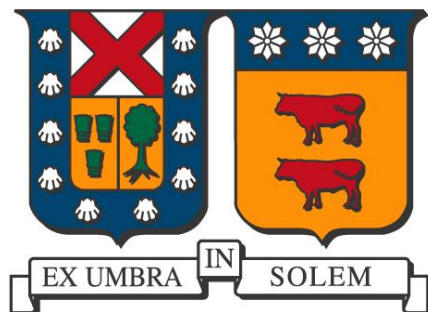


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS, METALURGIA Y MATERIALES
SANTIAGO DE CHILE



**GENERACIÓN DE BASE DE DATOS PARA LA OPTIMIZACIÓN
DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PERFORACIÓN Y
TRONADURA EN MINERA FLORIDA**

MATÍAS ALEJANDRO ORTEGA NARANJO

Memoria para optar al Título Profesional de
INGENIERO CIVIL DE MINAS

Profesora Guía:

Francisca San Martín Robbiano

MARZO 2025

RESUMEN

En minería, cuando se habla del concepto de dilución, se hace referencia principalmente al mineral contaminado por material estéril, el cual puede ser planificado o no planificado, aumentando directamente los costos de procesamiento. Para el primer caso, se añade al diseño de la veta a explotar un ELOS de dilución, el cual varía según sector, calidad de roca, estructuras presentes y geometría de las cavidades cercanas, siendo considerado al momento de realizar la clasificación del mineral. Por otro lado, la dilución no planificada ocurre cuando el caserón supera los límites tolerables dentro del sólido de dilución, siendo un costo adicional al momento de procesar este material. Además, en producción se tiene el mineral no recuperado, el cual es mineral planificado que no se logró minar durante la tronadura, ya sea por subexcavación del caserón o porque este mismo no alcanza la altura de diseño, lo cual se puede deber a la calidad de la roca, presencia de agua o estructuras cercanas.

Bajo estos antecedentes se creó una base de datos, la cual se fue completando con los datos entregados por los formatos de carga, como son el tonelaje a remover, la cantidad de explosivo, metros barrenados, determinando el factor de carga y perforación, sumado a información entregada por el área de geomecánica como la calidad de roca y Q de Barton. Adicionalmente se analizaron los resultados de tronadura, teniendo como respaldo las cubicaciones respectivas, a los cuales se le asociaron porcentajes de recuperación de mineral y dilución, donde se agruparon las tronaduras según resultado exitoso o fallido, siendo presentadas de forma semanal y mensual.

Así mismo, mediante la información otorgada por la base de datos se determinaron los diseños de perforación óptimos según sector de la mina, disminuyendo de forma general las tronaduras fallidas de un 44% a un 13%, teniendo un ahorro aproximado de 300.000 (USD), y aumentando la recuperación de mineral de un 90% a un 96%, con utilidades cercanas a los 100.000 (USD), lo cual permitió disminuir los ELOS de dilución en los sectores de Manda y Mila.

ABSTRACT

In mining, when talking about the concept of dilution, reference is mainly made to ore contaminated by waste material, which can be planned or unplanned, directly increasing processing costs. For the first case, a dilution ELOS is added to the design of the vein to be exploited, which varies depending on the sector, rock quality, present structures and geometry of the nearby cavities, being considered when classifying the mineral. On the other hand, unplanned dilution occurs when the stope exceeds the tolerable limits within the dilution solid, being an additional cost when processing this material. Furthermore, in production there is unrecovered ore, which is planned mineral that was not mined during blasting, either due to under-excavation of the stope or because it does not reach the design height, which may be due to the quality of the rock, presence of water or nearby structures.

Under this background, a database was created, which was completed with the data provided by the load formats, such as the tonnage to be removed, the amount of explosive, meters drilled, determining the load and drilling factor, added to information provided by the geomechanics area such as rock quality and Barton's Q. Additionally, the blasting results were analyzed, supported by the respective cubications, to which percentages of mineral recovery and dilution were associated, where the blasting was grouped according to successful or unsuccessful results, being presented on a weekly and monthly basis.

Likewise, using the database, the most optimal drilling designs were determined according to the mine sector, generally reducing failed blasting from 44% to 13%, having an approximate saving of 300,000 (USD), and increasing mineral recovery from 90% to 96%, with profits close to 100,000 (USD), which allowed the dilution ELOS to be reduced in the sector of Manda and Mila.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a mis padres, abuelos y hermanos por el apoyo que me dieron durante toda mi etapa universitaria y que desde pequeño me han animado a seguir mis sueños. Además de mi principal motivación, Julián, que al crecer vea esto y se sienta orgulloso de su padre.

Agradecer también a Tiare, por jamás dejarme caer y apoyarme en momentos difíciles, quien ha sido un pilar fundamental en esta última etapa de mi carrera.

A mis amigos y amigas, en especial a Massimiliano, Alonso, Vicente, Martín, Felipe, Ana y Javiera, a quienes no veo tanto como quisiera, pero de alguna forma estuvieron ahí, sobre todo en época de pandemia, donde era más complicado sobrellevar las cosas.

Finalmente agradecer a toda el área de ingeniería de Minera Florida, en especial al equipo de Perforación y Tronadura que siempre me brindaron su apoyo, en particular a Rodrigo, por la confianza que tuvo en mi desde un comienzo, y por su tiempo y disposición al momento de resolver dudas. Así también, agradecer a cada persona que durante mi etapa en Minera Florida me entregó palabras de aliento y conocimiento cuando lo necesité.

ABREVIATURAS

MFL	<i>Minera Florida Ltda.</i>
P&T	<i>Perforación y Tronadura</i>
BD	<i>Base de Datos</i>
COM	<i>Centro de Operaciones Mina</i>
SMU	<i>Sólido Mínimo Unitario</i>
UC	<i>Undercut</i>
B	<i>Bench – Banco</i>
CH	<i>Chimenea</i>
VCR	<i>Vertical Crater Retreat</i>
NP	<i>Nivel de Producción</i>
NT	<i>Nivel de Transporte</i>
LP	<i>Línea de Perforación</i>
RH	<i>Radio Hidráulico</i>
SLS	<i>Sub Level Stoping</i>
LP	<i>Línea de Perforación</i>

LISTA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Motivación	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Alcances y limitaciones del estudio	2
2. ANTECEDENTES GENERALES.....	3
2.1 Breve historia de la mina	3
2.2 Localización y accesos.....	3
2.3 Instalaciones	4
3. MARCO TEÓRICO	6
3.1 Parámetros de diseño de perforación y tronadura	6
3.1.1 Burden	6
3.1.2 Espaciamiento.....	7
3.1.3 Pasadura.....	8
3.1.4 Taco	8
3.2 Chimeneas.....	8
3.3 Mineral no recuperado	8
3.4 Dilución	9
3.4.1 Definición de dilución	9
3.4.2 Dilución en vetas angostas	10
3.4.3 Equivalent Linear Overbreak/Slough (ELOS)	11
4. ANTECEDENTES TÉCNICOS Y OPERACIONALES.....	12
4.1 Sectores de la mina.....	12
4.2 Caracterización geológica y mineralización	13
4.2.1 Geología regional	13
4.2.2 Geología local.....	15
4.2.3 Geología estructural.....	16
4.2.4 Reservas y recursos mineros	18
4.3 Métodos de explotación.....	18
4.3.1 Sub-Level Stoping Tradicional.....	19
4.3.2 Sub-Level Benching	21
4.3.3 Sub-Level Benching o Undercut en Retroceso Contra Relleno	21
4.3.4 Método Cut and Fill.....	23

4.4	Infraestructura principal.....	23
4.4.1	Rampas espirales	24
4.4.2	Transporte principal.....	25
4.4.3	Nivel de transporte (NT)	26
4.4.4	Nivel de producción (NP).....	27
4.5	Flota de equipos.....	27
4.6	Diagrama de flujo de operaciones	28
4.7	Servicios mina.....	28
4.7.1	Suministro de agua y drenaje	28
4.7.2	Ventilación	29
4.7.3	Energía.....	30
4.7.4	Aire comprimido	31
4.7.5	Refugios.....	31
4.7.6	Botaderos	32
4.7.7	Comunicaciones	32
5.	PROCESO DE PRODUCCIÓN	33
5.1	Construcción y evaluación de Modelo de Corto Plazo	33
5.2	Recomendación geomecánica.....	34
5.3	Marcación en terreno.....	35
5.4	Proceso de perforación	36
5.4.1	Perforación de chimeneas.....	37
5.5	Análisis Réflex y secuencia de detonación	37
5.5.1	Secuencia de detonación en chimeneas	38
5.5.2	Secuencia de detonación en corridas de producción	39
5.6	Entrega formato de carga.....	40
5.7	Proceso de carguío y tronadura	40
5.7.1	Carguío de explosivo ascendente	40
5.7.2	Carguío de explosivo descendente	41
5.8	Evaluación escáner.....	41
6.	METODOLOGÍA	42
6.1	Recolección de datos	42
6.1.1	Información general de tronaduras	42
6.1.2	Obtención de parámetros de diseño.....	43
6.2	Ancho y alto de la veta a explotar.....	45
6.3	Asignación de Q de Barton.....	48
6.4	Cálculo de tonelaje y onzas.....	48
6.5	Cálculo de KPI.....	49

6.6	Cubicación de eventos de tronadura	50
6.7	Determinación de resultado de tronadura.....	54
6.7.1	Resultado según dilución.....	54
6.7.2	Resultado según mineral no recuperado.....	55
6.7.3	Resultado general de tronadura	55
6.8	Cálculo dilución porcentual y métrica	56
6.8.1	Dilución porcentual y métrica planificada para un evento	56
6.8.2	Dilución porcentual y métrica no planificada para un evento	56
6.8.3	Dilución porcentual y métrica total para un evento.....	57
6.8.4	Dilución porcentual y métrica en un evento fallido	57
6.8.5	Dilución porcentual y métrica para mas de un evento.....	59
6.8.6	Dilución porcentual y métrica para un evento con diferentes alturas.....	60
6.9	Influencia del explosivo.....	61
6.10	Creación de base de datos de P&T	62
7.	CAUSAS DE TRONADURA FALLIDA	62
7.1	Mala calidad de perforación	63
7.2	Falla operacional	64
7.3	Secuencia de detonación no óptima	65
7.4	Presencia de estructura geológica.....	65
7.5	Presencia de agua	66
7.6	Parámetros de diseño no adecuado	66
8.	PROPUESTA DE MEJORA.....	67
8.1	Caracterización de tronadura fallida	67
8.2	Visualización de resultados	67
8.2.1	Dilución	67
8.2.2	Onzas no recuperadas	67
8.2.3	Entrega de estadísticas semanal (Weekly).....	68
8.2.4	Entrega de estadísticas semanal (por turno o séptima).....	69
8.3	Determinación de parámetros de diseño.....	70
9.	IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS	72
9.1	Análisis tronaduras fallidas.....	72
9.2	Resultados con planilla de parámetros	74
9.3	Disminución de ELOS.....	77
10.	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	79
10.1	Resultados Dilución.....	79

10.2	Resultados Recuperación.....	81
10.3	Resultados Generales	82
11.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
11.1	Conclusiones	82
11.2	Recomendaciones	83
12.	REFERENCIAS	84
13.	ANEXOS	85
13.1	ANEXO A	85
13.2	ANEXO B.....	86
13.3	ANEXO C	87
13.4	ANEXO D	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1: Localización de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022).	4
Figura 2-2: Ubicación geográfica de los portales de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022)...	5
Figura 3-1: Diseño de corridas con tiros réplicas en burden intermedio (Diseño perforación MFL)	6
Figura 3-2: Diseño de corridas con tiros trabados en burden intermedio (Diseño perforación MFL). ..	7
Figura 3-3: Ilustración referencial de sólido de diseño, dilución y cavidad posterior a explotación en un realce ciego. (a) Tronadura fallida por subexcavación, (b) Tronadura fallida por altura no alcanzada.	9
Figura 3-4: Ilustración referencial de sólido de diseño, dilución y cavidad posterior a explotación en un realce entre galerías, identificando recuperación de mineral y dilución no planificada.....	10
Figura 3-5: Esquema de ELOS, creación propia.	11
Figura 3-6: Gráfico de predicción de ELOS (Clark, 1998).	12
Figura 4-1: Ubicación geográfica de sectores de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022).	13
Figura 4-2: Ubicación geográfica junto con la geología regional de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022).....	14
Figura 4-3: Geología local de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022).	15
Figura 4-4: Vista de estructuras de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022).	17
Figura 4-5: Vista transversal A-A' de estructuras de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022).	17
Figura 4-6: Gráfico porcentual de ancho de SMU para las vetas explotadas en Minera Florida.	19
Figura 4-7: Esquema de método de explotación Sub Level Stoping Tradicional (Informe actualización de proyecto MFL, 2017).....	20
Figura 4-8: Esquema de método de explotación Sub Level Benching (Informe actualización de proyecto MFL, 2017).	21
Figura 4-9: Esquema de método de explotación Sub Level Benching contra relleno (Informe actualización de proyecto MFL, 2017).....	22
Figura 4-10: Esquema de método de explotación Sub Level Benching con cavidad superior rellena (Informe actualización de proyecto MFL, 2017).	22
Figura 4-11: Esquema de método de explotación Cut and Fill (Informe actualización de proyecto MFL, 2017).....	23
Figura 4-12: Vista en planta con dimensiones de rampas para tránsito de camiones.	24
Figura 4-13: Vista en planta con dimensiones de rampas para tránsito de equipo menor.	24
Figura 4-14: Vista en perfil y planta con dimensiones para transporte principal.	25
Figura 4-15: Vista en sección con dimensiones para transporte principal.	25
Figura 4-16: Vista en planta con dimensiones para nivel de transporte.	26
Figura 4-17: Vista en perfil con dimensiones para nivel de transporte.	26
Figura 4-18: Diagrama de flujo de operaciones mina (Technical Report MFL, 2022).	28
Figura 4-19: Esquema del sistema de drenaje y suministro de agua de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022).	29
Figura 4-20: Circuito de ventilación de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022).	30
Figura 5-1: Revisión geomecánica de bloque nuevo de explotación, indicando pilares.	34
Figura 5-2: Vista en sección A-A' y B-B' de bloque nuevo en explotación, indicando posible dilución y principales estructuras.	35
Figura 5-3: Planta de bloque nuevo a explotar, identificadas las corridas y chimeneas o VCR a marcar (Diseños perforación MFL).	36
Figura 5-4: Diseños de perforación chimenea realce (Departamento P&T MFL).	37

Figura 5-5: Diseños de perforación VCR (Departamento P&T MFL).....	37
Figura 5-6: Secuencia iniciación teórica chimenea realce (Departamento P&T MFL)	38
Figura 5-7: Secuencia iniciación teórica VCR (Departamento P&T MFL).....	38
Figura 5-8: Secuencia de iniciación para corridas con diseño 2+2 (Departamento P&T MFL)	39
Figura 5-9: Secuencia de iniciación para corridas con diseño 2+1 (Departamento P&T MFL)	39
Figura 5-10: Diferentes escáneres tomados en mismo sector, cada color representa uno distinto.....	41
Figura 6-1: Diagrama general de la metodología utilizada.	42
Figura 6-2: Vista en sección con diseño de perforación. Referencia: 780 Pataguas C03.	45
Figura 6-3: Vista en sección con SMU de diseño y dilución, junto con el modelo geológico, marcando la altura de la veta a explotar. Referencia: 1026 SVCS C15 UC/B.	46
Figura 6-4: Vista en sección con SMU de diseño y dilución, junto con el modelo geológico, marcando las mediciones del ancho de la veta a explotar. Referencia: 1026 SVCS C15 UC/B.	47
Figura 6-5: SMU cargadas en VULCAN, delimitadas entre sus respectivas corridas. Referencia: Evento 780 Pataguas C54-64 UC, incluye SMU 54-64 UC, delimitado entre C53-64.....	51
Figura 6-6: Escáner de la cavidad cargada en Vulcan. Referencia: Evento 780 Pataguas C54-64 UC.	52
Figura 6-7: Escáner de la cavidad del evento cargada en Vulcan, cortado entre sus respectivas corridas. Referencia: Evento 780 Pataguas C54-64 UC, delimitado entre C53-64.....	52
Figura 6-8: Configuración de las variables a obtener en las cubicaciones.....	53
Figura 6-9: Ajuste de diseños según altura alcanzada por tronadura.	58
Figura 6-10: Creación de nueva SMU según altura alcanzada por tronadura.	58
Figura 6-11: Creación de nueva SMU para diferentes alturas alcanzadas por tronaduras en mismo sector.	61
Figura 7-1: Vista planta con levantamiento Réflex. Referencia: Evento fallido 920 SVCI C06-09 UC.	63
Figura 7-2: Vista en sección C09 con levantamiento Réflex. Referencia: Evento fallido 920 SVCI C06-09 UC.	64
Figura 7-3: Vista de sección para evento con estructura presente, marcada por línea punteada roja. .	66
Figura 8-1: Dashboard entregado con información general según fechas requeridas.	70
Figura 8-2: Determinación de parámetros de bloque entrante a producción.....	71
Figura 8-3: Recomendación de diseño entregada según base de datos.	71
Figura 8-4: Resultados de total de tronaduras y fallidas, junto con el factor de carga y perforación según parámetros seleccionados.	71
Figura 9-1: Gráfico de tronaduras fallidas por mes, según dilución y recuperación.....	73
Figura 9-2: Gráfico porcentual de causas de tronaduras fallidas.....	73
Figura 9-3: Gráfico porcentual del resultado del total de tronaduras.	74
Figura 9-4: Gráfico porcentual del resultado del total de tronaduras luego de aplicada propuesta de memoria.....	75
Figura 9-5: Comparación de gráficos porcentuales del resultado de tronadura de Julio a Agosto.	76
Figura 9-6: Gráfico de Factor de carga y perforación según Q de Barton.	76
Figura 10-1: Gráfico de dilución porcentual por mes.	80
Figura 10-2: Gráfico de la recuperación porcentual por mes.	81
Figura 13-1: Lámina con detalles de la tronadura.	87
Figura 13-2: Lámina con formato de carga.	88
Figura 13-3: Lámina con planilla de carguío.	88
Figura 13-4: Lámina con secuencia de iniciación de tronadura.	89
Figura 13-5: Lámina con diagrama de carguío de la tronadura.....	89
Figura 13-6: Lámina con planta del sector a explotar.	90
Figura 13-7: Gráfico para asignación de RQD (%) en función de Jv	91

LISTA DE TABLAS

Tabla 4-1: Reservas probadas y probables de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022).	18
Tabla 4-2: Recursos medidos, indicados e inferidos de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022).	18
Tabla 4-3: Flota de equipos de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022).	27
Tabla 5-1: Clasificación del mineral según ley de oro (Au).	34
Tabla 6-1: Información entregada por el COM. Referencia: 01/05/23 al 05/05/23.	43
Tabla 6-2: Información de tronadura entregada por Ingeniero P&T a través de formato de carga.	43
Tabla 6-3: Información de parámetros de diseño entregada por Ingeniero P&T a través de formato de carga. Referencia: Evento 780 Pataguas C02-07 UC (CH05-06).	44
Tabla 6-4: Clasificación de la calidad de la roca según Q de Barton.	48
Tabla 6-5: Información de la cavidad cubicada. Referencia: Evento 780 Pataguas C54-64 UC.	54
Tabla 6-6: Resultado de tronadura según dilución.	55
Tabla 6-7: Resultado de tronadura según recuperación.	55
Tabla 6-8: Resultado de tronadura según cruce de información entre dilución y recuperación.	56
Tabla 8-1: Resultado general de semanal (Weekly).	68
Tabla 8-2: Causas de dilución no planificada y onzas no recuperadas para semanal (Weekly).	69
Tabla 9-1: Influencia de explosivo según bloque en Don Leopoldo.	78
Tabla 9-2: Influencia de explosivo según bloque en Mila.	78
Tabla 9-3: Influencia de explosivo según bloque en Manda.	79
Tabla 10-1: Ahorro en dólares por la dilución.	80
Tabla 10-2: Utilidad por onzas extras procesadas.	82
Tabla 13-1: Dimensiones cargador frontal.	85
Tabla 13-2: Dimensiones camión.	85
Tabla 13-3: Dimensiones scoop.	85
Tabla 13-4: Dimensiones simba.	86
Tabla 13-5: Dimensiones boomer.	86
Tabla 13-6: Detalle recursos medidos, indicados e inferidos.	86
Tabla 13-7: Detalle reservas probadas y probables.	87
Tabla 13-8: Clasificación del índice de fracturamiento (J_n).	91
Tabla 13-9: Clasificación del índice de rugosidad (J_r).	92
Tabla 13-10: Clasificación del índice de alteración (J_a).	92
Tabla 13-11: Clasificación de la condición de agua (J_w).	93
Tabla 13-12: Clasificación de la condición de esfuerzos (SRF).	93

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

En minería, cuando se habla de dilución, se refiere principalmente a mineral contaminado por material estéril, el cual no está dentro de la planificación, aumentando directamente los costos de procesamiento. Por otra parte, en producción se tiene el mineral no recuperado, siendo el mineral planificado que por diversas razones no se logró minar durante la tronadura, teniendo un déficit en el mineral programado a extraer, llevando consigo esfuerzos adicionales y gasto de recursos para poder recuperar esta diferencia, no pudiendo adherirse a la secuencia de tronadura, retrasando la planificación.

En Minera Florida, tanto la dilución como la recuperación están fuera del rango aceptable, esto debido al bajo control que se tiene en cuanto a diseños y control de perforación, donde al tratarse en su mayoría de vetas de baja potencia, cualquier desviación genera cambios significativos en los resultados de cada evento y más cuando se utiliza un método selectivo como lo es el *Sub Level Stoping*, junto a sus variantes. Además, debido a la gran cantidad de sectores de la mina, la roca para cada uno tiene un comportamiento diferente, y existe un gran número de estructuras, tanto identificadas como no identificadas, haciendo más difícil la tarea de controlar la dilución y disminuir el mineral no recuperado.

Las tronaduras que no cumplen con ciertos porcentajes de dilución y recuperaciones establecidas por el área de Perforación y Tronadura se consideran como eventos fallidos, y estos pueden deberse a diversos factores tales como mala perforación, uso de explosivo no adecuado, estructuras no identificadas, problemas en el carguío, entre otros, donde en un comienzo, este puede controlarse mediante los parámetros de diseño de perforación del bloque a explotar y sus respectivos indicadores, tal como el factor de carga adecuado.

Por esto, el presente trabajo consiste en confeccionar una base de datos robusta, con el historial de tronaduras, que contenga los parámetros de diseño, calidad de roca, junto con las respectivas estadísticas de dilución y recuperación de cada tronadura, con tal de tener un sustento sólido a la hora de tomar decisiones cuando se tenga en producción un nuevo bloque, controlando desde un comienzo la tronadura mediante un diseño de perforación óptimo.

Además, se entregará un reporte semanal y mensual, mostrando los resultados del área de P&T, junto con las innovaciones que se han realizado, tal como disminución de ELOS de dilución en diversos sectores de la mina, teniendo como respaldo la base de datos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar una base de datos con una estandarización de parámetros geológicos, geotécnicos y mineros, que permita tomar decisiones de manera rápida y eficaz para los diseños de perforación, y obtener una reducción de costos mediante el mejoramiento continuo del área de P&T.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar las principales causas de tronadura fallida, en cuanto a onzas no recuperadas y dilución no planificada.
- Establecer mejores prácticas para la disminución de tronaduras fallidas, estandarizando los procesos críticos.
- Cuantificar beneficios y evaluar económicamente el impacto generado por la aplicación de la base de datos en el proceso de producción.

1.3 Alcances y limitaciones del estudio

El alcance de este estudio está acotado a la creación de una base de datos enfocada principalmente en el proceso de producción de Minera Florida y en el diseño de perforación para obtener un resultado óptimo de tronadura, no así en el de desarrollo y servicios.

Además, el análisis económico se limita a la reducción de costos, basándose en el impacto generado por las onzas recuperadas y una dilución controlada, sin considerar el impacto que se genera en cuanto a la granulometría, gastos de acero, vibraciones por tronadura, etc.

2. ANTECEDENTES GENERALES

2.1 Breve historia de la mina

Minera Florida es una mina subterránea que tiene como producto principal oro-plata, la cual lleva más de 20 años en operación. En el año 1986 la Sociedad Minera Maipo S.A. comienza las labores de construcción de la planta de procesamiento y explotación del yacimiento Lo Toro y Pedro Valencia. En el año 2006 la compañía Meridian Gold adquiere Minera Florida y en el año 2007 se fusiona con Yamana Gold pasando a ser propietario hasta el año 2023, donde la empresa es adquirida por Pan American Silver, siendo los únicos dueños a la actualidad.

2.2 Localización y accesos

Minera Florida está ubicada en la Comuna de Alhué, Provincia de Melipilla, Región Metropolitana, aproximadamente a 150 (km) por carretera al suroeste de Santiago (ver *Figura 2-1*). La mina está situada en las montañas de la Cordillera, entre la Costa del Pacífico y el Valle Central, aproximadamente a 8,0 y 1,5 (km) por carretera de las localidades de la Villa Alhué y El Asiento, respectivamente.

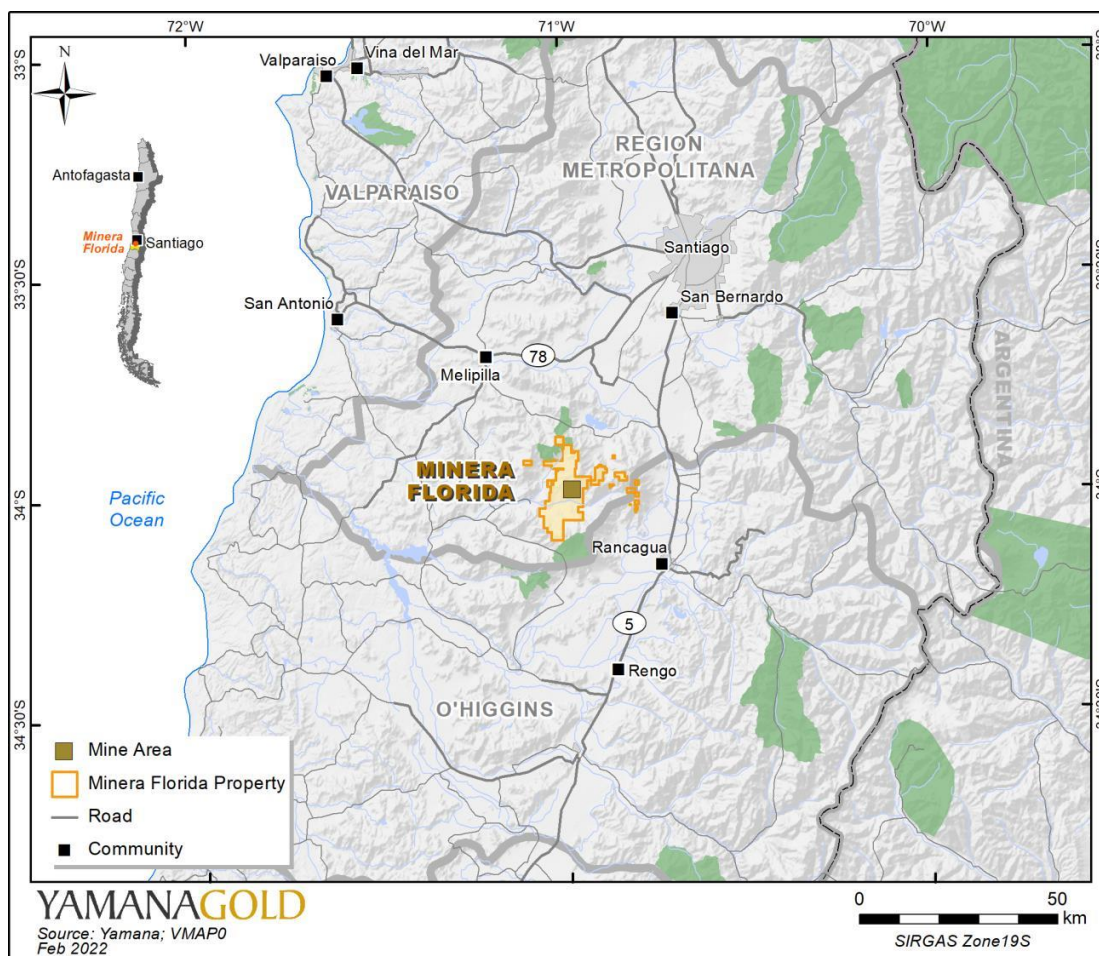


Figura 2-1: Localización de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022).

2.3 Instalaciones

La faena cuenta con una mina subterránea, la cual tiene accesos principales en los niveles 620, 740, 840, 940, 990. Además, se tiene acceso en las cotas 900, 961, 1010, 1020 y 1100, ilustrados en la *Figura 2-2*. En el acceso al sector del camino a la mina se encuentra una caseta vigilada por guardias, donde se realiza el control de acceso de los trabajadores y empresas contratistas.

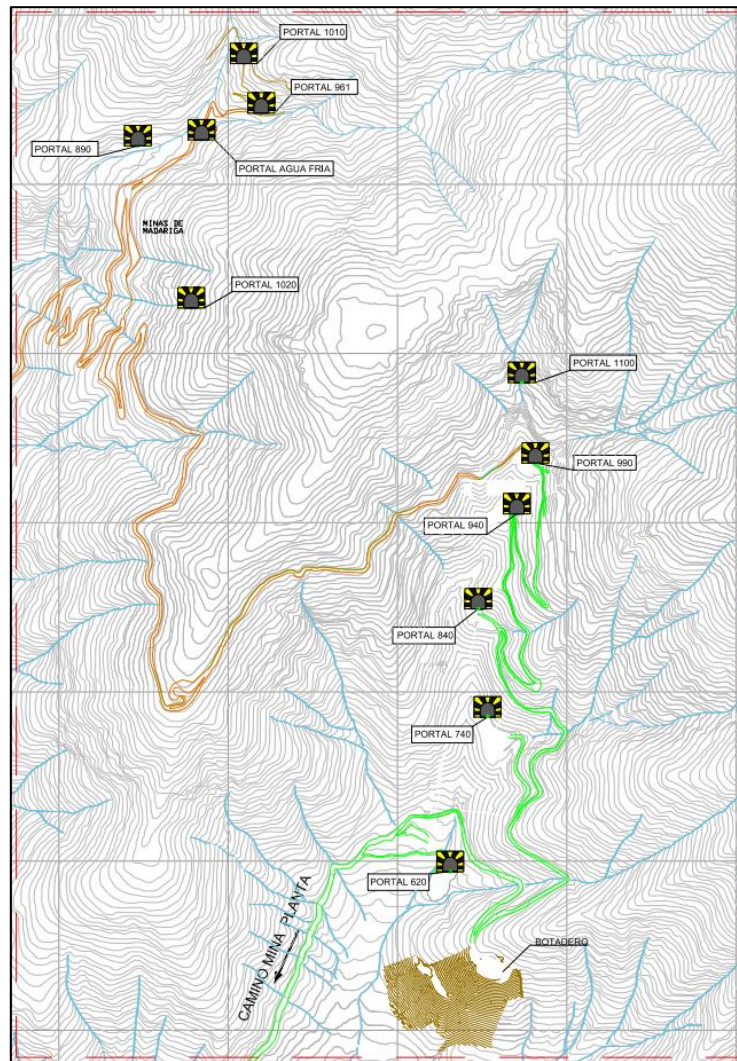


Figura 2-2: Ubicación geográfica de los portales de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022).

