre fino no enviado. Lo anterior, solo en la línea de óxidos, generó un déficit de 1.750 toneladas de cobre fino, lo cual dejó el negocio minero en un difícil escenario ya solo en el segundo mes del 2019. Respecto del movimiento total mina, solo en el mes de febrero no se movieron del orden de 3.461.000 toneladas de material, incluye lastres y minerales, por lo que se comprometió el negocio del futuro, ver Anexo A.

## 9 Estrategia Operacional, División Radomiro Tomic

A continuación, se presenta la estrategia operacional desarrollada en este trabajo.

Con el objetivo de cumplir con las metas de producción establecidas por la gerencia de planificación mina y los compromisos de ventas de cobre fino definidos por la organización es que la División requiere establecer una estrategia operacional que le permita sustentar la operación mina con el objetivo de garantizar la alimentación a los chancadores primarios de óxidos y sulfuros, y así dar seguridad que el proceso productivo tendrá continuidad operacional incluso en los meses de invierno altiplánico. No obstante, si las áreas de planta de procesamiento no tienen la capacidad de operar debido a dificultades técnicas u operacionales, la mina estará capacitada para realizar sus trabajos, y de esta manera cumplir con su rol en el negocio minero de Radomiro Tomic. En la Ilustración 5 se presenta la estrategia operacional propuesta por este estudio y para su implementación para los nuevos periodos de invierno altiplánico.

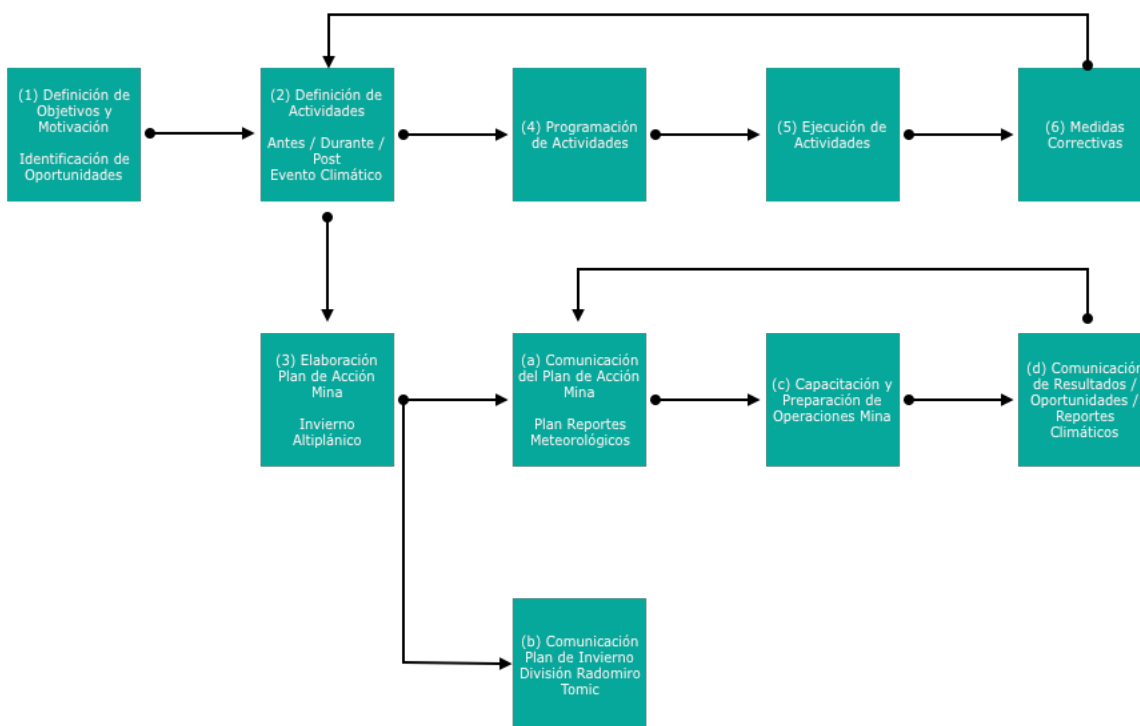


Ilustración 5: Diagrama de estrategia operaciones mina, (Fuente Elaboración Propia)

La estrategia de operaciones mina debe ser transversal y apuntar a involucrar a todos (as) los (as) relacionados por el plan de invierno mina, es decir, desde los (as) operadores (as) y empresas colaboradoras hasta gerentes (as) de la División. Para ello se ha diseñado una visión estratégica que permita tener una guía de como llevar el proceso para que este tenga la mejor adherencia y resultados para el negocio, ver Ilustración 5.

- (1) **Definición de Objetivos y Motivación:** Este punto es el más importante y relevante para sustentar el negocio en periodo de invierno altioplánico. Debe estar basado en los resultados del periodo de invierno 2019 y en base a los intereses del dueño de la empresa, el Estado de Chile. Por lo tanto, el **objetivo** es sustentar el negocio para el dueño y por ende para cumplir con los objetivos comprometidos por los administradores de la empresa respecto del cobre fino en venta y lo que se requiere de la mina para lograrlo. La **motivación** se basa en ser una operación minera de clase mundial, capaz de adaptarse a los cambios climáticos actuales, llevando su cultura de tradición minera a una nueva mirada más integrada para que sus procesos sean continuos aún con la adversidad climática. Para lograr que la motivación que impulsa a la División a lograr sus objetivos pueda ser desarrollada es que se deben planificar una serie de actividades para llevar a cabo sus planteamientos, para ello se deben identificar las oportunidades que se evidenciaron en el periodo de invierno 2019 y plasmarlas en un listado que deberá ser programado y priorizado por los ingenieros encargados.

- (2) Definición de Actividades: Conforme el punto anterior (1) en el periodo 2019 se evidencio que la operación mina no estaba preparada para soportar periodos invernales, pues sus caminos, equipos, operadores, cultura operacional e información no estaba al estándar que requiere este tipo de acontecimientos, por lo tanto, las lecciones aprendidas de esto son importantes para que en el periodo 2020 y futuros no vuelvan a ocurrir. Primero se debe reparar todas las instalaciones primordiales como casinos, casas de cambio para que estas cuenten con el estándar suficiente para soportar los fenómenos climáticos, además de contar con al menos una instalación que se encuentre preparada para soportar tormentas eléctricas, a la fecha de este documento ya se encuentra desarrollado, siendo el casino norte mina (ver Anexo A) el que cuenta con estas condiciones. Posteriormente se debe identificar al personal que se encuentra en condiciones físicas, sicológicas y además cuenta con la experiencia suficiente para operar en condiciones climáticas adversar, con el objetivo de generar un staff de operaciones invernales para cada coordinación que opera en la División. Posteriormente definir las actividades de preparación y mantención de caminos para operar con los circuitos necesarios para alimentar con minerales óxidos y sulfuros los chancadores primarios. Se debe verificar que los stocks de minerales cuenten con un inventario de reservas suficientes para el periodo. Además, se debe generar un plan con mantenimiento mina, para garantizar que los equipos se encontraran en perfectas condiciones para operar en condiciones climáticas adversas, ya sea por elementos como plumillas, calefacción, cadenas u otros elementos. Finalmente se deberán identificar las actividades que se realizarán luego que el periodo de invierno altiplánico se haya declarado como no vigente y volver de esta manera a la operación mina normal.
- (3) Elaboración del plan de acción mina (Invierno Altiplánico): Corresponde a la elaboración de un documento formal que contenga las definiciones básicas del plan de acción mina, los responsables, encargados y las actividades que soportan el plan de acción, debe ser un documento detallado para que todos y todas posean la información necesaria para asegurar la seguridad y continuidad operacional en periodos de invierno altiplánico.
- a. Comunicación del plan de acción mina – reportes meteorológicos: Esta etapa de la estrategia es importante, el plan de comunicación debe realizarse, antes del periodo de invierno altiplánico, para que en el momento que este se aproxime todo el personal de la División y en particular el de operaciones mina tendrá la capacidad de reacción al respecto y se podrá lograr el objetivo propuesto. Para ello los encargados de las coordinaciones de operadores mina deberán en los cambios de turno entregar información relevante y parcializada previo al periodo de invierno altiplánico. Se debe generar un plan de comunicación con el reporte del clima para los próximos siete días después desde la información, con el objetivo que el personal cuente

- con la información futura del estado de la operación mina y así tomar acciones comprometidas en el plan de acción de operaciones mina.
- b. Comunicación del plan de invierno División Radomiro Tomic: En conjunto con el plan de invierno de operaciones mina, se deberá informar de manera reiterativa el plan de invierno de la División, con el objetivo de contar con la información completa respecto de las medidas de mitigación y control que se adoptaran en base a eventos climáticos particulares.
  - c. Capacitación y Preparación de Operaciones Mina: Una vez que el personal cuente con la información del plan de acción de operaciones mina y los procesos que se realizaran para lograr los objetivos planteados, se llevaran a cabo capacitaciones para todos aquellos operadores que cuenten con la experiencia necesaria para ser parte del staff de invierno pero que carezcan de algún concepto técnico nuevo que se incorporara en la operación, tal como uso de cadenas, equipos especializados, entre otros.
  - d. Comunicación de Resultados – Identificación de Oportunidades: Esta etapa corresponde a los resultados logrados en cada evento climático que acontezca, de esta manera se podrán realizar rondas de ideas con mejorar posibles para los próximos eventos climáticos.
- (4) Programación de Actividades: Una vez que el conjunto de actividades haya sido desarrollada y consensuada entre los responsables se deberá realizar la programación de estas, en base a la criticidad de cada actividad y el tiempo que se requiera para su implementación.
  - (5) Ejecución de Actividades: En base a la programación de actividades se deberá realizar la ejecución de estas, con el objetivo de dar cumplimiento a los lineamientos del plan de acción de invierno altiplánico y no agregar riesgo al no desarrollar alguna de estas actividades.
  - (6) Medidas Correctivas: Esta etapa de la estrategia es la que otorga sustentabilidad de la misma en el largo plazo, pues corresponden a las oportunidades que se identifiquen una vez que se presente el invierno altiplánico en la División y las actividades contempladas en el plan de acción no fueron suficientes o se identificaron oportunidades para su nueva implementación, de esta manera el proceso será de mejora continua, brindando la oportunidad de adaptación e incorporación de nuevas tecnologías que pudiesen servir para la operación mina.

## 9.1 Plan de Invierno

La Gerencia de Seguridad de División Radomiro Tomic, en función de las mejores prácticas de la industria minera y en particular del vecindario minero que circunda a la ciudad de Calama y alrededores ha elaborado un plan de invierno el cual se presenta a continuación:



Plan de Invierno Mina: Define las directrices y medidas de control general, que se deben aplicar en los periodos de mal tiempo, y así garantizar la seguridad de las personas, protección de equipos, instalaciones e infraestructura y mantener la continuidad operacional. Es aplicable a todas las áreas, actividades, empresas contratistas y subcontratistas que se desenvuelvan en la División.

