



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**VERIFICACIÓN Y CONTROL GEOMECÁNICO DE LA OPERACIÓN DE
TRONADURA DE CONTORNO, PARA ASEGURAMIENTO DEL
CUMPLIMIENTO DE DISEÑO Y MINIMIZACIÓN DEL DAÑO AL TALUD EN
MINAS EL ROMERAL, COMPAÑÍA MINERA DEL PACÍFICO.**

Tanya Danahe Villarroel Araya

Copiapó, Chile 2022



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**VERIFICACIÓN Y CONTROL GEOMECÁNICO DE LA OPERACIÓN DE
TRONADURA DE CONTORNO, PARA ASEGURAMIENTO DEL
CUMPLIMIENTO DE DISEÑO Y MINIMIZACIÓN DEL DAÑO AL TALUD EN
MINAS EL ROMERAL, COMPAÑÍA MINERA DEL PACÍFICO.**

“Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título
de Geólogo”

Profesor Guía: Francisco Tapia Guerra

Tanya Danahe Villarroel Araya

Copiapó, Chile 2022

DEDICATORIA

*A mi familia Patricio, Claudia, Catalina y en especial a mi bisabuelo Rodito, quien
partió de esta tierra mientras realizaba mi memoria.*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia mi padre Patricio Villarroel Zepeda, mi madre Claudia Araya Cortes, mi hermana Catalina Villarroel Araya, quienes me apoyaron en todo momento de mi vida, y a quienes agradezco hoy por enseñarme que con humildad, esfuerzo y trabajo se logran grandes cosas, por las veces que reímos y lloramos juntos, gracias a ustedes soy la persona que soy, muchísimas gracias de corazón.

También quiero agradecer a mis abuelos Ramón Araya y Erika Cortes por darme su apoyo y creer siempre en mí, a mis memes perrunos Dominga, Pelusa y Gaspar por acompañarme en todos esos momentos de amanecidas y darme su cariño en momentos difíciles.

Agradecer a mis amigos Carolina, Engell, Felipe, Natalia, Victoria, Jessica, Nicole y María José por todas las noches de estudio, por las risas, por el compañerismo, por los momentos de alegrías y también de llantos.

A mi profesor guía Francisco Tapia Guerra por ser una gran persona, por su buena disposición, por su orientación con el trabajo y por su ayuda, muchas gracias profe.

Agradecer de igual manera a la Compañía Minera del Pacífico, Minas El Romeral, en especial al área de geomecánica por su buena disposición en enseñar, ayudar y brindar la información necesaria para este trabajo.

Finalmente, a mí, por demostrarme a mí misma que con esfuerzo y dedicación se pueden lograr grandes cosas.

Muchas gracias a todos.

Créditos extras a mi computador por no fallar en todos mis años universitarios.

RESUMEN

Minas El Romeral ubicada en la ciudad de La Serena, perteneciente a la Compañía Minera del Pacífico, genera productos que se obtienen del procesamiento de los minerales como son 400 mil toneladas métricas (TM) anuales de Granzas, 300 mil (TM) al año de Finos y 1 millón 700 mil (TM) anual de Pellet Feed, para llevar a cabo esto se realiza a través de la explotación del rajo y entre algunas de las áreas encargadas de este proceso son el área de geomecánica y el área de perforación y tronadura (P & T) que son las encargadas de dar el factor de carga necesario para romper la roca y así extraer el material sin causar daño a la pared.

Esta mina a cielo abierto se explota a través de distintas fases, el presente trabajo se encuentra centrado en la explotación de la fase V y en como tener una verificación de las tronaduras de contorno para asegurar el cumplimiento del diseño y de minimizar el daño al talud. Para realizar el trabajo se hace una comparación de lo que fue recomendado por geomecánica en cuanto al factor de carga, pre-cortes, dirección de salida, litología y zonas de descanso, con lo que efectivamente realizó perforación y tronadura en cuanto a factor de carga utilizado, la realización de los pre-cortes y las zonas de descanso. Finalmente, esto se compara con el factor de condición, el cual refleja cómo resultó finalmente la pared a través de los parámetros como son las medias cañas, la geometría del talud y las discontinuidades inducidas. En base a esto se determinó que la obtención de una buena pared radica principalmente en la línea de pre-cortes, además del factor de carga utilizado en los pozos de perforación. Finalmente se dejan una serie de recomendaciones como es continuar con la realización de pre-cortes, los cuales deben ser realizados considerando un lapso de tiempo más largo antes de la tronadura de producción, con el fin de minimizar la perturbación sobre la pared del talud.

ABSTRACT

Minas El Romeral located in the city of La Serena, belonging to the Compañía Minera del Pacifico, generates products obtained from the processing of iron ore. The obtained products are 400 thousand metric tons (MT) per year of Granzas, 300 thousand (MT) per year of Fines and 1 million 700 thousand (MT) of Pellet Feed per year. It is carried out through the exploitation of the pit and among the áreas involved in this process, is specially critic the role of geomechanics and the drilling & blasting area (P & T). They are commissioned to give the necessary load factor to break out the rock and thus extract the material minimizing damage to the slope wall.

This open pit mine is exploited through different phases. The present work is focused on the exploitation of phase V, with the main objective to have a right verification of the contour blasting to ensure compliance with the mine's design and minimize slope's damage. To carry out this work, it is made a comparision of geomechanic's departament recommendations - in terms of load factor, pre-cuts, exit direction, lithology and rest areas- with the work carried out by drilling and blasting, in terms of used load factor, pre cuts and rest areas. It is finally compared with the condition factor, as it reflects how finally turned out the slope wall, through parameters such as the half-rounds, slope's geometry and induced cracks. Based on this, it was obtained a good wall lies mainly in the line of pre-cuts, in addition to the load factor used in the drilling holes. Finally, some recommendations are given, such as continuing with the pre-cuts but with a longer time lapse before production blasting, in order to minimize the perturbation over the slope wall.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	1
1.1.1 Objetivo general.....	1
1.1.2 Objetivos específicos	1
1.2 Problema de la investigación.....	2
1.3 Hipótesis.....	2
CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES GENERALES MINAS EL ROMERAL, COMPAÑÍA MINERA DEL PACÍFICO.....	3
2.1. Minas El Romeral.....	4
2.2. Ubicación y accesos	4
CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO	5
3.1 Taludes en minería	5
3.1.1 Componentes geométricos de un talud minero	5
3.2. Perforación	7
3.2.1 Pozos de perforación.....	7
3.2.2 Burden.....	8
3.2.3 Espaciamiento	8
3.2.4 Taco.....	9
3.2.5 Burden de alivio	10
3.2.6 Líneas de isotiempo	10
3.2.7 Factor de carga	10
3.2.8 Explosivos.....	11
3.3 Tronadura	14
3.3.1 Tipos de tronadura	14
3.4 Modelo geomecánico	16
3.4.1 Modelo geológico	17
3.4.2 Modelo hidrogeológico	17
3.4.3 Modelo estructural	17
3.4.4 Mecanismos de inestabilidad asociados a taludes.....	18
3.4.5 Modelo macizo rocoso	23
3.5 Criterios de aceptabilidad	39