En el área mina se cuenta con talleres de mantenimiento, compresores, grupo electrógeno, camión surtidor de combustibles, sala de cambio para el personal propio y de empresas externas, comedores, botadero, entre otras instalaciones.

Por otro lado, se tiene una planta de procesamiento, con capacidad de 3.000 (tpd), donde el resultado final son barras de metal Doré. Entre las instalaciones del sector planta se ubica el policlínico de la faena, con 2 ambulancias disponibles, también se cuenta con personal de salud durante las 24 horas del día, y en este mismo sector se encuentran las oficinas de gerencia general y administración.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Parámetros de diseño de perforación y tronadura

3.1.1 Burden

El burden es la distancia existente entre una corrida de perforación con la siguiente, en MFL este es definido principalmente por la potencia de la veta a explotar, calidad de la roca caja, considerando también la altura máxima de perforación, y los resultados históricos en sectores de similares características. En general, este parámetro varía entre los 1,2 y 1,8 (m) para vetas con potencias de hasta 3 (m), de la misma forma, se define un burden intermedio en el cual se agregan tiros entre corridas, los cuales pueden tener las siguientes configuraciones:

- *Tiros réplica*: este diseño consiste en ubicar tiros en el burden intermedio respetando la misma posición que tiene el pozo para la respectiva corrida (*Figura 3-1*).

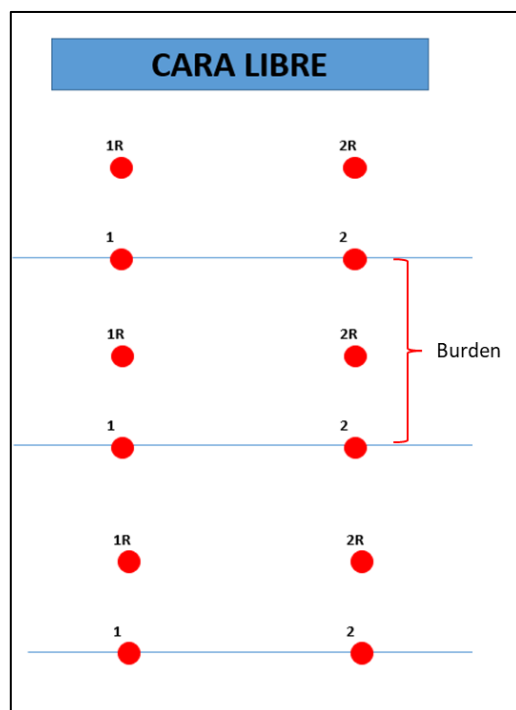


Figura 3-1: Diseño de corridas con tiros réplicas en burden intermedio (Diseño perforación MFL)

- *Tiros trabados*: este diseño consiste en ubicar tiros en el burden intermedio en una posición central entre los pozos de la corrida a diseñar (ver *Figura 3-2*).

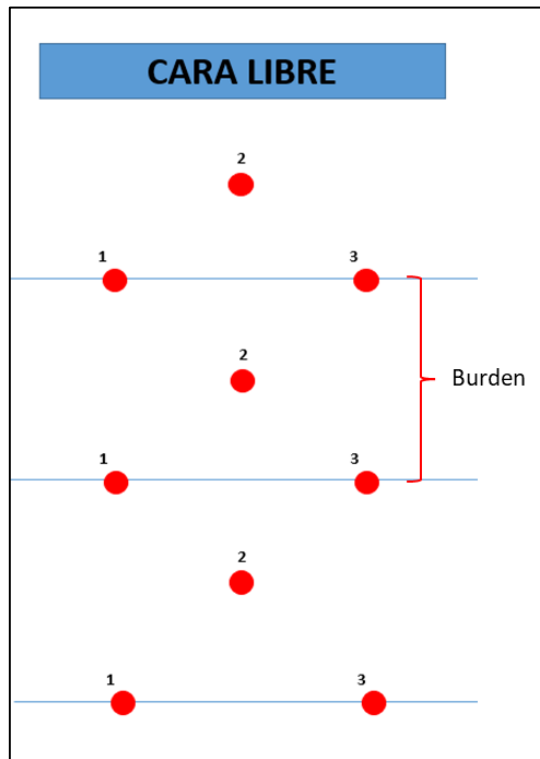


Figura 3-2: Diseño de corridas con tiros trabados en burden intermedio (Diseño perforación MFL).

Seleccionar un burden adecuado es importante debido a que, si este es pequeño, puede provocar sobrepresión en los pozos, fragmentación fina de la roca o un sobre rompimiento a los niveles superiores o corridas posteriores. Por el contrario, un burden elevado, puede provocar un aumento en el factor de carga, aumentando también las vibraciones, con una fragmentación de roca más gruesa.

3.1.2 Espaciamiento

El espaciamiento es la distancia entre los pozos de una misma corrida, en MFL este se define por la potencia de veta a explotar y calidad de la roca caja, basándose en los resultados históricos para sectores de similares características. Este parámetro varía entre 0,8 a 1,2 (m).

3.1.3 Pasadura

La pasadura corresponde a la longitud de carga explosiva en el fondo del pozo, es decir, una excavación extra para evitar caída de material, esta varía según las propiedades del macizo rocoso, diámetro de perforación, inclinación de la veta y el burden. En MFL se utiliza hasta 1 (m) de pasadura.

3.1.4 Taco

El taco es el material inerte añadido en el fondo del pozo, y su función es realizar el confinamiento de los gases expulsados tras la tronadura, previniendo una sobrepresión de aire.

3.2 Chimeneas

Se denomina chimenea a una labor de excavación entre dos o más galerías de distinto nivel, con un ángulo mayor a 45°, las cuales pueden llegar a los 100 (m), entre los usos de estas se tiene:

- Ventilación
- Traspaso de material
- Generar cara libre para explotación de bloque
- Evacuación de emergencia

3.3 Mineral no recuperado

En MFL el mineral no recuperado se define como el mineral no extraído de la SMU de diseño, esto es el resultado de una subexcavación de la tronadura o cuando no se alcanza la altura planificada, ilustrado en la *Figura 3-3*.

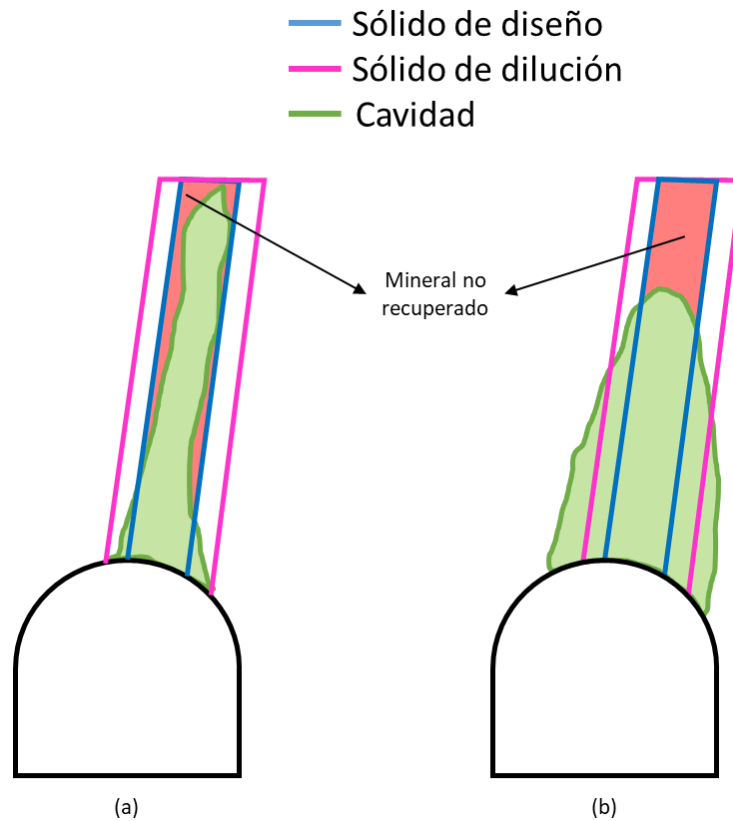


Figura 3-3: Ilustración referencial de sólido de diseño, dilución y cavidad posterior a explotación en un realce ciego. (a) Tronadura fallida por subexcavación, (b) Tronadura fallida por altura no alcanzada.

3.4 Dilución

3.4.1 Definición de dilución

La dilución es definida como la contaminación de material estéril en el mineralizado, el cual no es considerado durante la planificación para la operación minera. Este se mide principalmente en el aumento de tonelaje y la sobre excavación en las paredes del caserón, y una de las razones principales es el aumento de las unidades de explotación, sumado a la calidad de perforación y la competencia de la roca.

La dilución total se obtiene sumando la dilución planificada y la no planificada (ver *Figura 3-4*).

- *Dilución planificada:* Material de estéril que está proyectado a extraer como parte de la explotación. En MFL este se define mediante un sólido de dilución, el cual cubre la veta a explotar, considerando ciertos estándares de diseño, así también la influencia del explosivo y estabilidad del caserón.
- *Dilución no planificada:* Material de estéril que no está considerado extraer, es decir que la explotación se sobre excava fuera de lo proyectado en el plan minero, esta puede ocurrir por mala calidad de perforación, daño post-tronadura, por sistemas estructurales que se presentan en los alrededores del nivel de producción o mala calidad de la roca.

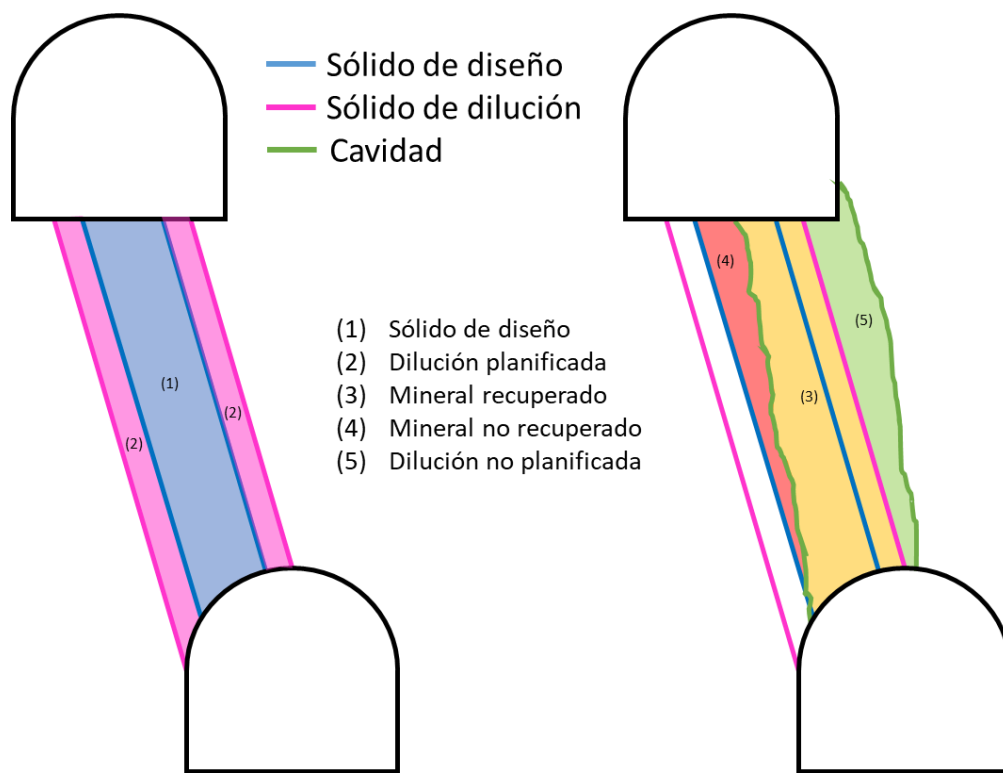


Figura 3-4: Ilustración referencial de sólido de diseño, dilución y cavidad posterior a explotación en un realce entre galerías, identificando recuperación de mineral y dilución no planificada.

3.4.2 Dilución en vetas angostas

La minería en vetas angostas se define como labores en depósitos minerales de hasta 3 (m) de ancho, con un manto que supere los 50°, considerando este como el ángulo de escurrimiento del mineral, para que fluya al nivel de producción. Los trabajos en este tipo de veta llevan consigo altos costos

operacionales, dividiéndolos en costos directos, como los relacionados directamente a la operación, los cuales para el área de mina son el transporte y carguío de material, y los costos indirectos se ven reflejados principalmente en la no adherencia al plan minero.

En vetas angostas la dilución es mucho más sensible debido a lo selectivo que se debe ser al utilizar los diversos métodos de extracción, por esto invertir en mejores prácticas operacionales de perforación y tronadura es rentable al negocio minero debido a que disminuye el costo por tonelada de mineral.

3.4.3 Equivalent Linear Overbreak/Slough (ELOS)

El término ELOS de dilución se utiliza para representar la dilución en función de una sobre excavación de la pared de la veta en termino métrico (Clark y Pakalnis, 1997) representado esquemáticamente en la *Figura 3-5*.

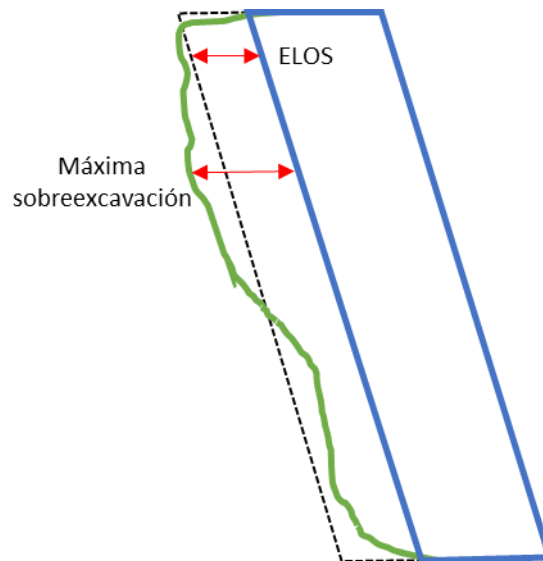


Figura 3-5: Esquema de ELOS, creación propia.

El ELOS está definido por la siguiente ecuación.

$$ELOS (m) = \frac{\text{Volumen pared excavada (m}^3\text{)}}{\text{Área de la pared (m}^2\text{)}}$$

El término ELOS representa una excavación promedio de una pared, independiente del ancho de la veta a explotar. En MFL el área de geomecánica entrega un ELOS recomendado para cada área, basándose en los resultados históricos utilizados mediante el método gráfico de predicción de Clark (1998), ver *Figura 3-6*.

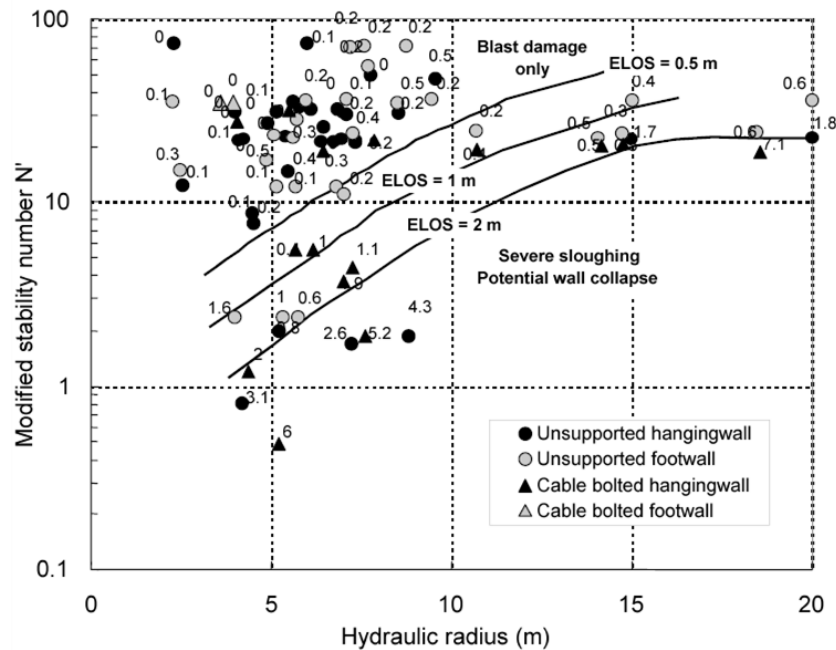


Figura 3-6: Gráfico de predicción de ELOS (Clark, 1998).

4. ANTECEDENTES TÉCNICOS Y OPERACIONALES

4.1 Sectores de la mina

La mina está dividida en diferentes zonas las cuales llevan como nombre principal la veta que caracteriza a dicho sector, los cuales se observan en la *Figura 4-1*, estos son:

- Alhué Core
- Las Pataguas
- Fantasma
- Maqui
- Marisol

- Mina Este
- Peumo
- PVS
- Roble
- Tribuna

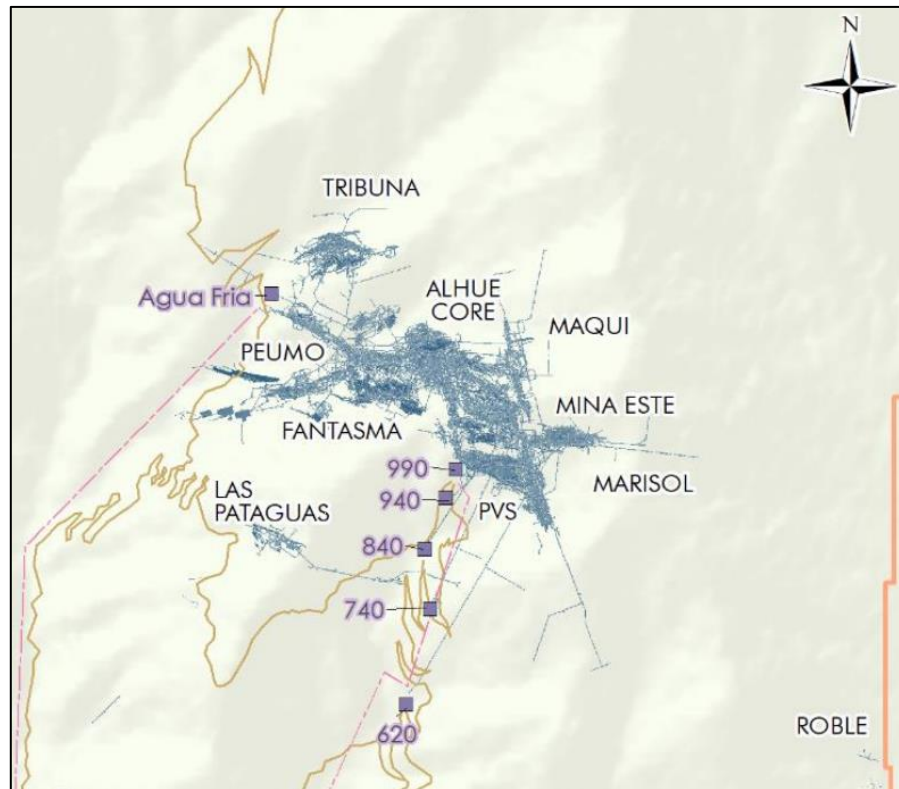


Figura 4-1: Ubicación geográfica de sectores de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022).

4.2 Caracterización geológica y mineralización

4.2.1 Geología regional

La geología de Chile se subdivide en cinturones paralelos de norte a sur que representan arcos plutónicos y volcano-sedimentarios superpuestos. La historia y las geometrías de estos cuerpos son complejas, y en la latitud de la propiedad Minera Florida, se pueden subdividir en tres cinturones litotectónicos principales, ilustrados en la *Figura 4-2*.

El primero de ellos es la Cordillera de los Andes, la cual se compone de múltiples sucesiones volcánicas del cretácico al cuaternario y rocas sedimentarias asociadas a dichos períodos.

Luego, se encuentra el Valle Central, el cual forma una depresión topográfica prominente y está compuesto por sedimentos siliciclásticos del periodo cuaternario, rocas sedimentarias e ignimbritas de gran volumen que se depositaron en una cuenca del arco.

Finalmente, la Cordillera de la Costa de Chile es un área montañosa, ubicada entre el Valle Central y la Costa del Pacífico, la cual consiste en secuencias sedimentarias marinas y continentales, junto con rocas de arco volcánico y plutónico del período jurásico a cretácico.

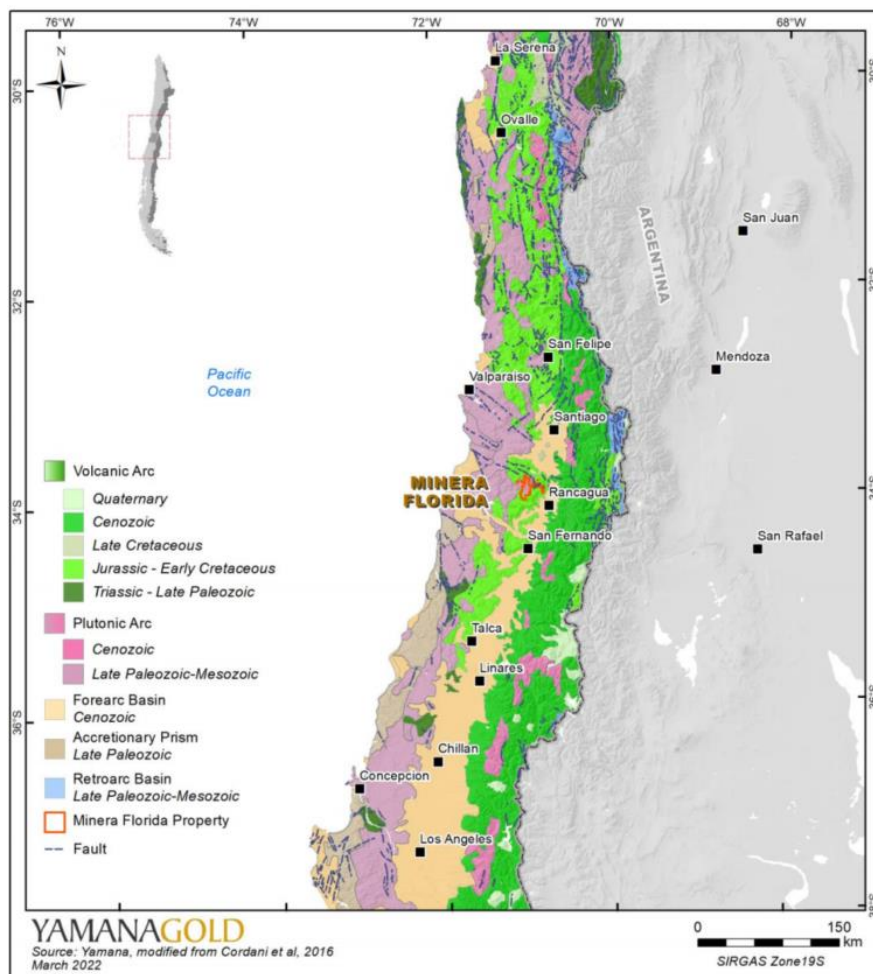


Figura 4-2: Ubicación geográfica junto con la geología regional de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022)

4.2.2 Geología local

Minera Florida se ubica en la parte central de la Cordillera de la Costa de Chile, extiéndose 20 km hacia ambos lados con límites generales entre rocas plutónicas hacia el oeste, y un conjuntos volcánico-sedimentarios hacia el este (ver *Figura 4-3*).

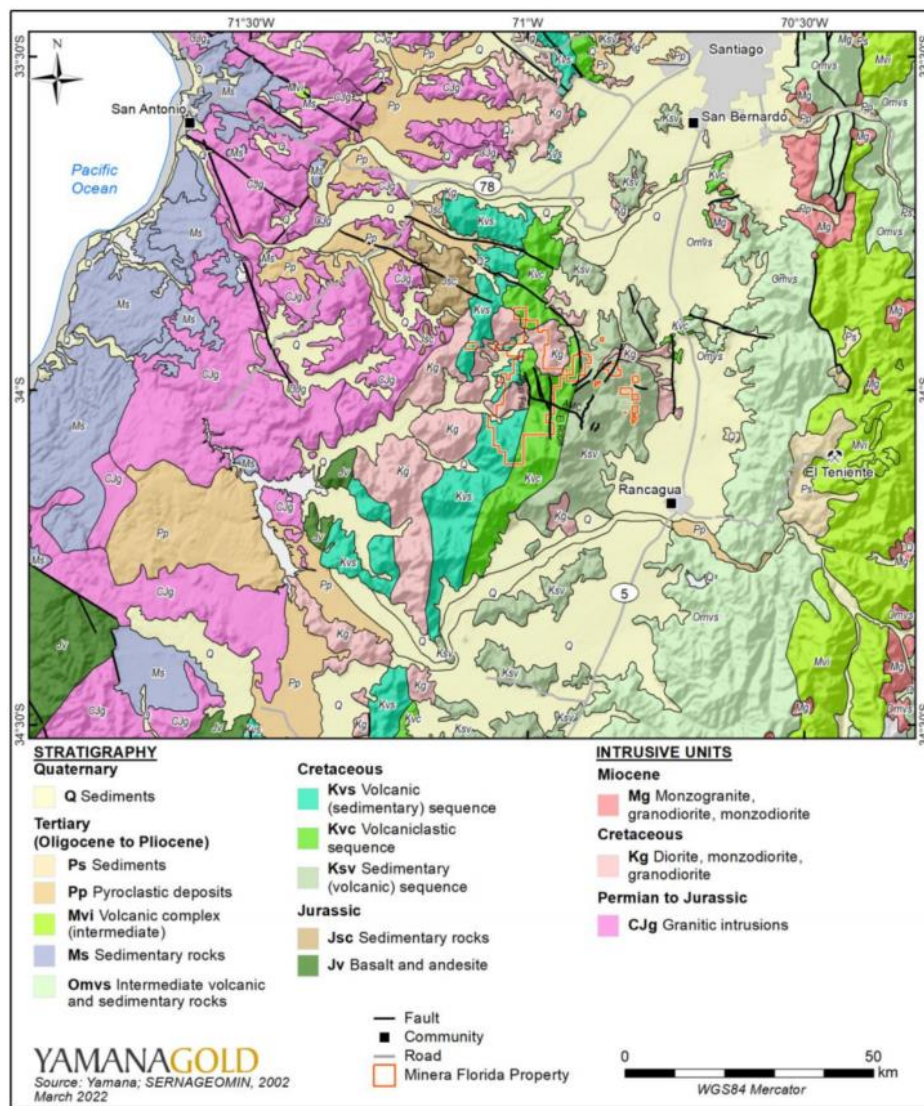


Figura 4-3: Geología local de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022).

La mineralización de Minera Florida está alojada en la Formación Las Chilcas del Cretácico Inferior con un espesor de aproximadamente 1 km de rocas volcánicas continentales y rocas sedimentarias

menores. Esta secuencia está dominada por unidades piroclásticas y volcanoclásticas riolíticas que incluyen unidades de toba lítica, cristalítica, y brechas volcánicas gruesas.

En la zona de explotación de la mina se encuentran 4 subunidades litológicas, las cuales son:

- *Toba Inferior*: conformada por toba cristalina, cristalítica y brecha volcánica.
- *Andesita Inferior*: compuesto por andesitas porfídicas con un 15-20% de plagioclasa.
- *Toba Superior*: conformada por ignimbrita pómez y toba cristalina.
- *Andesita Superior*: compuesto por andesitas porfídicas con alteración propilítica.

4.2.3 Geología estructural

En el área de la mina, las fallas tienden a encontrarse en la zona norte, siendo algunas de ellas importantes en la mineralización, como las fallas Maqui, Portezuelo y Don Leopoldo. En la intersección entre estas fallas se producen localmente grandes zonas mineralizadas, representando importantes objetivos de exploración. Ejemplos de estas son la Zona Milenium (en Alhué Core en la intersección de las fallas Portezuelo y Rafael), la Zona Mila (en la intersección de las fallas Maqui y PVS), y la Zona Las Pataguas (en la intersección de las fallas Don Leopoldo y Pataguas). En la *Figura 4-4* y *Figura 4-5* se observan las estructuras principales de la mina.

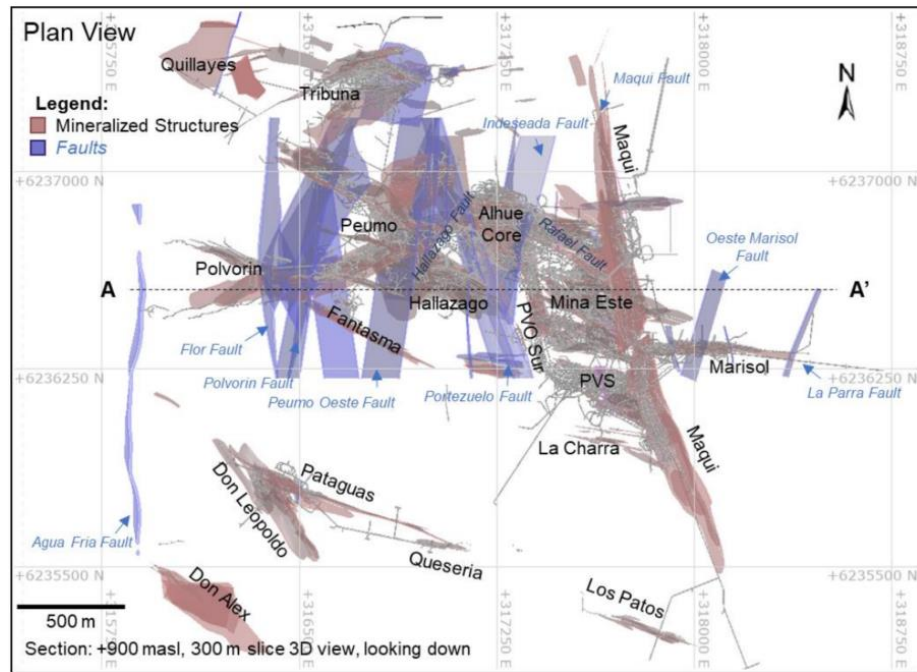


Figura 4-4: Vista de estructuras de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022).