	ALERTA N°1	ALERTA N°2	ALERTA N°3	ALERTA N°4
Descripción	Aproximación de frente de mal tiempo, con amenaza evidente de viento, lluvia y/o nieve y/o tormenta eléctrica.	Vientos hasta 70 km/hr, lluvia y/o nevada en faena; visibilidad máxima de 500 m.	Condiciones climáticas severas, vientos sobre los 100 km/hr, nevadas intensas, levantamiento de polvo y viento blanco; visibilidad máxima 50 m.	Amenaza significativa a las personas y la continuidad de las operaciones. Evacuación total de las personas de la faena.
Tránsito de Personal	Normal, debe cumplir sus funciones con precaución y atentos a cambios de alerta.	Normal con precaución, se suspenden trabajos de acuerdo a los planes específicos de las Gerencias. Se debe utilizar: protección ocular y térmica, y estar atento al entorno.	Prohibido, personal permanece en lugares de resguardo pre establecidos.	Prohibido hasta que se levante la alerta.
Tránsito vehicular	Normal	Restringido, en ruta velocidad máxima 70 km/hr y en áreas operativas sólo los autorizados por las Gerencias respectivas.	Prohibido, circulan sólo vehículos de emergencias, bajo control radial permanente.	Restringido, circulan sólo vehículos de emergencia y continuidad operacional la debe autorizar el Comité de Manejo de Emergencias.
Bandera	Verde	Amarillo	Rojo	
Consideraciones	Activación del Plan, las Gerencias DRT preparan los procedimientos específicos en Gestión de Riesgos.			Constitución del "Consejo Corporativo de Manejo de Crisis" - CCMC.

Ilustración 6: Estados de alerta, definición de plan de invierno, (Fuente Plan de Invierno Mina RT)

En la Ilustración 6 se presenta la definición de estados de alerta para el plan de invierno, cabe destacar que se han establecido cuatro alertas desde la aproximación de un frente de mal tiempo (Alerta N°1) hasta cuando este esta presente y representa una amenaza significativa a las personas y continuidad de las operaciones (Alerta N°4).

En el plan de invierno general se establece que cada gerencia debe generar un plan específico, que asegure la continuidad de las operaciones y que entregue protección al trabajador e instalaciones. Para ello debe definir:



### LUGARES SEGUROS:

Se debe disponer de lugares habilitados que mantengan, calefacción, agua, linternas o luces de emergencia. Los refugios temporales o lugares seguros son instalaciones, oficinas, salas de control, contenedores, campamentos, etc., debidamente habilitados para que permanezcan trabajadores con la absoluta seguridad que no se verán afectados producto de la condición climática del momento. Para el área mina los refugios son: Edificio de Operaciones Mina y Casino Mina.



### VÍAS DE EVACUACIÓN

Debe considerar los caminos prioritarios para una eventual evacuación, los que deben estar correctamente señalizados con letreros diseñados con fotoluminiscencia.



### OPERACIÓN DE EQUIPOS CRÍTICOS

Debe establecer claramente paso a paso la operación de los equipos críticos, personal de emergencia en caso de evacuación, equipos que no deben detenerse, recursos disponibles en maquinarias, insumos, etc.



### EVACUACIÓN DE PERSONAL

Debe estar claramente indicado el personal que lidera la posible evacuación, forma de censar el personal que es retirado del área, lugar de reunión, puerta de evacuación, etc.



### PERSONAL DE EMERGENCIA

Cada Gerencia debe designar el personal que eventualmente se quedará para control de operaciones, emergencias, operación de equipos críticos, etc., durante la Alerta 2 y 3.



### ESTACIONAMIENTO DE EMERGENCIA

Con Alerta 2, todos los vehículos solo deberán continuar su marcha a faena solo si la Gerencia de Seguridad y/o Gerente de turno autorice el ingreso.

Ilustración 7: Medidas de control para definición de plan específico de áreas de la División, Fuente (Plan de Invierno Mina RT)

Como se observa en la Ilustración 7 se deben definir lugares seguros, vías de evacuación y operación de equipos críticos para cada una de las áreas de la División y en función del cada una de las alertas establecidas (ver Ilustración 6).

En el caso específico de operaciones mina se ha definido un plan de acción a partir de la Alerta N°2 o situaciones de lloviznas en donde se debe:

- Restringir el tránsito a vehículos menores en circuito de camiones de extracción mina
- Suspender la operación de carguío de explosivos y cualquier manejo de ellos. Cuando una parte de la tronadura se encuentre cargada se deberá aislar el área tal como si se tratara de la iniciación de un disparo programado y esperar hasta que la emergencia haya pasado. (DS N°132, artículo 253)
- Recepcionar la información de las evaluaciones de las condiciones y el recorrido de los circuitos críticos generado por los encargados (as) de áreas o sectores mina.
- Los equipos de desarrollo o movimiento de tierra deberán movilizarse en cada fase activa de la mina, operado por el personal seleccionado por su mayor experiencia, previsto de cadenas en los neumáticos, con la finalidad de mantener los camiones operativos y de ser necesario, y posible, deberá crear canaletas que direccionen las aguas lluvias.
- Si las vías se tornan resbaladizas, deberá dar instrucciones a los operadores de camiones de extracción, que deben trabajar a una distancia entre ellos de 100 metros y de ser posible, en circuitos olímpicos.

## 9.2 Propuesta Operaciones Mina

La estrategia de invierno altiplánico para operaciones mina desarrollada en este trabajo implica realizar una serie de actividades antes y durante la presencia de fenómenos climáticos adversos. Estas son:

- Reparación de caminos: Se define que los caminos principales desde los stocks hacia los chancadores primarios de óxidos y sulfuros deben estar en perfectas condiciones y en general sin bischofita para posibilitar el tránsito de camiones de extracción desde los stocks hacia chancadores y así dar continuidad operacional al proceso de apilamiento.
- Preparación de pretiles de contención, canaletas: En el periodo de invierno 2019 se evidenció acumulación de aguas lluvia en las rampas principales, particularmente en los peraltes de curva y descansos de rampas, lo anterior generó un lento retorno de la operación mina una vez que el evento climático terminó. De esta manera se deben generar en lo posible canaletas de conducción de aguas lluvia y desagüe de estas hacia las paredes del rajo donde no presente un riesgo para las fases inferiores, de esta manera se evitará la acumulación de agua y podrá retornarse a la operación normal de manera mas temprana.
- Preparación eléctrica: Los equipos principales de la División son equipos eléctricos los cuales se energizan mediando el acople de cables de alta

tensión desde el equipo hasta las casetas eléctricas las que a su vez están conectadas hacia la subestación de energía. En el periodo de invierno altiplánico de 2019, equipos perdieron su energización producto de fallas en las coplas o subestaciones de energía, los cuales producto del agua que ingresa tanto en coplas como casetas generó cortes de circuito que impiden la continuidad operacional. Es por esta razón que se debe preparar toda la alimentación eléctrica mina de manera tal que permanezca activa en condiciones que se puede continuar con la operación y solo se puedan des-energizar cuando la integridad de las personas, equipos o instalaciones se encuentre en peligro.

- Uso de implementos: La presencia de nieve y bajas temperaturas también es probable en la temporada de invierno altiplánico, de esta manera ante la presencia de nieve o hielo, el uso de cadenas es importante para circular por los circuitos, de esta manera se deben adquirir set de cadenas tanto para equipos mineros como camionetas las que son pare importante de la continuidad operacional.
- Operación mina desde stocks: Cuando las lluvias se intensifican los circuitos largos de la mina, que incluyen rampas con pendiente, no son posibles de utilizar, debido a las condiciones resbaladizas que se presentan por la presencia de bischofita residual. De esta manera solo los circuitos cortos y de escasa pendiente son recomendables de mantener en periodos de lluvia. Es por esta razón que los stocks de la mina son parte vital del plan de acción de invierno altiplánico de la mina, deben contar con un inventario suficiente para una producción continua de al menos 20 días, lo suficiente para sostener la pérdida de alimentación y apilamiento en la línea de óxido. En cuanto al sulfuro deberá ser la misma cantidad de días, sin embargo, el nivel de inventarios es menor dado que estará sujeto a los requerimientos de División Chuquicamata.

Para sostener la operación mina desde stocks es necesario contar con los equipos necesarios para generar los circuitos fluidos, de esta manera se deberá contar con una pala electromecánica XPA, dos cargadores frontales LT2850 y un cargador frontal LT1850 con el fin de lograr un régimen de 11.000 th/h en la línea de óxido. En cuanto a la línea de sulfuros se deberá contar con al menos un cargador frontal LT2350 para mantener la producción de minerales sulfurados.

Como el total de cargadores frontales es cuatro, 3 LT2350 y 1 LT1850, y estos son requeridos para su mantenimiento programado, además de contingencias en la zona de ripios para sostener la distancia entre rotopala y apilador y mantener la continuidad operacional es que se sugiere trasladar una pala hidráulica con motor diésel para soportar los periodos de baja disponibilidad de cargadores frontales.

## 10 Evaluación Económica

La evaluación económica toma como base un escenario mensual de trabajo con un precio del cobre considerando el promedio mensual del precio del metal rojo según COCHILCO (Comisión Chilena del Cobre) en la LME (London Metal Exchange) en dólares nominales y una tasa de descuento de 10% convertida en tasa mensual. El precio de los próximos 5 meses se tomará como aproximación la tendencia de los meses de septiembre, octubre y noviembre 2019. La definición de evaluación económica esta más enfocada a conocer cuanto es el valor de la preparación para el invierno altiplánico y de esta manera poder asegurar la continuidad operacional del proceso minero. Se debe considerar que la operación con cargadores frontales e incurrir en el movimiento desde stocks hacia los chancadores es más costoso respecto de la operación con palas electromecánicas, sin embargo, es la única alternativa que Radomiro Tomic cuenta para dar solución a la época invernal, el detalle de la evaluación económica realizada se presenta en el Anexo C.

		Diciembre 0	Enero 1	Febrero 2	Marzo 3	Abril 4	Mayo 5
Precio Cu	USD/lb	2,66	2,62	2,62	2,62	2,62	2,62
Precio Mo	USD/lb	11,47	11,47	11,47	11,47	11,47	11,47
Preparación de Caminos	USD	0	-166.252	-254.393	-254.393	-254.393	0
Preparación de Pretilos	USD	0	-88.170	-96.089	-96.089	-96.089	-64.431
Preparación Eléctrica	USD	-50.000	0	0	0	0	0
Uso de Implementos	USD	-1.806.000	0	0	0	0	0
Transporte	USD	0	-184.911	-724.851	-724.851	-724.851	0
Carguío	USD	0	0	-361.270	-464.489	-206.440	0
Operación Mina desde Stocks	USD	0	-184.911	-1.086.121	-1.189.341	-931.291	0
Beneficio Óxido	USD	0	0	15.334.240	19.715.451	8.762.423	0
Beneficio Sulfuro	USD	0	0	7.912.570	10.173.304	4.521.468	0
Beneficio Molibdeno	USD	0	0	355.694	457.321	203.254	0
Flujo Caja	USD	-1.856.000	-439.333	22.165.901	28.806.254	12.205.372	-64.431

Tabla 7: Flujo de caja mensual, plan de acción invierno altiplánico mina, (Fuente Elaboración Propia)

A partir de la evaluación económica se observa que solo con la aplicación de la estrategia operacional se puede asegurar la producción equivalente aproximadamente a 60 MUSD, Ver Tabla 8.

Tasa Descuento Anual	%	10,00%
Tasa Descuento Mensual	%	0,80%
VAN	USD	59.414.483

Tabla 8: Resultados evaluación económica, (Fuente Elaboración Propia)

## 11 Resultados

Los resultados de la evaluación económica entregan un VAN del orden de 60 MUSD, considerando una tasa de descuento de 0,80 % mensual, 10 % anual. Además, permite asegurar la producción de hasta 2,6 Mt de mineral óxido a la planta de procesamientos y 642 kt a la planta de sulfuros en División Chuquicamata. Estos valores representan en términos de cobre fino un total aproximado de 16,7 millones de libras de cobre fino en la línea de lixiviación y 8,6 millones de libras en la línea de sulfuros. Finalmente, en cuanto al subproducto molibdeno por envío de minerales a la planta de procesamiento en Chuquicamata se podrán recuperar hasta 88 klb de molibdeno fino.