CAPÍTULO 4: MARCO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO	41
4.1 Fase V Minas El Romeral (MER)	41
4.2 Marco geológico local	41
4.2.1 Unidades geológicas geotécnicas	45
4.3 Modelo estructural	50
4.3.1 Dominio estructural	51
4.4 Modelo hidrogeológico	53
CAPÍTULO 5: METODOLOGÍAS	54
5.1 Recomendación tronadura	54
5.2 Informes tronadura	56
5.3 Metodología factor de condición	62
5.4 Metodología realización comparación	70
CAPÍTULO 6: RESULTADOS	72
6.1 Banco 500	72
6.2 Banco 487.5	74
6.3 Banco 475	79
6.4 Banco 462.5	89
6.5 Banco 450	104
6.6 Banco 437.5	118
6.7 Banco 425	131
6.8 Comparación zona con y sin pre-cortes	144
CAPÍTULO 7: DISCUSIÓN	147
7.1 Banco 500	147
7.2 Banco 487.5	148
7.3 Banco 475	149
7.4 Banco 462.5	151
7.5 Banco 450	154
7.6 Banco 437.5	158
7.7 Banco 425	160
7.8 Relevancia de las características del macizo rocoso en la operación de tronadura de contorno	161
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	168

8.1 Conclusiones	168
8.2 Recomendaciones	169
REFERENCIAS	171
ANEXOS	174
Anexo 1.- Tablas comparativas factor de carga por banco	174
Anexo 2.- Tablas comparativas por banco	178

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1- Instalaciones Compañía Minera del Pacífico en Región de Atacama y Coquimbo.....	3
Figura 2.2- Imagen que muestra ubicación de Minas El Romeral.....	4
Figura 3.1- Componentes geométricos de un talud minero	7
Figura 3.2.- Imagen que muestra posición de burden, taco y carga.....	9
Figura 3.3- Explosivo Booster	11
Figura 3.4- Explosivo ANFO.....	12
Figura 3.5- Explosivo Emultex.	13
Figura 3.6- Explosivo Enaline.....	14
Figura 3.7- Esquema de los tipos de pozos de tronadura (elaboración propia)	16
Figura 3.8- Tipos de desplazamiento falla geológica.....	18
Figura 3.9- Esquema de rotura plana (izquierda) y rotura por cuña (derecha).	20
Figura 3.10- Esquema de rotura por vuelco.....	21
Figura 3.11- Esquema de rotura circular.....	21
Figura 3.12- Fotografía caída de rocas in situ.....	22
Figura 3.13- Fotografía de derrame in situ.....	23
Figura 3.14- Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades.....	24
Figura 3.15- Medida de la orientación de discontinuidades.	25
Figura 3.16- Espaciamiento en sistema de discontinuidades.....	25
Figura 3.17- Diagramas mostrando distintos modelos de continuidad o persistencia de varias familias de discontinuidades.....	26
Figura 3.18- Perfiles de rugosidad.	27
Figura 3.19- Definición de discontinuidad cerrada (a) abierta(b) y rellena(c).	28
Figura 3.20- Representación del número de familias mediante bloques diagramas.	29

Figura 3.21- ejemplo de cálculo de RQD en tramo de sondaje.	32
Figura 3.22- Índice de resistencia geológica (GSI) para macizos rocosos (Hoek y Marinos, 2000)	36
Figura 4.1- Imagen que muestra ubicación Fase V norte con respecto a Rajo Principal y Rajo Tauro.....	41
Figura 4.2- Franja de depósitos tipo IOCG-IOA en las regiones III Y IV.	42
Figura 4.3- Planta con las Unidades Geotécnicas rajo Cerro Principal.	44
Figura 4.4- a) Traza de falla Romeral completa en modelo integrado; b) Zona de cizalle asociado a falla Romeral	51
Figura 4.5.- Dominios estructurales para Minas El Romeral (MER), proyectados sobre la topografía de septiembre de 2018.	52
Figura 5.1- Recomendación de tronadura MER	56
Figura 5.2- Imagen que muestra pozos sobre perforados, sub perforados y rango aceptable	57
Figura 5.3- Imagen que muestra resumen de tronadura entregada por P & T	58
Figura 5.4- Imagen que muestra polígono a tronar	59
Figura 5.5- Secuencia de salida tronadura y burden de alivio	60
Figura 5.6- QA/QC realizado por P & T	61
Figura 5.7- Fotografías pre y post tronadura.....	62
Figura 5.8- Fotografía que muestra medias cañas.....	65
Figura 5.9- Grietas inducidas por tronadura	66
Figura 5.10- Condición de discontinuidades menores	67
Figura 5.11- Geometría del talud	68
Figura 5.12- Condición de la cresta	69
Figura 6.1- Malla FVN_500-A	73
Figura 6.2- Malla FVN_500 B & C	74