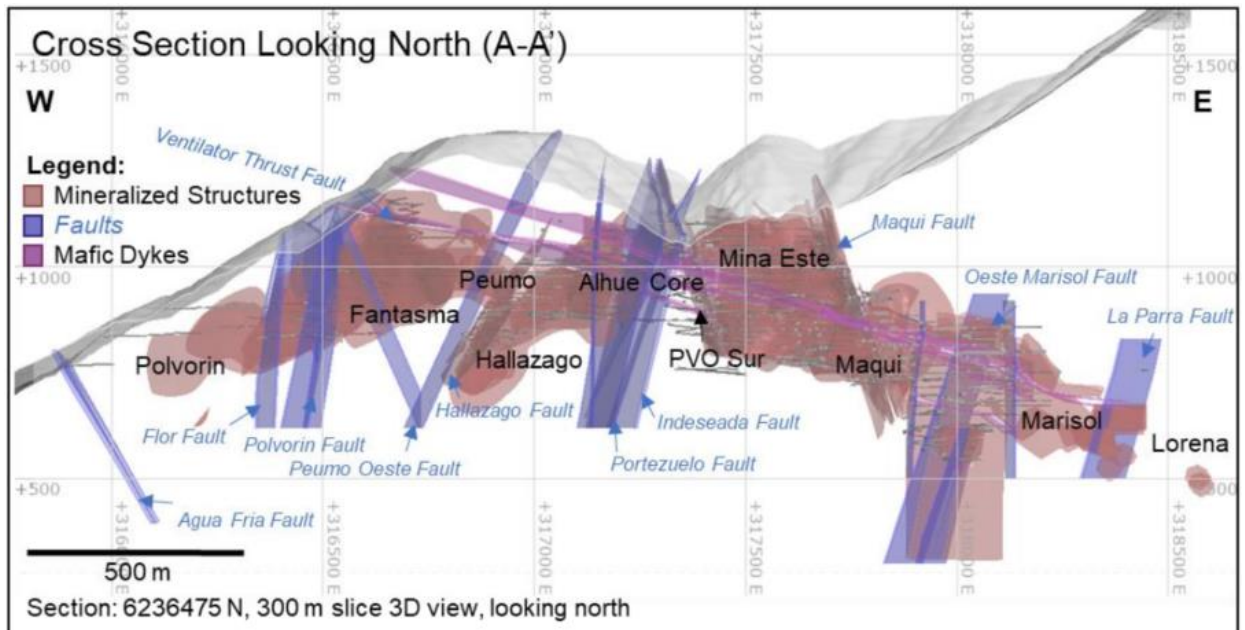


Figura 4-5: Vista transversal A-A' de estructuras de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022).

4.2.4 Reservas y recursos mineros

En la *Tabla 4-1* y *Tabla 4-2*, se presentan las reservas y recursos mineros de Minera Florida declaradas al 31 de Diciembre de 2021, detallado por sector en *Anexos*.

Tabla 4-1: Reservas probadas y probables de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022).

Reservas Mineras	Tonelaje (kt)	Ley			Mineral		
		Au (g/t)	Ag (g/t)	Zn (%)	Au (koz)	Ag (koz)	Zn (Mlb)
Probadas	662	3,08	20,2	1,44	65	430	21
Probables	2.905	3,49	21,4	0,94	326	1.998	60
Probadas + Probables	3.567	3,42	21,2	1,03	392	2.428	81

Tabla 4-2: Recursos medidos, indicados e inferidos de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022).

Recursos Mineros	Tonelaje (kt)	Ley			Mineral		
		Au (g/t)	Ag (g/t)	Zn (%)	Au (koz)	Ag (koz)	Zn (Mlb)
Medidos	1.425	5,24	34,0	1,90	240	1.557	60
Indicados	6.108	4,15	21,8	1,38	816	4.287	185
Medidos + Indicados	7.533	4,36	24,1	1,48	1.056	5.844	245
Inferidos	4.167	4,91	23,4	1,20	658	3.138	111

4.3 Métodos de explotación

Durante 2023 el ancho de las SMU de diseño de las vetas explotadas que conforman Minera Florida presenta la distribución detallada en la *Figura 4-6*.

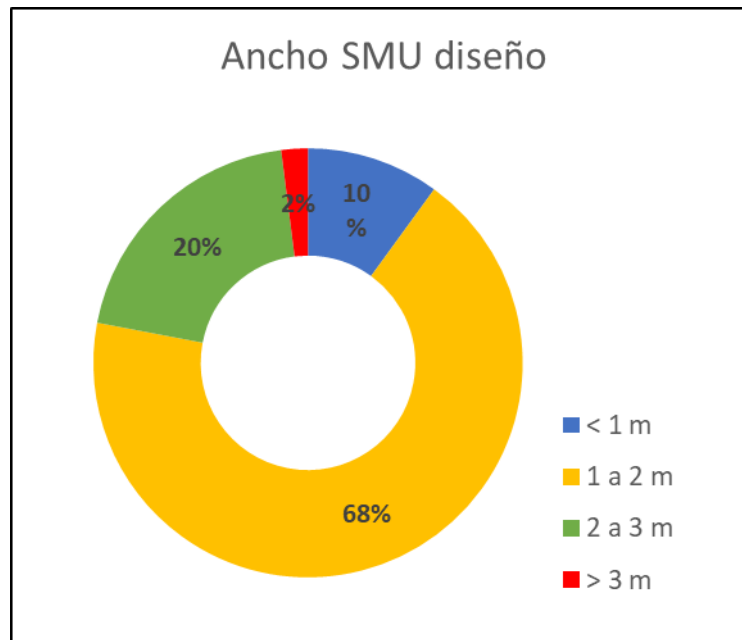


Figura 4-6: Gráfico porcentual de ancho de SMU para las vetas explotadas en Minera Florida.

De esta forma el 68% de los eventos explotados presenta un ancho de SMU de diseño de 1 a 2 (m), un 20% de 2 a 3 (m), un 10% menores a 1 (m) y solo un 2% mayores a 3 (m).

Por lo tanto, debido a esta distribución, y dependiendo de la geometría y calidad del macizo rocoso, el método de explotación utilizado es el *Sub Level Stoping* (SLS) y sus respectivas variantes.

4.3.1 Sub-Level Stoping Tradicional

Este método consiste en explotar vetas con subniveles entre 12 a 24 m, donde en la galería base se realiza la perforación y tronadura solo en realce, generando una cavidad para recibir el mineral de los niveles tronados en niveles superiores, de esta forma, en este nivel se realiza la extracción. Luego en los niveles superiores se realizan perforaciones de tipo realce y banqueo, donde el mineral es recibido en la galería base.

La secuencia de explotación comienza con la apertura de cara libre mediante chimeneas, ubicadas en los extremos del nivel de perforación, o del caserón planificado a extraer, continuando hasta finalizar el nivel y pasar al siguiente, donde el mineral tronado de estos niveles será extraído por la galería base,

mediante cargadores frontales o LHD desde las estocadas de extracción, realizando el traspaso del mineral mediante un chimenea hacia los niveles de transporte 870-740-620, contando con infraestructura para el carguío de camiones, este método de explotación se representa en la *Figura 4-7*.

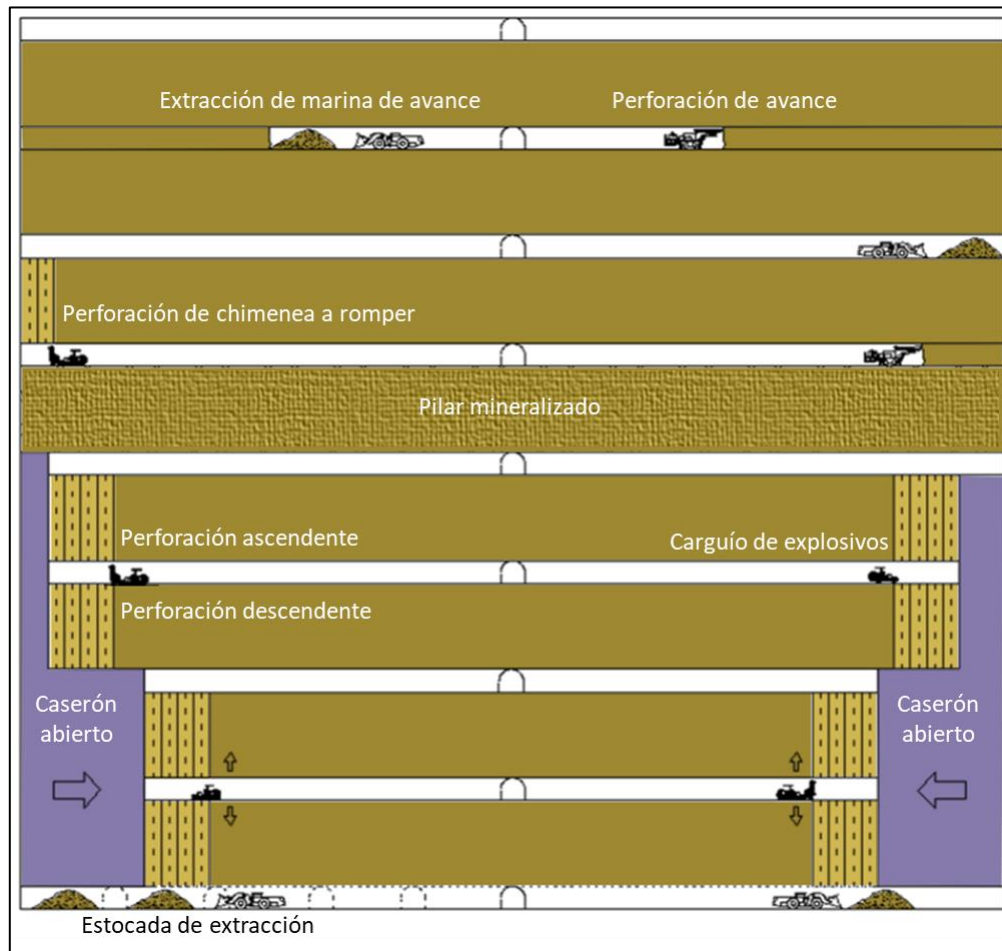


Figura 4-7: Esquema de método de explotación Sub Level Stopping Tradicional (Informe actualización de proyecto MFL, 2017).

Este método, en lo ideal se aplica para vetas con potencias mayores a 3,5 (m), pero también es aplicado para potencias menores cuando es sustentable económicamente, además se incorporan variantes de este método, como son el *Sub Level Benching*, y para los sectores cercanos a cavidades rellenas el *Sub Level Benching Contra Relleno*.

4.3.2 Sub-Level Benching

Esta variante, ilustrada en la *Figura 4-8* es utilizada idealmente para vetas con potencias menores a 3,5 (m), consideradas de baja potencia, donde se simplifica la preparación del nivel de producción, considerando una explotación en retroceso, donde la extracción del mineral se realiza desde el fondo de la cavidad mediante un equipo LHD operado a control remoto desde una estocada de seguridad, teniendo como límite 30 (m) de distancia entre el operador y el equipo en cuestión, luego el mineral es traspasado mediante chimeneas a los niveles de transporte principal.

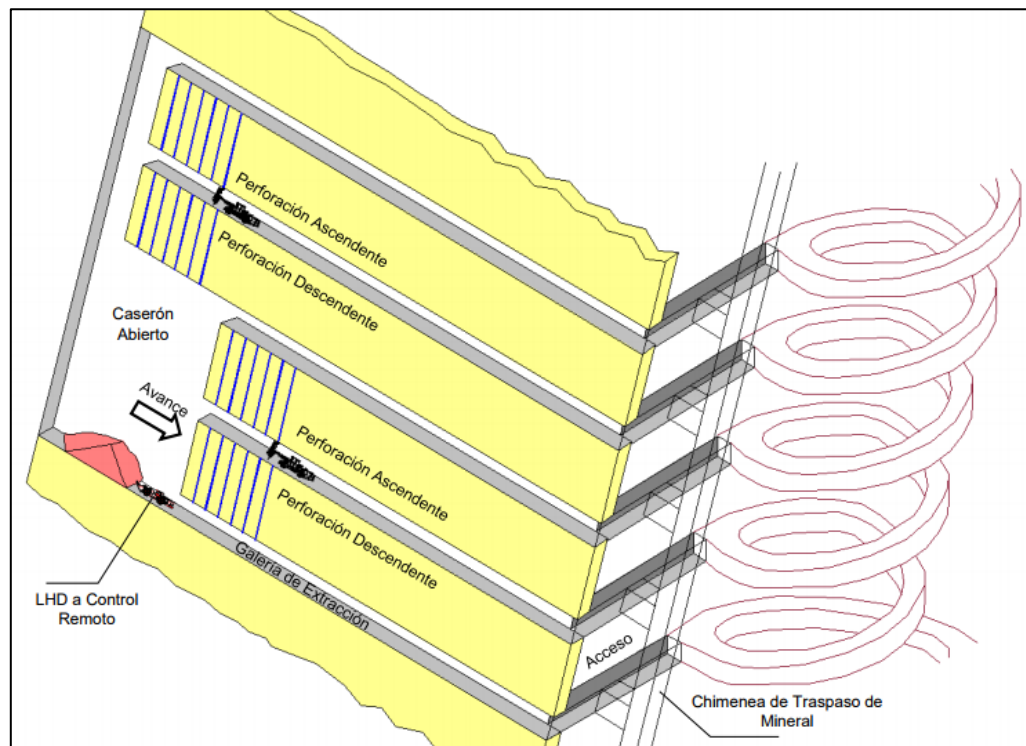


Figura 4-8: Esquema de método de explotación Sub Level Benching (Informe actualización de proyecto MFL, 2017).

4.3.3 Sub-Level Benching o Undercut en Retroceso Contra Relleno

Cuando el nivel de explotación se encuentra cercano a cavidades con relleno, como se muestra en la *Figura 4-9*, la tronadura se realiza contra este material y en retroceso, extrayendo el mineral hasta que sea considerado viable económicamente, teniendo en cuenta la dilución generada al contacto del material mineralizado con el estéril. La extracción es realizada mediante equipos LHD con una sola frente de acceso, traspasando el mineral mediante chimeneas a los niveles de transporte principales.

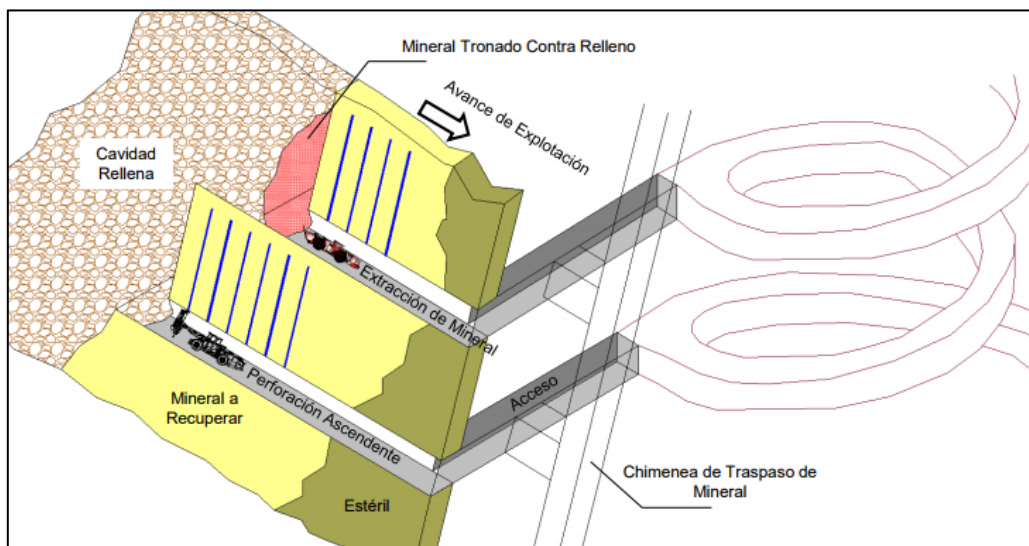


Figura 4-9: Esquema de método de explotación Sub Level Benching contra relleno (Informe actualización de proyecto MFL, 2017).

En el caso que la cavidad rellena se encuentre en el nivel superior al nivel de explotación, ilustrado en la Figura 4-10, se realiza un evento de apertura de chimenea ascendente, pero que no llega a romper al nivel superior, dejando una placa geomecánica para la estabilidad del caserón, y utilizando el mismo método de extracción ya mencionado anteriormente.

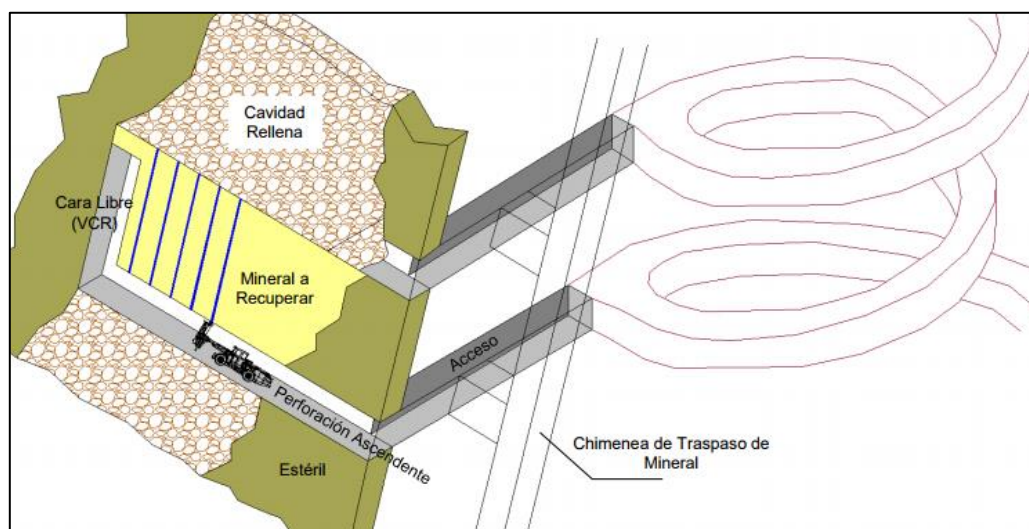


Figura 4-10: Esquema de método de explotación Sub Level Benching con cavidad superior rellena (Informe actualización de proyecto MFL, 2017).

4.3.4 Método Cut and Fill

Idealmente este método se realiza con vetas de mediana potencia, sobre 2 (m), donde la perforación se realiza de forma horizontal y/o vertical, comenzando por la parte inferior de un nivel, avanzando verticalmente. Entonces cuando se haya extraído esta primera tajada, el mineral es extraído con equipo LHD hacia una chimenea de traspaso que lleva al nivel de transporte. Luego el mismo nivel es rellenado con material estéril proveniente de diversos desarrollos mineros, sirviendo como piso para continuar con la explotación, sirviendo además para estabilidad de las paredes del caserón (ver *Figura 4-11*).

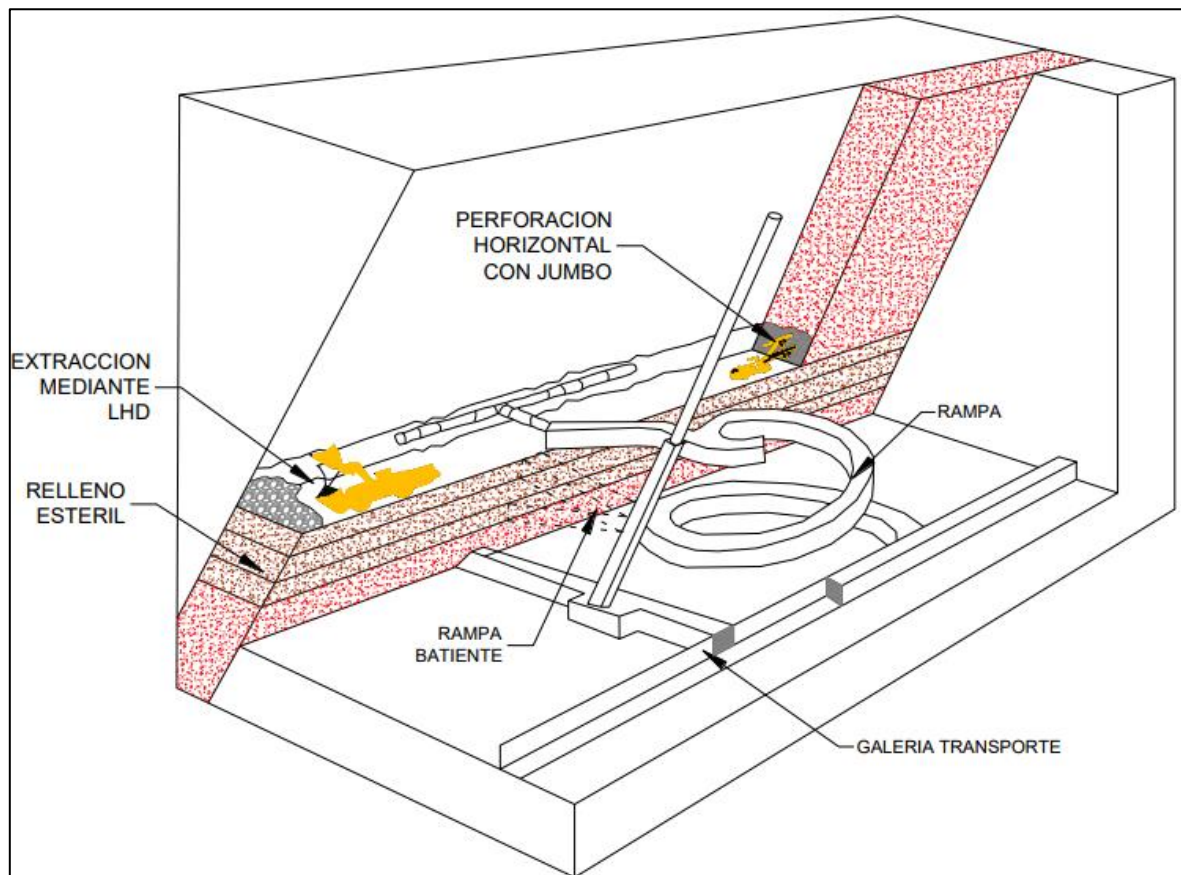


Figura 4-11: Esquema de método de explotación Cut and Fill (Informe actualización de proyecto MFL, 2017).

4.4 Infraestructura principal

A continuación, se presentan las características de la infraestructura principal para la extracción con los métodos antes descritos.

4.4.1 Rampas espirales

El acceso hacia los niveles de producción se realiza mediante rampas con forma de espiral, esquematizadas en la *Figura 4-12* y *Figura 4-13*, las cuales tienen secciones de 4,2 m x 4,5 m, con una pendiente máxima de 15% cuando se trata de tránsito de camiones. Por otra parte, cuando el tránsito es de equipos menores, estas rampas tienen secciones de 3,8 m x 3,8 m.

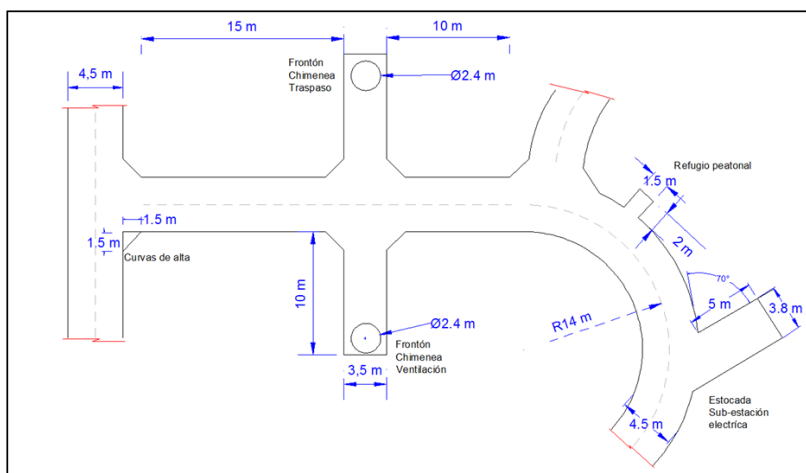


Figura 4-12: Vista en planta con dimensiones de rampas para tránsito de camiones.

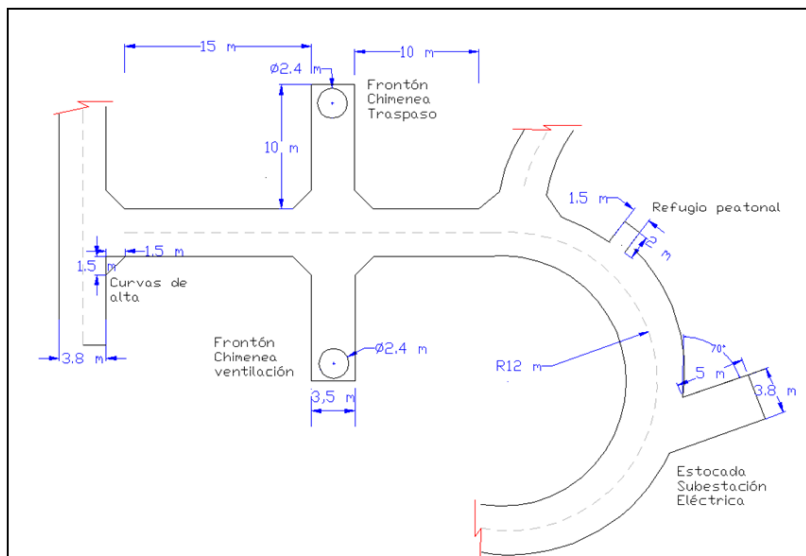


Figura 4-13: Vista en planta con dimensiones de rampas para tránsito de equipo menor.

4.4.2 Transporte principal

Esta infraestructura tiene como objetivo conectar el nivel de superficie hacia las rampas y puntos de traspaso de mineral, para su transporte, estas tienen secciones de 4,2 m x 4,5 m, tal como se muestra en la *Figura 4-14* y *Figura 4-15*, y están direccionadas según la disposición de las vetas. Actualmente, en Minera Florida este transporte de material se realiza en los portales 740 y 840.

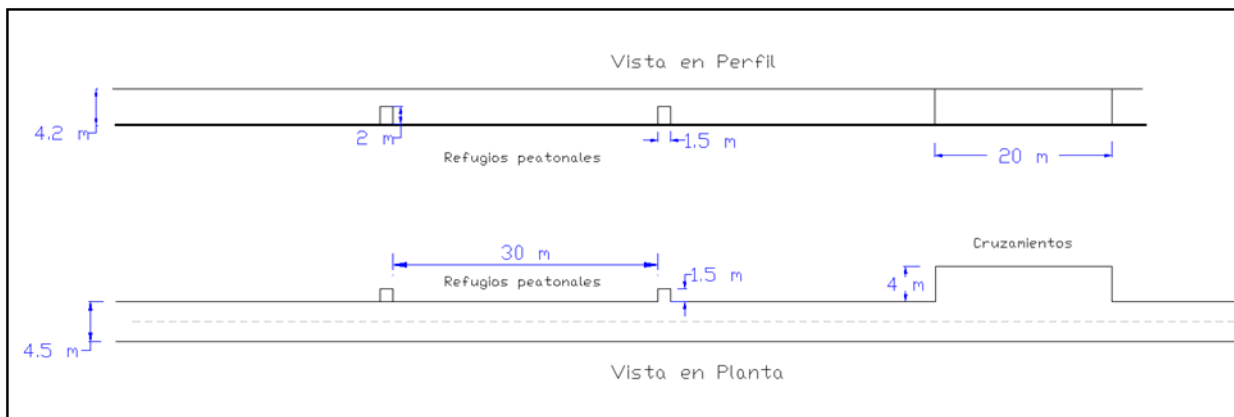


Figura 4-14: Vista en perfil y planta con dimensiones para transporte principal.

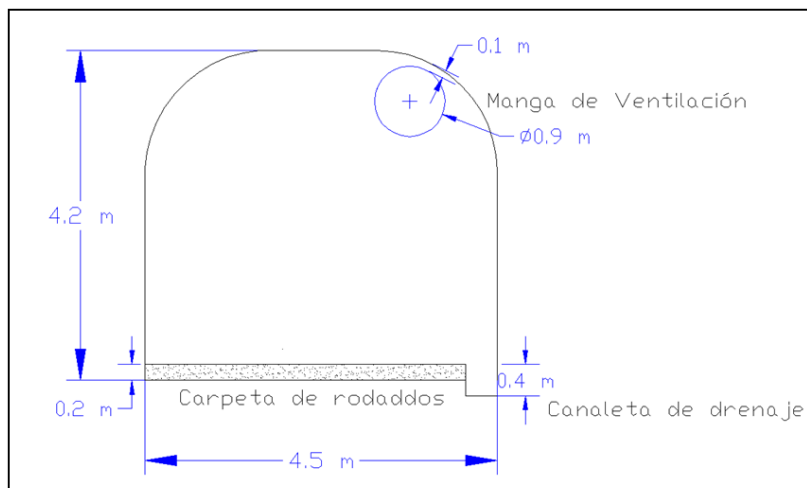


Figura 4-15: Vista en sección con dimensiones para transporte principal.

4.4.3 Nivel de transporte (NT)

En estos niveles es donde se realiza el movimiento de mineral hacia chimeneas de traspaso o zanjas de acopio de material. Este nivel está conformado por las estocadas de extracción, con secciones de 3,8 m x 3,8 m, y la galería de transporte con secciones de 4,2 m x 4,5 m (ver *Figura 4-16* y *Figura 4-17*).