## 12 Conclusión

En base al estudio realizado se desprenden las siguientes conclusiones:

- El periodo de invierno altiplánico de 2019 dejó al descubierto la no preparación que se poseía a nivel de operaciones mina para sostener la continuidad operacional.
- Las pérdidas de producción del invierno altiplánico de 2019 generaron un escenario difícil de sostener a lo largo del periodo 2019, por lo tanto, se vieron comprometidos el interés del dueño de la empresa, el Estado de Chile.
- Los estudios de cambio climático indican que en los próximos años la tendencia del alza se mantendrá.
- Los estudios de cambio climático indican que las zonas del norte, latitudes altas, tendrán a percibir una menor caída de precipitaciones.
- Los estudios de cambio climático indican que los eventos extremos, como lo es el invierno altiplánico, serán cada vez más frecuentes y con mayor intensidad.
- Los estudios de cambio climático indican que los eventos acontecidos en febrero 2019 no serán los últimos, sino que se ha marcado un precedente para los futuros periodos de invierno altiplánico.
- La elaboración de una estrategia para garantizar la continuidad operacional es primordial para satisfacer las expectativas de la corporación y del dueño de Codelco.
- Los planes de generación de planes de acción con actividades explícitas y secuenciales son primordiales para sustentar la estrategia de invierno altiplánico, pues entregan una guía paso a paso temporal para generar los preparativos y sustentar la operación mina cuando el periodo invernal este presente.
- El plan de comunicación de la estrategia es importante para que todos los involucrados en el área de operaciones mina se sientan parte del la dificultada y de la solución planteada para abordar la época invernal.
- La retroalimentación de los resultados parciales conforme se evidencien fenómenos climáticos es trascendental para mejorar el proceso y reforzar la estrategia, solo de esta forma se garantizará la continuidad operacional.
- La estrategia de trabajo presentada en este estudio permite sustentar la operación mina particularmente la alimentación a los chancadores primarios de óxidos y sulfuros, alcanzando un total de 2,6 Mt de mineral óxido y 642 kt de mineral sulfuro alimentado a los chancadores, equivalente a aproximadamente 60 MUSD.
- De requerir la extensión de los equipos involucrados en la estrategia operacional por permanencia de un fenómeno climático, se puede realizar sin inconveniente alguno, sin embargo, será importante generar una base de datos para estimar nuevamente la cantidad de reservas disponibles para el siguiente periodo invernal.

## 13 Bibliografía

Juan Carlos Castilla, F. J., & Montero, J.-P. (2019). *Cambio Climático en Chile: Ciencia, Mitigación y Adaptación*. Ediciones UC.

SQM. (s.f.). SQM. Obtenido de <https://www.sqm.com/producto/bischofita/>

Cambio Global UC. (s.f.). Obtenido de Cambio Global UC: <http://cambioglobal.uc.cl/comunicacion-y-recursos/impactos-y-adaptacion-al-cambio-climatico-en-chile>

Repositorio UChile. (s.f.). Obtenido de Cambio Climatico: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/151060/Cambio-clim%C3%A1tico-y.el-agua-desaf%C3%ADos-inminentes-para-la-legislaci%C3%B3n-ambiental-chilena.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ministerio del Medio Ambiente Chile. (s.f.). *Plan de Accion Cambio Climatico*. Obtenido de <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/04/Anteproyecto-PANCC-2017-2022-FINAL-2016-04-18.pdf>

Minería Chilena. (s.f.). Obtenido de Reportajes Minería Chilena: <http://www.mch.cl/reportajes/clima-y-mineria-al-mal-tiempo-medidas-proactivas/>

Minera Los Pelambres. (s.f.). Obtenido de Preparacion Eventos Climáticos: <http://web.pelambres.cl/comunicaciones/noticias/2018/operacion-invierno-en-minera-los-pelambres/>

SONAMI. (s.f.). Obtenido de Atacama Aluvión en el Desierto: <http://www.sonami.cl/site/wp-content/uploads/2016/08/publicacion2016.pdf>

Departamento Geofísica U de Chile. (s.f.). Obtenido de Variabilidad Climatica Siglo XXI: [http://dgf.uchile.cl/PRECIS/articles-39442\\_pdf\\_Estudio\\_texto.pdf](http://dgf.uchile.cl/PRECIS/articles-39442_pdf_Estudio_texto.pdf)

Conicyt. (s.f.). Obtenido de Scielo Conicyt: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0719-26812017000300041](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-26812017000300041)



GRMD (Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo). (s.f.). *Informe Programa Producción P0 2019*.

GRMD (Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo). (s.f.). *P0 2019 Definitivo - Presentación PPTX*.

GRMD (Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo). (s.f.). *Exhibit GRMD\_P0\_2019\_Definitivo\_(14\_11\_18)\_V5 Documento XLSX*.

Luis Abdón Cifuentes, F. J. (s.f.). *Cambio Climático: Consecuencias y Desafíos para Chile*.

Eta/CPTEC, P. d. (s.f.). Obtenido de [http://www.dgf.uchile.cl/rene/PUBS/altiplano\\_eta\\_METOR.pdf](http://www.dgf.uchile.cl/rene/PUBS/altiplano_eta_METOR.pdf)

CEPAL. (s.f.). *Impactos del cambio climático en el sector minero*. Obtenido de [https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/angela\\_oblasser.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/angela_oblasser.pdf)

CODELCO. (2019). *CODELCO Memoria Anual 2018*.

CODELCO. (2019). *Reporte de Sustentabilidad 2018*.

CEPAL. (2012). *La economía del cambio climático en Chile*.

## 14 Anexos

A continuación, se presentan los anexos que permiten observar en mayor detalle el trabajo realizado.

# A Resultados Negocio Minero Febrero 2019, Radomiro Tomic

A continuación, se presentan los principales resultados operacionales del periodo de invierno altiplánico 2019.

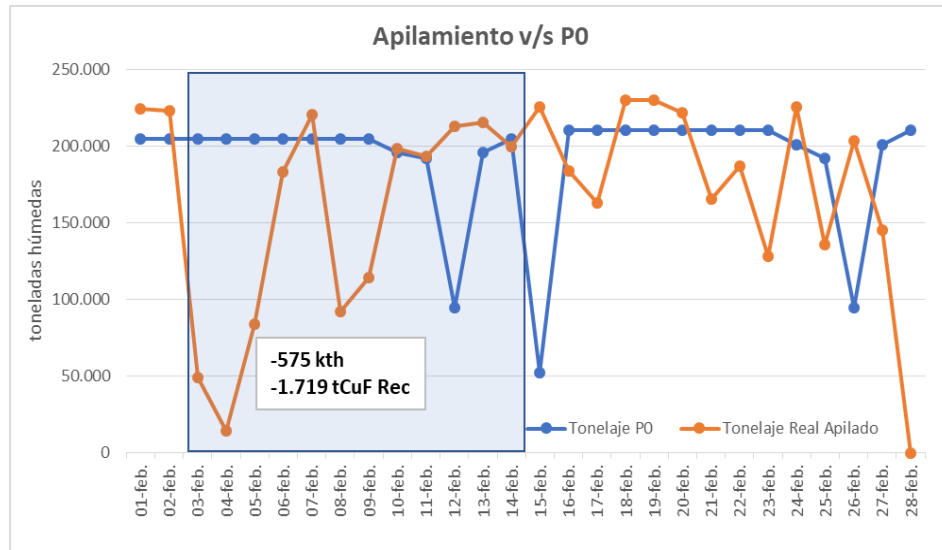


Gráfico 1: Resultados operacionales febrero 2019, apilamiento v/s P0 2019, (Fuente Planificación Minera GRMD)

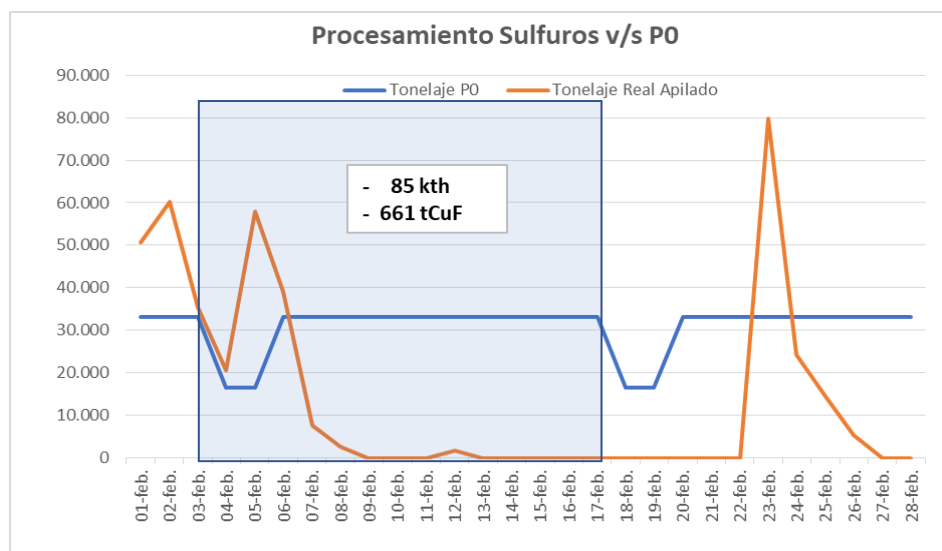


Gráfico 2: Resultados operacionales febrero 2019, procesamiento sulfuros v/s P0 2019, (Fuente Planificación Minera GRMD)

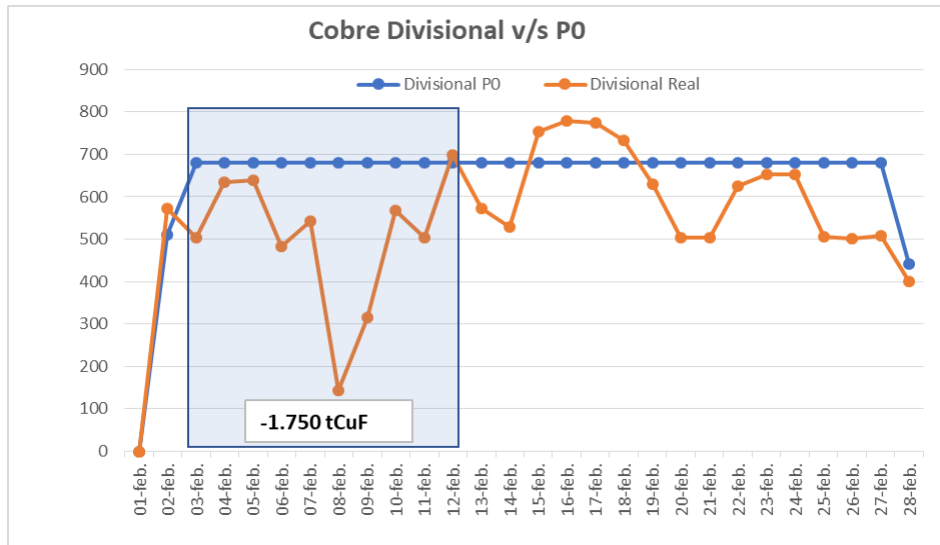


Gráfico 3: Resultados operacionales febrero 2019, cobre divisional v/s P0 2019, (Fuente Planificación Minera GRMD)