Figura 6.3- Recomendación tronadura 05-08 realizada por geomecánica.....	75
Figura 6.4- Recomendación tronadura 06 realizada por geomecánica.	77
Figura 6.5- Recomendación de tronadura 01 parte 3	80
Figura 6.6- Recomendación de tronadura 10_2	82
Figura 6.7- Recomendación de tronadura 01 parte 2	83
Figura 6.8- Recomendación de tronadura 06	85
Figura 6.9- Recomendación de tronadura 08.	87
Figura 6.10- Recomendación de tronadura 10.	88
Figura 6.11- Recomendación de tronadura 03.	90
Figura 6.12- Recomendación de tronadura 04.	92
Figura 6.13- Recomendación de tronadura 08.	94
Figura 6.14- Burden de alivio 35-45 ms/m al in situ.	95
Figura 6.15- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 11, indicando secuencia de salida y cara libre.	96
Figura 6.16- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 16, indicando secuencia de salida y cara libre.	97
Figura 6.17- Recomendación de tronadura 19, indicando secuencia de salida y cara libre	100
Figura 6.18- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 20, indicando secuencia de salida y cara libre.	101
Figura 6.19- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 23, indicando secuencia de salida y cara libre.	102
Figura 6.20- Burden de alivio 40-60 ms/m hacia camino.....	103
Figura 6.21- Fotografía que muestra sector tronado e indicando litología	104
Figura 6.22- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 02, indicando secuencia de salida.	105

Figura 6.23- Burden de alivio 40-60 ms/m hacia camino e in situ.	106
Figura 6.24- Recomendación de tronadura 04 contorno rampa.	108
Figura 6.25- Burden de alivio 40-60 ms/m hacia camino e in situ.	109
Figura 6.26- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 06 rampa, indicando secuencia de salida y cara libre.	109
Figura 6.27- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 09, indicando secuencia de salida y cara libre.	111
Figura 6.28- Fotografía que muestra sector tronado con sus respectivas litologías.....	113
Figura 6.29- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 13, indicando secuencia de salida y cara libre.	113
Figura 6.30- Fotografía que muestra sector tronado identificando zonas con y sin pre- cortes.	115
Figura 6.31- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 14, indicando secuencia de salida y cara libre.	116
Figura 6.32- Fotografía que muestra sector tronado indicando los factores de condición por sector.....	118
Figura 6.33- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 04.	118
Figura 6.34- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura.	121
Figura 6.35- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura.	122
Figura 6.36- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura, indicando secuencia de salida y cara libre.	123
Figura 6.37- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura, indicando secuencia de salida y cara libre.	124
Figura 6.38- Líneas de isotiempo y burden de alivio de la tronadura 12.....	126
Figura 6.39- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura.	126

Figura 6.40- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura, indicando secuencia de salida y cara libre.	127
Figura 6.41- Líneas de isotiempo y burden de alivio de la tronadura 15.....	128
Figura 6.42- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura, indicando secuencia de salida y cara libre.	129
Figura 6.43- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura, indicando secuencia de salida y cara libre.	130
Figura 6.44- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 03, indicando secuencia de salida, cara libre y litología.	131
Figura 6.45- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 06, indicando secuencia de salida y cara libre.	132
Figura 6.46.- Líneas de isotiempo y burden de alivio de la tronadura 06.....	134
Figura 6.47- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 10, indicando secuencia de salida y cara libre.	134
Figura 6.48- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 11, indicando secuencia de salida y cara libre.	135
Figura 6.49- Líneas de isotiempo y burden de alivio de la tronadura 11.....	137
Figura 6.50- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 12.	137
Figura 6.51- Líneas de isotiempo y burden de alivio de la tronadura 12.....	138
Figura 6.52- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 14, indicando secuencia de salida y cara libre.	139
Figura 6.53- Líneas de isotiempo y burden de alivio de la tronadura 14.....	140
Figura 6.54- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 15, indicando secuencia de salida y cara libre.	140
Figura 6.55- Fotografía indicando sector a tronar.....	141

Figura 6.56- Recomendación de tronadura 17, indicando secuencia de salida y cara libre.	142
Figura 6.57.- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 19, indicando secuencia de salida y cara libre.	143
Figura 6.58- Tronadura 13 que muestra zona sin y con pre-cortes.	144
Figura 6.59- Tronadura 13 que muestra zona sin y con pre-cortes en malla de tronadura y fotografía del sector.....	145
Figura 6.60- Factor de condición del sector con pre-cortes, tronadura 13.....	145
Figura 6.61- Factor de condición del sector sin pre-cortes, tronadura 13.....	146
Figura 7.1- Tronaduras de contorno pertenecientes al Banco 487.5.....	148
Figura 7.2- Tronaduras de contorno pertenecientes al Banco 475.....	149
Figura 7.3- Gráfico que muestra los parámetros evaluados en el factor de condición. .	151
Figura 7.4- Tronaduras de contorno pertenecientes al Banco 462.5.....	152
Figura 7.5.- Gráfico que muestra presentación de los parámetros evaluados en el factor de condición, banco 462.5.	154
Figura 7.6.- Tronaduras de contorno pertenecientes al Banco 450.....	155
Figura 7.7- Gráfico que muestra presentación de los parámetros evaluados en el factor de condición, banco 450.	158
Figura 7.8- Tronaduras de contorno pertenecientes al Banco 437.5.....	159
Figura 7.9- Tronaduras de contorno pertenecientes al Banco 425 indicando la litología correspondiente a cada polígono.	160
Figura 7.10- Gráfico que muestra los factores de condición y los R pertenecientes a los bancos evaluados.....	165
Figura 7.11- Gráfico que muestra los factores de condición y los FF pertenecientes a los bancos evaluados.....	166
Figura 7.12- Gráfico que muestra los factores de condición y los GSI pertenecientes a los bancos evaluados.....	167

Figura 8.1.- Diseño Recomendación Factor de Condición (Elaboración propia)	170
--	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1- Descripción del tamaño de bloque en función del número de discontinuidades.	29
Tabla 3.2- Evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso.....	31
Tabla 3.3- Clasificación del macizo rocoso según RQD.	33
Tabla 3.4- Clasificación del tipo de calidad de la roca según RMR.	34
Tabla 3.5- Distribución de puntajes para cada parámetro del macizo rocoso.....	37
Tabla 3.6- Estimación de la resistencia de las rocas mediante un martillo de geólogo y una navaja (Brown, 10981).....	39
Tabla 4.1- Unidades Geotécnicas de Minas El Romeral (MER)	45
Tabla 4.2- Tabla resumen con índices de calidad del macizo rocoso y respectivos parámetros estadísticos, para cada Unidad Geotécnica (UG).	49
Tabla 5.1 Planilla indicando los parámetros a medir en el factor de condición	64
Tabla 5.2- Parámetro de medias cañas para condición del talud	65
Tabla 5.3- Parámetro de grietas inducidas para condición del talud.....	66
Tabla 5.4- Parámetro de condición de discontinuidades menores para condición del talud	67
Tabla 5.5- Parámetro de presencia bloques inestables para condición del talud	67
Tabla 5.6- Parámetro de geometría del talud para condición del talud.....	68
Tabla 5.7- Parámetro de condición de la cresta para condición del talud.....	69
Tabla 5.8- Planilla en la que se comparan los factores de carga recomendado y realizado	70
Tabla 5.9- Planilla en la que se observan los tipos de pozos y la cantidad de estos por tronadura	71
Tabla 5.10- Planilla en la que se muestran los pre-cortes solicitados y realizados.....	71
Tabla 5.11- Planilla en la que se muestra la litología, factor de carga recomendado, utilizado y factor de condición de cada tronadura separada por bancos.	71