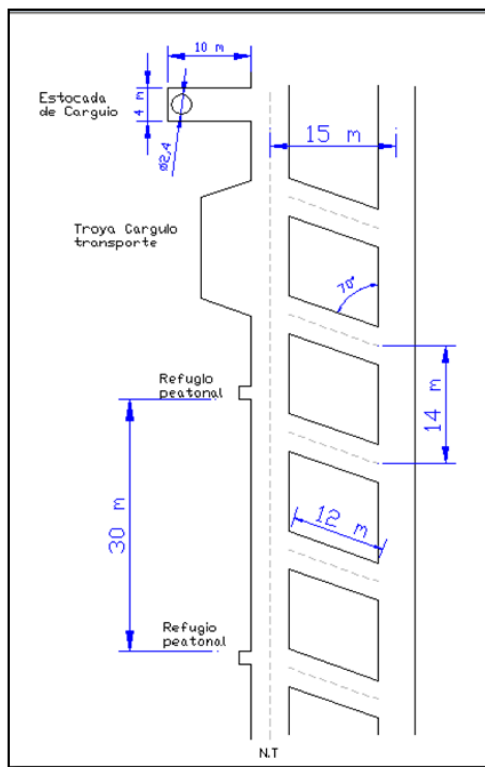


Figura 4-16: Vista en planta con dimensiones para nivel de transporte.

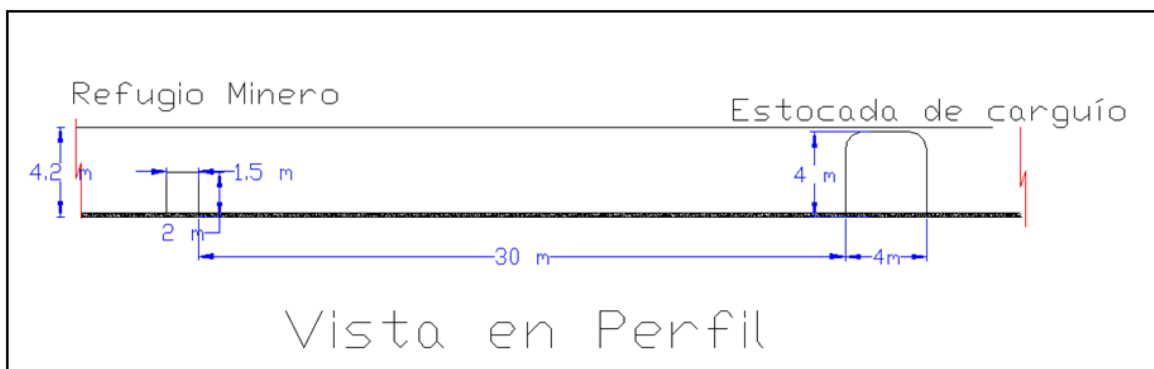


Figura 4-17: Vista en perfil con dimensiones para nivel de transporte.

4.4.4 Nivel de producción (NP)

Este nivel es necesario para el acceso al cuerpo mineralizado de interés, teniendo secciones de 3,8 m x 3,8 m, construyendo también galerías con secciones de 3,8 m x 3,5 m, repitiéndolo para cada nivel del caserón planificado a explotar.

4.5 Flota de equipos

En la *Tabla 4-3* se indican los equipos principales de Minera Florida:

Tabla 4-3: Flota de equipos de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022).

Equipo	Modelo	Unidades
LHD 6 yd ³	ST1030	16
LHD 3.5 yd ³	ST710	1
Dumper	AD30	6
Front-end loader	L120E	1
Front-end loader	L120F	5
Telescope crane	MT732	1
Telescope crane	Mt1030s	2
Telescope cran	MTX1030S	13
Scaler	Bell 220E	1
Backhoe	Doosan DX55	1
Backhoe	416F	4
Grader	UG20K	1
Roboshot	Normet Alpha 20	2
Mixer	Normet Tornado S2	2
Longhole production rig	H157	2
Longhole production rig	H1257	2
Longhole production rig	S7D	5
Longhole production rig	S7C	1
Development jumbo drill	H281	2
Development jumbo drill	S1D	3
Development jumbo drill	H282	4
Development jumbo drill	S2C	3

En *Anexos* se encuentra el detalle de los principales equipos de producción y sus dimensiones en las distintas secciones de la infraestructura principal de la mina.

4.6 Diagrama de flujo de operaciones

En la Figura 4-18 se representa el diagrama de operaciones de Minera Florida.

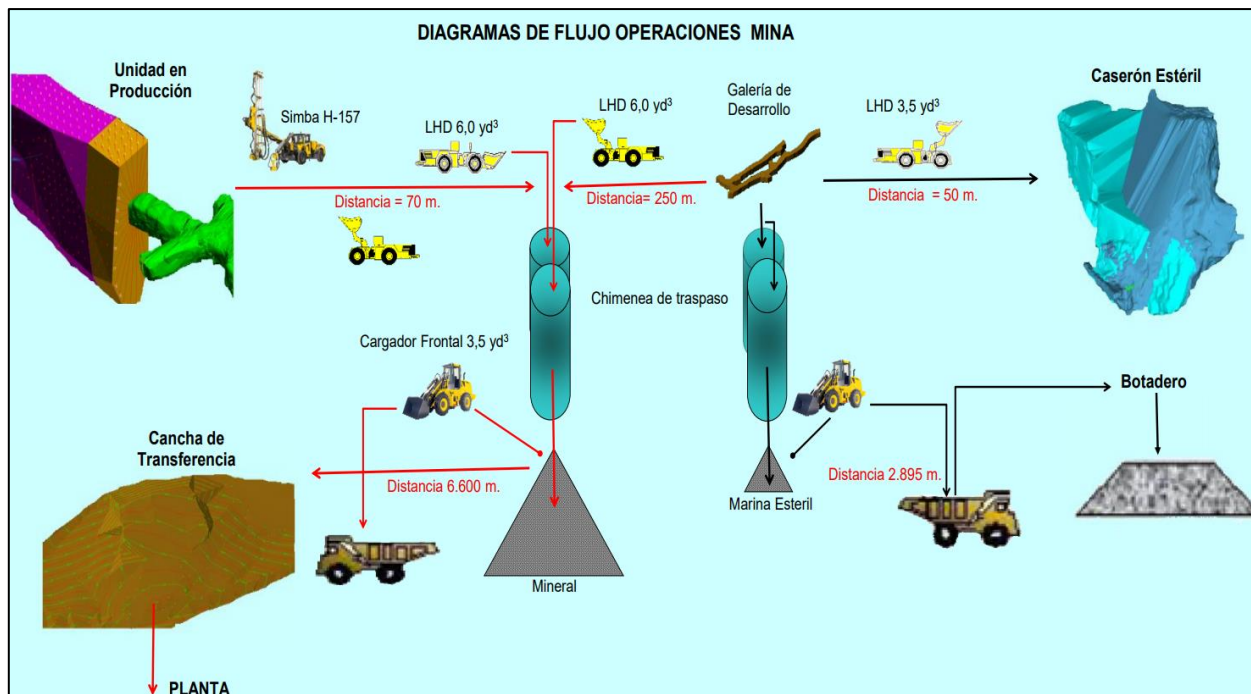


Figura 4-18: Diagrama de flujo de operaciones mina (Technical Report MFL, 2022).

4.7 Servicios mina

4.7.1 Suministro de agua y drenaje

El agua industrial utilizada en la mina subterránea se abastece de dos fuentes: una de agua dulce de la toma de agua instalada en el arroyo El Roble donde el agua fluye dependiendo del clima y las precipitaciones, no siendo constante; y una segunda de los sistemas de drenaje y recirculación de la mina.

La capacidad de bombeo de agua para el sistema de drenaje subterráneo de la mina se estima considerando los aportes de fuentes hidrogeológicas y de proceso de la mina. Se considera que el 10% del agua de mina de proceso se pierde cuando se transporta mineral húmedo hacia la planta.

El sistema de recirculación posee 5 estaciones de bombeo en los niveles 620, 740, 840, 990 y 1165. Cada estación está equipada con dos bombas centrífugas horizontales principales. Además, en el nivel superior del sistema (nivel 1.300) hay once tanques de agua que almacenan el agua recibida y abastecen por gravedad a toda la red de agua de la mina.

Cuando hay exceso de agua recirculada, esta es almacenada en reservorios, los cuales están ubicados en la mina para su recirculación o se descarga a un estanque ubicado en el nivel 620, desde donde se bombea a la planta de procesamiento para uso industrial.

El esquema con el proceso de suministro de agua se observa en la *Figura 4-19*.

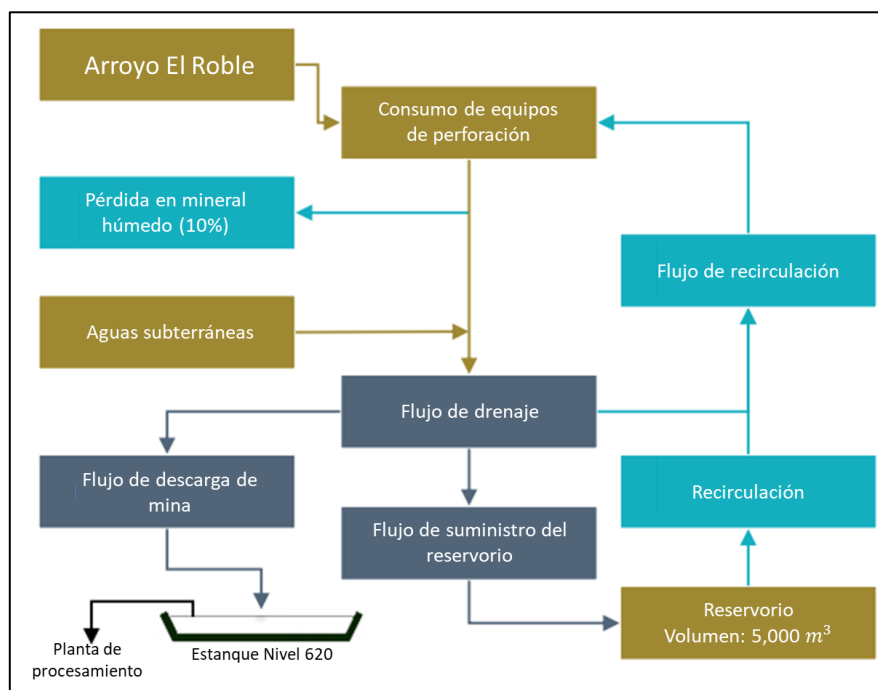


Figura 4-19: Esquema del sistema de drenaje y suministro de agua de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022).

4.7.2 Ventilación

El sistema de ventilación principal es del tipo inyección/extracción, representado en la *Figura 4-20*. Debido a la presión negativa generada por los ventiladores principales, el aire ingresa a la mina a través

de los diferentes portales, y se distribuye en la mina con el apoyo de ventiladores auxiliares ubicados de forma estratégica para reforzar los flujos de aire donde sea necesario.

Actualmente, en Minera Florida se tienen siete ventiladores principales, los cuales están ubicados en diferentes lugares del circuito de ventilación en la superficie, sumado a tres ventiladores secundarios en interior mina, junto con cerca de 60 auxiliares en stock. Las conexiones del circuito de ventilación entre los niveles se construyen utilizando chimeneas tipo VCR.

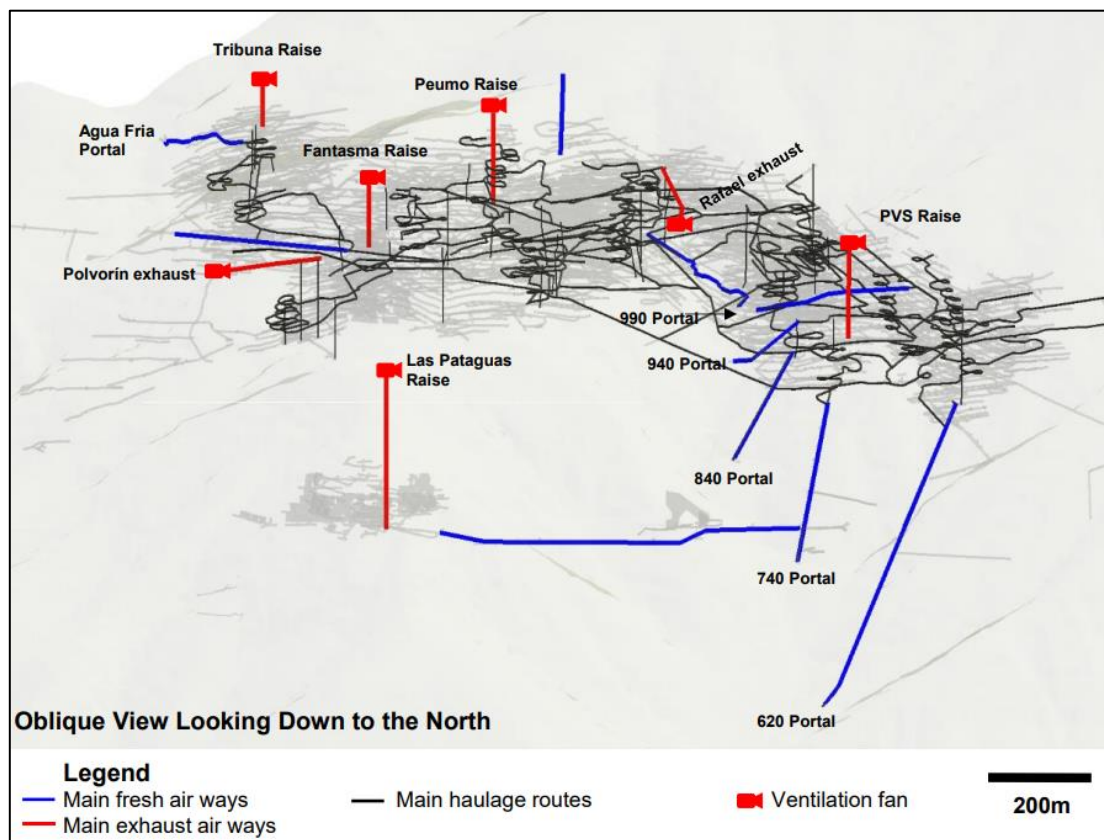


Figura 4-20: Circuito de ventilación de Minera Florida (Technical Report MFL, 2022).

4.7.3 Energía

Minera Florida obtiene la energía para sus operaciones mineras de la subestación Alhué, propiedad de la Compañía General de Electricidad (CGE), siendo esta la más grande de la región, que también suministra energía a la comuna de Alhué y sus alrededores.

Este sistema de energía asegura la demanda energética de los equipos electrohidráulicos, ventilación, iluminación y de apoyo. El sistema está compuesto por una fuente de alimentación distribuida por dos líneas principales de media tensión, las cuales alimentan varios transformadores, brindando energía eléctrica a infraestructuras en superficie, como los ventiladores principales, red de recirculación de agua, compresores, oficinas, talleres mecánicos y camarines.

De la misma forma, se alimentan dos subestaciones principales ubicadas en los sectores Agua Fría y Las Ánimas, para dar energía a la mina a través de redes de distribución media tensión.

Estas redes de distribución de media tensión alimentan subestaciones auxiliares que brindan energía a los sistemas auxiliares de ventilación, drenaje, perforadoras de exploración y equipos de desarrollo y producción en los frentes de trabajo.

4.7.4 Aire comprimido

En Minera Florida se tienen cuatro compresores principales, ubicados estratégicamente en el interior mina, los cuales suministran aire comprimido través de conductos desde la rampa principal hacia los diferentes niveles, distribuyéndolo hacia las frentes de trabajo.

Este servicio de aire comprimido se utiliza principalmente para limpiar el detritus de las plataformas de perforación, para los carguíos de explosivos y fortificación de pernos.

4.7.5 Refugios

Con el objetivo de seguridad y estar preparados en caso de accidente o incendio en el interior de la mina, se tiene habilitado diversos refugios ubicados en los diferentes sectores de producción.

Minera Florida posee un refugio fijo y quince refugios móviles, los cuales están ubicados cerca de las caras activas de producción.

4.7.6 Botaderos

El botadero principal Mirador 620 está ubicado en la superficie al este del arroyo Las Ánimas y al sur de las instalaciones de servicio de la mina. Este se construye a partir de residuos transportados por camiones provenientes de diversas frentes de trabajo y se accede por caminos ubicados en el nivel 620 y los portales en los niveles 740 y 840.

El botadero Hornito está ubicado al este del arroyo Agua Fría y al sur de las instalaciones de servicio de la mina. El acceso a este es a través del camino a la mina y tiene como objetivo recibir todos los residuos generados por la futura construcción del túnel de transporte de Hornito.

4.7.7 Comunicaciones

El sistema de comunicación de la mina está compuesto por tres redes:

- Red de comunicaciones
- Red de datos
- Red de evacuación de emergencia (Deep Link)

La red de comunicaciones de la mina está formada por amplificadores bidireccionales y repetidores en modo análogo y digital, que brindan cuatro canales híbridos subterráneos y dos en superficie. La parte principal de la red ingresa a la mina a través del portal 840 y se divide en tres ramas que alimentan los sectores de Tribuna, Peumo y Maqui.

La red de datos consiste en una red de fibra óptica que se extiende desde el área de la planta de procesamiento hasta el portal 840. La red se divide en redes administrativas y operativas. La red administrativa proporciona datos a clientes y trabajadores mientras que la red operativa o industrial proporciona conexión a dispositivos de adquisición de datos, supervisión, control y monitoreo.

La red de evacuación de emergencia funciona con consolas principales junto con un cable de antena. Las señales generadas por esta red alertan tempranamente y en caso de ser necesario, inicia el proceso

de evacuación general de la mina, indicando el área o código de la emergencia para realizar diagnósticos en el sistema.

5. PROCESO DE PRODUCCIÓN

A continuación, se detallan las actividades generales relacionadas al proceso de producción.

5.1 Construcción y evaluación de Modelo de Corto Plazo

En primer lugar, el departamento de geología entrega información respecto a las vetas de interés económico, para que el departamento de ingeniería de mediano plazo defina los accesos a ellas, siguiendo el rumbo topográfico. Luego, teniendo estos accesos diseñados, se comienza la construcción del nivel de producción (NP), orientado en dirección a la veta a explotar, y este tiene como objetivo el ingreso de equipos de perforación para iniciar la perforación vertical del cuerpo mineralizado y posterior extracción con equipos LHD.

Durante el desarrollo del NP, se realizan muestreos geológicos con los cuales se diseña modelo de bloques de la veta a explotar, con sus respectivas leyes. Este es enviado al departamento de ingeniería de corto plazo, el cual define el sólido de diseño, que principalmente incorpora la veta a explotar, al cual se le define el ELOS, conteniendo la dilución planificada asociada al cuerpo mineralizado, creando un sólido de dilución.

Este modelo de corto plazo es analizado por el área de perforación y tronadura, quienes definen los parámetros de diseño, para cortar el sólido por corridas y evaluar el modelo mediante el software Vulcan, considerando el tonelaje y leyes de mineral (Au, Ag, Zn), obteniendo la respectiva evaluación de cada sección, determinando si es económicamente rentable la explotación del total de la veta o parte de ella, considerando la clasificación del mineral según la ley que se presenta en la *Tabla 5-1*.

Tabla 5-1: Clasificación del mineral según ley de oro (Au).

Clasificación mineral	Ley Au
Mineral	> 2.33
Marginal	2.33 – 1.88
Marginal PTR	1.64 – 1.88
Estéril	< 1.64

5.2 Recomendación geomecánica

Además de enviar el modelo de corto plazo al área de perforación y tronadura, este es enviado al área de geomecánica, quienes se encargan de visualizar cavidades existentes y estructuras geológicas, que junto a la calidad de la roca caja, se analiza la estabilidad de la cavidad que generará la explotación de la veta en cuestión, considerando el radio hidráulico que se alcanzará y la posible dilución, por lo cual se determinan pilares geomecánicos para mantener esta estabilidad, además de considerar los requerimientos de los proyectos de ingeniería de largo plazo.

En la *Figura 5-1* y *Figura 5-2* se observa un ejemplo de una recomendación geomecánica, donde se consideran pilares posicionados por el área.

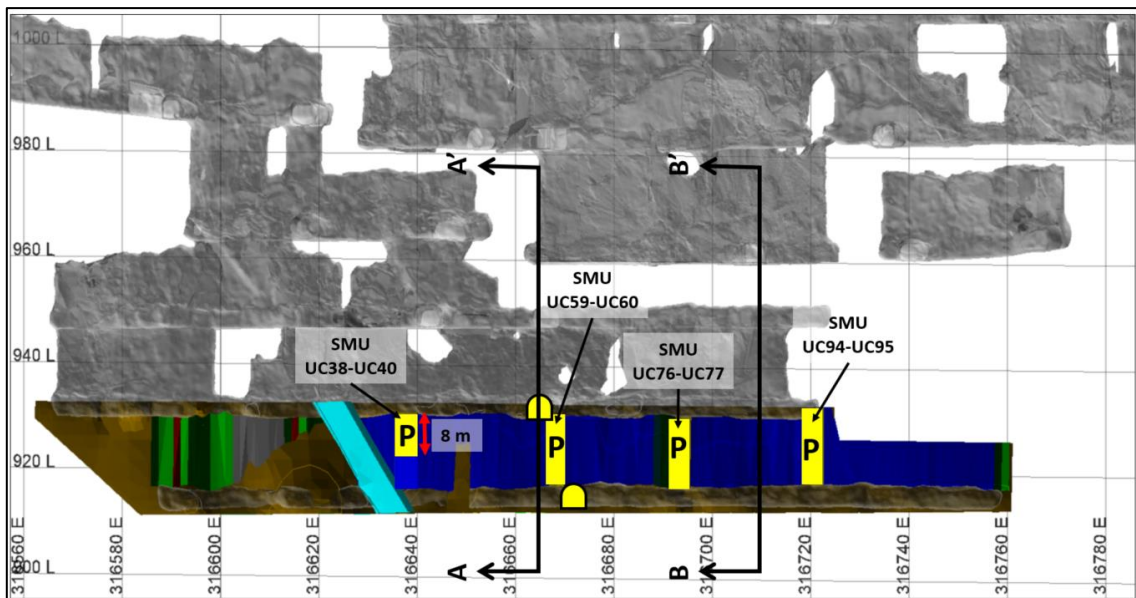


Figura 5-1: Revisión geomecánica de bloque nuevo de explotación, indicando pilares.

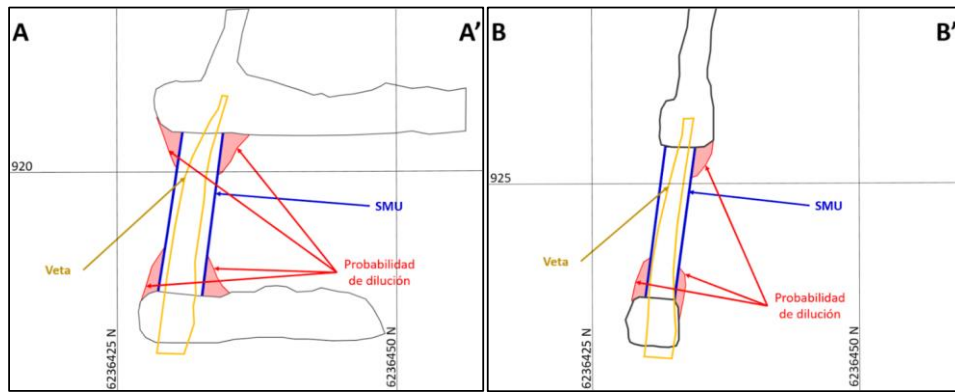


Figura 5-2: Vista en sección A-A' y B-B' de bloque nuevo en explotación, indicando posible dilución y principales estructuras.

5.3 Marcación en terreno

Teniendo definidos los parámetros de perforación y diseñada la planta de explotación del NP, junto con la revisión geomecánica entregada, el área de ingeniería de corto plazo determinará en qué corridas se ubicarán las chimeneas de apertura de cara libre, necesarias para la explotación del sector. Luego el área de P&T se encarga de diseñar y enviar la planta del bloque solicitando la marcación del bloque, como se ejemplifica en la *Figura 5-3*.

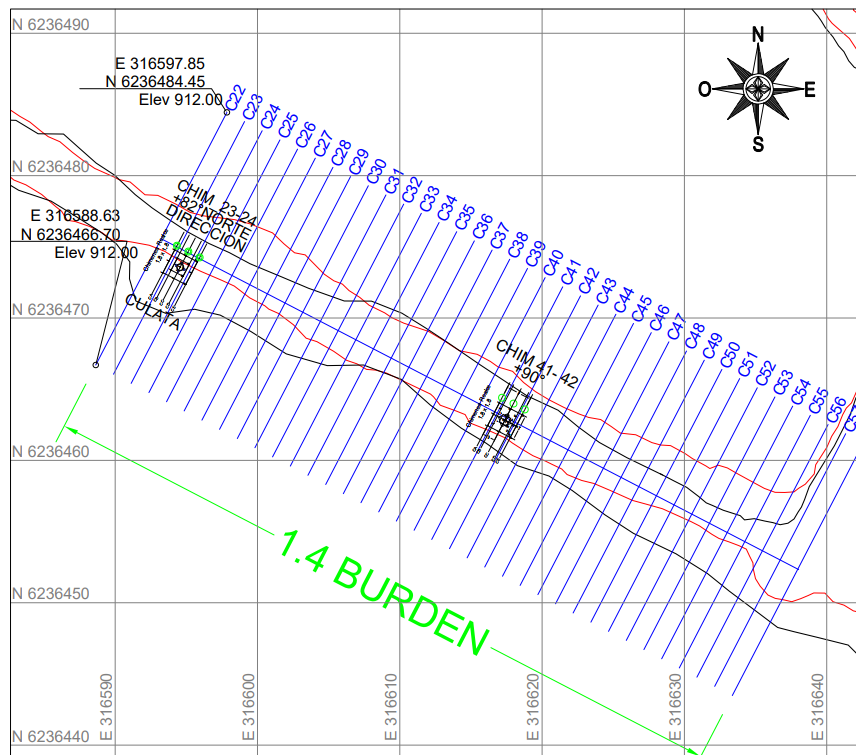


Figura 5-3: Planta de bloque nuevo a explotar, identificadas las corridas y chimeneas o VCR a marcar (Diseños perforación MFL).

Esta información es enviada al área de topografía, quienes se encargan de marcar en terreno las ubicaciones de las chimeneas, ya sea de tipo realce o banco, además de las respectivas corridas de perforación para realizar las tronaduras en base a las secuencias planificadas.

5.4 Proceso de perforación

Cuando se tiene lista la marcación de los pozos en el nivel de producción, se utiliza el equipo mecanizado tipo Simba para la perforación ascendente o descendente, de forma vertical o inclinados, dependiendo de la veta.

Esta perforación se realiza desde los distintos subniveles que hay dentro de una misma veta, según la secuencia de explotación planificada. El largo de los pozos está determinado previamente con los diseños de perforación, junto con el diámetro, que van desde 64 (mm) a 102 (mm).

5.4.1 Perforación de chimeneas

Para perforar chimeneas de cara libre o traspaso de mineral, se perforan con una inclinación superior a 45° para que el mineral escurra por la cavidad que se pretende explotar.

Para las chimeneas ascendentes se perforan 17 tiros, siguiendo la configuración de la *Figura 5-4*.

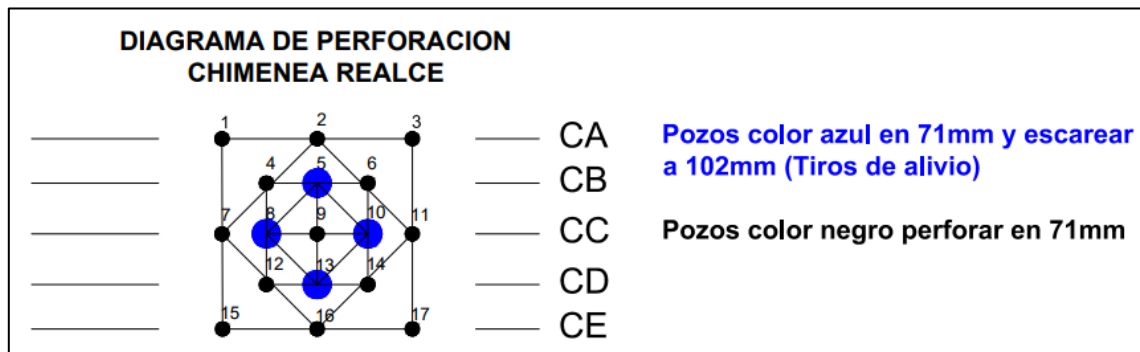


Figura 5-4: Diseños de perforación chimenea realce (Departamento P&T MFL).

De la misma forma, para las chimeneas descendentes se perforan 13 tiros, y tiene la configuración de la *Figura 5-5*.

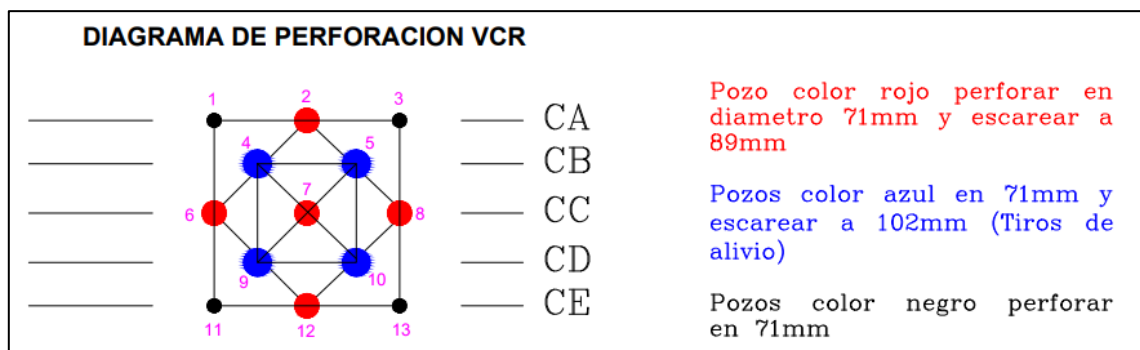


Figura 5-5: Diseños de perforación VCR (Departamento P&T MFL).

5.5 Análisis Réflex y secuencia de detonación

Terminado el proceso de perforación, el área de topografía utiliza el sistema Réflex para obtener información de la calidad de los tiros, en cuanto al largo, dirección e inclinación de estos. Esta información es analizada por el Ingeniero de Perforación y Tronadura, quien, observando las diferentes

variables, toma la decisión de continuar con la secuencia o requerir pozos auxiliares para asegurar una tronadura efectiva.