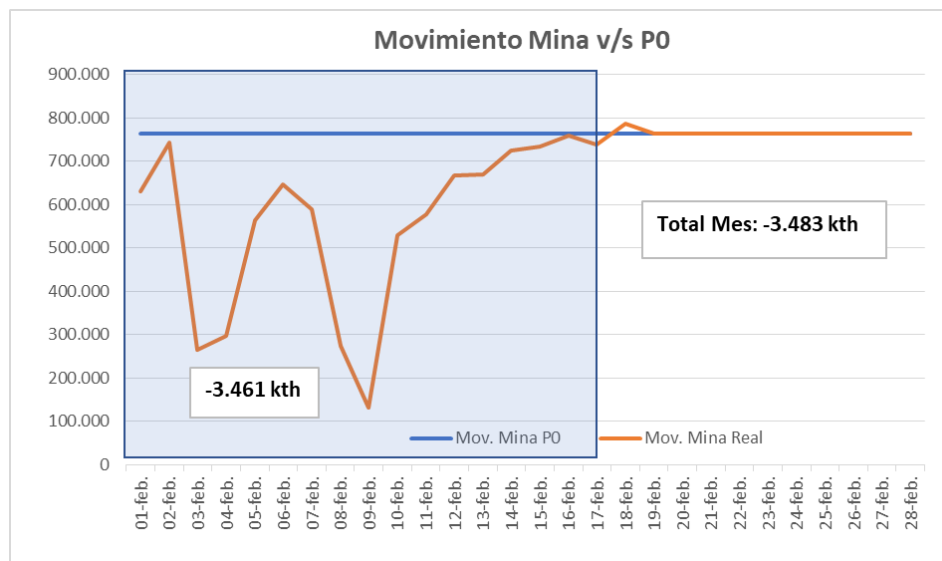


Gráfico 4: Resultados operacionales febrero 2019, movimiento total mina v/s P0 2019, (Fuente Planificación Minera GRMD)

## B Infraestructura mina

A continuación, se describen las infraestructuras más importantes de la División con las cuales se hace sustento del negocio minero.

### Fases

Actualmente Radomiro Tomic cuenta con 6 fases operativas de las cuales 4 de ellas (fase 22, 23, 27 y 29) se extraen óxidos para la alimentación del proceso de lixiviación y 2 de ellas (fase 23 y 33) se dispone minerales para la alimentación de sulfuros al chancado de esa línea de negocio.

- Fase 22, cuenta con óxidos, mixtos y lastres
- Fase 23, cuenta con óxidos, mixtos, sulfuros y lastres
- Fase 27, cuenta con óxidos y lastres
- Fase 29, cuenta con óxidos y lastres
- Fase 33, cuenta con mixtos, sulfuros y lastres
- Fase 35, cuenta con lastres, pero despeja reservas de óxidos futuras
- Stock de Óxido, cuenta con reservas de óxidos
- Stock de Sulfuro, cuenta con reservas de sulfuros

### Rutas

Actualmente División Radomiro Tomic cuenta con diversas rutas de acceso a las fases operativas y salida de ellas con destino los chancadores primarios de óxidos y sulfuros o los botaderos operativos. Las rutas generalmente se componen de rampas operativas y definitivas que en su conjunto generan una ruta única de tránsito en ambos sentidos para realizar los tramos de origen destino que se requieran. Por lo general las rampas de acceso a las fases cuentan con los parámetros de ancho y pendiente adecuados para su tránsito fluido, sin embargo existen rutas que pertenecen a rampas definitivas que no cuentan con el suficiente ancho, esto a raíz del tiempo que llevan en uso, y junto con la deformación del macizo rocoso han quedado inutilizadas o con un ancho operativo reducido, de tal manera que se generan interacciones de la ruta entre ambos sentidos de tránsito, debiendo dejar preferencias en la vía, mediante señaléticas, para que los equipos tengan el paso expedito hacia su destino y otros tengan que esperar.

Es de esta manera que se han identificado 13 rutas estratégicas para División Radomiro Tomic las cuales se describen a continuación:

- **Circunvalación Oeste**, este circuito conecta los minerales de la fase 27 – 29 – 21 con el chancado de óxido, además les permite a los lastres de las mismas fases salir a ser depositados en el botadero norte, en el caso que el botadero sur sur no se encuentre operativo.
- **Circunvalación Este**, este circuito les permite a los sulfuros de la fase 23 – 33 y ser depositados en el stock de sulfuro o en el chancado de estos minerales. Además, permite conectar los minerales de la fase 21 con el chancado de óxido o sulfuro según corresponda.
- **Rampa Fase 26**, este circuito es el principal en uso para los minerales sulfurados de la fase 33, es un circuito directo en ambos sentidos para depositar estos materiales en los stocks o en el chancado de sulfuro.
- **Rampa Fase 23 – Descarga**, este circuito es una alternativa directa para el acceso – salida de los minerales y lastres de la fase 23, sin embargo, también es utilizado como salida de los camiones de extracción cuando en la fase 33 hay presencia de mixtos procesables en el chancado de óxido.
- **Rampa Baliza**, este circuito representa la salida más rápida para los minerales de la fase 29 – 27, sin embargo, en los tiempos en que se abre banco en la fase 29 desde la fase 22, este circuito queda solo conectado con la rampa de la fase 26 de esta manera se genera una dependencia adicional del circuito no teniendo más alternativas de acceso a la fase de apertura.
- **Rampa Fase 27**, este circuito da acceso y salida a la fase 27 – 29 por el sector oeste de la misma, permite la salida de los materiales tanto al circuito del chancado de óxido mina como al botadero sur sur y botadero norte.
- **Rampa Fase 21**, este circuito permite acceder y salir de la fase 21, la cual corresponde a la fase más al sur del rajo, posee la mayor distancia equivalente para el circuito de minerales hacia el chancado de sulfuros u óxido. Sin embargo, por estrategia de mezcla de minerales, esta fase es relevante dependiendo de los periodos de planificación.
- **Circuito Botadero Sur Sur**, dado que las fase 27 y 29 corresponden hoy a las fase superficiales, por ende a las menores distancias equivalentes para el transporte de materiales y aquellas que requieren menos material de remoción para despejar reservas, se entrega una mayor prioridad de utilización de camiones de extracción en esta ruta, de manera que el flujo de circulación de camiones de extracción es constante a lo largo de la operación, siendo este circuito bastante transitado a lo largo de la operación mina.
- **Circuito Botadero Norte**, este circuito se conecta con la salida del circuito descarga y circunvalación oeste, es bidireccional hacia el botadero norte, cuenta con el ancho y las pendientes de diseño que permiten una circulación expedita de los camiones de extracción.
- **Circuito Stock Óxido – Chancado de Óxido**, corresponde a un circuito corto, por lo general sin pendiente, que conecta directamente el stock de óxido con el chancador de óxido primario.

- **Circuito Stock Sulfuro – Chancado de Sulfuro**, esta ruta corresponde a un tramo de escasa distancia y pendiente, conecta directamente el chancado de sulfuros con el stock de sulfuros mina.
- **Circuito Comedor Norte – Stock Óxido y Sulfuro**, este circuito conecta el comedor norte mina con el circuito de circunvalación este y oeste, de esta manera se puede acceder a los circuitos de stock óxido y sulfuros a partir de esta instalación.
- **Circuito Ripios Pilas**, este es un circuito cerrado y dinámico, es decir, depende de las necesidades operacionales de la planta y sus requerimientos de extracción de ripios desde la pila dinámica producto de situaciones particulares de distancia entre puentes o dificultades mecánicas de la rotopala.

## Chancado

La División Radomiro Tomic cuenta con dos chancadores mina, los cuales han sido definidos para ambos procesos de minerales, línea de óxido y sulfuro.

El chancador de óxido corresponde a un modelo giratorio de 11.000 t/h operativas, es actualmente telecomandado desde una sala de control, localizada en el edificio de operaciones mina. Posee tres bahías de descarga, lado grúa, centro y muro, las cuales tiene la capacidad de recibir camiones de extracción de 300 t y 360 t nominales.

El chancador primario de sulfuros tiene capacidad de procesamiento de 5.500 t/h operativas, actualmente es operado desde la sala de control directa del chancado de sulfuro. Posee dos bahías de descarga, lado mina y cerro, las cuales tiene capacidad de descarga de camiones de extracción de 300 t y 360 t nominales.

## Botaderos

Actualmente la División Radomiro Tomic en su área mina y ripios cuenta con cuatro botaderos operativos, y cada uno de ellos responde a la cercanía de las fases de la zona sur y norte, botadero ripios el cual es utilizado específicamente para la depositación de los ripios extraídos desde la pila dinámica de lixiviación.

**Botadero Sur Sur**, corresponde al botadero ubicado en la cota 3100 de la región sur del rajo principal, contempla la depositación de todos los materiales de las fases superiores de la zona sur, es decir, fase 25, 27 y 29.

**Botadero Norte**, contempla la depositación de los materiales provenientes de la zona norte y centro del rajo principal las cuales corresponden a la fase 22, fase 23, fase 33 y fase 35.

**Botadero Atravieso 1**, está localizado en la zona sur – este de la mina y contempla la depositación de los materiales de la fase 21 y los materiales cuya distancia equivalente sea menor en la fase 27 y 29 respecto de su envío al botadero sur sur.

**Botadero Ripios**, se utiliza de manera exclusiva para la descarga de materiales provenientes de los ripios extraídos de la pila dinámica de lixiviación. La distancia promedio dependerá del semimódulo que se extrae, de esta manera existirán mayores o menores perfiles de transporte en función de la planificación de la operación de esta.

## **Comedores**

Existen dos comedores habilitados para la operación mina, estos son el **Comedor Norte** y **Comedor Sur**. El comedor norte esta localizado en el extremo norte – este del rajo y cuenta con acceso para la llegada de los buses operativos, los cuales trasladan al personal desde sus hogares a la División, dado que se encuentra además la casa de cambio colindante a esta instalación. Este comedor tiene la capacidad de estacionamiento de 21 camiones de extracción, además de 5 camiones de regadío mina.

El comedor sur esta localizado en la zona sur oeste de la mina, tiene la capacidad de estacionar 17 camiones de extracción. Este comedor solo se utiliza para la colación del personal, y para acceder a esta instalación se debe transitar por circunvalación oeste, no existiendo otra alternativa.

## **Procesos Mina**

La División Radomiro Tomic para la extracción de sus minerales oxidados y sulfurados de cobre utiliza en su cadena productiva equipos que le permiten realizar las labores de perforación, tronadura, carguío y transporte para finalmente depositar los minerales en el chancador primario mina, ver Ilustración 8.