Tabla 7.1- Presentación de factores de carga banco 500.	148
Tabla 7.2- Factores de condición de las tronaduras de contorno del banco 475.....	150
Tabla 7.3- Factores de condición de las tronaduras de contorno del banco 462.5.....	153
Tabla 7.4- Tronaduras del banco 450 con el porcentaje de rango aceptable y factor de condición para cada una.	156
Tabla 7.5- Factores de condición de las tronaduras de contorno del banco 450.....	157

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En minería a cielo abierto la generación de bancos en taludes es una de las etapas más importantes y desafiantes vista desde la perspectiva ingenieril, ya que para llevar a cabo esta tarea están involucradas las áreas de planificación, geomecánica, perforación y tronadura (P & T), carguío y transporte, entre otras; estas áreas no solo están a cargo del diseño y construcción de los taludes también tienen como fin mantener la estabilidad del rajo a largo plazo requerida para las paredes de los taludes.

La generación de estos bancos provoca en ocasiones deslizamientos y desprendimientos de bloques de roca incontrolados, los que son unas de las principales causas de siniestralidad en las mineras a cielo abierto, es por ello que motiva al área de geomecánica de Minas El Romeral a una ejecución eficiente y controlada de la construcción de taludes para no solo cumplir con los planes de extracción, carguío y transporte, sino además, asegurar un compromiso en lograr líneas de diseño adecuadas y cumplir con los índices de seguridad.

Para lo anterior es necesario implementar herramientas con respecto a una tronadura controlada como son los estudios de bancos en los que se pueda observar el trabajo continuo y un seguimiento del estado geotécnico para la estabilidad de los macizos rocosos y taludes en explotación, para minimizar el daño al talud y cumplir con el diseño.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Determinar el control geomecánico sobre el proceso de tronadura de contorno, y elaborar un procedimiento de verificación y aseguramiento de diseño y minimización del daño al talud en Minas El Romeral, Compañía Minera del Pacífico.

1.1.2 Objetivos específicos

- Definir las características más relevantes del macizo rocoso para el diseño de la tronadura de contorno.
- Evaluar el daño generado por tronaduras en el talud.

- Establecer recomendaciones operativas para minimizar el daño del talud.
- Brindar recomendaciones operativas para la minimización del daño de talud y el aseguramiento del cumplimiento de diseño minero.

1.2 Problema de la investigación

La geomecánica es un área importante dentro del proceso de tronadura en una mina, ya que esta incide no solo de manera económica, sino que también en el ámbito de la seguridad. En este sentido, la evaluación del daño y un buen control de la tronadura de contorno permiten no solo cumplir con el aseguramiento del diseño, sino que además permite mantener la seguridad operacional del rajo mediante minimizaciones de daños al talud.

En minas El Romeral, Fase V Norte, no existe un estudio que evalúe la construcción del rajo y el resultado final de sus paredes. Por consiguiente, es necesario aplicar una metodología de análisis capaz de evaluar el diseño y la condición final de las paredes desde el punto de vista geomecánico.

La presente memoria, surge a raíz del interés de la Superintendencia de Geomecánica de Compañía Minera del Pacífico, en Minas El Romeral, a no solo asegurar el cumplimiento del diseño, sino que también minimizar los daños al talud conforme se va avanzando en las distintas fases que comprenden el plan minero. Por consiguiente, es de vital importancia tener una verificación y un control geomecánico en la operación de tronadura de contorno.

1.3 Hipótesis

Las características geomecánicas del macizo rocoso tienen una fuerte incidencia en la operación de tronadura. Por medio de su correcta verificación y control, será posible optimizar el proceso de tronadura, así como también asegurar la adherencia al plan de explotación y el cumplimiento de diseño de talud predefinido para la operación.

CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES GENERALES MINAS EL ROMERAL, COMPAÑÍA MINERA DEL PACÍFICO

Compañía Minera del Pacífico, empresa del Grupo CAP, es el principal productor de minerales de hierro en la costa americana del Pacífico. Desde sus yacimientos mineros y plantas se elaboran los diferentes productos que son exportados y utilizados como materia prima para fabricar acero. El 99% del hierro que exporta Chile es producido por la compañía. Sus principales operaciones se encuentran en las regiones de Atacama y Coquimbo, específicamente en el Valle de Copiapó, Mina Cerro Negro Norte, Planta Magnetita, Puerto Punta Totoralillo; Valle del Huasco, Mina Los Colorados, Planta de Pellets y Puerto Guacolda II; y finalmente, en el Valle del Elqui, Minas El Romeral y Puerto Guayacán.



Figura 2.1- Instalaciones Compañía Minera del Pacífico en Región de Atacama y Coquimbo.

Extraído: www.cmp.cl (2021)

2.1. Minas El Romeral

Minas El Romeral inicia sus operaciones de extracción y procesamiento de minerales de hierro en 1956, con una producción aproximada de un millón de toneladas por año de colpas. En el año 1971 la faena fue adquirida por la Compañía de Acero del Pacífico (CAP), la cual implemento una etapa de expansión que permitió un aumento de la producción a cuatro millones de toneladas por año de granzas y finos.

En el año 2020, la producción de Minas El Romeral fue de 2 millones 800 mil toneladas métricas de mineral acopiadas en el puerto Guayacán. La producción se logró con un movimiento total de materiales de 17 millones 431 mil toneladas.