Con el análisis del Réflex, y con los pozos en buen estado, se debe seguir idealmente la siguiente secuencia según el tipo de explotación y diseño de perforación.

5.5.1 Secuencia de detonación en chimeneas

Para comenzar la explotación de un bloque, se debe realizar una apertura de chimenea de cara libre en el nivel de producción, donde la secuencia de detonación para las chimeneas ascendentes se representa en la *Figura 5-6* y descendentes en la *Figura 5-7*.

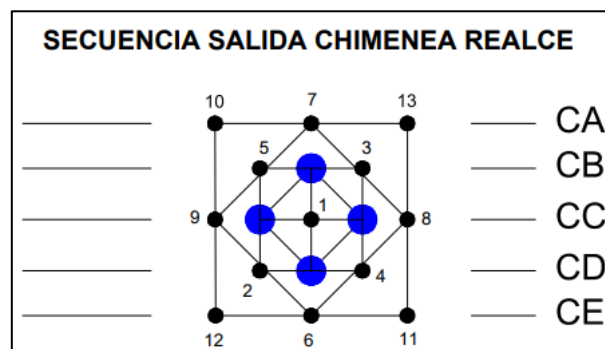


Figura 5-6: Secuencia iniciación teórica chimenea realce (Departamento P&T MFL)

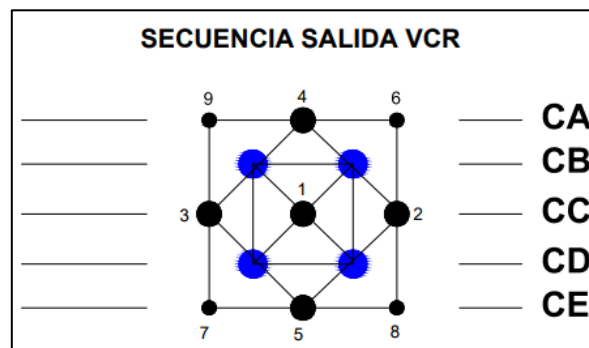


Figura 5-7: Secuencia iniciación teórica VCR (Departamento P&T MFL)

Para ambos casos, los pozos destacados con color azul se dejan sin cargar, dejando estos tiros de alivio como cara libre.

5.5.2 Secuencia de detonación en corridas de producción

Realizada la apertura del bloque, en este se crea una cara libre, para continuar explotando las corridas de producción según lo planificado, las cuales poseen las secuencias de detonación de la *Figura 5-8* y *Figura 5-9* según su diseño.

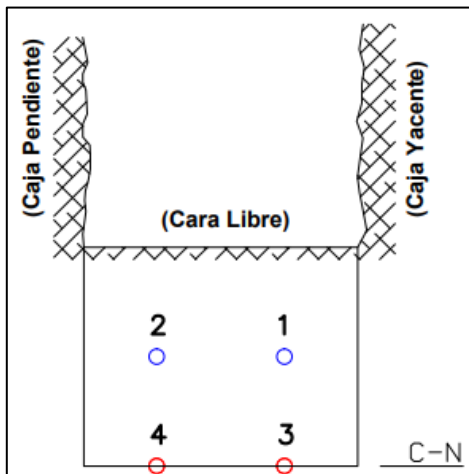


Figura 5-8: Secuencia de iniciación para corridas con diseño 2+2 (Departamento P&T MFL)

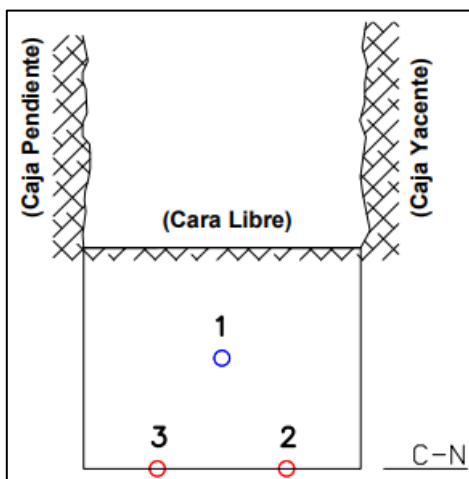


Figura 5-9: Secuencia de iniciación para corridas con diseño 2+1 (Departamento P&T MFL)

5.6 Entrega formato de carga

Teniendo toda la información anterior, se genera un informe denominado “Formato de Carga” (ver *Anexos*), el cual es entregado al respectivo supervisor encargado de coordinar trabajos para la correcta ejecución de las tronaduras. Este informe entrega la siguiente información de la tronadura:

- Sector y nivel a tronar
- Ley de Au, Ag, Zn equivalente
- Tonelaje a remover y metros barrenados
- KPIs de factor de carga y perforación
- Estado de réflex
- Cantidad de pozos, diámetro de perforación, largo y explosivos a utilizar en cada uno
- Tipo de detonadores y cantidad por tiro
- Distribución de carga en cada pozo
- Configuración y diagrama de carguío
- Secuencia de iniciación con detalle de tiempo de detonación.

5.7 Proceso de carguío y tronadura

Entregado el formato de carga los operadores, la carga a utilizar se traslada a la frente a explotar, comenzando el proceso de carguío.

5.7.1 Carguío de explosivo ascendente

Para este tipo de carguío se utiliza una grúa equipada con un cargador de ANFO y un canastillo alza hombre, donde el equipo utiliza el aire comprimido de la red de la mina, y por presión se confina en ANFO en los pozos. Además, para evitar la disminución de las vibraciones provocadas por la tronadura, cada 6 (m) de explosivo, se agrega una prima APD, así los pozos ascendentes están cargados con dos primas al menos.

5.7.2 Carguío de explosivo descendente

El carguío de explosivo en forma descendente se realiza desde el nivel superior por gravedad, donde se protege la tronadura con un taco de 0,8 (m) en el caso de las corridas de producción.

Cuando se trata de chimeneas tipo VCR, estas se cargan por tramos de 3 (m) con un taco superior e inferior de 0,8 (m), denominados “Levantes VCR”. De esta forma, cuando la longitud del último evento es de 5 (m), se carga el evento final hasta romper.

5.8 Evaluación escáner

Luego de realizada la tronadura, y posterior a la extracción de mineral, el área de topografía realiza medición de datos mediante el sistema ISITE, los cuales son enviados al área de P&T, y procesados por el proyectista del área, permitiendo levantar el modelo de la cavidad resultante luego del evento. Este procedimiento es realizado luego de cada evento de tronadura de producción, tal como se muestra en la *Figura 5-10*, por lo tanto, los nuevos datos tomados pueden sobreponerse al escáner anterior, tratándose de dilución post tronadura en caso de existir.

Este escáner es cubicado y evaluado, arrojando resultados, los cuales son comparados con la planilla de Ore Control entregada por geología, la cual muestra el movimiento de mineral de la mina a la planta.

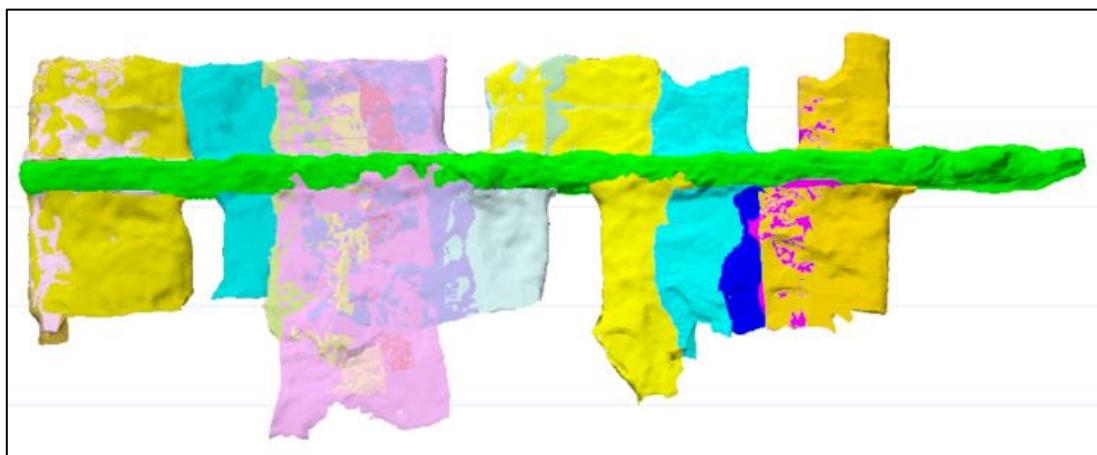


Figura 5-10: Diferentes escáneres tomados en mismo sector, cada color representa uno distinto

6. METODOLOGÍA

En este capítulo se detalla la metodología utilizada durante el desarrollo de la memoria e implementación de la mejora propuesta, esquematizada en la *Figura 6-1*.

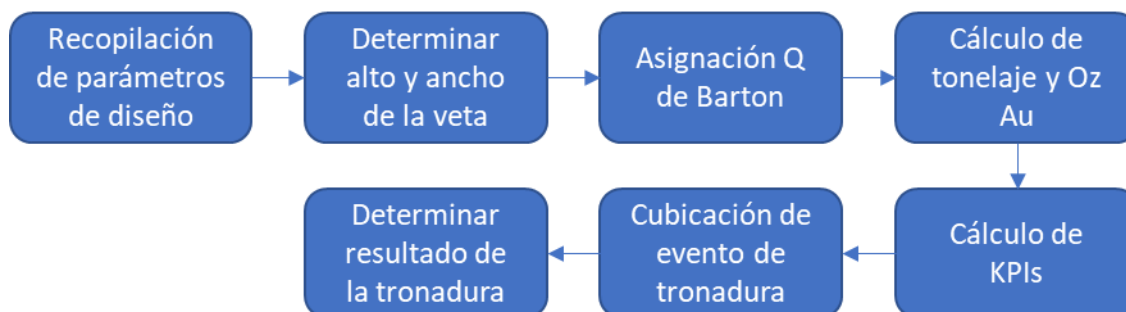


Figura 6-1: Diagrama general de la metodología utilizada.

6.1 Recolección de datos

6.1.1 Información general de tronaduras

En esta etapa se identifican los eventos de tronadura y la información general entregada por el COM finalizado cada turno (*Tabla 6-1*), teniendo lo siguiente:

- Fecha
- Turno
- Veta
- Nivel
- Evento
- Observaciones

Tabla 6-1: Información entregada por el COM. Referencia: 01/05/23 al 05/05/23.

Tronaduras					
Fecha	Turno	Nivel	Veta	Corrida	Observaciones
01/05/2023	C	1041	Aurora	1° Levante VCR	Medio Turno
01/05/2023	C	868	HME	C-35-38	
01/05/2023	A	961	Manda	C-37-33	
01/05/2023	A	938	Manda	C-30-31	
02/05/2023	C	1000	Karina	C-12-13	
02/05/2023	A	1041	Aurora	C-18-21 UC/B VCR 19-20 / CH 19-20	
02/05/2023	A	868	HME	C-39-41	
03/05/2023	C	975	Tea	C-32 a C-29 (Ch 30-31).	
03/05/2023	C	1000	Karina	C-14-15	
03/05/2023	A	961	Manda	C-33 a C-30 Bench	
04/05/2023	C	1041	Aurora	C-23+Aux.	Se trona a las 13:50 hrs.
04/05/2023	C	975	Tea	C-28 a C-23	
04/05/2023	A	920	Central Inferior	C-6 a C-9 UC (Ch 7-8).	
04/05/2023	A	1041	Aurora	C-23-24	
05/05/2023	C	868	HME	C-42 a C-47	
05/05/2023	C	935	Peumo	C-8 a C-14 (Ch 9-10)	
05/05/2023	C	1135	Sat. VCS	VCR, primer levante.	
05/05/2023	A	1019	Aurora	C-20 a C-28 UC.	
05/05/2023	A	1135	Sat. VCS	VCR, segundo levante.	
05/05/2023	A	975	Tea	C-22 a C-18	

6.1.2 Obtención de parámetros de diseño

Esta información es ordenada, filtrada y clasificada por tipo de evento, y del formato de carga entregado por el Ingeniero P&T se extrae información adicional necesaria para la obtención de KPI importante, ver *Tabla 6-2* y *Tabla 6-3*.

- Tipo de tronadura (Realce; Banqueo)
- Burden [m]
- Tipo de detonación (NE; E-DAVEY; NE/E)
- Estado de Réflex
- Cantidad de detonadores pirotécnicos
- Cantidad de detonadores electrónicos
- Número de pozos
- Metros barrenados [m]
- Toneladas a tronar [T]
- ANFO equivalente total [kg]

Tabla 6-2: Información de tronadura entregada por Ingeniero P&T a través de formato de carga.

REALCE / BANQUEO	BURDEN	DETONACION (NE/E)	ESTADO REFLEX %	DET PIROTECNICO	DET ELECTRONICOS	N° POZOS	M BARRENADOS REAL (DISEÑO + AUX)	T TRONADAS	ANFO Eq TOT
CH+R	1.6	E- DAVEY	81%	0	40	27	194	448	460

Además de la información general asociada a la tronadura, se entregan los parámetros de diseño de la perforación:

- Diámetro de perforación (mm)
- Largo de pozos (m)
- Taco (m)

Tabla 6-3: Información de parámetros de diseño entregada por Ingeniero P&T a través de formato de carga.

Referencia: Evento 780 Pataguas C02-07 UC (CH05-06).

						DEPARTAMENTO DE PERFORACION Y TRONADURA								FACTOR DE CARGA (KG/TON)	1.03	CALCULÓ:			
						MINERA FLORIDA										DISEÑO B (m):		1.6	
						FORMATO CARGA TRONADURA 780 PATAGUAS C02-07 UC CH05-06										MET. EXPLOTACION		CH+R	
						MÉTODO DE INICIACIÓN		ELECTRONICA		LEY MINERAL	448 ton @ 1.99/ 2.41 Eq 29 OzAu		FECHA:			20-05-2023			
Corrida	Pozo	Rompe	PISO	Tipo Explosivo	Diámetro	Largo Teórico (m)	Taco collar (m)	Taco fondo (m)	Taco Intermedio (m)	Carga de Fondo E.E. (m)	Largo a cargar (m)	SOFTRON (ud)	ANFO PREMIUM por pozo (kg)	ANFO HUMEDO (Kg)	EMULTEX (ud)	ENALINE (mts)	BASE ANFO (Kg)	APD (ud)	Detonador (ud)
C02	1	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	64 mm	7.5	0.8			0	6.7			17				1	1
	2	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	64 mm	7.5	0.8			0	6.7			17				1	1
	3	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	64 mm	7.5	0.8			0	6.7			17				1	1
Sub Total	3					22.5				0	20.1	0.0	0.0	51.8	0.0	0.0	0.0	3.0	3.0
C03	1	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	64 mm	7.5	0.8			0	6.7			17				1	1
	2	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	64 mm	7.5	0.8			0	6.7			17				1	1
	3	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	64 mm	7.5	0.8			0	6.7			17				1	1
Sub Total	3					22.5				0	20.1	0.0	0.0	51.8	0.0	0.0	0.0	3.0	3.0
C04	1	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	64 mm	7	0.8			0	6.2			16				2	2
	2	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	64 mm	7	0.8			0	6.2			16				2	2
	1R	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	64 mm	7	0.8			0	6.2			16				2	2
	2R	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	64 mm	7	0.8			0	6.2			16				2	2
Sub Total	4					28				0	24.8	0.0	0.0	63.9	0.0	0.0	0.0	8.0	8.0
CH 05-06	1	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	71mm	7	0.8			0	6.2			20				2	2
	2	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	71mm	7	0.8			0	6.2			20				2	2
	3	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	71mm	7	0.8			0	6.2			20				2	2
	4	NO	TECHO		127 mm	7	0.8			0	6.2								
	5	NO	TECHO		127 mm	7	0.8			0	6.2								
	6	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	71mm	7	0.8			0	6.2			20				2	2
	7	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	71mm	7	0.8			0	6.2			20				2	2
	8	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	71mm	7	0.8			0	6.2			20				2	2
	9	NO	TECHO		127 mm	7	0.8			0	6.2								
	10	NO	TECHO		127 mm	7	0.8			0	6.2								
	11	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	71mm	7	0.8			0	6.2			20				2	2
	12	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	71mm	7	0.8			0	6.2			20				2	2
	13	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	71mm	7	0.8			0	6.2			20				2	2
Sub Total	13					91				0	80.6	0.0	0.0	177.4	0.0	0.0	0.0	18.0	18.0
C07	1	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	64 mm	7.5	0.8			0	6.7			17				2	2
	2	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	64 mm	7.5	0.8			0	6.7			17				2	2
	1R	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	64 mm	7.5	0.8			0	6.7			17				2	2
	2R	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	64 mm	7.5	0.8			0	6.7			17				2	2
Sub Total	4					30				0	26.8	0.0	0.0	69.0	0.0	0.0	0.0	8.0	8.0
Total	27.0					194.0				0.0	172.4	0.0	0.0	413.8	0.0	0.0	0.0	40.0	40.0

Finalmente, como se muestra en la Figura 6-2, para obtener la pasadura [m], se revisa los diseños para las corridas asociadas al evento a tronar y se estima ese valor.

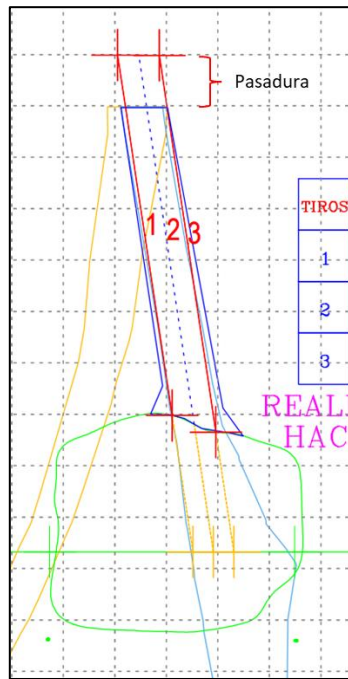


Figura 6-2: Vista en sección con diseño de perforación. Referencia: 780 Pataguas C03.

6.2 Ancho y alto de la veta a explotar

Para obtener la altura de la veta se debe cargar en Vulcan la SMU de diseño, se observa en vista en sección y se mide la distancia entre el techo o piso del NP a explotar y el nivel superior o inferior, según el tipo de explotación, tal como se muestra en la *Figura 6-3*.

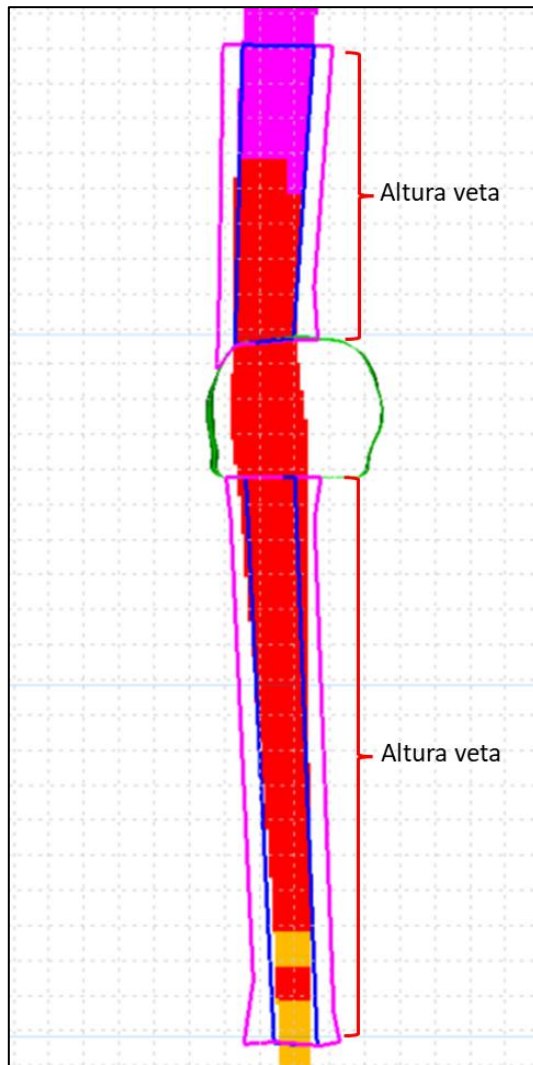


Figura 6-3: Vista en sección con SMU de diseño y dilución, junto con el modelo geológico, marcando la altura de la veta a explotar. Referencia: 1026 SVCS C15 UC/B.

De la misma forma, se continúa calculando el ancho de la veta, obteniendo un promedio entre las mediciones del nivel superior, intermedio e inferior de esta, según la *Figura 6-4*.

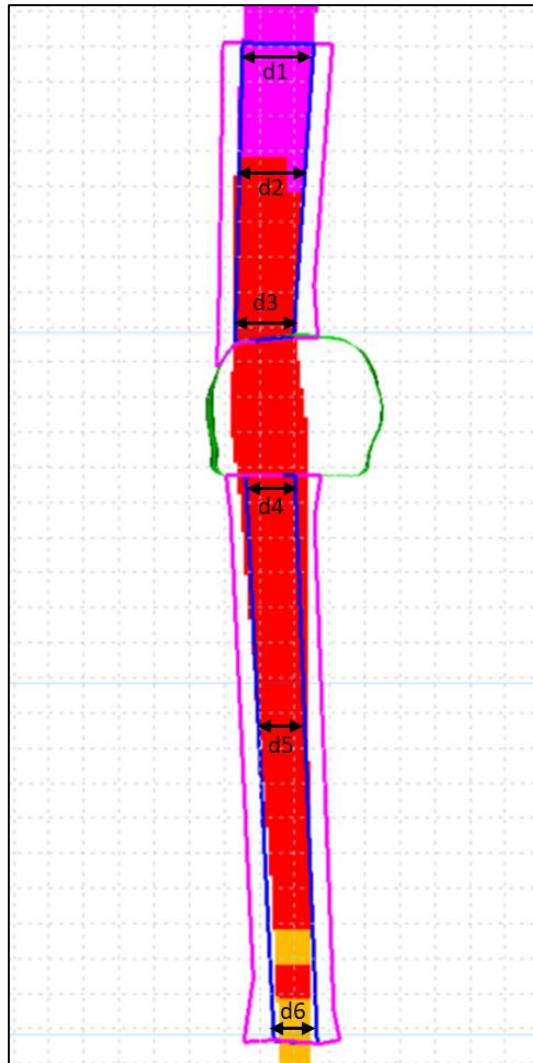


Figura 6-4: Vista en sección con SMU de diseño y dilución, junto con el modelo geológico, marcando las mediciones del ancho de la veta a explotar. Referencia: 1026 SVCS C15 UC/B.

Entonces para calcular el ancho promedio de la veta se utiliza:

$$\text{Ancho veta} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$$

Donde:

- n : número de mediciones
- d_i : distancia de la medición i

6.3 Asignación de Q de Barton

Para el cálculo del Q de Barton, el área de Geomecánica utiliza la siguiente ecuación para la clasificación del macizo rocoso:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

Donde:

- *RQD*: Rock Quality Designation
- J_n : índice de fracturamiento
- J_r : índice de rugosidad
- J_a : índice de alteración
- J_w : condición de agua
- *SRF*: condición de esfuerzos

Teniendo la clasificación de la *Tabla 6-4*.

Tabla 6-4: Clasificación de la calidad de la roca según Q de Barton.

Q de Barton	Calidad de la roca
$Q \leq 1$	Muy mala
$1 < Q \leq 4$	Mala
$4 < Q \leq 11$	Regular
$11 < Q$	Buena

Para la asignación de los valores de la variable para la obtención del Q de Barton ver *Anexos*.

6.4 Cálculo de tonelaje y onzas

Cuando se entrega el formato de carga, en este se indican los antecedentes de la tronadura a realizar, donde se detalla la cantidad de corridas y las SMU a explotar.

Teniendo el número de las SMU a tronar, estas se evalúan en el modelo validado por el área de Corto Plazo, donde por cada SMU se indica:

- Tonelaje
- Ley Au
- Ley Ag
- Ley Zn
- Ley Equivalente
- Onzas Au

Por lo tanto, para los valores del evento a tronar, se utiliza la SMU de dilución y calcula de la siguiente forma:

$$Tonelaje\ a\ tronar = \sum_{i=j}^n Tonelaje\ SMU_i$$

$$Oz\ Au = \sum_{i=j}^n \frac{Tonelaje\ SMU_i \cdot Ley\ Au\ SMU_i}{31.10348}$$

Donde:

- j : SMU inicial a tronar
- n : SMU final a tronar

Este mismo procedimiento es el mismo, tanto para la SMU de diseño y dilución.

6.5 Cálculo de KPI

Los indicadores de rendimiento principales a obtener son:

- *Factor de Carga:* corresponde a la cantidad de explosivo utilizado por tonelada de roca fragmentada durante un evento de tronadura.

$$\text{Factor de Carga} \left(\frac{kg}{T} \right) = \frac{\text{ANFO equivalente total (kg)}}{\text{Tonelaje a tronar (T)}}$$

- *Factor de Perforación:* corresponde a la cantidad de toneladas tronadas por cada metro barrenado durante un evento de tronadura.

$$\text{Factor de Perforación} \left(\frac{T}{mb} \right) = \frac{\text{Tonelaje a tronar (T)}}{\text{metros barrenados totales (mb)}}$$

- *Factor de Onzas Barrenadas:* corresponde a las onzas a extraer por cada metro barrenado durante un evento de tronadura.

$$\text{Factor de Oz Barrenadas} \left(\frac{OzAu}{mb} \right) = \frac{\text{Onzas planificadas a extraer (OzAu)}}{\text{metros barrenados totales (mb)}}$$

6.6 Cubicación de eventos de tronadura

Teniendo el escáner procesado del evento, este se carga en la LP respectiva y se corta entre las corridas del mismo evento, cerciorándose que contenga las SMU mencionadas en el formato de carga.

Para esto es necesario, en primer lugar, verificar en el formato de carga el número de las SMU que se tronaron, y cargarlas en la base de datos de diseño de Vulcan con su respectiva LP, para así delimitar las corridas correspondientes al evento, tal como en la *Figura 6-5*.

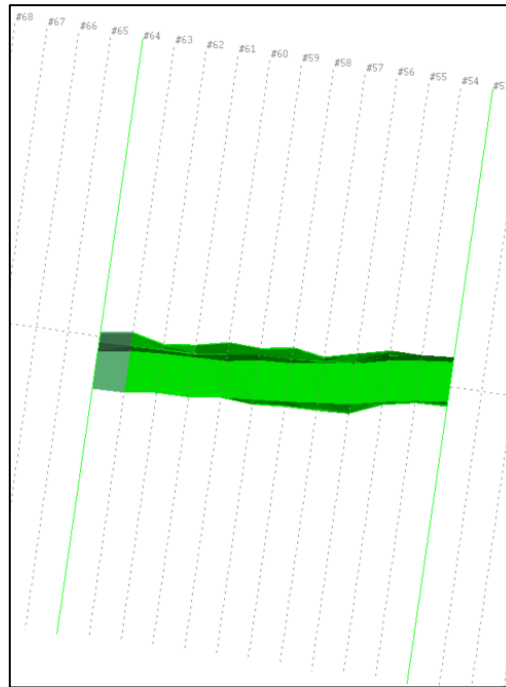


Figura 6-5: SMU cargadas en VULCAN, delimitadas entre sus respectivas corridas. Referencia: Evento 780 Pataguas C54-64 UC, incluye SMU 54-64 UC, delimitado entre C53-64.

Luego, teniendo la delimitación del evento, se carga el escáner de la cavidad dejada por la tronadura, y este se corta entre sus respectivas corridas, teniendo un antes y después de los cortes en la *Figura 6-6* y *Figura 6-7*, respectivamente.

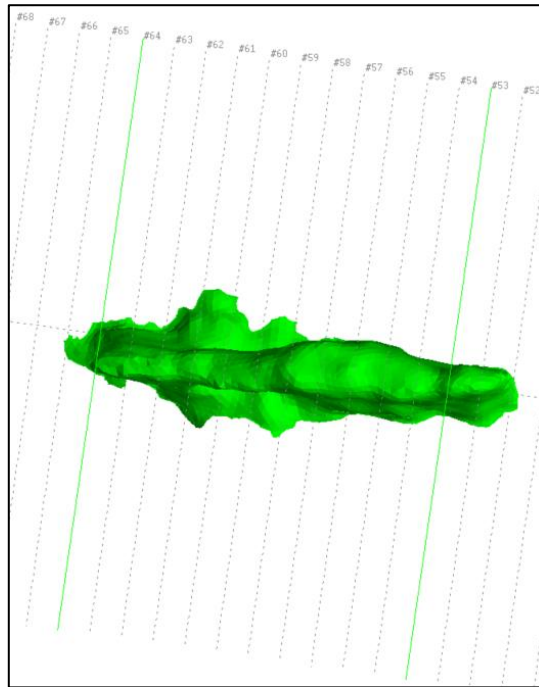


Figura 6-6: Escáner de la cavidad cargada en Vulcan. Referencia: Evento 780 Pataguas C54-64 UC.

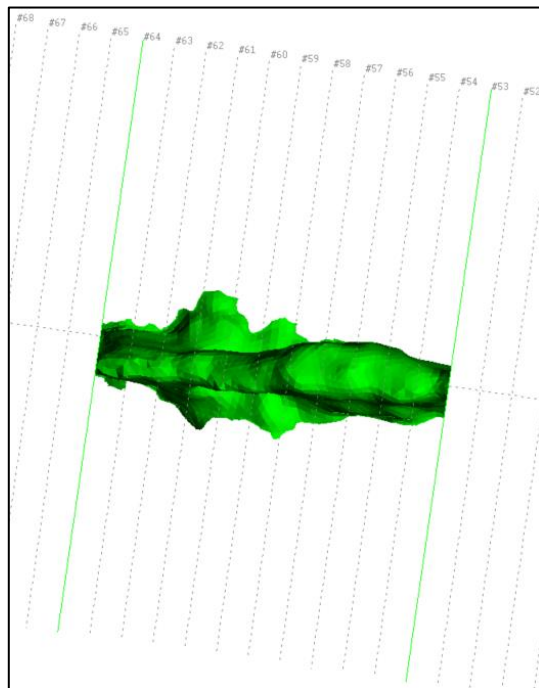


*Figura 6-7: Escáner de la cavidad del evento cargada en Vulcan, cortado entre sus respectivas corridas.
Referencia: Evento 780 Pataguas C54-64 UC, delimitado entre C53-64.*

Teniendo el escáner cortado, se cubica respecto al modelo de bloques de geología de su respectivo sector, para esto se debe ir a la siguiente opción en la barra de herramientas:

- *Block Model* → *Advanced Reserves* → *Advanced Reserves Editor*

En la ventana que se abrirá en el apartado *Design* se especifica el nombre del archivo y el modelo de bloques respectivo.