Ilustración 8: Procesos de operaciones mina, (Fuente Elaboración Propia)

## Perforación

La perforación se realiza comúnmente en búsqueda mejorar la productividad del proceso minero, para ello se definen estrategias operacionales que permiten maximizar la carga disponible para los equipos de carguío en función del plan minero, el cual tiene a su vez el objetivo de maximizar la reservas a la vista en función del negocio minero. De esta manera se programa la perforación de polígonos masivos que permitan, una vez tronado el material mantener una holgura de 5 días de la carga de los equipos comprometidos en el sector perforado. Generalmente se definen perforadoras eléctricas, para realizar los pozos de producción, los que comúnmente están asociados a diámetros de 10<sup>1/4</sup>" y longitud de 17 m con pasadura, posteriormente se realizan las perforaciones "buffer" o amortiguadores, las cuales tienen como función cuidar el macizo rocoso del sector que se tronará. Dependiendo de las necesidades operacionales o las condiciones del macizo rocoso, guiadas por el área de geotecnia se definen sectores de perforación donde es necesario realizar precortes, los cuales tiene como objetivo asegurar la calidad de las paredes del banco que se definirá como definitivo una vez tronado el sector en cuestión. El proceso de perforación se planifica mediante mallas, las cuales tienen parámetros de burden y espaciamiento entre pozos los cuales estarán

definidos en base al tipo de roca que se tronará o del tipo de material a tronar. Un ejemplo de esta situación son las tornaduras de lastre, respecto de la tronadura de mineral, las primeras, por lo general, poseen un espaciamiento entre pozos mayor que las tronaduras de mineral, puesto que en estas últimas se debe asegurar una granulometría mínima que permita alcanzar un pasante mínimo en los procesos de chancado. Siguiendo con esta línea, la perforación de minerales óxidos y sulfuros también difieren entre sí. Lo anterior se atribuye a que la calidad de la roca es distinta entre estos minerales, por lo general los sulfuros están asociados a roca de transición o primaria por lo tanto el grado de competencia de los macizos rocosos es mayor en los sulfuros que en los óxidos. Además de manera particular, los sulfuros se disponen ya en los bancos inferiores del rajo y por lo tanto las aguas subterráneas tienden a aparecer en los bancos de sulfuros, de esta manera la presencia de agua también genera consideraciones especiales para la definición de mallas de perforación, diámetro de pozos e incluso en el proceso de tronadura mismo.

A continuación, se describen los equipos utilizados en la perforación mina.

- 4 perforadoras Pit Vipper
- 2 perforadoras DML
- 5 perforadoras Smart Rock

## **Tronadura**

El proceso de tronadura de la División Radomiro Tomic se realiza de manera programada y secuencial, se planifica de acuerdo con los requerimientos semanales y mensuales del negocio minero, en búsqueda de generar carga disponible para los equipos de carguío sustentando las reservas a la vista existentes para suplir la alimentación de los procesos de óxidos y sulfuros. De manera general la tronadura no se considera para los primeros días de turno de la guardia 7 x 7<sup>3</sup>, de manera de conseguir continuidad de la operación y que la guardia a cargo analice y secuencie sus actividades programadas de acuerdo con las necesidades operacionales del día a día, de manera de optimizar el uso de los recursos.

El inicio del proceso de tronadura<sup>4</sup> regularmente comienza a 14:30 horas, y por lo general desde que se toma la frecuencia hasta la liberación de esta, transcurren aproximadamente 45 minutos. De esta manera los procesos de carguío y transporte se adecuan de tal manera de aprovechar estos tiempos en la gestión de colaciones y abastecimiento de combustible de los equipos

---

<sup>3</sup> Los turnos de operaciones mina rotan cada 7 días, comenzando las labores los días miércoles de cada semana en turno A, es decir, desde las 08:00 am.

<sup>4</sup> Inicio de proceso de considera el paso de la frecuencia radial mina para la actividad de tronadura

mina. En general las tronaduras son consideradas masivas, es decir, el tonelaje a tronar es lo suficientemente extenso como para satisfacer los requerimientos de material tronado durante el turno, y en lo posible no volver a incurrir en un proceso de tronadura en el mismo punto durante la guardia de 7 días.

## **Carguío**

El proceso de carguío de la División Radomiro Tomic utilizada para la remoción de sus materiales una variada gama de equipos de extracción mina, dentro de ellas se encuentran palas electromecánicas, palas hidráulicas tanto en su modalidad retroexcavadoras como frontales y cargadores frontales sobre neumáticos. A continuación, se presenta una descripción general de cada uno de ellos.

**Palas Electromecánicas**, corresponden a los modelos de la marca P&H, en sus modelos XPC (3), XPB con sistema centurión (2) y XPA (1), las cuales están localizadas en el rajo y la planificación minera dispone de este recurso en su máxima utilización dado las características de costo y capacidad de cada una de ellas.

**Palas Hidráulicas**, corresponden a palas Komatsu PC8000 frontal (1), Caterpillar 6060 retroexcavadora (1), Komatsu PC5500 retroexcavadora en arriendo a ICV utilizada en la extracción de ripios. Estos equipos son estratégicos, pues son utilizados para trabajos específicos dentro de la faena.

**Cargadores Frontales sobre neumáticos**, corresponden a los equipos P&H Le Torneau modelos L-1850 (2) y el modelo L-2350 (3) los cuales tienen como objetivo la alimentación de stocks y trabajos de desarrollo dentro de la mina.

## **Transporte**

El proceso de transporte se lleva a cabo con camiones de extracción, la División Radomiro Tomic cuenta con 94 camiones de extracción nominales dentro de los cuales existen diversas flotas de camiones, los cuales responden principalmente a dos marcas del mercado Komatsu y Liebherr.

**Flota Komatsu**, la capacidad nominal de estos equipos es de 300 t. En esta flota existen principalmente dos modelos diferenciados por la velocidad alcanzada en los tramos de pendiente positiva, los cuales se circulan por lo general al salir cargados de la fase, estos modelos son los Komatsu E3 y E4 y los E4 SE, estos últimos son la edición "súper especial" de Komatsu, y son los

más rápidos del mercado, mientras que los E3 y E4 poseen velocidades similares.

**Flota Liebherr**, la capacidad nominal de estos equipos es de 360 t, los modelos que se mantienen en la División son los T282 B y C.

## Descripción Proceso Planta

El proceso planta de División Radomiro Tomic cuenta con dos líneas de procesos, estas son óxidos y sulfuros. A continuación de manera general se dará descripción de cada proceso.



Ilustración 9: Diagrama procesos planta, (Fuente Elaboración Propia)

## Línea Óxidos

Los minerales en calidad de óxidos, que superan la ley de corte, serán alimentados de manera directa al chancado primario de óxidos, el cual recibe estos minerales reduciendo su tamaño para el chancado secundario, de esta manera es depositado en el stock pile que tiene una capacidad nominal de 90 kt y una carga viva de 50 kt. Posteriormente mediante siete líneas de correas el mineral es trasladado al chancado secundario, el cual tiene como objetivo reducir el tamaño del mineral para el chancado terciario y aglomerado, posteriormente se lleva a un stock pile que alimenta al chancado terciario, del cual mediante cinco líneas se alimenta el chancador terciario, para finalmente llevar el proceso mediante correas transportadoras donde se riega con solución ácida para generar el curado<sup>5</sup>, el que se traslada hacia el apilador.

<sup>5</sup> Mezcla de mineral fragmentado y ácido

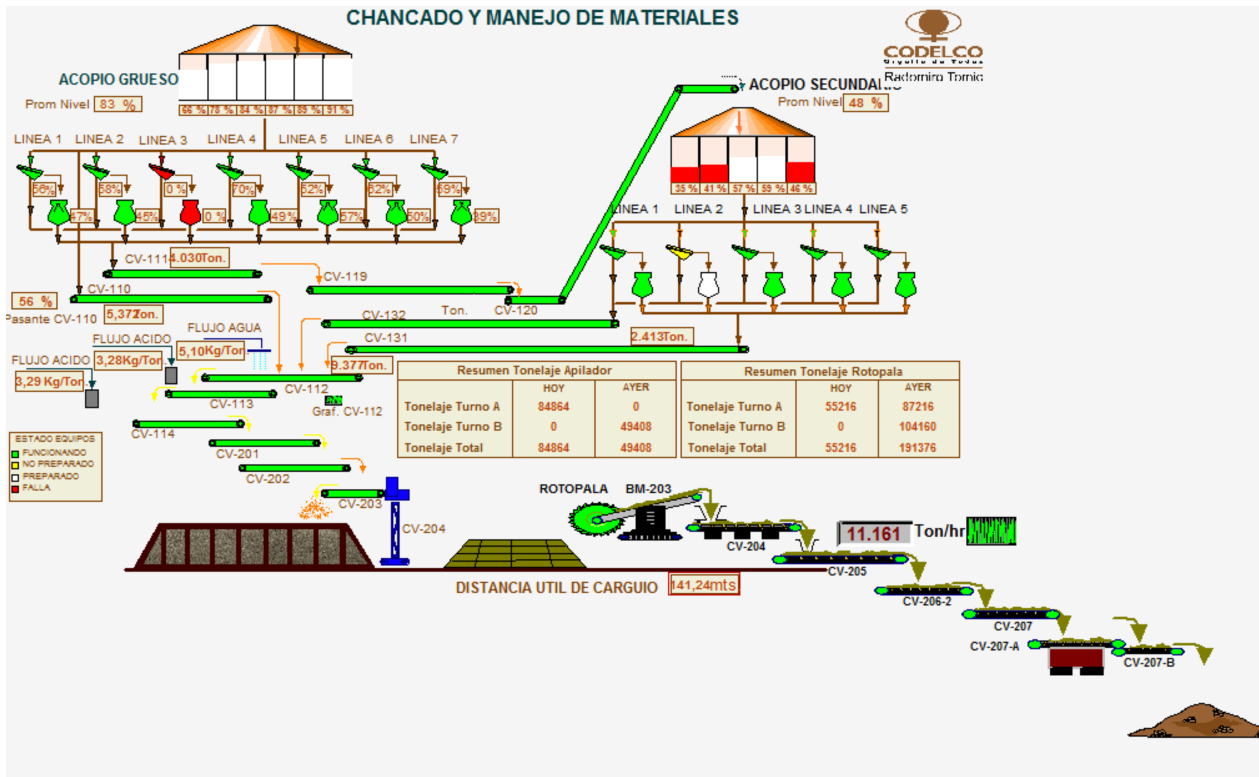


Ilustración 10: Diagrama (1) procesos de óxidos Radomiro Tomic, (Fuente SIP Mobile RT)

Una vez el mineral cumple su proceso de lixiviación de 60 días, el material es removido para depositarlos en la zona de botadero, la que posteriormente se transforma en zona de lixiviación de botaderos o dump. El proceso de lixiviación, ver Ilustración 11, tiene como resultado una solución concentrada en cobre denominada como PLS, posteriormente se pasa a un proceso de extracción por solventes (SX), ver Ilustración 12, con el objetivo de aumentar su concentración. Posteriormente, la solución rica en cobre del SX, se deposita en las celdas en la planta de electroobtención la cual, a través de la aplicación de corrientes eléctricas, logra que las moléculas de cobre se depositen en los ánodos utilizados en el proceso, y posteriormente se logre un cátodo de 1 m x 1 m, con 70 kg aproximadamente de cobre grado A. Finalmente los cátodos de cobre son separados del ánodo mediante equipos despega cátodos, para posteriormente se empaquetados en sets que envían a los puertos mediante el uso de camiones de carretera, es en este punto final, es donde mediante grandes embarcaciones el cátodo de cobre se envía a su destino final.