2.2. Ubicación y accesos

El distrito ferrífero Minas El Romeral, propiedad de la Compañía Minera del Pacífico, se encuentra ubicada en la Región de Coquimbo a 22 km al noreste de la ciudad de La Serena, en los flancos orientales del Cerro La Liga, a 400 m.s.n.m aproximadamente.

Se accede a la zona de estudio desde la ciudad de Copiapó por la Ruta 5 en dirección al sur hasta el sector de Punta Teatinos en la ciudad de La Serena, de ahí se toma el camino ripiado D-165, el cual conduce directamente al rajo principal de la mina.

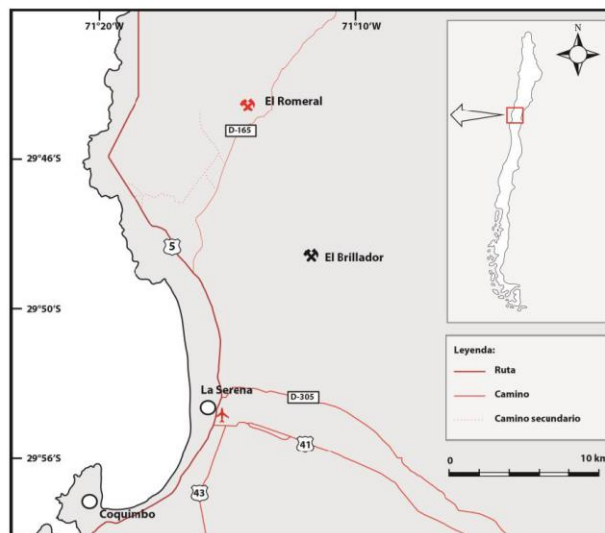


Figura 2.2- Imagen que muestra ubicación de Minas El Romeral

Extraído: Rojas, 2017.

CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO

3.1 Taludes en minería

Un talud minero es un terreno que se caracteriza por presentar una inclinación o pendiente, la cual puede ser artificial o natural y que se desarrolla a fin de garantizar la seguridad de la mina.

El diseño de taludes es uno de los aspectos más importantes de la ingeniería geológica, ya que se encuentra presente en la mayoría de las actividades constructivas y extractivas de la mina.

En minería, el diseño de los taludes depende de la forma y la profundidad del yacimiento y se diseñan para ser estables a largo plazo, añadiendo medidas de estabilización para cuando no sea posible realizar las extracciones de material con las alturas y ángulos requeridos, ya sea por motivos económicos, de diseño u otro tipo.

Los estudios geológicos y geotécnicos de taludes están dirigidos al diseño de taludes estables en función de las condiciones requeridas (corto, medio o largo plazo, relación coste-seguridad, grado de riesgo aceptado, etc.) así como a la estabilización de taludes inestables. (Gonzáles de Vallejo, 2004).

3.1.1 Componentes geométricos de un talud minero

En toda mina explotada a rajo abierto se establecen componentes para el talud, con los cuales se definen su estabilidad y permanencia a lo largo del tiempo.

- **Banco:** escalón en un yacimiento a cielo abierto, en los cortes se ven dos caras descubiertas, una cara superior horizontal y una vertical lateral. Se dividen en bancos de trabajo e inactivos (Hustrulid, Kuchta & Martin, 2013), los primeros están en proceso de extracción de material y los segundos, son los restos de los bancos de trabajo dejados en su lugar para mantener la estabilidad del rajo.
- **Rampa:** ruta de transporte inclinado que sirve de acceso desde las zonas de excavación activa hasta el borde superior del rajo.

- **Ancho de rampa:** corresponde al ancho por el cual transitan los equipos dentro del rajo (Atkinson, 1992; Thompson, 2011), siendo esta lo suficientemente ancha para interferencias, más ciertos componentes necesarios para satisfacer la seguridad y drenaje de la operación.
- **Ángulo cara de banco:** corresponde al ángulo de inclinación de la pared del talud (banco) con respecto al plano horizontal (Díaz, 2017).
- **Altura banco:** se elige en función de los equipos de operación con que se dispone y la selectividad escogida (Hustrulid, W., Kuchta, M., Martín, R. 2006). Corresponde a la altura vertical desde la pata del banco a la cresta del mismo. La altura máxima de operación del equipo de carguío, es un factor determinante para seleccionar la altura de un banco en una explotación a cielo abierto.
- **Ángulo de inter-rampa:** corresponde a la inclinación medida entre la pata del banco inferior y la del banco superior, para el segmento de bancos contenidos entre: rampas, la base del pit y la intercepción del talud con la superficie topográfica original (Díaz, 2017). Este ángulo no varía con el número de bancos.
- **Altura inter-rampa:** altura en la vertical entre la pata del banco inferior y la cresta del banco superior (Díaz, 2017).
- **Ángulo global:** corresponde a la inclinación medida entre la pata del banco más profundo del pit y la cresta del banco que intercepta la superficie topográfica original (Díaz, 2017).
- **Altura global:** altura proyectada en la vertical entre la pata del banco más profundo del pit y la cresta del banco que intercepta a la superficie topográfica original (Díaz, 2017).
- **Ancho berma:** corresponde a la distancia horizontal medida entre la cresta de un banco y la pata del banco superior. Es un componente de seguridad para toda la mina, permitiendo la contención de desprendimiento de material, o la caída de rocas desde bancos superiores (Parra, 2015; Atkinson, 1992).

Los componentes anteriormente descritos se observan en la figura 3.1.