Luego en *Design* → *Grade Variables* se establece la configuración para las variables a obtener, como muestra la *Figura 6-8*.

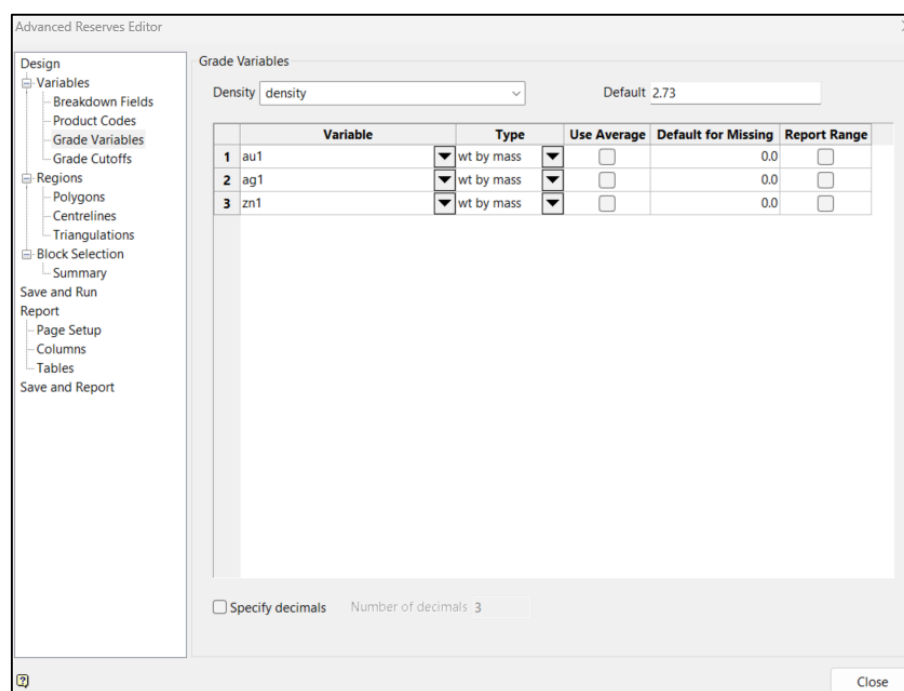


Figura 6-8: Configuración de las variables a obtener en las cubicaciones.

En *Design* → *Regions* → *Triangulations* se selecciona la cavidad del evento, el cual fue delimitado y cortado anteriormente.

Seguidamente en *Design* → *Block Selection* → *Summary* se selecciona la opción *Select all blocks*.

Finalmente, en *Save and Run*, se corre el modelo, arrojando archivos en los formatos *.res*, *.dmp*, *.csv*, donde en este último se podrá visualizar la información en columnas, tales como el modelo de bloques, la región o cavidad cubicada, la ley de Au, Ag, Zn, junto con el volumen y tonelaje total, ejemplificado en la *Tabla 6-5*.

Tabla 6-5: Información de la cavidad cubicada. Referencia: Evento 780 Pataguas C54-64 UC.

SOURCE	REGION	AU1	AG1	ZN1	TOTAL_VOLUME	TOTAL_MASS
05_CP_Patagua_780_May23_V2.bmf	PATAGUAS_780	1.569573348	384861125	0.642243922	223.6070937	61.4473658

Acabado el proceso de cubicación, se evalúa para calcular el tonelaje y las Oz Au.

6.7 Determinación de resultado de tronadura

Teniendo la información de las cubicaciones se determina el resultado de la tronadura según la dilución y onzas recuperadas.

6.7.1 Resultado según dilución

Para determinar el resultado en cuanto a dilución, primero se compara el tonelaje real cubicado con el tonelaje planificado por formato de carga, calculado con el sólido de dilución.

$$\text{Dilución (T)} = \text{Tonelaje cubicado (T)} - \text{Tonelaje planificado (T)}$$

Cuando este valor es positivo, se asume que el evento posee dilución, y para confirmar que efectivamente se diluyó se comparan las leyes de Au. Por lo tanto, cuando la $\text{Ley Au}_{\text{Cubicado}} < \text{Ley Au}_{\text{Planificado}}$ el evento posee dilución, caso contrario, se obtiene mineral que aporta al plan.

Para determinar el resultado de la tronadura en cuanto a tonelaje se utilizan la siguiente fórmula y se clasifica según porcentaje de dilución con los resultados de la *Tabla 6-6*.

$$\text{Dilución (\%)} = \frac{\text{Dilución (T)}}{\text{Tonelaje planificado (T)}} \cdot 100$$

Tabla 6-6: Resultado de tronadura según dilución.

Dilución (%)	Resultado
<i>Dilución (%) ≤ 10%</i>	Bueno
<i>10% < Dilución (%) ≤ 15%</i>	Regular
<i>15% < Dilución (%)</i>	Malo

6.7.2 Resultado según mineral no recuperado

Para determinar el resultado según el mineral no recuperado, se debe comparar las onzas obtenidas en la cubicación con las onzas del sólido de diseño.

$$Oz\ Au\ no\ recuperadas = Oz\ Au\ cubicadas - Oz\ Au\ SMU_{Diseño}$$

Cuando este valor es negativo, quiere decir que parte del mineral no fue minado en el evento, por lo cual se considera como mineral no recuperado.

Para determinar el resultado de la tronadura en cuanto a mineral no recuperado se utiliza la siguiente fórmula y clasificación según porcentaje de recuperación con los resultados de la Tabla 6-7 .

$$Oz\ Au\ no\ recuperadas\ (\%) = \frac{Oz\ Au\ no\ recuperadas}{Oz\ Au\ SMU_{Diseño}} \cdot 100$$

Tabla 6-7: Resultado de tronadura según recuperación.

Oz Au no recuperadas (%)	Resultado
<i>-4% < Oz Au no recuperadas (%)</i>	Bueno
<i>8% < Oz Au no recuperadas (%) ≤ -4%</i>	Regular
<i>Oz Au no recuperadas (%) ≤ -8%</i>	Malo

6.7.3 Resultado general de tronadura

Para el resultado final de la tronadura, se utiliza la distinción de la Tabla 6-8.

Tabla 6-8: Resultado de tronadura según cruce de información entre dilución y recuperación.

		Dilución (%)		
		Bueno	Regular	Malo
Oz Au no recuperadas (%)	Bueno	Bueno	Bueno	Malo
	Regular	Bueno	Regular	Malo
	Malo	Malo	Malo	Malo

Además, cuando una tronadura posee un bajo tonelaje planificado, y por lo tanto un bajo aporte de onzas, el resultado de esta tronadura se considerará regular cuando la diferencia de tonelaje es menor a 50 (T) y la diferencia de mineral menor a 10 Oz.

6.8 Cálculo dilución porcentual y métrica

6.8.1 Dilución porcentual y métrica planificada para un evento

Teniendo los resultados de la tronadura, se procede a realizar el cálculo de la dilución planificada para cada evento.

$$Dil\ planificada\ (T) = Tonelaje\ planificado\ (T) - Tonelaje\ SMU_{Diseño}$$

$$Dil\ planificada\ (\%) = \frac{Dil\ planificada\ (T)}{Tonelaje\ planificado\ (T)} \cdot 100$$

De esta forma, y teniendo los parámetros de diseño de cada evento, se calcula la dilución métrica planificada del evento.

$$Dil\ met\ planificada\ (m) = \frac{Dil\ planificada\ (T)}{\rho_{roca} \left(\frac{T}{m^3} \right) \cdot Altura\ SMU\ (m) \cdot Burden\ (m) \cdot N^{\circ}\ Corridas}$$

6.8.2 Dilución porcentual y métrica no planificada para un evento

De manera análoga, se realiza el cálculo de la dilución no planificada.

$$Dil\ no\ planificada\ (T) = Tonelaje\ cubicado\ (T) - Tonelaje\ planificado\ (T)$$

Si este valor es negativo, se recalcula de la siguiente forma.

$$Dil\ no\ planificada\ (T) = Tonelaje\ SMU\ diseño\ (T) - Tonelaje\ planificado\ (T)$$

Así, se obtiene la dilución no planificada porcentual.

$$Dil\ no\ planificada\ (\%) = \frac{Dil\ no\ planificada\ (T)}{Tonelaje\ planificado\ (T)} \cdot 100$$

Luego se calcula la dilución métrica no planificada del evento.

$$Dil\ met\ no\ planificada\ (m) = \frac{Dil\ no\ planificada\ (T)}{\rho_{roca} \left(\frac{T}{m^3} \right) \cdot Altura\ SMU\ (m) \cdot Burden\ (m) \cdot N^{\circ}\ Corridas}$$

6.8.3 Dilución porcentual y métrica total para un evento

Teniendo ambos cálculos realizados anteriormente, se obtiene la dilución total.

$$Dil\ total\ (\%) = Dil\ planificada\ (\%) + Dil\ no\ planificada\ (\%)$$

$$Dil\ met\ real\ (m) = Dil\ met\ planificada\ (m) + Dil\ met\ no\ planificada\ (m)$$

6.8.4 Dilución porcentual y métrica en un evento fallido

Cuando una tronadura no alcanza la altura planificada, la SMU de dilución debe modificarse hasta la altura que llega la cavidad para cada corrida respectiva del evento, como en la *Figura 6-9*.

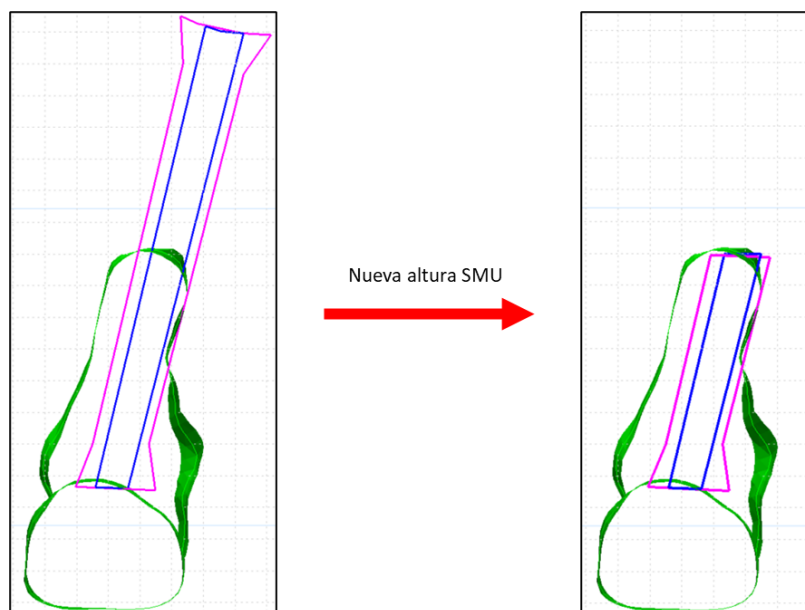


Figura 6-9: Ajuste de diseños según altura alcanzada por tronadura.

Teniendo la nueva altura, se crea un sólido con los nuevos diseños de SMU, representados como en la *Figura 6-10*.

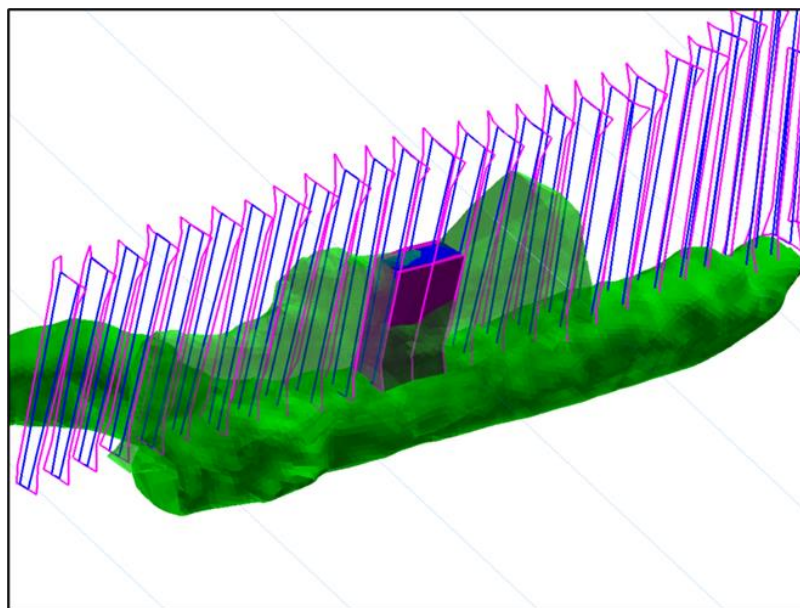


Figura 6-10: Creación de nueva SMU según altura alcanzada por tronadura.

Luego se cubican estas nuevas SMU, obteniendo sus tonelajes y calcula la dilución métrica planificada y no planificada, junto con su respectiva dilución métrica real.

6.8.5 Dilución porcentual y métrica para mas de un evento

Para obtener la dilución total en más de un evento, como es el caso de un turno o una semana, según se solicite, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Dil\ planificada\ total\ (T) = \sum_{i=1}^n Dil\ planificada_i\ (T)$$

$$Dil\ no\ planificada\ total\ (T) = \sum_{i=1}^n Dil\ no\ planificada_i\ (T)$$

Así mismo para la dilución porcentual se considera el total de los eventos del rango de tiempo solicitado.

$$Dil\ planificada\ total\ (\%) = \frac{\sum_{i=1}^n Dil\ planificada_i\ (T)}{\sum_{i=1}^n Tonelaje\ planificado_i\ (T)} \cdot 100$$

$$Dil\ no\ planificada\ total\ (\%) = \frac{\sum_{i=1}^n Dil\ no\ planificada_i\ (T)}{\sum_{i=1}^n Tonelaje\ planificado_i\ (T)} \cdot 100$$

$$Dil\ real\ total\ (\%) = Dil\ planificada\ total\ (\%) + Dil\ no\ planificada\ total\ (\%)$$

Teniendo todos estos datos y el número de tronaduras totales, se considera la dilución métrica planificada y no planificada considerando un promedio ponderado de la dilución métrica real de cada evento.

$$Ponderación\ evento_i \frac{Dil\ planificada_i\ (T)}{\sum_{j=1}^n Tonelaje\ planificado_j\ (T)}$$

$$Dil\ met\ planificada\ total\ (m) = \sum_{i=1}^n (Dil\ met\ planificada_i\ (m) \cdot Ponderación\ evento_i)$$

$$Dil\ met\ no\ planificada\ total\ (m) = \sum_{i=1}^n (Dil\ met\ no\ planificada_i\ (m) \cdot Ponderación\ evento_i)$$

$$Dil\ met\ real\ total\ (m) = Dil\ met\ planificada\ total\ (m) + Dil\ met\ no\ planificada\ total\ (m)$$

Donde:

- n : número de eventos

6.8.6 Dilución porcentual y métrica para un evento con diferentes alturas

Cuando en un mismo evento se alcanzan diferentes alturas en las corridas, se hace el mismo procedimiento anterior para cada sector, mostrado en la *Figura 6-11*, y se promedian las diluciones métricas para obtener la dilución del evento.

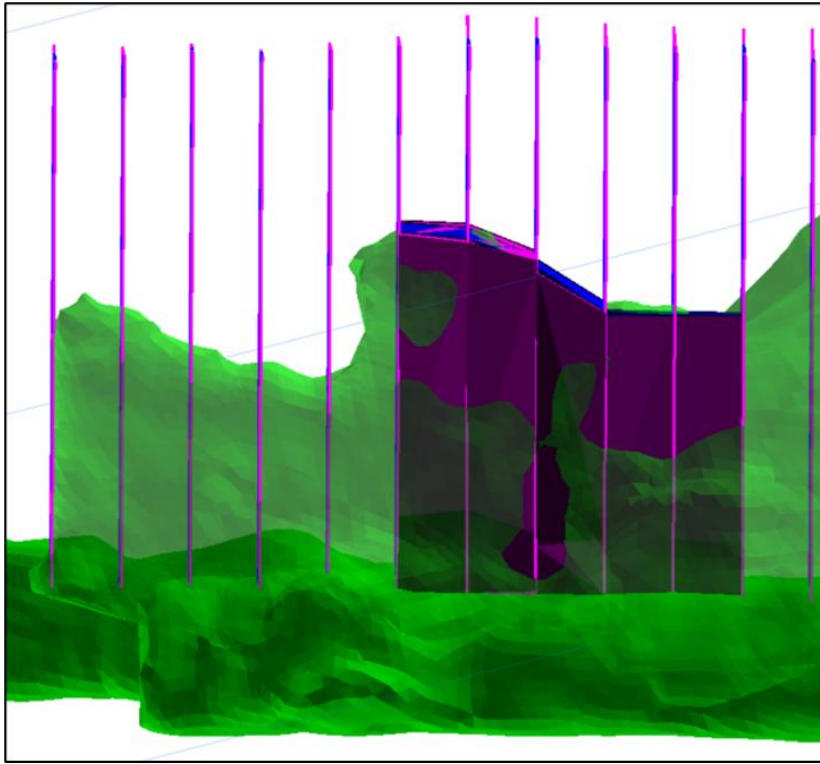


Figura 6-11: Creación de nueva SMU para diferentes alturas alcanzadas por tronaduras en mismo sector.

De esta forma, se calcula la dilución métrica real.

$$\text{Dilución métrica real (m)} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Dil met real } S_i}{n}$$

Donde:

- S_i : Sector número i
- n : número de eventos

6.9 Influencia del explosivo

Teniendo el resultado de la tronadura se obtiene la influencia del explosivo por cada evento, el cual se mide desde el tiro medido por el Réflex a la roca caja, promediando las distancias obtenidas cuando la tronadura es irregular.

Por otra parte, si la tronadura es ajustada al diseño, la influencia del explosivo se calcula de la siguiente forma.

$$Influencia\ explosivo\ (m) = \frac{\left(\frac{Tonelaje\ Cubicado\ (T)}{\rho_{roca} \left(\frac{T}{m^3} \right) \cdot Altura\ cavidad\ (m) \cdot Burden\ (m)} \right)}{N^{\circ}\ pozos}$$

6.10 Creación de base de datos de P&T

A partir de la información mencionada anteriormente se construye una base de datos digital con los parámetros de diseño, diversos KPI, antecedentes de la tronadura y resultados de esta.

Con la base se creará una planilla de Power BI en la cual se filtrará según:

- Ancho de la veta
- Altura de la veta
- Q de Barton

Esta entregará el factor de carga a utilizar en el bloque con las características seleccionadas, junto con recomendaciones de diseño y la influencia del explosivo.

7. CAUSAS DE TRONADURA FALLIDA

En el presente estudio se pretende identificar las principales causas por la cual una tronadura resulta fallida, las cuales retrasan el plan de producción, generan dilución no planificada aumentando los costos de procesamiento. Por otra parte, cuando no se alcanza el tonelaje planificado, queda mineral no recuperado que se debe alcanzar con tronaduras posteriores, generando un gasto de recursos.

A continuación, se presentan las principales causas por las cuales la tronadura resulta fallida.

7.1 Mala calidad de perforación

Cuando se habla de calidad de perforación se hace referencia al estado de los tiros mediante el levantamiento con el equipo Réflex, el cual, tras su posterior análisis se detecta si existen tiros desviados o cruzados que se encuentran fuera del diseño, así también si se requiere perforación auxiliar.

En la *Figura 7-1* y *Figura 7-2*, se muestra resultados de levantamiento de Réflex, evidenciando tiros desviados, destacar que la información obtenida de este análisis es fundamental para realizar el formato de carga de la tronadura, sobre todo en las tronaduras de apertura para generar la cara libre necesaria para continuar con la explotación del bloque.

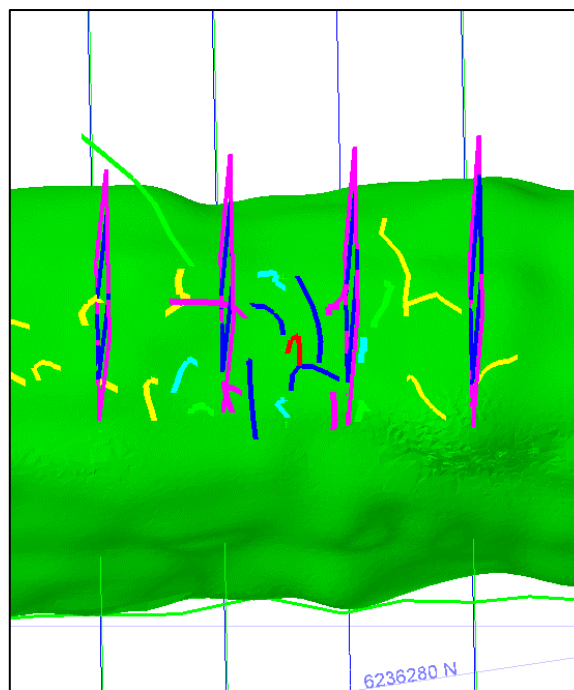


Figura 7-1: Vista planta con levantamiento Réflex. Referencia: Evento fallido 920 SVCI C06-09 UC.

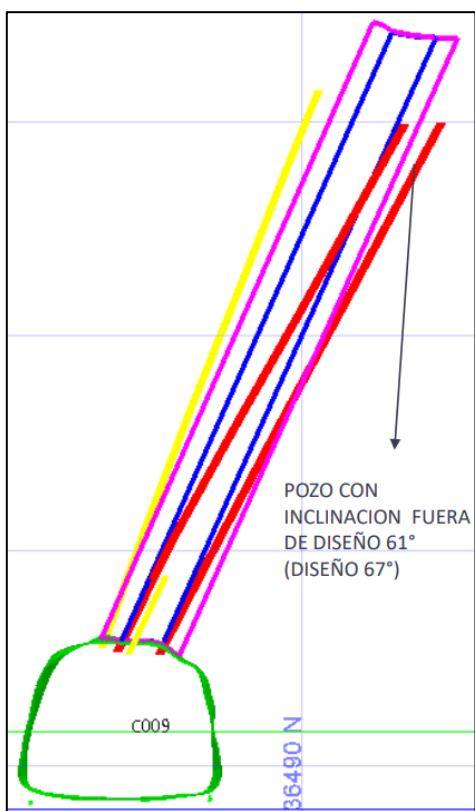


Figura 7-2: Vista en sección C09 con levantamiento Réflex. Referencia: Evento fallido 920 SVCI C06-09 UC.

7.2 Falla operacional

Las fallas operacionales pueden ser variadas y afectan directamente en la calidad de perforación y posterior tronadura, algunas de las causas más comunes de este tipo son:

- Falta de experiencia del operador al momento de perforar chimeneas, debido a que poseen una distribución de tiros más compleja y es importante que esta se realice de forma correcta para obtener un buen resultado de tronadura y continuar con el proceso de explotación del bloque.
- Descuidos operacionales de los operadores al obtener mayor cantidad de metros perforados, sin considerar su calidad, obteniendo pozos desviados o cruzados.
- No utilizar aceros o bits en buen estado, los cuales pueden estar gastados.

- Mal posicionamiento del equipo de perforación, que afecta directamente en la dirección de perforación.
- No entregar el formato de carga a los operadores encargados del carguío, por lo que este no tiene conocimiento de que tiros cargar y debe realizar un estimativo de cuanto explosivo incorporar en cada pozo.
- Presión en el confinamiento del explosivo inadecuada en el proceso de carguío, alterando las propiedades de este, lo cual afecta directamente a la influencia sobre la roca.
- Tiempo excesivo de carguío, esto sucede cuando hay demoras en el proceso y se debe terminar en el siguiente turno, entonces tras dejar mucho tiempo el explosivo expuesto pierde sus propiedades y se produce desconfinamiento en el pozo, disminuyendo la energía liberada al detonarse, obteniendo como resultado un menor tonelaje a lo planificado.

7.3 Secuencia de detonación no óptima

Cuando no se tiene un levantamiento de Réflex o este no entrega la información total de los tiros, la secuencia de detonación debe realizarse de forma teórica, es decir, omitiendo la existencia de tiros cortos, desviado y/o cruzados, ejecutando la iniciación desde las primeras corridas, por lo tanto, conlleva un mayor riesgo a que la tronadura no obtenga el resultado esperado.

7.4 Presencia de estructura geológica

Al momento de diseñar el sólido de dilución es importante considerar todas las estructuras geológicas presentes, tales como fallas y diques, destacada en la *Figura 7-3*, como así también cavidades cercanas, por lo que, si estas se pasan por alto, puede provocar desviaciones en el plan al momento de perforación y posterior tronadura.

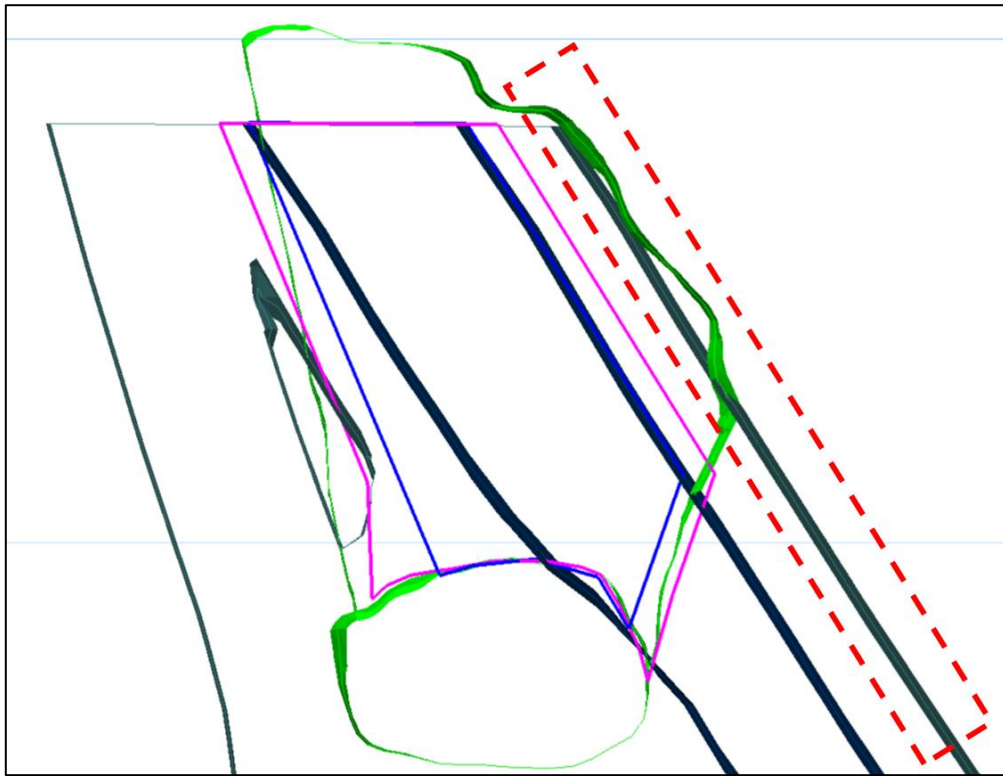


Figura 7-3: Vista de sección para evento con estructura presente, marcada por línea punteada roja.

7.5 Presencia de agua

Además de dificultar el proceso de carguío, se ha observado que el explosivo ANFO en presencia de agua pierde sus propiedades químicas, por lo que es necesario aplicar una manga de protección para evitar los efectos adversos y bajar el riesgo de tronadura fallida.

7.6 Parámetros de diseño no adecuado

Cuando se tiene una tronadura fallida por diseños no óptimos, esto se ve reflejado en el fracturamiento de la roca, observando que cuando una tronadura no alcanza la altura planificada y el material se encuentra muy fracturado, se debe a un espaciamiento o burden menor al recomendado. Así mismo, si este material está en forma de bolones de gran tamaño, se debe a exceso en los parámetros.

También cuando el evento de tronadura alcanza una altura mayor a la planificada, se debe a no tomar en cuenta la utilización del taco de fondo.

Además, estos parámetros de diseño afectan directamente en el cálculo del KPI de factor de carga, por lo que, mientras mayor sea este valor, más energía se aplicará al evento, por lo que se debe tener en cuenta controlar este indicador, para evitar dilución.

8. PROPUESTA DE MEJORA

8.1 Caracterización de tronadura fallida

Con la base de datos histórica de tronaduras junto al informe de tronadura fallida realizado por el ingeniero P&T se identifican las causas que llevaron a dicho resultado, con el propósito de establecer mejores prácticas, desarrollando con el tiempo una estandarización en los procesos críticos, con un plan de mejoramiento continuo y sustentable en el tiempo

8.2 Visualización de resultados

Con la metodología propuesta se presenta en forma semanal y mensual las estadísticas en cuanto a indicadores de dilución y mineral no recuperados para cada turno o séptima, identificando los resultados de las tronaduras de cada grupo, junto con las mejoras en cuanto a dilución métrica.

8.2.1 Dilución

La dilución se presentará por turno o semana, según se solicite, como tonelaje, considerando la suma de la diferencia entre el tonelaje real y planificado para cada evento, donde un valor positivo considera un envío de estéril a la planta, y un valor negativo un envío de mineral de ley mayor a lo planificado.

8.2.2 Onzas no recuperadas

Complementando la información anterior, el mineral no recuperado se reportará sumando las onzas no recuperadas de cada evento cuando el valor obtenido sea negativo, indicando que existe mineral sin minar dejado por tal tronadura.

8.2.3 Entrega de estadísticas semanal (Weekly)

Esta información se presentará semanalmente (de Lunes a Domingo) destacando la información de la *Tabla 8-1* y *Tabla 8-2*.

- Semana
- Onzas planificadas
- Onzas no recuperadas
- Recuperación (%)
- Dilución planificada (%)
- Dilución no planificada (%)
- Dilución real (%)
- Dilución métrica planificada (m)
- Dilución métrica real (m)
- Causas dilución no planificada
- Causas onzas no recuperadas

Tabla 8-1: Resultado general de semanal (Weekly).

Semana	Oz Plan	Oz No Rec	% Recuperación	Dilución % Planificada	Dilución % No Planificada	Dilución Real Total %	Dilución Métrica Planificada	Dilución Métrica Real
S30	1364	74	94.6%	39.5%	-17.3%	22.2%	1.03	0.81

Tabla 8-2: Causas de dilución no planificada y onzas no recuperadas para semanal (Weekly).