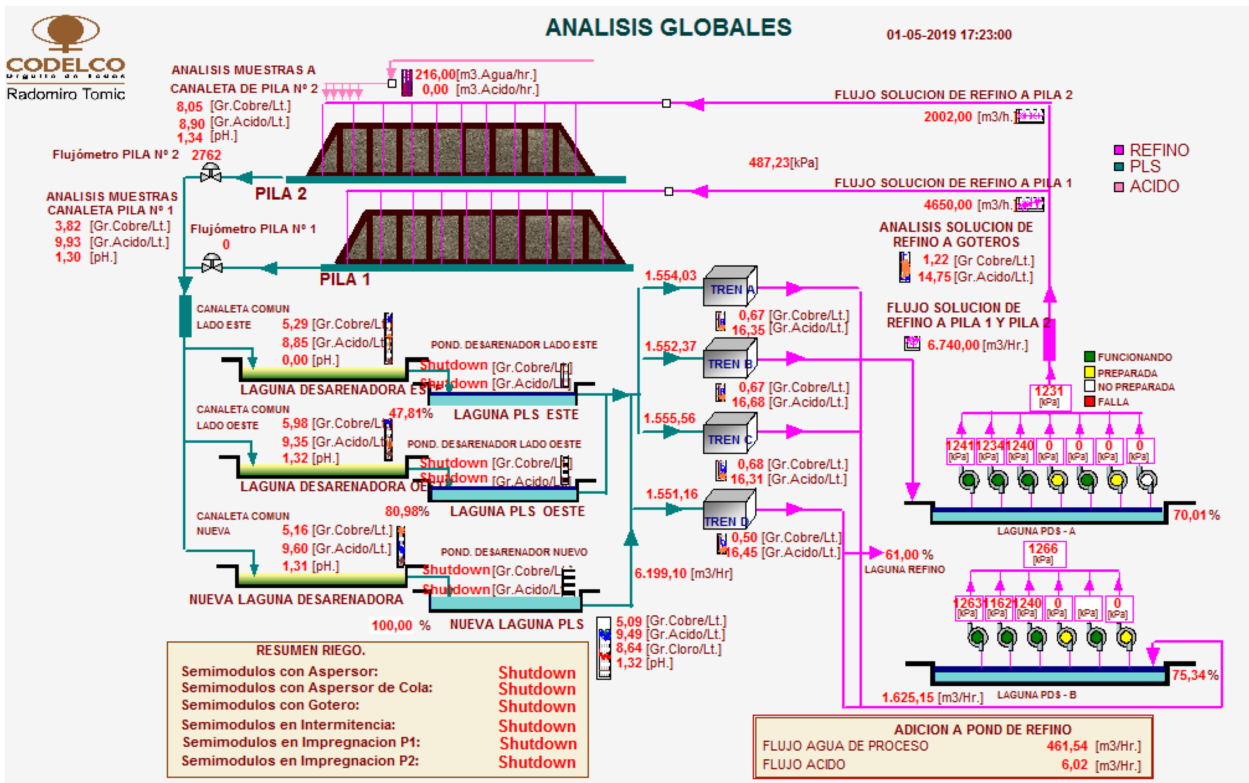


Ilustración 11: Diagrama proceso de lixiviación y obtención de PLS, (Fuente SIP Mobile RT)

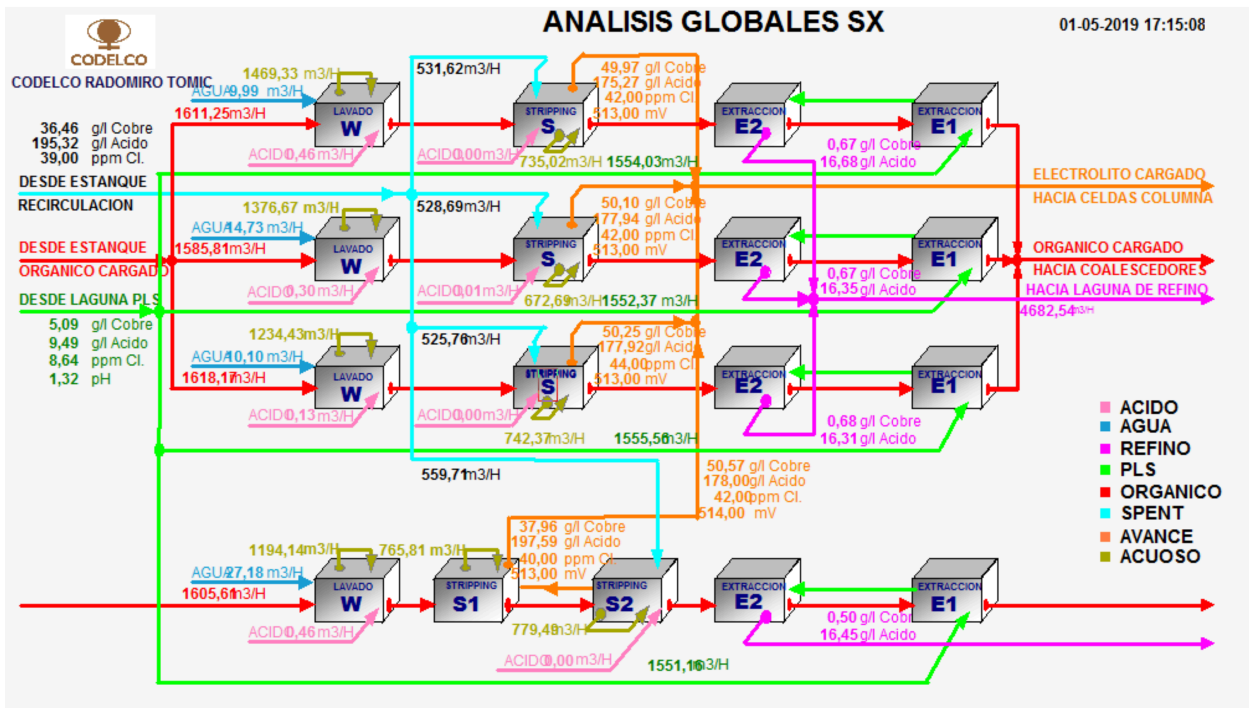


Ilustración 12: Proceso de extracción por solventes, (Fuente SIP Mobile RT)

## Sulfuros Radomiro Tomic

Los sulfuros minerales provenientes de la mina y stock son depositados en el chancado primario de sulfuros, este reduce el tamaño de partícula para ser enviado a División Chuquicamata. De esta manera es depositado en el stock pile, el cual posee una capacidad de transferencia de aproximadamente 5 horas, considerando un flujo de extracción de 3.500 t/h operativas. El mineral es trasladado mediante una correa overland hasta la planta de tratamiento en División Chuquicamata, ver Ilustración 13.

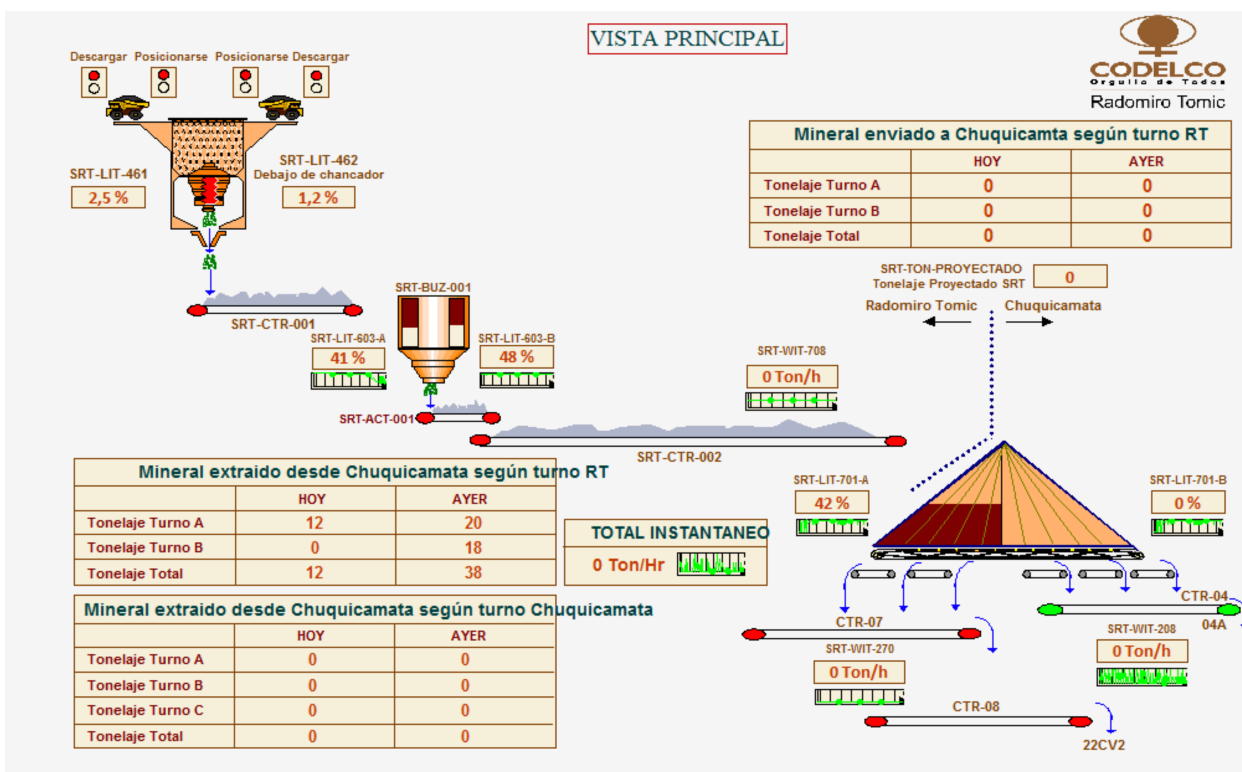


Ilustración 13: Diagrama proceso sulfuros Radomiro Tomic, (Fuente SIP Mobile RT)

## C Evaluación Económica

Actividades			2019		2020				
			Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
			30	31	31	29	31	30	31
<b>Reparación de Caminos</b>									
Motoniveladora									
Unidades	Unid			1	1	1	1		
Disponibilidad	%			72%	72%	72%	72%		
Utilización	%			60%	60%	60%	60%		
Días de Trabajo	d			7	7	7	7		
Horas Pago	hrs			1.016	1.016	1.016	1.016		
Tarifa PND 2019 Mantenición	USD/hrs			164	164	164	164		
Gasto	USD			166.252	166.252	166.252	166.252		
Costo Tonelada Húmeda	USD/th			0,20	0,20	0,20	0,20		
Wheeldozer									
Unidades	Unid				2	2	2		
Disponibilidad P0 2019	%				71%	71%	71%		
Utilización P0 2019	%				71%	71%	71%		
Días de Trabajo	d				14	14	14		
Horas Pago	hrs				339	339	339		
Tarifa PND 2019 Mantenición	USD/hrs				146	146	146		
Gasto	USD				49.620	49.620	49.620		
Costo Tonelada Húmeda	USD/th				0,20	0,20	0,20		
Bulldozer									
Unidades	Unid				2	2	2		
Disponibilidad	%				72%	72%	72%		
Utilización	%				59%	59%	59%		
Días de Trabajo	d				14	14	14		
Horas Pago	hrs				285	285	285		
Tarifa PND 2019 Mantenición	USD/hrs				135	135	135		
Gasto	USD				38.520	38.520	38.520		
Costo Tonelada Húmeda	USD/th				0,20	0,20	0,20		
<b>Aditivos para Caminos</b>									
Aditivo	USD	100.000							
Rendimiento	km	10							
Distancia a Preparar	km	25							
Costo	USD/km	10.000							
Gasto	USD	250.000							
<b>Preparación de Pretiles de Contención</b>									
Wheeldozer									
Unidades	Unid			1	1	1	1		
Disponibilidad	%			71%	71%	71%	71%		
Utilización	%			71%	71%	71%	71%		
Días de Trabajo	d			10	14	14	14		
Horas Pago	hrs			121	169	169	169		
Tarifa PND 2019	USD/hrs			164	164	164	164		
Gasto	USD			19.796	27.714	27.714	27.714		
Costo Tonelada Húmeda	USD/th			0,20	0,20	0,20	0,20		
Bulldozer									
Unidades	Unid			1	1	1	1	1	
Disponibilidad	%			72%	72%	72%	72%	72%	
Utilización	%			59%	59%	59%	59%	59%	
Días de Trabajo	d			14	14	14	14	14	
Horas Pago	hrs			143	143	143	143	143	
Tarifa PND 2019	USD/hrs			285	285	285	285	285	
Gasto	USD			40.745	40.745	40.745	40.745	40.745	
Costo Tonelada Húmeda	USD/th			0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	
Excavadora									
Unidades	Unid			1	1	1	1	1	
Disponibilidad	%			74%	74%	74%	74%	74%	
Utilización	%			55%	55%	55%	55%	55%	
Días de Trabajo	d			14	14	14	14	10	
Horas Pago	hrs			137	137	137	137	98	
Tarifa PND 2019	USD/hrs			101	101	101	101	101	
Gasto	USD			13.801	13.801	13.801	13.801	9.858	
Costo Tonelada Húmeda	USD/th			0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	
Cargador Frontal									
Unidades	Unid			1	1	1	1	1	
Disponibilidad	%			75%	75%	75%	75%	75%	
Utilización	%			55%	55%	55%	55%	55%	
Días de Trabajo	d			14	14	14	14	14	
Horas Pago	hrs			139	139	139	139	139	
Tarifa PND 2019	USD/hrs			100	100	100	100	100	
Gasto	USD			13.828	13.828	13.828	13.828	13.828	
Costo Tonelada Húmeda	USD/th			0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	