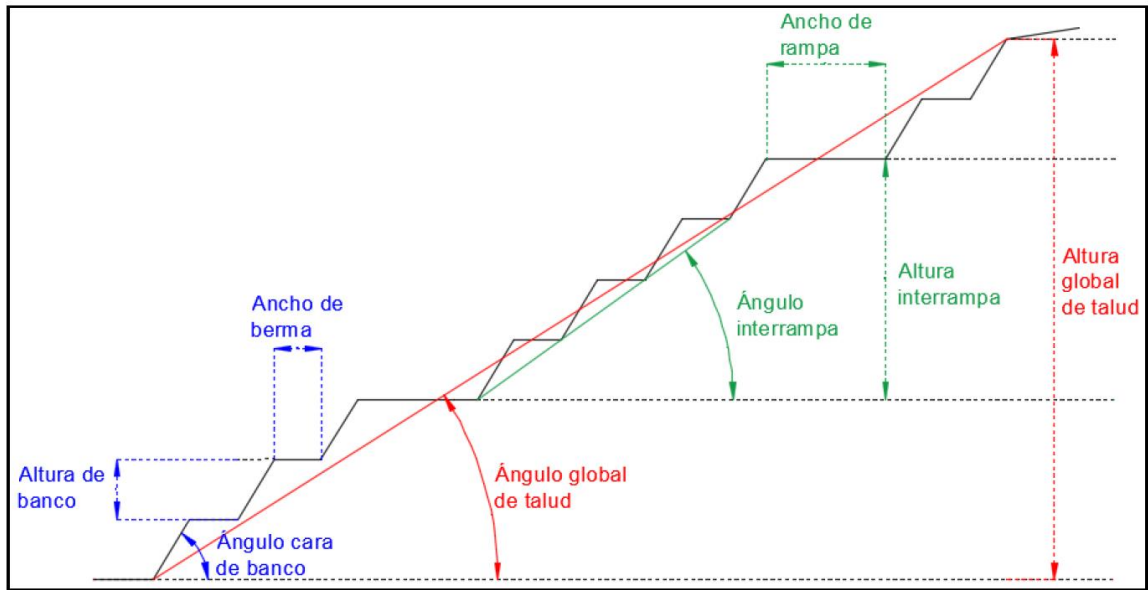


Figura 3.1- Componentes geométricos de un talud minero

Extraído: Planificación Minera a Cielo Abierto Considerando Diseño Óptimo de Rampas, 2017.

3.2. Perforación

La perforación es la operación que se realiza con el fin de abrir tiros en el macizo rocoso, con una distribución y una geometría adecuada de acuerdo a cada mina, en donde posteriormente se alojaran las cargas explosivas, con el objeto de tronar cierta cantidad de roca y/o mineral (SONAMI,2014). En minería a cielo abierto la perforación debe ser igual a la altura del banco más la pasadura.

3.2.1 Pozos de perforación

Una excavación eficiente necesita que las condiciones en el pie del talud se adapten al equipo de carguío. Los pozos de perforación corresponden a la perforación realizada con la finalidad de cargar la columna de explosivo para realizar la tronada del material (Castillo, 2019). Las condiciones en la pata del banco se ven afectadas fuertemente por la cantidad de pasadura efectiva. La pasadura corresponde a la longitud de la carga explosiva que se encuentra bajo el nivel del piso del banco (Castillo, 2019). Esta pasadura está relacionada con el tipo de pozos obtenidos luego de la perforación y son designadas por diseño minero, los que se presentan a continuación:

- Pozos sub perforados

En estos pozos, se considera pasadura negativa, por lo que el pozo es más corto de lo normal, no alcanza a llegar al fondo del pozo y por tanto no corta la cresta del banco futuro. Estos pozos son los que más impactan, ya que si quedan cortos existirá una alta probabilidad de que queden sobre pisos y patas en los bancos tronados.

- Pozos sobre perforados

En estos pozos, se considera una pasadura excesiva, por lo que el pozo es más largo de lo aceptado. Este tipo de pozos son acotados por parte de la operación y se llevan a la cota que corresponde, estos pozos son considerados una pérdida económica por lo que conlleva su reparación.

- Pozos rango aceptable

En estos pozos, se considera una pasadura aceptable acorde a su geometría.

3.2.2 Burden

Se define como la distancia que existe desde el barrenado a la cara libre. Si el valor del burden es pequeño la roca es lanzada a una distancia cercana a la cara, lo que provoca una fragmentación fina, sobrepresión y sobre rompimiento en el área, por el contrario, si existe un burden excesivo aumenta en gran medida las vibraciones, provoca una fragmentación extremadamente gruesa de las rocas y en ocasiones genera problemas en la pata y cresta del banco (Castillo, 2019). Ilustrado en la figura 3.2.

3.2.3 Espaciamiento

Espaciamiento es la distancia entre un pozo y otro en la misma fila, este espaciamiento está ligado con el Burden. Si el espaciamiento es muy pequeño produce entre las cargas una excesiva trituración y fracturas superficiales si, por el contrario, el espaciamiento es excesivo se produce un fracturamiento inadecuado entre las cargas, lo que viene acompañado de problemas en las patas y un frente muy irregular con rocas que sobresalen de la cara del banco.

3.2.4 Taco

El taco es el material inerte añadido a la parte superior del pozo de tronadura el que se rellena con material estéril (detritus principalmente) y tiene como fin confinar los gases producidos en la explosión y prevenir una proyección y sobrepresión de aire excesiva para permitir el desarrollo por completa de la fragmentación de la roca (Castillo, 2019). Con tacos largos se espera reducción en la cantidad de proyección, sobre tamaño de rocas post tronadura, reducción en la cantidad de explosivos en los pozos, reducción de la energía total disponible y crestas poco limpias. Por el contrario, si los tacos son cortos se espera exceso de carga explosiva, mayor sismicidad, mejor granulometría, mayor flyrock, eyecciones de tacos y crestas limpias. Ilustrado en la figura 3.2.

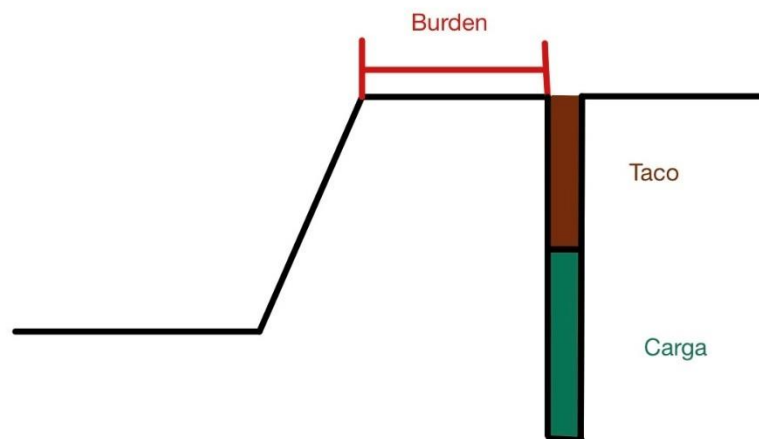


Figura 3.2.- Imagen que muestra posición de burden, taco y carga.