Causas dilución no planificada	Causas Oz No Rec
986 Falla Hallazgo en dos eventos, dilución estructural producida por el cambio de rumbo entre la apertura iniciada en estocada y la continuidad de explotación que se da en NP. Además la geometría de explotación del caserón, se acopla a los límites de la Falla Hallazgo. - C16-19 UC : 313 ton - C15-13 UC : 126 ton	980 Don Leopoldo en cuatro eventos, onzas cazadas por subexcavación en cajas producto de la utilización de emulsión lo que provoca una tronadura mas ajustada en una zona de alta ley. - C37-39 B : 19 Onzas no recuperadas - C40-42 B : 12 Onzas no recuperadas - C43-45 B : 3 Onzas no recuperadas - C49-51 B : 12 Onzas no recuperadas
	1003 Aurora en un evento, se produce error en la programación de la tronadura de apertura, lo que provoca el empotramiento del disparo en la segunda capa de la tronadura. - C08-12 UC (CH09-10) : 13 Onzas no recuperadas

8.2.4 Entrega de estadísticas semanal (por turno o séptima)

Adicionalmente, para la visualización de resultados, se entrega un informe semanal por turno o séptima, el cual se considera desde el turno A (día) del Miércoles al turno C (noche) del siguiente Miércoles, este indica lo presentado en la *Figura 8-1*.

- Fechas de la semana del informe
- Tronaduras totales y fallidas
- Datos entregados por diseño de tronadura, tonelaje a remover y onzas planificadas, obtenido del formato de carga realizado por ingeniero P&T
- Datos obtenidos por cubicaciones, tonelaje removido y onzas minadas
- Dilución total real (T)
- Onzas no recuperadas
- Metros barrenados por diseño (mb), obtenido por formato de carga realizado por ingeniero P&T
- Metros barrenados de corridas (mb), obtenido de informe diario COM, considerando metros barrenados en corridas de perforación, chimeneas realce y VCR, y escareados.
- Metros de servicio (mb), obtenido de informe diario COM, considerando metros barrenados por tiros de servicio, auscultación y otros.
- Metros de repaso (mb), obtenido de informe diario COM, considerando metros de repaso y auxiliares solicitados para la tronadura.
- Gráfico comparativo de tonelaje planificado y cubicado por bloque
- Gráfico comparativo de onzas planificadas, cubicadas y no recuperadas por bloque

- Gráfico comparativo de metros barrenados por diseño y real (corridas, servicios, auxiliares) por día
- Detalle de cubicaciones por bloque (corrida inicial y final, tonelaje por diseño y cubicado, dilución, onzas planificadas, minadas y no recuperadas)
- Observaciones de tronaduras fallidas por dilución no planificada y onzas no recuperadas.

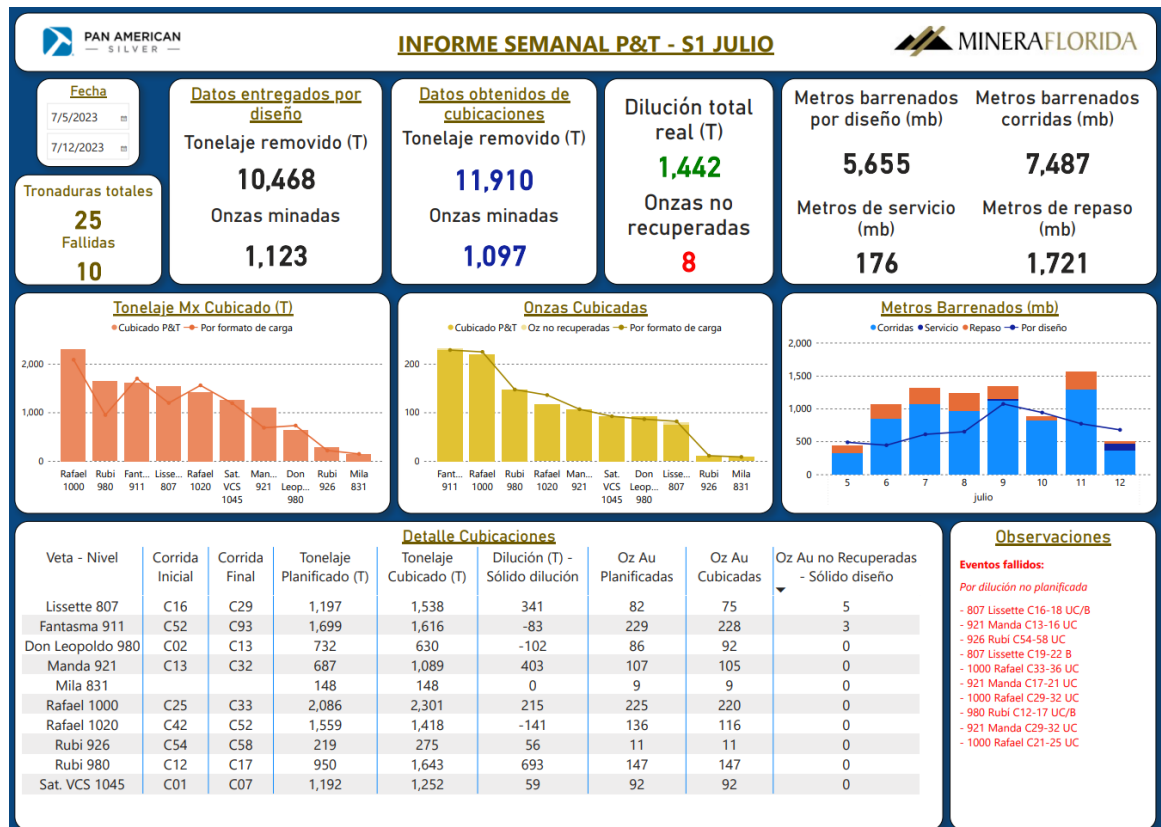


Figura 8-1: Dashboard entregado con información general según fechas requeridas.

8.3 Determinación de parámetros de diseño

Para la determinación de parámetros de diseño y factor de carga adecuado, en la planilla interactiva de Power BI, se ingresan como inputs el Q de Barton de la roca, junto con el ancho y alto de la veta, mostrados en la Figura 8-2.

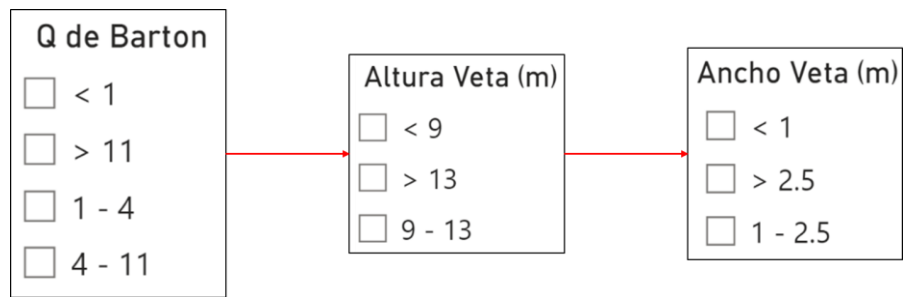


Figura 8-2: Determinación de parámetros de bloque entrante a producción.

Ingresando los parámetros indicados, se entregan las recomendaciones de diseño de la Figura 8-3, siendo los más importantes el diámetro de perforación y burden, teniendo como espaciamiento la influencia del explosivo.

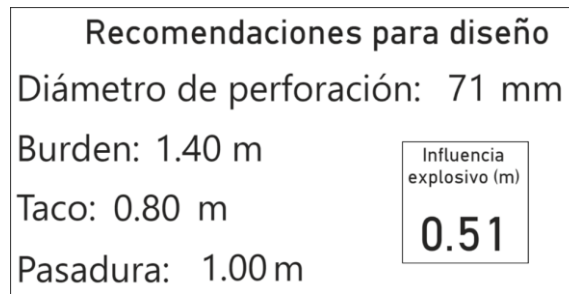


Figura 8-3: Recomendación de diseño entregada según base de datos.

Además, entrega el factor de carga y perforación a utilizar para los inputs ingresados, junto con las tronaduras totales y fallidas, como en la Figura 8-4.



Figura 8-4: Resultados de total de tronaduras y fallidas, junto con el factor de carga y perforación según parámetros seleccionados.

9. IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

Esta base es implementada en el área de P&T, la cual entrega recomendaciones para diseñar las corridas de perforación, descartando los diseños utilizados en las tronaduras fallidas, basándose en los resultados regulares y buenos históricos, disminuyendo las tronaduras fallidas que tienen como causa el diseño inadecuado.

Además, con esta se tendrá una base que sostendrá la disminución del ELOS de diseño en ciertos sectores, considerando la influencia del explosivo y la dilución planificada y no planificada.

Se comienza a implementar desde Marzo 2023 para la disminución del ELOS y desde Junio 2023 para la determinación de parámetros de diseño.

9.1 Análisis tronaduras fallidas

Considerando que hasta mediados del 2023 no se tuvo cambios en cuanto a diseño y utilización de explosivo, gran parte de las tronaduras fallidas corresponden a dilución, graficadas en la *Figura 9-1*, esto debido a que no se tenía sectorizada la mina, en cuanto a calidad de roca, por lo que el factor de carga utilizado en general siempre era el mismo, aproximadamente 1,10 (Kg explosivo / tonelaje a remover).

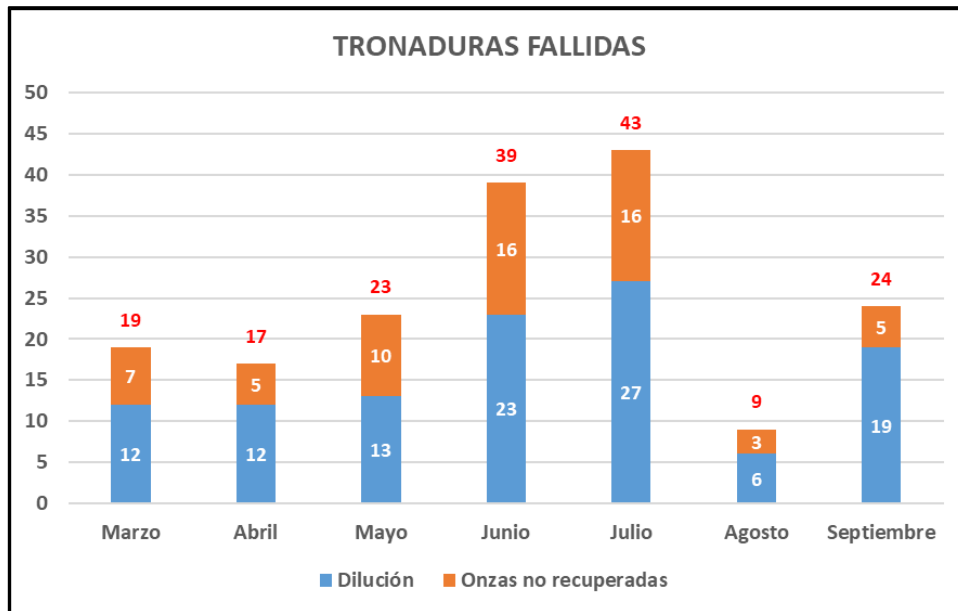


Figura 9-1: Gráfico de tronaduras fallidas por mes, según dilución y recuperación.

En cuanto a las tronaduras fallidas por mineral no recuperado, se le realizó informe para reconocer las causas por las cuales la tronadura no obtuvo el resultado esperado, teniendo como principales causas la calidad de perforación y presencia de estructura, tal como se muestra en la *Figura 9-2*.

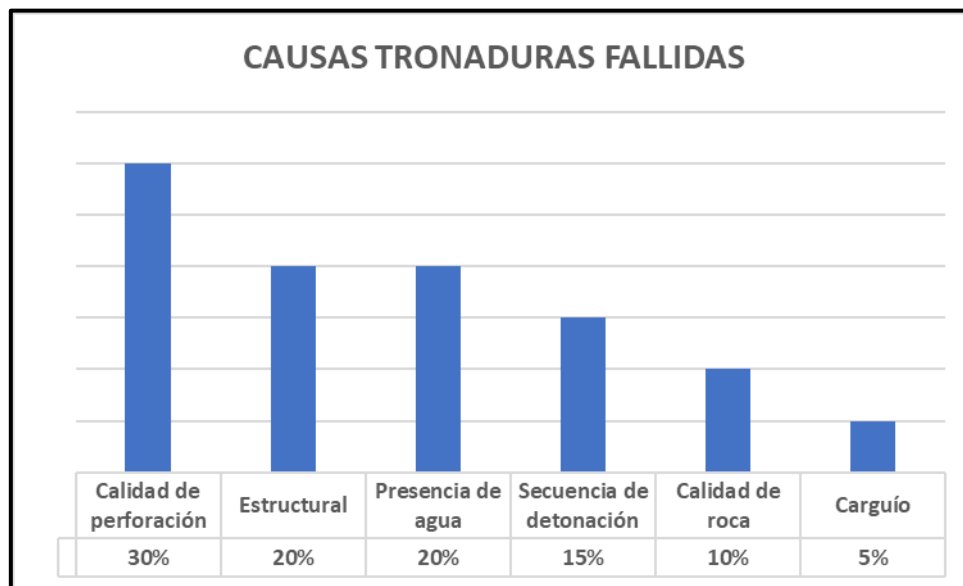


Figura 9-2: Gráfico porcentual de causas de tronaduras fallidas.

Si bien, en el informe que realiza el área de P&T se reconoce una principal causa para la tronadura fallida, estas se relacionan entre sí, por ejemplo, el resultado de la perforación depende de la calidad de la roca y si existe alguna estructura no reconocida, así también, el carguío puede presentar problemas por la presencia de agua o fallas existentes que hace que los pozos se desgranen. De esta forma, la única causa que es independiente de las otras es la secuencia de detonación, que lleva consigo un análisis del réflex deficiente.

9.2 Resultados con planilla de parámetros

Aplicada la planilla de parámetros se logró sectorizar la mina en cuanto a calidad de roca, obteniendo resultados en bloques entrantes durante el mes de Julio, siendo los resultados observables en el mes de Agosto, disminuyendo considerablemente las tronaduras fallidas.

En la *Figura 9-3* se observa el resultado de tronaduras en forma porcentual desde Enero a Julio.

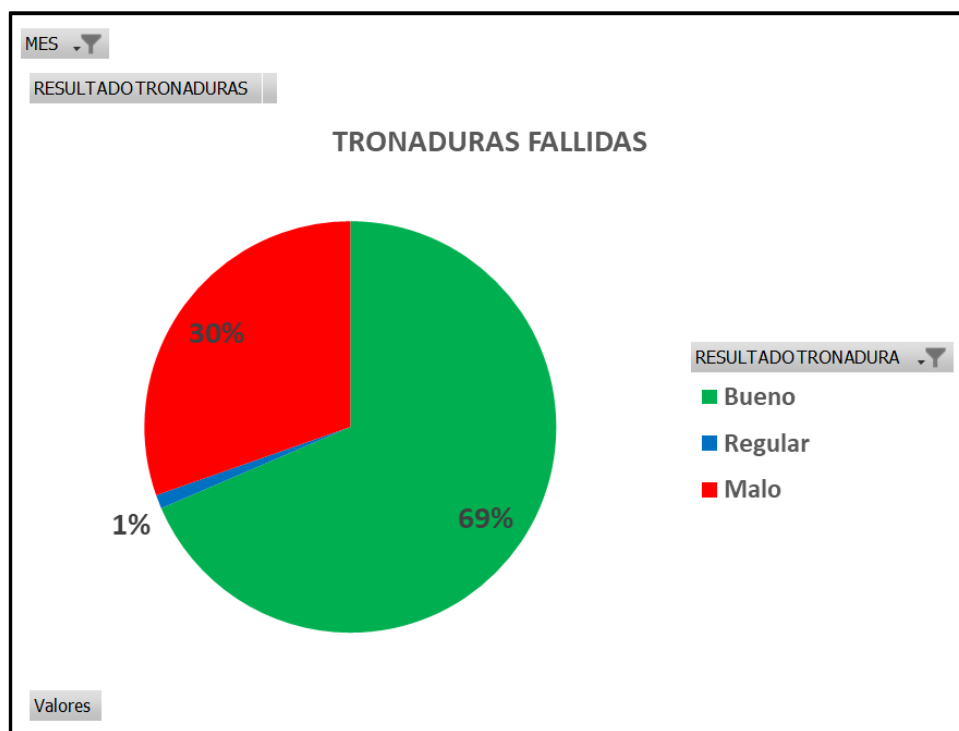


Figura 9-3: Gráfico porcentual del resultado del total de tronaduras.

La *Figura 9-4* muestra los resultados de tronaduras luego de aplicada la planilla de parámetros, disminuyendo en un 8% las tronaduras con resultado malo.

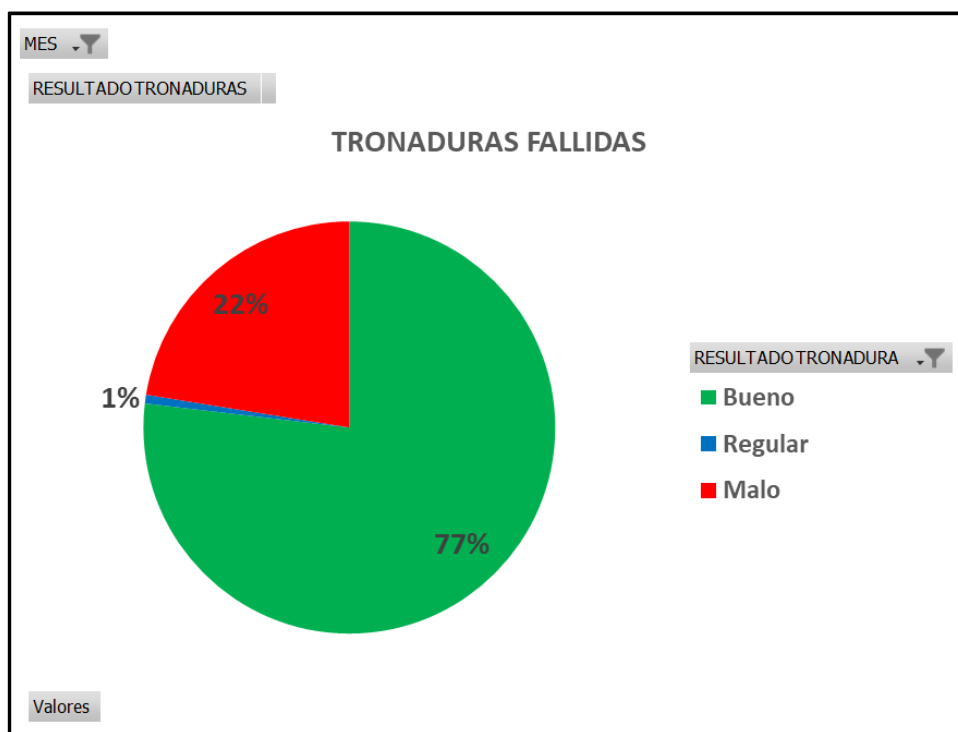


Figura 9-4: Gráfico porcentual del resultado del total de tronaduras luego de aplicada propuesta de memoria.

En la *Figura 9-5* se especifica Julio, el cual fue el mes con mayor porcentaje de tronadura fallida, siendo de un 44%, y se pasó a un 13% ajustando los bloques entrantes a la planilla de parámetros, siendo importante la disciplina que se tuvo al aplicarla, dándole énfasis en la calidad de roca del bloque a explotar junto con el respectivo Factor de Carga.

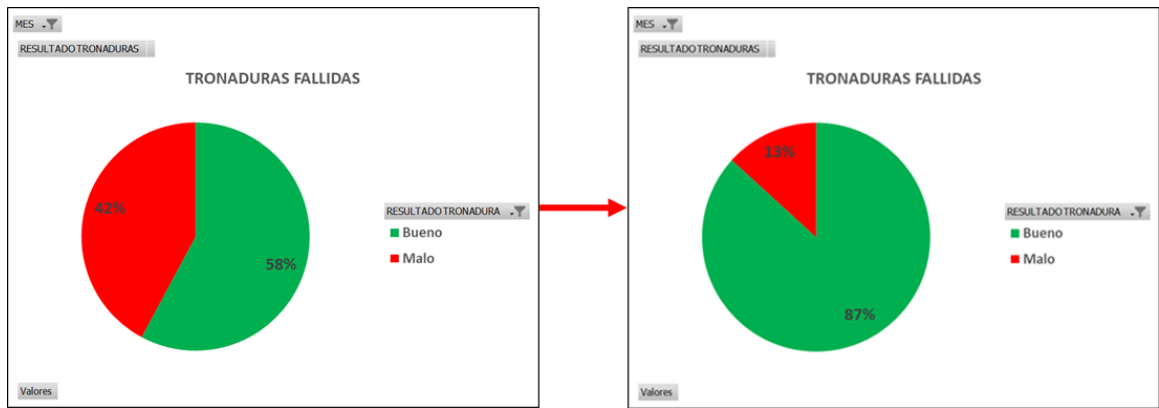


Figura 9-5: Comparación de gráficos porcentuales del resultado de tronadura de Julio a Agosto.

La Figura 9-6 presenta el resumen de la base de datos, evidenciando el impacto que tiene el Q de Barton en los KPI, observando una relatividad inversa en cuanto al Factor de Carga y Factor de Perforación, sobre todo en sectores donde en un mismo bloque o sector de la mina se presenta un cambio significativo en la calidad de roca.

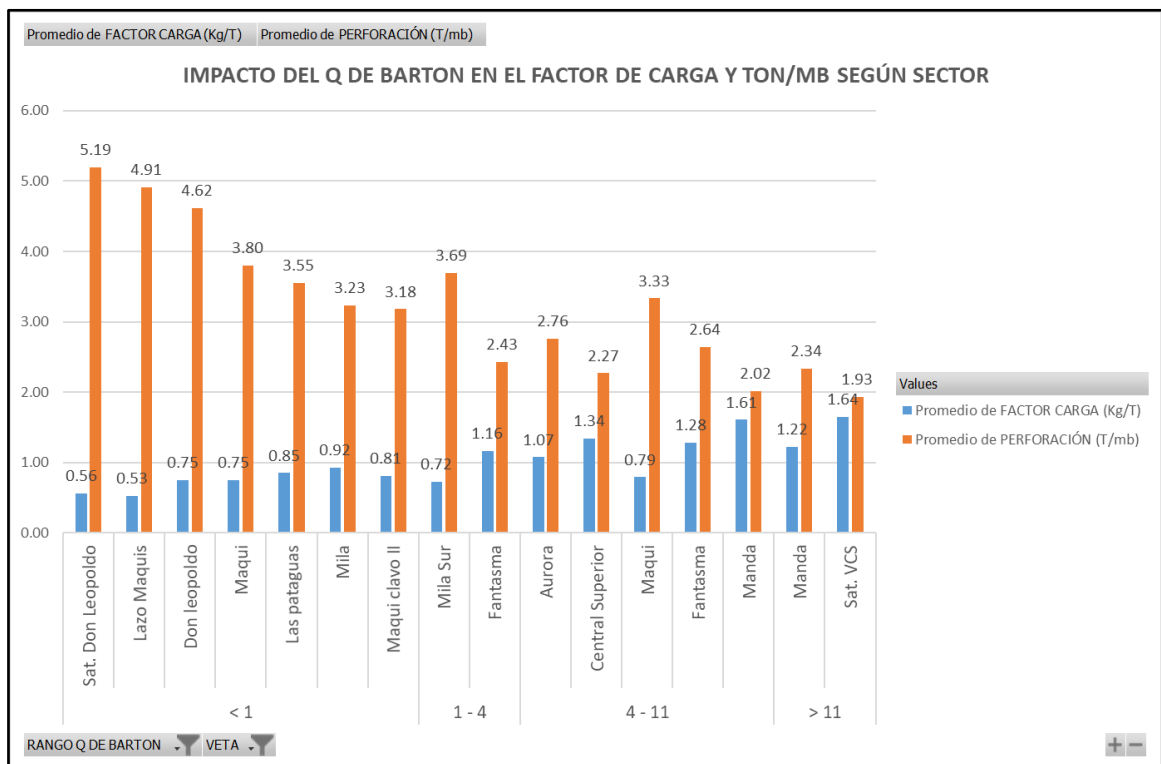


Figura 9-6: Gráfico de Factor de carga y perforación según Q de Barton.

Ejemplo de este cambio en la calidad de roca es el bloque de Maqui-Mila, donde se tuvo resultados con dilución, pasando a tener onzas no recuperadas por subexcavación durante el primer semestre del año, esto debido al cambio en la calidad de roca, el cual fue observable mediante la base de datos.

Así mismo, en los bloques de mala calidad como los sectores de Don Leopoldo y Pataguas se tiene un Factor de Carga más bajo, y durante el primer semestre la causa de tronadura fallida es la calidad de roca, junto con presencia de estructura, dando como resultado dilución no planificada, por lo que para mitigar esto se ajustó el diseño al Factor de Carga, con menos tiros por corrida y dejar de cargar los tiros de alguna caja en el caso de ser necesario.

Para el caso opuesto, en los sectores de Manda y SVCS, se determinó que el Factor de Carga a utilizar es el más alto, debido a la calidad de roca, también se ajustaron los diseño, añadiendo tiros réplicas a las corridas donde la veta es angosta, y utilizando ANFO aluminizado para la tronadura, disminuyendo el mineral no recuperado y la subexcavación.

9.3 Disminución de ELOS

Para la disminución de ELOS, se analizó en conjunto con el área de Geomecánica los bloques más importantes para el segundo semestre del 2023 y primer semestre del 2024, siendo estos los bloques de Don Leopoldo, Mila y Manda, arrojando los siguientes resultados.

- **Don Leopoldo:** Si bien, para este bloque los resultados de tronadura fueron mejorando, el bloque 997 Don Leopoldo ya había entrado en explotación al momento de evaluar la disminución de ELOS, por lo cual para este estudio se mantiene el mismo de 0.65 (m) por caja indicado por geomecánica, lo cual concuerda con la influencia del explosivo calculada en los distintos niveles, mostrada en la *Tabla 9-1*, continuando su análisis para bloques entrantes para final de año.

Tabla 9-1: Influencia de explosivo según bloque en Don Leopoldo.

Don Leopoldo	Influencia Explosivo (m)
764	0.58
920	1.07
932	0.79
948	0.68
960	0.68
980	0.54
997	0.61
Total	0.62

- **Mila:** En este bloque en particular, se tuvo un cambio brusco en la calidad de la roca de Mila Norte a Mila Sur, pasando de muy mala calidad a sectores regulares, obteniendo consigo resultados ajustados a diseños, incluso con subexcavación asociada a diseño, por lo que se sobreestimaba la dilución planificada. Por lo que, con los datos analizados de años anteriores, en conjunto con los resultados actuales y tomando en cuenta las explotaciones futuras, se pasó de un ELOS de 0.8 (m) a 0.5 (m) por caja, teniendo como respaldo la influencia del explosivo en sus distintos niveles, mostrada en la *Tabla 9-2*.

Tabla 9-2: Influencia de explosivo según bloque en Mila.

Mila	Influencia Explosivo (m)
804	0.52
831	0.45
853	0.62
975	0.48
999	0.59
1002	0.39
Total	0.50

- **Manda - Manda Norte:** Este bloque históricamente ha generado tronaduras fallidas por subexcavación, debido a su calidad de roca buena, teniendo un ELOS de 0.5 (m) por caja, por lo que, analizando los resultados obtenidos en la influencia del explosivo, mostrados en la *Tabla 9-3*, sumado al estudio de radio hidráulico realizado por Geomecánica, se disminuye el ELOS a 0.4 (m) por caja.

Tabla 9-3: Influencia de explosivo según bloque en Manda.

Manda	Influencia Explosivo (m)
900	0.47
916	0.43
950	0.45
954	0.48
961	0.38
970	0.55
Total	0.46

10. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para este punto, se consideraron valores aproximados y se dio énfasis al resultado de tronadura con un antes y después de sectorizar la mina por calidad de roca, sin considerar variaciones en los gastos de transporte, mina y planta, por lo que se consideraron valores fijos para todos los meses.

- Costo Planta (USD/ton): 22
- Costo Mina (USD/ton): 4,18
- Costo Transporte (USD/ton): 4
- Costo Oz Au (USD): 1.818
- Precio Venta Oz Au (USD): 1.900

10.1 Resultados Dilución

Tal como se observa en la *Figura 10-1*, la implementación de mejores prácticas hizo que durante el primer semestre se disminuyera notoriamente la dilución planificada, pasando de una sobre excavación en los meses de Enero y Febrero, a cumplir el objetivo de estar bajo la dilución planificada (0%), esto también sumado al ingreso de bloques con una mejor calidad de roca, teniendo una menor dilución al aplicar también el Factor de Carga adecuado a la calidad de roca.

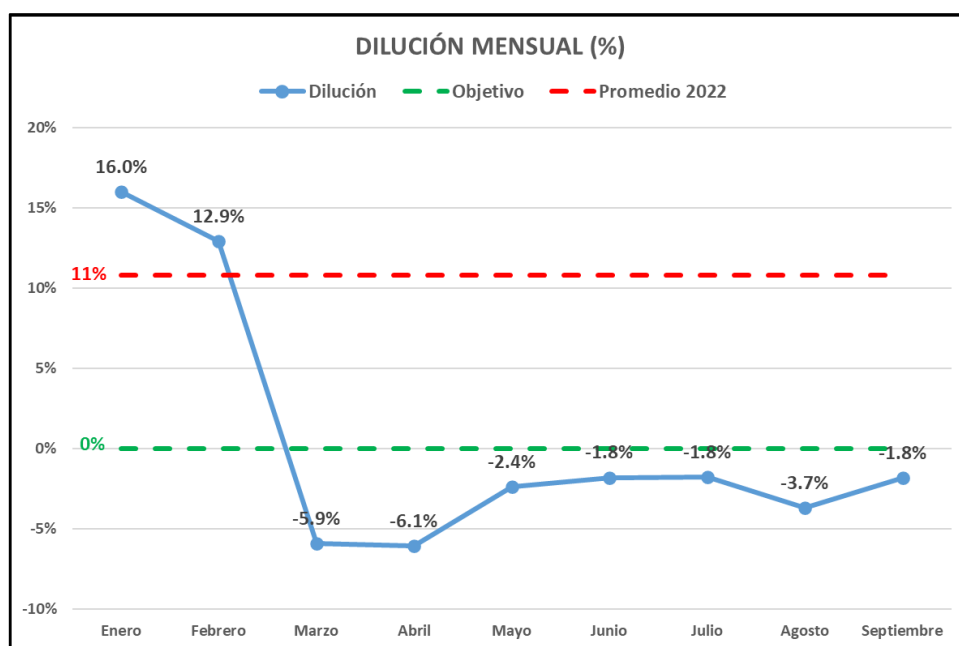


Figura 10-1: Gráfico de dilución porcentual por mes.