Tabla 9: Anexo C, Evaluación económica, (1 de 3), (Fuente Elaboración Propia)



<b>Preparación Eléctrica</b>									
Cubierta de Casetas									
	Unidades	Unid	50						
	Costo	USD/Unid	1.000						
	Gasto	USD	50.000						
<b>Cadenas</b>									
	Unidades	Unid	60						
	Costo	USD/Unid	30.000						
	Gasto	USD	1.800.000						
<b>Equipos Transporte</b>									
Komatsu 930 E4SE									
	Unidades Nominales	Unid	15	21	21	21	21		
	Unidades Efectivas	Unid	8	17	17	17	17		
	Disponibilidad	%	81%	81%	81%	81%	81%		
	Utilización	%	64%	64%	64%	64%	64%		
	Días de Trabajo	d	5	14	14	14	14		
	Horas Pago	hrs	944	3.700	3.700	3.700	3.700		
	Tarifa PND 2019	USD/hrs	196	196	196	196	196		
	Gasto	USD	184.911	724.851	724.851	724.851	724.851		
<b>Preparación de Camionetas</b>									
Implementos de Invierno									
	Unidades	Unid	6						
	Costo	USD/Unid	1.000						
	Gasto	USD	6.000						
<b>Equipos de Carga Stock</b>									
Joy Global XPA									
	Unidades	Unid	1	1	1	1	1		
	Disponibilidad	%	77%	77%	77%	77%	77%		
	Utilización	%	58%	58%	58%	58%	58%		
	Días de Trabajo	d	0	7	9	4	4		
	Horas Pago	hrs	0	75	97	43	43		
	Tarifa PND 2019	USD/hrs	1.009	1.009	1.009	1.009	1.009		
	Gasto	USD	0	76.088	97.828	43.479	43.479		
	Rendimiento Operativo Saturado	t/hrs	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500		
	Tonelaje a Cargar	t	0	263.879	339.273	150.788	150.788		
Komatsu PC8000									
	Unidades	Unid	1	1	1	1	1		
	Disponibilidad	%	76%	76%	76%	76%	76%		
	Utilización	%	67%	67%	67%	67%	67%		
	Días de Trabajo	d	0	7	9	4	4		
	Horas Pago	hrs	0	86	110	49	49		
	Tarifa PND 2019	USD/hrs	790	790	790	790	790		
	Gasto	USD	0	67.813	87.188	38.750	38.750		
	Rendimiento Operativo Saturado	t/hrs	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000		
	Tonelaje a Cargar	t	0	257.586	331.182	147.192	147.192		
CAT 6060									
	Unidades	Unid	1	1	1	1	1		
	Disponibilidad	%	76%	76%	76%	76%	76%		
	Utilización	%	67%	67%	67%	67%	67%		
	Días de Trabajo	d	0	0	0	0	0		
	Horas Pago	hrs	0	0	0	0	0		
	Tarifa PND 2019	USD/hrs	790	790	790	790	790		
	Gasto	USD	0	0	0	0	0		
	Rendimiento Operativo Saturado	t/hrs	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000		
	Tonelaje a Cargar	t	0	0	0	0	0		
Cargador Frontal LT2350									
	Unidades	Unid	3	3	3	3	3		
	Disponibilidad	%	79%	79%	79%	79%	79%		
	Utilización	%	67%	67%	67%	67%	67%		
	Días de Trabajo	d	0	7	9	4	4		
	Horas Pago	hrs	0	270	347	154	154		
	Tarifa PND 2019	USD/hrs	605	605	605	605	605		
	Gasto	USD	0	163.026	209.605	93.158	93.158		
	Rendimiento Operativo Saturado	t/hrs	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500		
	Tonelaje a Cargar	t	0	674.191	866.816	385.252	385.252		
Cargador Frontal LT1850									
	Unidades	Unid	1	1	1	1	1		
	Disponibilidad	%	79%	79%	79%	79%	79%		
	Utilización	%	67%	67%	67%	67%	67%		
	Días de Trabajo	d	0	7	9	4	4		
	Horas Pago	hrs	0	90	116	51	51		
	Tarifa PND 2019	USD/hrs	605	605	605	605	605		
	Gasto	USD	0	54.342	69.868	31.053	31.053		
	Rendimiento Operativo Saturado	t/hrs	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000		
	Tonelaje a Cargar	t	0	179.784	231.151	102.734	102.734		

Tabla 10: Anexo C, Evaluación económica, (2 de 3), (Fuente Elaboración Propia)

Alimentación Chancadores								
Chancador de Óxido								
Joy Global XPA	Unid		1	1	1	1		
Komatsu PC800	Unid		1	1	1	1		
CAT 6060	Unid		0	0	0	0		
Letorneau 2350	Unid		1	1	1	1		
Letorneau 1850	Unid		1	1	1	1		
Tonelaje Joy Global XPA	t		0	263.879	339.273	150.788		
Tonelaje Komatsu PC800	t		0	257.586	331.182	147.192		
Tonelaje CAT 6060	t		0	0	0	0		
Tonelaje Letorneau 2350	t		0	224.730	288.939	128.417		
Tonelaje Letorneau 1850	t		0	179.784	231.151	102.734		
Tonelaje Alimentado	t		0	925.979	1.190.544	529.131		
Horas Joy Global XPA	hrs		0	75	97	43		
Horas Komatsu PC800	hrs		0	86	110	49		
Horas CAT 6060	hrs		0	0	0	0		
Horas Letorneau 2350	hrs		0	90	116	51		
Horas Letorneau 1850	hrs		0	90	116	51		
Horas de Plan de Invierno	hrs		0	341	438	195		
Rendimiento Plan de Invierno	t/hrs		0	11.000	11.000	11.000		
Cu T	%		0,42%	0,42%	0,42%	0,42%		
Cu S	%		0,24%	0,24%	0,24%	0,24%		
Cu Fino a Planta	t		0	3.890	5.001	2.223		
Recuperación Global Planta	%		68%	68%	68%	68%		
Cu Fino Recuperable en Pilas	t		0	2.652	3.409	1.515		
Cu Fino Recuperable en Pilas	lb		0	5.846.114	7.516.432	3.340.636		
Chancador de Sulfuro								
Joy Global XPA	Unid		0	0	0	0		
Komatsu PC800	Unid		0	0	0	0		
CAT 6060	Unid		0	0	0	0		
Letorneau 2350	Unid		1	1	1	1		
Letorneau 1850	Unid		0	0	0	0		
Tonelaje Joy Global XPA	t		0	0	0	0		
Tonelaje Komatsu PC800	t		0	0	0	0		
Tonelaje CAT 6060	t		0	0	0	0		
Tonelaje Letorneau 2350	t		0	224.730	288.939	128.417		
Tonelaje Letorneau 1850	t		0	0	0	0		
Tonelaje Alimentado	t		0	224.730	288.939	128.417		
Horas Joy Global XPA	hrs		0	0	0	0		
Horas Komatsu PC800	hrs		0	0	0	0		
Horas CAT 6060	hrs		0	0	0	0		
Horas Letorneau 2350	hrs		0	90	116	51		
Horas Letorneau 1850	hrs		0	0	0	0		
Horas de Plan de Invierno	hrs		0	90	116	51		
Rendimiento Plan de Invierno	t/hrs		0	2.500	2.500	2.500		
Cu T	%		0,74%	0,74%	0,74%	0,74%		
Mo	%		0,01%	0,01%	0,01%	0,01%		
Cu Fino a Planta	t		0	1.660	2.135	949		
Recuperación Global Planta	%		82%	82%	82%	82%		
Cu Fino Recuperable Concentradora	t		0	1.368	1.759	782		
Cu Fino Recuperable Concentradora	lb		0	3.016.634	3.878.529	1.723.791		
Recuperación Global Mo Planta	%		48%	48%	48%	48%		
Mo Fino a Planta	t		0	30	38	17		
Mo Fino Recuperable en Concentradora	lb		0	14	18	8		
Mo Fino Recuperable en Concentradora	lb		0	31.021	39.884	17.726		

Tabla 11: Anexo C, Evaluación económica, (3 de 3), (Fuente Elaboración Propia)

## D Cambio Climático

A continuación, se presentan los estudios revisados para comprender el cambio climático en Chile, específicamente en la zona de la gran minería del cobre, en donde está emplazada la División Radomiro Tomic.

El cambio climático, uno de los mayores retos que la humanidad tiene que enfrentar actualmente, corresponde a un "cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables", según la definición de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

El cambio climático implica una variación significativa y duradera de los patrones climáticos. Sus causas principales son la quema de combustibles fósiles, la deforestación y la degradación de la cobertura vegetal, y emisión de metano producto de la ganadería. Estas causas generan un aumento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), cuyos efectos pueden incluir: aumento del nivel del mar; retroceso de glaciares, intensificación de eventos meteorológicos extremos como sequías e inundaciones.

En este contexto, los recursos vegetacionales representan uno de los principales sumideros de carbono por su capacidad natural de capturar el dióxido de carbono y almacenarlo como parte de sus estructuras físicas. Los recursos vegetacionales contribuyen además a la regulación del régimen hídrico, mediante la interceptación de la precipitación y la regulación de la escorrentía; la conservación y protección de los suelos, especialmente la protección contra la erosión, y; la conservación de la biodiversidad. La degradación o eliminación de los recursos vegetacionales incrementa las emisiones de los GEI y disminuye la calidad de vida de la población en su dimensión social, ambiental y económica, aumentando su vulnerabilidad ante el cambio climático.

El carácter único de los recursos vegetacionales de Chile se refleja en su alto grado de endemismo, designado entre los 35 puntos de importancia a nivel mundial para la conservación de la biodiversidad, con 1.957 especies vegetales endémicas (50,3%) de un total de 3.892 especies vegetales nativas identificadas a la fecha. En el escenario actual de cambio climático, la protección, restauración y conservación de estos recursos vegetacionales únicos constituye una prioridad mundial urgente.

En respuesta a los desafíos globales de sustentabilidad, Chile ha ratificado los compromisos de la Cumbre de la Tierra realizada en Río de Janeiro en el año

1992, como la CMNUCC, la Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación (CNULD) y el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB). Chile también es signatario de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) suscritos en el año 2015.