(Elaboración propia)

3.2.5 Burden de alivio

Es el tiempo en milisegundos que se le da a cada burden efectivo, es decir, son zonas en donde se les da una secuencia un poco más larga con tal de evitar interacción entre pozos, son milisegundos por metro (ms/m). Entre más rápida es la interacción entre pozos la fragmentación es mucho mayor, al igual que el nivel de vibraciones y, por lo tanto, el daño es mucho mayor. Por el contrario, si la interacción entre pozos es menor la fragmentación será menor, es decir más gruesa, pero el daño y las vibraciones serán menores.

3.2.6 Líneas de isotiempo

Relacionada con el burden de alivio, trabajan al igual que las curvas de nivel e indican y unen puntos cuyos tiempos son parecidos, ya que la diferencia es en milisegundos. Estas líneas representan el movimiento de una fila de pozos en la tronadura. Para un mayor alivio, las líneas de isotiempo deben ser cada vez más cerca entre ellas. Además, estas deben cortar las estructuras, por el contrario, si están en favor de las estructuras estas se abrirán.

3.2.7 Factor de carga

El factor de carga se describe como la cantidad de explosivo usado para fragmentar un tonelaje de roca asociado a la tronadura, puede ser expresado mediante unidades de gr/m³ o gr/ton. El valor de este factor de carga varía dependiendo del diámetro del tiro, de la malla de perforación, del tipo de explosivo utilizado, y del tipo y calidad de roca a la cual se aplicará la tronadura (Castillo, 2019). El cálculo de esta se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$F_c = \frac{\text{Gramos de explosivos utilizados}}{\text{Toneladas de roca removido}}$$

Este factor de carga es diferente para cada tronadura, para la tronadura de contorno en la línea buffer el factor es de menor cantidad, mientras que para las tronaduras de producción se les da un factor mayor.

3.2.8 Explosivos

Los explosivos se definen como sustancias químicas que tienen cierto grado de inestabilidad en los enlaces atómicos de sus moléculas que, ante determinadas circunstancias o impulsos externos, propicia una reacción rápida de disociación y nuevo reagrupamiento de los átomos en formas más estables. Los explosivos en condiciones normales de temperatura y presión son inocuos, pero que por medio de un iniciador o explosivo primario pasan violentamente al estado gaseoso, generando un gran aumento de volumen, una alta temperatura y presión. La onda se genera por el aumento de volumen que sufren los productos de reacción en forma gaseosa, por consiguiente, se dispone de energía mecánica suficiente y aplicable a la fragmentación de rocas.

En Minas El Romeral los explosivos están a cargo de la empresa ENAEX Servicios S.A., y los utilizados actualmente son:

- Booster: APD450
- Explosivos a granel: Vertex 950, Vertex 930, ANFO, Emultex
- Explosivo encartuchado para pre-cortes: Enaline 1 ¼" x 12 mts, Enaline 1 ½" x 12 mts

○ **Booster APD450**

Es un explosivo potente, de alta densidad, velocidad y presión de detonación, por lo que la columna explosiva que será activada con este, maximizará su desarrollo energético, lo cual redundará favorablemente en el resultado de la voladura (Figura 3.3).



Figura 3.3- Explosivo Booster

Extraído: Famesa S.A (2021)

- **Explosivos a granel**

- Vertex:**

Es un agente de voladura de alta calidad, versatilidad y energía, especialmente diseñado para optimizar energía y ampliar mallas. Su formulación y alto rendimiento le permite ser utilizado en terrenos con distintas condiciones y durezas de roca.

- ANFO:**

Agente de voladura fabricado con nitrato de amonio, grado explosivo de baja densidad y alta absorción de petróleo, permitiendo generar un explosivo de alta calidad. Este agente se mezcla y carga in-situ mediante camiones diseñados para tronadura de superficie, especialmente cuando se desea una moderada concentración de carga. Se recomienda utilizarlo en perforaciones mayores a 3'' de diámetro, sin presencia de agua (Figura 3.4).



Figura 3.4- Explosivo ANFO.

Extraído: Enaex (2021)

- Emultex:**

Agente de tronadura a granel, a base de una mezcla de Emulsión y Anfo, sensibilizada al momento del mezclado y carguío en las perforaciones. Se puede encontrar en diferentes tipos dependiendo del diámetro de largo (Figura 3.5).

- Emultex CN
- Emultex CP
- Emultex PG
- Emultex P 1



Figura 3.5- Explosivo Emultex.

Extraído: Enaex (2021)

○ **Explosivo encartuchado para pre-cortes**

Enaline:

Emulsión explosiva envasada de diámetro pequeño, se presenta envasado en mangas continuas de polietileno, engrapadas cada 16 pulgadas y en toda su longitud trae adosado cordón detonante que produce una iniciación lateral y simultánea (Figura 3.6). Es especial para trabajos de pre-corte en minería a cielo abierto.



Figura 3.6- Explosivo Enaline

Extraído: Enaex (2021)

3.3 Tronadura

Tronadura es la fragmentación instantánea que se genera en la roca provocada por la detonación de explosivos depositados en su interior (SONAMI,2019).

3.3.1 Tipos de tronadura

3.3.1.1 Tronaduras de producción

Corresponden a las tronaduras lejanas a las paredes del talud, se destaca que las tronaduras de producción se pueden realizar en mineral y en estéril, el objetivo de estas tiene como finalidad separar el mineral del macizo rocoso, además de reducir el tamaño de las rocas para hacer más fácil el transporte de estas a las áreas de carguío, transporte y posteriormente al área de producción. Los factores de carga utilizados en estas tronaduras son de mayor nivel que las de las tronaduras de contorno (Moraga, 2018).

3.3.1.2 Tronaduras de contorno

Corresponde a las tronaduras que se realizan pegadas a las paredes del talud y son las menos productivas y con mayor costo para la empresa, ya que con estas se debe cuidar las

paredes del talud además de cumplir con los estándares de seguridad. El factor de carga utilizado en estas tronaduras es de baja energía. Para favorecer a estas tronaduras suelen adoptarse medidas tales como efectuar una intercalación de barrenos vacíos entre cargados, con el fin de crear una línea de menor resistencia, otra medida es el desacoplamiento o también llamado holgura de las cargas dentro del barreno para crear así una cámara de aire que amortigüe la onda de compresión (Moraga, 2018).