Como la planilla se comienza a utilizar a mediados del primer semestre, los datos de Enero y Febrero se deben ajustar a la nueva metodología realizando una variación porcentual, donde se promedian los resultados de Marzo a Septiembre y se multiplica por la dilución del mes en cuestión.

$$Dilución Ajustada (\%) = \frac{Dilución\ no\ planificada\ Marzo\ a\ Septiembre}{Dilución\ planificada\ Marzo\ a\ Septiembre}$$

Con el ajuste realizado y los datos de costos utilizados se obtienen los resultados de la Tabla 10-1 aproximados de ahorro por dilución, utilizando la siguiente fórmula.

$$Ahorro\ Total = Ahorro\ Planta + Ahorro\ Transporte - Costo\ Mina$$

Tabla 10-1: Ahorro en dólares por la dilución.

	Ahorro (USD)
Planta	307.319
Mina	58.391
Transporte	55.876
Total	304.805

De esta forma, se puede apreciar que el ahorro más significativo se encuentra en el procesamiento de la planta al no tener que procesar dilución que no estaba planificada, llevándose los reactivos el mayor costo para este punto.

10.2 Resultados Recuperación

Como se muestra en la *Figura 10-2*, igual que para la dilución, la implementación de buenas prácticas y la disciplina en el momento de evaluar y diseñar un bloque fue fundamental para aumentar la recuperación de mineral desde que se aplica la planilla, notando un aumento del 90% siendo el promedio del año 2022 hasta superar el 95% a comienzos del segundo semestre del 2023, manteniendo esa línea para final de año.

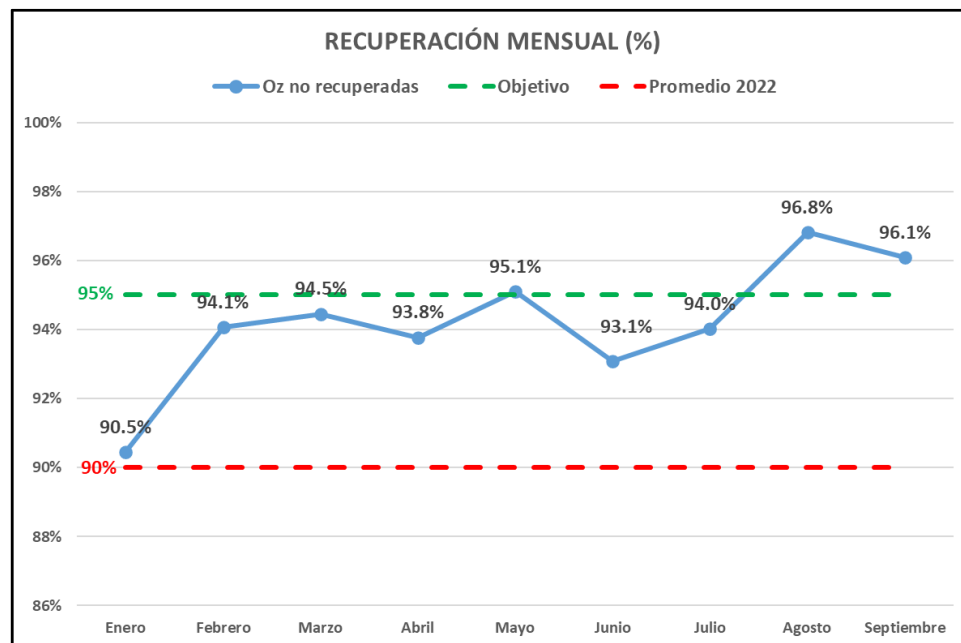


Figura 10-2: Gráfico de la recuperación porcentual por mes.

Al igual que en el punto anterior, se tuvo que ajustar los meses de Enero y Febrero, siendo el promedio de estos las onzas no recuperadas de esos meses, además la utilidad de las onzas que se recuperaron por sobre lo planificado se muestra en la *Tabla 10-2* y se calculó de la siguiente forma.

$$Utilidad \left(\frac{USD}{Oz Au} \right) = Venta Oz \left(\frac{USD}{Oz Au} \right) - Costo Oz \left(\frac{USD}{Oz Au} \right)$$

Tabla 10-2: Utilidad por onzas extras procesadas.

	Oz Au extras procesadas	Utilidad (USD)
Marzo	190	15.539
Abril	164	13.407
Mayo	155	12.669
Junio	162	13.243
Julio	156	12.751
Agosto	318	26.035
Septiembre	200	16.359
Total	1342	110.003

Así, esas 1.342 onzas representan las onzas extras que se obtuvieron considerando un 90% de recuperación mensual.

10.3 Resultados Generales

Considerando ambos análisis, y sumando la utilidad obtenida con el ahorro de la dilución en la planta, se obtiene un ahorro total de 414.808 (USD), siendo un 27% asociado al procesamiento extra de mineral por sobre la recuperación planificada, y un 73% al ahorro en planta por el ajuste de las tronaduras al sólido de diseño y/o dilución.

De esta forma, se obtiene un ahorro proyectado mensual para el último trimestre del 2023 de 59.258 (USD), y siguiendo la misma metodología se proyecta un ahorro de 711.099 (USD) para el año 2024.

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1 Conclusiones

Con más de 900 tronaduras realizadas desde Enero a Septiembre, se creó una base de datos del área de P&T, de las cuales 560 aproximadamente corresponden a tronaduras de corridas, las cuales son representativas para los diseños de perforación, se logró crear una base de datos robusta para dar recomendaciones de diseño, en cuanto a calidad de roca, ancho de veta y resultados históricos del comportamiento del bloque.

Con esto se avanzó significativamente en el control de la dilución, pasando de tener un 16% de dilución planificada a estar bajo el sólido de dilución (0%), teniendo un ahorro de aproximadamente 300.000 (USD) asociado principalmente al procesamiento en la planta.

Además, se aumentó la recuperación de mineral, de 90% a 96%, superando el objetivo propuesto por P&T del 95%, teniendo una utilidad de 110.000 (USD), en onzas extras sobre lo recuperado.

Estos resultados fueron obtenidos gracias a que se sectorizó la mina por calidad de roca, teniendo un orden en cuanto al Factor de Carga recomendable por diseño, generando un control en las tronaduras y agilizando el cumplimiento del plan, debido a que se tiene menos tronaduras fallidas, y por ende menos retrasos.

También, en conjunto con el área de Geomecánica se logró disminuir el ELOS de los sectores de Mila y Manda, para los procesos de reservas de los bloques productivos a entrar en explotación o para proyectos de mediano y largo plazo.

11.2 Recomendaciones

Si bien, los buenos resultados en cuanto a dilución y recuperación fueron visibles en el corto plazo, la base de datos de P&T en el área de producción debe continuar robusteciéndose para controlar de mejor forma las tronaduras, además se debe instruir tanto al área de ingeniería como operaciones en instaurar las buenas prácticas, para continuar con buenos resultados.

12. REFERENCIAS

- Minera Florida (Chile) (2017). Informe de actualización de Proyecto de Explotación Mina Pedro Valencia. Alhué: Minera Florida, 2017. Informe técnico.
- Marco, Francisco (2019). Revisión Geomecánica: Proyecto Fantasma. Alhué: Minera Florida, 2020. Informe técnico.
- Minera Florida (Chile). Departamento de Perforación y Tronadura 2023. Propuestas y Mejoras Perforación y Tronadura. [Presentación Power Point] Alhué: Minera Florida, 2023.
- NI 43-101 Technical Report Minera Florida Gold-Silver-Zinc Mine, Región Metropolitana, Chile, 2022.
- López Jimeno, Carlos (2003). Manual de perforación y voladura. Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España, 2003.
- Clark, L. & Pakalnis, R. (1997) An empirical design approach for estimating unplanned dilution from open stope hangingwalls and footwalls. 99th Annual AGM–CIM conference, Vancouver.
- Clark, L. (1998) Minimizing dilution in open stope mining with a focus on stope design and narrow vein longhole blasting. University of British Columbia.
- Castro, C. (2015). Modelamiento numérico de la dilución por sobre excavación en minería subterránea explotada por sublevel stoping. Tesis, Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería de Minas, Santiago.
- Hidalgo Castillo, B. A. (2021). Metodología para la estimación de estabilidad y sobre excavación de paredes de caserones en vetas angostas aplicado a Minera Florida. Tesis, Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería de Minas, Santiago.
- ENAEX (Chile). 2015. Manual de Tronadura ENAEX. Santiago: ENAEX, 2015.

13. ANEXOS

13.1 ANEXO A

Dimensiones de equipos

Cargador frontal L-120

Tabla 13-1: Dimensiones cargador frontal.

Equipo	Dimensiones		
	Longitud (m)	Ancho(m)	Altura c/techo (m)
L-120	6,6	2,8	3,2

Camión

Tabla 13-2: Dimensiones camión.

Equipo	Dimensiones		
	Longitud (m)	Ancho(m)	Altura c/techo (m)
Camión	7,6	3.1*	3,1

Scoop

Tabla 13-3: Dimensiones scoop.

Equipo	Dimensiones		
	Longitud (m)	Ancho(m)	Altura c/techo (m)
ST 710	8,8	2,1	2,1
ST 1030	9,7	2,5	2,4
LH 410	9,6	2,6	2,4

Simba

Tabla 13-4: Dimensiones simba.

Equipo	Dimensiones	
	Ancho(m)	Altura c/techo (m)
254	2,4	3,7
1257	2,4	
157	2,2	1,98 - 2,60
1254	2,06	2,9
DL - 210	2,8	1,8

Boomer

Tabla 13-5: Dimensiones boomer.

Equipo	Dimensiones	
	Ancho(m)	Altura c/techo (m)
H - 281	1,65	2,1 - 2,8
S1D - 6	1,75	2,1 - 2,8

13.2 ANEXO B

Tabla 13-6: Detalle recursos medidos, indicados e inferidos.

Recursos Mineros	Medidos + Indicados							Inferidos						
	Tonelaje (kt)	Ley			Mineral			Tonelaje (kt)	Ley			Mineral		
		Au (g/t)	Ag (g/t)	Zn (%)	Au (koz)	Ag (koz)	Zn (Mlb)		Au (g/t)	Ag (g/t)	Zn (%)	Au (koz)	Ag (koz)	Zn (Mlb)
Alhue Core	915	4.96	35.06	1.76	146	1,032	36	266	4.45	74.24	1.77	38	634	10
Cucaracha	50	3.59	6.62	1.42	6	11	2	208	3.85	6.74	0.97	26	45	4
El Roble	53	5.01	14.88	0.82	9	25	1	71	4.14	19.22	0.71	9	44	1
Extensión Tribuna	-	-	-	-	-	-	-	564	6.81	13.56	1.03	124	246	13
Fantasma	270	5.27	16.33	0.79	46	142	5	49	4.36	19.61	0.55	7	31	1
La Charra	0	2.57	3.52	0.12	0	0	0	204	4.93	12.36	0.45	32	81	2
Las Pataguas	641	3.14	8.09	0.85	65	167	12	325	3.17	8.82	1.22	33	92	9
Los Patos	57	5.22	23.76	0.31	10	44	0	76	4.68	22.24	0.44	11	54	1
Maqui	1,559	3.37	29.04	1.62	169	1,455	56	558	3.74	43.54	1.42	67	780	17
Maqui - Lorena	-	-	-	-	-	-	-	205	5.08	19.43	1.08	33	128	5
Marisol	183	6.00	30.57	1.63	35	180	7	367	5.21	26.50	1.67	61	313	14
Mina Este	1,664	4.57	14.83	1.69	244	793	62	234	5.13	16.28	1.36	39	123	7
Peumo	1,642	4.77	32.49	1.38	252	1,716	50	382	4.28	27.18	1.36	52	334	11
PVS	208	3.59	11.94	1.05	24	80	5	51	3.77	9.98	1.06	6	16	1
Quesería	-	-	-	-	-	-	-	135	8.42	14.69	0.45	37	64	1
Tribuna	292	5.48	21.40	1.75	51	201	11	217	6.28	11.87	1.74	44	83	8
Tribuna Central	-	-	-	-	-	-	-	256	4.6	8.56	0.83	38	71	5
Total	7,533	4.36	24.13	1.48	1,056	5,844	245	4,167	4.91	23.42	1.20	658	3,138	111

Tabla 13-7: Detalle reservas probadas y probables.

Reservas Mineras	Probadas							Probables							Probadas + Probables						
	Tonelaje (kt)	Ley			Mineral			Tonelaje (kt)	Ley			Mineral			Tonelaje (kt)	Ley			Mineral		
		Au (g/t)	Ag (g/t)	Zn (%)	Au (koz)	Ag (koz)	Zn (Mlb)		Au (g/t)	Ag (g/t)	Zn (%)	Au (koz)	Ag (koz)	Zn (Mlb)		Au (g/t)	Ag (g/t)	Zn (%)	Au (koz)	Ag (koz)	Zn (Mlb)
Marisol	26	4.23	15.0	0.88	4	13	1	213	5.01	29.3	0.89	34	201	4	239	4.92	27.7	0.89	38	214	5
Alhue Core	255	2.94	14.4	1.91	24	118	11	795	3.25	25.2	0.99	83	645	17	1,050	3.18	22.6	1.21	107	762	28
Mina Este	141	3.36	16.3	1.10	15	74	3	492	3.39	12.1	1.06	54	192	11	632	3.38	13.1	1.07	69	266	15
Peumo	89	3.17	21.9	1.06	9	63	2	349	3.39	28.5	0.89	38	319	7	438	3.34	27.1	0.93	47	382	9
Tribuna	21	4.48	19.1	1.02	3	13	0	124	3.72	7.4	0.86	15	29	2	145	3.84	9.1	0.89	18	42	3
Maqui	114	2.38	38.7	1.40	9	141	4	446	2.95	27.4	0.97	42	392	10	560	2.83	29.7	1.06	51	534	13
Patagua	5	3.44	10.2	0.97	1	2	0	271	3.89	12.0	0.92	34	104	6	276	3.88	11.9	1.92	34	106	6
PVS	4	4.09	21.7	1.16	0	3	0	43	3.50	14.5	0.99	5	20	1	46	3.54	15.0	1.00	5	22	1
Fantasma	2	3.54	12.5	0.92	0	1	0	83	3.88	14.2	0.49	10	38	1	85	3.87	14.1	0.50	11	39	1
Los Patos	6	2.77	17.0	0.53	1	3	0	43	3.54	18.5	0.71	5	25	1	48	3.45	18.3	0.69	5	28	1
El Roble	-	-	-	-	-	-	-	48	4.22	21.4	0.28	6	33	0	48	4.22	21.4	0.28	6	33	0
Total	662	3.08	20.2	1.44	65	430	21	2,905	3.49	21.4	0.94	326	1,998	60	3,567	3.42	21.2	1.03	392	2,428	81

13.3 ANEXO C

DETALLES DE LA TRONADURA		DEPARTAMENTO PERFORACIÓN & TRONADURA
- Cantidad de corridas a tronar: 4 - Tipo de detonación: PIROTECNICA - SMU a tronar: SMU 90-87 UC - ESTADO DE REFLEX: 94% - Total metros barrenados: 208.5 Total tonelaje a remover: 498 ton 4.12 Au 6.82 Ag 0.55 Zn / 4.42 AuEq 66 OzAu - KPI perforación: 2.39 t/mb - Factor de Carga: 1.29 kg/t		

Figura 13-1: Lámina con detalles de la tronadura.

FORMATO DE CARGA

DEPARTAMENTO PERFORACIÓN & TRONADURA

FORMATO CARGA TRONADURA 911 FANTASMA C89-86 UC							
N° de corridas	2						
N° de pozos	17						
Tonelaje a Remover	498						
% ANFO por rechazo o perdida	1.15						
Metros barrenados	208.5						
Total ANFO (kg)	0.0						
Total ANFO Liviano (kg)	699.6	ToT ANFO eq.	629.61				
Total Emultex (kg)	0.0	ToT ANFO eq.	0.00				
Total APD (kg)	7.7	ToT ANFO eq.	11.48				
Total Softron (kg)	0.0	ToT ANFO eq.	0.00				
Total Enaline (kg)	0.0	ToT ANFO eq.	0.00				
Total Explosivos ANFO eq.	641.1						
Diseño Burden x Espaciamiento	1.4						
ton / m barrenado	2.39						
Factor de Carga ANFO extra kg/ton	1.31						
Factor de Carga Diseño kg/ton	1.29						
TOTAL EXPLOSIVOS							
DETALLE	ANFO PREMIUM	ANFO HUMEDO	SOFTRON (ud)	APD (ud)	DETONADORES (ud)	ENALINE (mt)	EMULTEX (ud)
Kg / ud	0.0	699.6	0.0	34.0	34.0	0.0	0
Bolsa/Caja	0	28	0.0	1.4	0.5	0.0	0
DETONADORES							
SERIE	CANTIDAD	SERIE	CANTIDAD	SERIE	CANTIDAD		
#25	4	#350	0	#1200	2		
#50	2	#400	2	#1300	0		
#75	2	#450	0	#1400	0		
#100	0	#500	2	#1800	0		
#125	0	#600	2	#2400	0		
#150		#700	2	#3000	0		
#175	0	#800	2	#3800	0		
#200	2	#900	4	#4600	0		
#250	0	#1000	2	#5500	0		
#300	4	#1100	0	#6400	0		
DEPARTAMENTO DE PERFORACIÓN Y TRONADURA							
MINERA FLORIDA				DIAMETRO :			
				CÁLCULO:			
				C. BOUFFANAS			
				REVISÓ:			
DETONACIÓN				PIROTECNICA		LEY MINERAL	
						498 ton 4.12 Au 6.82 Ag 0.55 Zn / 4.42 AuEq 66 OzAu	

Figura 13-2: Lámina con formato de carga.

PLANILLA DE CARGUÍO

DEPARTAMENTO PERFORACIÓN & TRONADURA

DEPARTAMENTO DE PERFORACIÓN Y TRONADURA													
MINERA FLORIDA													
FORMATO CARGA TRONADURA 911 FANTASMA C89-86 UC													
FACTORES DE CARGA (kg/TON)													
1.29													
CÁLCULO: C. BOUFFANAS													
DISEÑO B (m): 1.4													
MET. EXPLOTACION R													
FECHA: 10-07-2023													
Corrida	Pozo	Rompe	PSO	Tipo Explosivo	Diametro	Largo Teórico (m)	Tipo perfil (m)	Tipo fondo (m)	Tipo Intermedio (m)	Carga de Fondo E.E. (m)	Largo a cargar (m)	SOFTRON (ud)	ANFO PREMIUM por peso (kg)
C89	1	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	75mm	12	0.8			0	11.2		36
	2	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	75mm	12	0.8			0	11.2		36
	3	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	75mm	12	0.8			0	11.2		36
	2R	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	75mm	12	0.8			0	11.2		36
Sub Total					4	48				0	44.8	0	144
C88	1	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	75mm	12	0.8			0	11.2		36
	2	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	75mm	12	0.8			0	11.2		36
	3	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	75mm	12	0.8			0	11.2		36
	2R	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	75mm	12	0.8			0	11.2		36
Sub Total					4	48				0	44.8	0	144
C87	1	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	75mm	12.5	0.8			0	11.7		37
	2	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	75mm	12.5	0.8			0	11.7		37
	3	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	75mm	12.5	0.8			0	11.7		37
	2R	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	75mm	12.5	0.8			0	11.7		37
Sub Total					4	50				0	46.8	0	148
C86	1	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	75mm	12.5	2			0	10.5		33
	2	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	75mm	12.5	2			0	10.5		33
	3	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	75mm	12.5	2			0	10.5		33
	2R	NO	TECHO	ANFO HUMEDO	75mm	12.5	0.8			0	11.7		37
Sub Total					5	62.5				0	54.9	0	175
Total					17.0	208.5				0.0	196.3	0.0	608.3

Figura 13-3: Lámina con planilla de carguío.

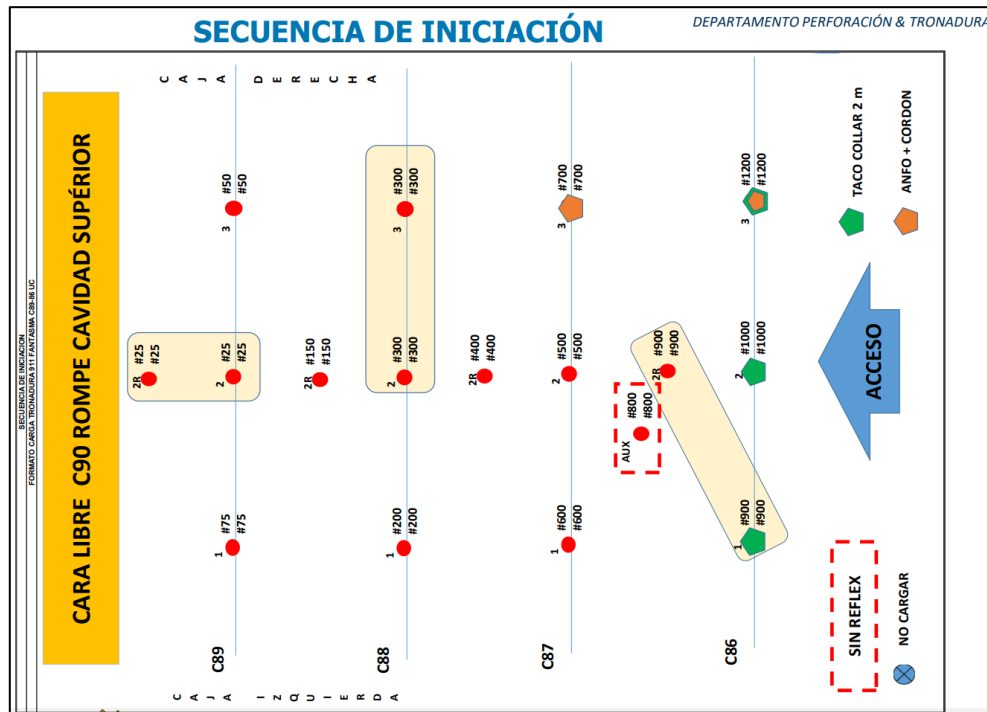


Figura 13-4: Lámina con secuencia de iniciación de tronadura.

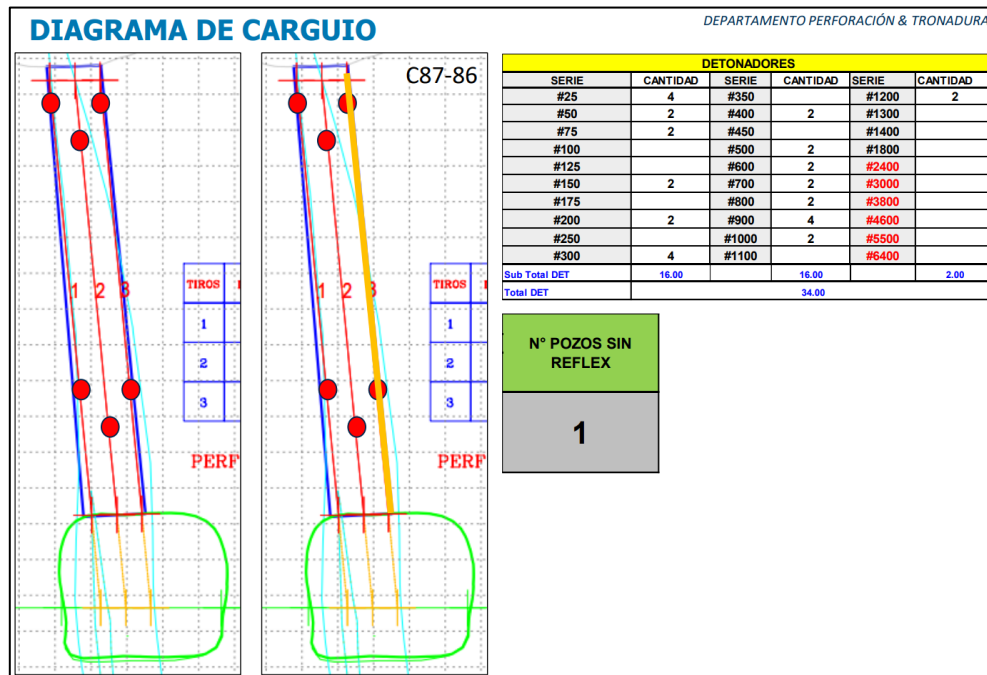
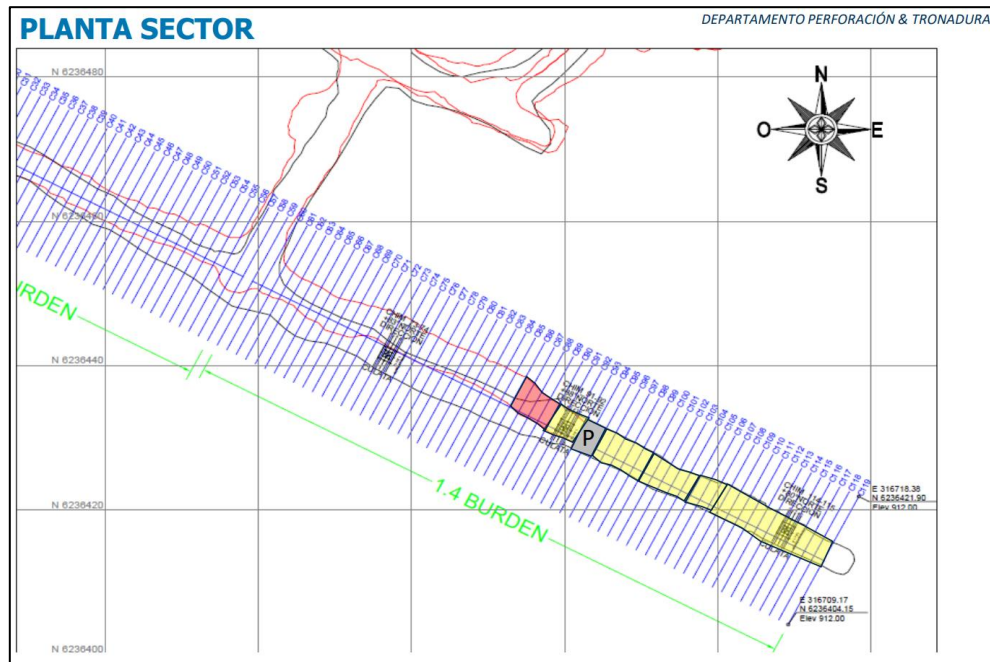


Figura 13-5: Lámina con diagrama de carguió de la tronadura.



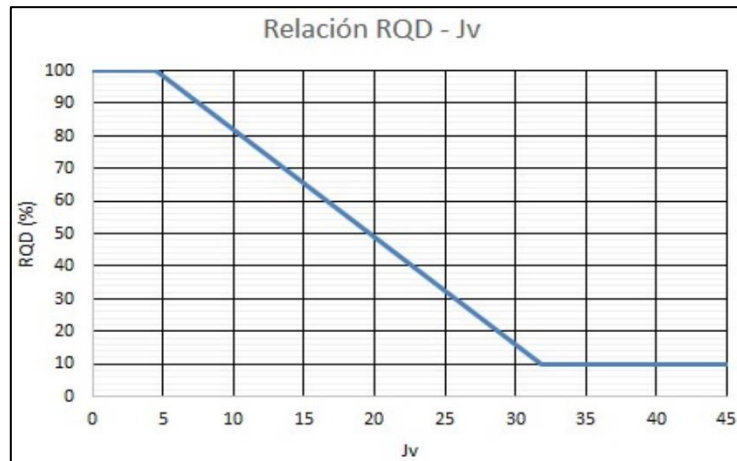


Figura 13-7: Gráfico para asignación de RQD (%) en función de J_v .

Índice de fracturamiento (J_n)

Tabla 13-8: Clasificación del índice de fracturamiento (J_n)

Índice de fracturamiento (J_n)	
Masivo, sin sistema o pocas fracturas	0,5 a 1,0
Un sistema	2
Un sistema + estructuras aisladas	3
Dos sistemas	4
Dos sistemas + estructuras aisladas	6
Tres sistemas	9
Tres sistemas + estructuras aisladas	12
Mas de tres sistemas	15
Roca triturada	20
Portales = $2 \cdot J_n$; Cruces = $3 \cdot J_n$	

Índice de rugosidad (J_r)

Tabla 13-9: Clasificación del índice de rugosidad (J_r)

Índice de rugosidad (J_r)	
Contacto bajo desplazamiento de corte de menos de 10 cm	
Estructuras discontinuas o con puentes de roca	4
Estructuras onduladas, rugosas o irregulares	3
Estructuras onduladas, lisas	2
Estructuras onduladas y pulidas	1,5
Estructuras planas y rugosas	1,5
Estructuras planas y lisas	1
Estructuras planas y pulidas	0,5
Sin contacto por desplazamiento	
Estructuras rellenas con arcilla	1
Estructuras con relleno de roca molida	1

Índice de alteración (J_a)

Tabla 13-10: Clasificación del índice de alteración (J_a)

Índice de alteración (J_a)	
Estructuras bien trabajadas y selladas	0,75
Paredes solo con pátinas locales	1
Ligera alteración	2
Estructuras con poco contenido de arcilla	3
Alteraciones arcillosas	4
Con detritos arenosos	4
Con detritos arcillosos preconsolidados	6
Con detritos arcillosos poco consolidados	8
Con detritos arcillosos expansivos	8 a 12
Milonitas de roca y arcilla	6 a 12
Milonita de arcillas limosas	5
Milonitas arcillosas gruesas	10 a 20

Condición de agua (J_w)

Tabla 13-11: Clasificación de la condición de agua (J_w)

Condición de agua (J_w)	
Seco	1
Húmedo	1
Filtrante	0,66

Condición de esfuerzos (SRF)

Tabla 13-12: Clasificación de la condición de esfuerzos (SRF)

Condición de esfuerzos (SRF)	
No se observan	1
Crujimientos	5
Lajamientos	25
Popping	50