Asimismo, la Corporación Nacional Forestal (CONAF) del Ministerio de Agricultura realiza gestiones, en calidad de Punto Focal Nacional, para avanzar en el enfoque de políticas adoptado por la CMNUCC para reducir emisiones por deforestación, degradación forestal y aumentar los reservorios de carbono forestal, conocido como REDD+. CONAF, como Punto Focal Nacional de REDD+ y de la CNULD, se esfuerza en satisfacer sus respectivos requerimientos técnicos y políticos.

Actualmente, los compromisos nacionales en estas materias han adquirido mayor relevancia tras la aprobación del Acuerdo de París y la consignación de la Contribución Nacional Determinada (INDC, siglas en inglés) de Chile ante la Secretaría de la CMNUCC. La contribución específica de Chile para el Sector Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura (UTCUTS) considera el manejo sustentable y recuperación de 100.000 hectáreas de bosque nativo y forestar 100.000 hectáreas al año 2030, principalmente con especies nativas. El cumplimiento de estos compromisos nacionales requiere establecer estrategias nacionales para impulsar el manejo de los recursos vegetacionales nativos, alcanzando así las metas asociadas a mitigación y adaptación al cambio climático, lucha contra la desertificación, degradación de las tierras y sequía, junto con la conservación de la biodiversidad.

## **Universidad Católica de Chile**

El cambio climático representa una de las mayores amenazas que enfrenta la sociedad moderna. Sin embargo, nuestra capacidad de percibir las señales de los cambios ambientales y de sus impactos sobre el funcionamiento de sistemas complejos es bastante limitada, lo que se traduce normalmente en respuestas tardías e incompletas que, a la postre, en el caso del cambio climático, permiten que se hagan factibles los escenarios más pesimistas de emisiones de gases de efecto invernadero y también sus peores consecuencias. Sin embargo, actualmente la comunidad científica tiene absoluta certeza en relación con la influencia humana en el sistema climático como consecuencia de un incremento reciente en las emisiones de gases de efecto invernadero. Desde la era preindustrial, la humanidad sustentó su crecimiento en torno al uso de energías que demandaban de manera intensiva la quema de combustibles fósiles. Como resultado, reservas de carbonos almacenadas en la tierra por millones de años, se han liberado a la atmósfera en un periodo de un poco más de 100 años. En las últimas décadas, se han alcanzado concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y

óxido nitroso sin comparación en por lo menos los últimos 800.000 años. Una de las principales consecuencias del aumento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera es el incremento global de la temperatura de la atmósfera y los océanos. A partir de dicho calentamiento, una serie de impactos se han ido expresando y se espera continúen a futuro. Entre los impactos más analizados en la literatura mundial se encuentran los siguientes:

- Alza en el nivel del mar
- Acidificación del océano
- Aceleramiento en el derretimiento de glaciares, casquetes polares, y capas de hielo continental
- Migración y extinción de especies de flora y fauna
- Cambios en el sistema climático, especialmente en los regímenes de precipitación
- Cambios en los regímenes de caudales y sistemas terrestres de agua dulce
- **Cambios en la frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos**
- Cambios en la productividad de los cultivos

## **Modelación Climática**

El texto que se expondrá a continuación es un extracto del capítulo 3 del libro "Cambio Climático en Chile: Ciencia, Mitigación y Adaptación del Centro de Cambio Global UC".

"Uno de los grandes desafíos para la investigación en cambio climático corresponde a la proyección del comportamiento de las variables meteorológicas hacia el futuro en función de los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero. La modelación climática, entendida como la representación matemática de los componentes físicos, químicos y biológicos del sistema climático y sus interacciones, nos permite obtener estimaciones de la dinámica de los distintos componentes del sistema planetario en unidades espaciales específicas (celdas de una grilla) a intervalos discretos de tiempo. En términos generales, al conjunto de algoritmos que permiten la descripción cuantitativa de los fenómenos climáticos se les denomina como "Modelos de Circulación General" (GCM, por sus siglas en inglés). Este tipo de modelo tiene la capacidad de representar, no solo los procesos geofísicos que ocurren en la atmósfera, sino también aquellos que ocurren en los océanos, la superficie terrestre y los casquetes de hielo tanto polares como aquellos a la deriva en el mar."

## Tendencias y Proyecciones de Cambio Climático

El texto que se expondrá a continuación es un extracto del capítulo 5.3 del libro "Cambio Climático en Chile: Ciencia, Mitigación y Adaptación del Centro de Cambio Global UC".

"De acuerdo con los resultados del proyecto CMIP5 (Coupled Modeling InterComparison Project 5), las proyecciones para las próximas décadas, obtenidas a partir de los GCMs, muestran patrones espaciales de cambio climático similares a los proyectados para el final del siglo XXI, aunque en menor magnitud que la esperada. La variabilidad interna natural de las condiciones de la atmósfera continuará ejerciendo una importante influencia en el clima, especialmente en el corto plazo y una escala espacial perceptible por la población. En la primera mitad del siglo, las proyecciones de cambio climático no solo difieren sustancialmente en los distintos tipos de escenarios de emisión de GEI, solo hacia mediados de siglo XXI, las magnitudes de los cambios proyectados varían considerablemente según la trayectoria en las emisiones de GEI. Se espera que, para fines del siglo XXI, la temperatura global de la superficie sea superior en 1,5 °C a la del periodo 1850 y 1900, para todos los escenarios RCP<sup>6</sup>. Con bastante certidumbre se estima que esa temperatura sea superior a 2 °C para los escenarios RCP4.5<sup>7</sup> y RCP6<sup>8</sup>, y con un alto grado de probabilidad que sea superior en 2 °C para el escenario 8.5. A excepción del escenario RCP2.6, los modelos indican que el calentamiento global continuará después de 2100 mostrando una variabilidad interanual y decadal, que no será uniforme en las diferentes regiones del planeta. Ver Ilustración 14"

---

<sup>6</sup> Escenarios de trayectorias de concentración representativa o Representative Concentration Pathways

<sup>7</sup> Escenario que espera un impacto de 4,5 Wm<sup>-2</sup> de radiación sobre la superficie terrestre.

<sup>8</sup> Escenario que espera un impacto de 6 Wm<sup>-2</sup> de radiación sobre la superficie terrestre.

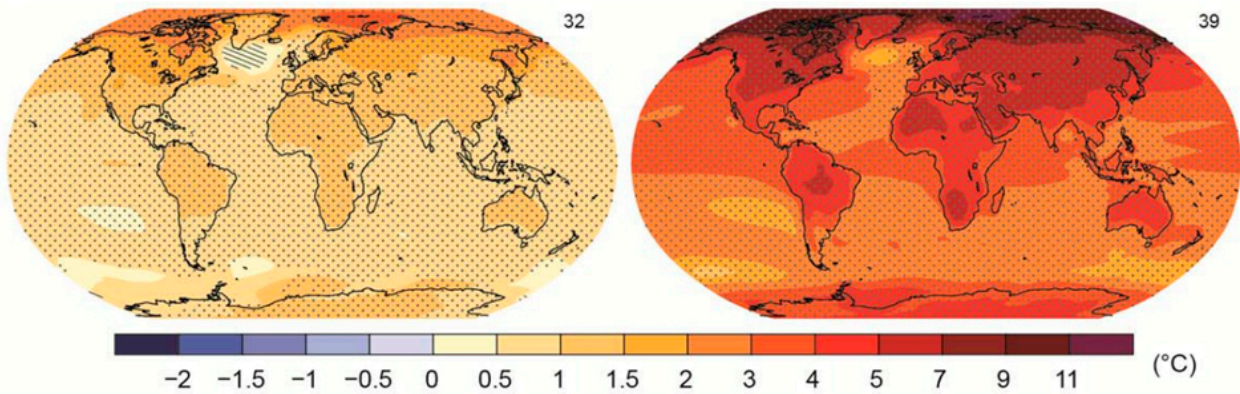


Ilustración 14: Cambio en la temperatura media en superficie (1986-2005 a 2081-2100), (Fuente Cambio Climático en Chile: Ciencia, Mitigación y Adaptación)

“A diferencia de los cambios en temperatura, que muestran un comportamiento relativamente parecido en el planeta, los cambios que se producirán en el ciclo hidrológico en respuesta al cambio climático durante el siglo XXI, no serán uniformes. De hecho, una de las conclusiones que se puede extraer de las proyecciones de los GCMs es que se acentuará el contraste en las precipitaciones entre las regiones y entre las estaciones húmedas y secas, pudiendo existir excepciones regionales. Es probable que, hacia fines de este siglo, en las latitudes altas y en el océano Pacífico ecuatorial se experimente un aumento de la precipitación media anual, particularmente bajo el escenario RCP8.5. Además, es probable que el final de este siglo, la precipitación media disminuya en muchas regiones secas de latitud media y subtropicales; mientras que es probable que en muchas regiones húmedas de latitud media la precipitación promedio anual aumente (ver Ilustración 15)

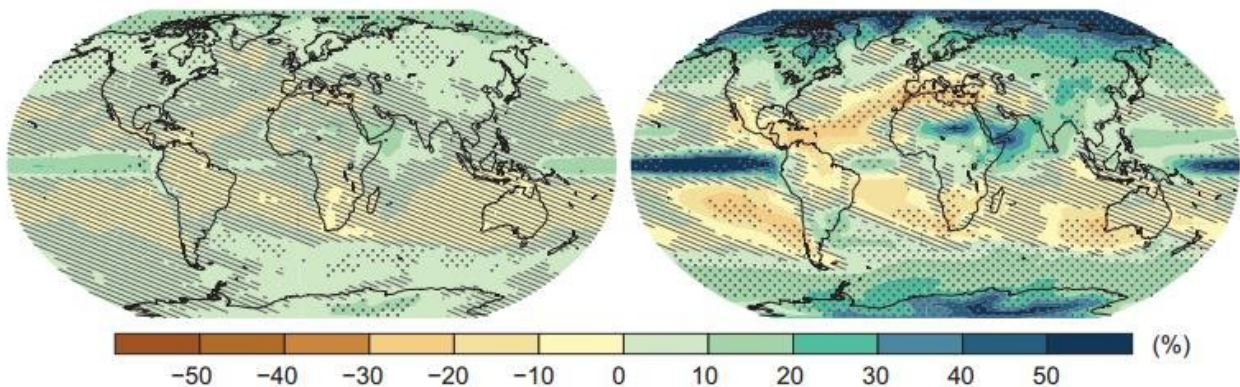


Ilustración 15: Cambio en la precipitación media (1986-2005 a 2081-2100), (Fuente Cambio Climático en Chile: Ciencia, Mitigación y Adaptación)

“Con respecto a los eventos extremos de precipitación, se espera que hacia el año 2100 sean más intensos y frecuentes en la mayoría de las zonas continentales de la latitud media y en las regiones tropicales húmedas,

conforme vaya aumentando la temperatura media global en superficie (O’Gorman y Schneider, 2009). Así también, existe un nivel de confianza alto en cuanto a que el fenómeno del Niño (ENSO) seguirá siendo el modo dominante de la variabilidad interanual en el pacífico tropical, con efectos que se sentirán a nivel mundial en el siglo XXI (Cobb et al., 2003). Por lo tanto, es probable que a escalas regionales se intensifique la variabilidad en la precipitación relacionada al fenómeno ENSO. Las variaciones naturales de la amplitud y el patrón espacial de ENSO son grandes y, por lo tanto, persiste un nivel de confianza bajo en cualquier cambio proyectado concreto para el siglo XXI, en relación con el fenómeno ENSO y los fenómenos relacionados a este.”