El presente trabajo está focalizado en estas tronaduras y dentro de estas se encuentran:

- Tiros de pre-corte (Fila de pre-cortes)

Disparo de barrenos de contorno con anterioridad a la tronadura general, el efecto de estos tiros es generar una grieta que aisle la roca del macizo rocoso (Konya, 1998). Generalmente estos tiros se disparan con una anterioridad de días, sin embargo, en algunas mineras se disparan en conjunto con resto de la tronadura, pero con mínimo de 200 milisegundos de desfase, además en esta fila de pozos con el fin de dañar lo menos posible la pared del talud se utiliza un espaciamiento reducido, un bajo factor de carga, diámetros con un diámetro más pequeño y por lo general sin pasadura.

- Tiros buffer (Fila buffer)

Ubicados después de la fila de pre-cortes (Figura 3.7), ocupa un factor de carga menor, al igual que un menor burden y espaciamiento que los tiros de producción y que la fila amortiguada.

- Tiros amortiguada (Fila amortiguada)

Ubicados después de los tiros buffer (Figura 3.7), el impacto en el talud es en conjunto con la fila buffer. El factor de carga es mayor a los tiros buffer, pero menor a los tiros de producción (Floyd, 1998). A estos tiros se les da una pasadura negativa para que no alcance a llegar al fondo del pozo y, por lo tanto, existe un menor impacto de energía en la cresta futura.

- Tiros de producción (Fila de producción)

Últimas filas de la malla en la tronadura de contorno (Figura 3.7), el objetivo de estas es fracturar el macizo rocoso para así desprender el mineral de interés de la roca por lo que

requiere un factor de carga mayor al resto de la malla. A estas filas se les da una pasadura mayor para que tengan un piso más estable y no queden sobre pisos.

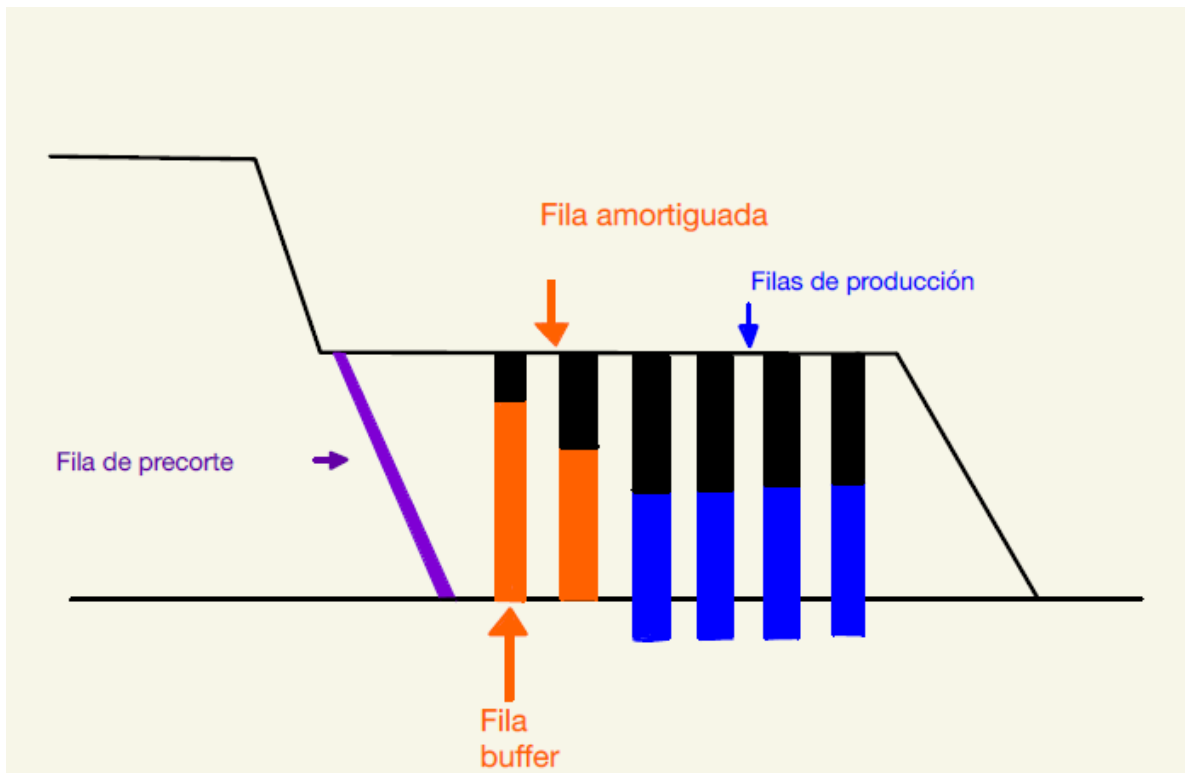


Figura 3.7- Esquema de los tipos de pozos de tronadura (elaboración propia)

3.4 Modelo geomecánico

Es necesario el conocimiento geológico y geomecánico de los materiales que forman el talud, de los posibles modelos o mecanismos de rotura que pueden tener lugar y de los factores que influyen, condicionan y desencadenan las inestabilidades. El objetivo de este modelo es facilitar la gestión de información de manera adecuada entre cada una de las partes que lo constituyen, además debe ser actualizado en todo momento de acuerdo a la etapa en donde se desarrolle. Por lo que es de primordial importancia realizar modelos geológicos, hidrogeológicos y geomecánico del macizo rocoso perteneciente al yacimiento.

3.4.1 Modelo geológico

Los modelos geológicos son representaciones gráficas bidimensionales o tridimensionales de los cuerpos geológicos in situ que agrupan el yacimiento. Estos modelos se generan a partir de interpretaciones que el geólogo de campo realiza a partir de logueos de testigos realizados en campañas de perforación exploratoria.

Este modelo representa la distribución de los materiales involucrados, los cuales son litología, mineralización, grado y tipo de alteración, y parámetros geológicos que puedan modificar las propiedades del macizo rocoso.

Este modelo desde el punto de vista geotécnico, es relevante para poder definir los factores de carga en las tronaduras de contorno dependiendo del tipo de roca que se tenga y así maximizar la explotación de un cuerpo mineralizado, sin descuidar el talud.

3.4.2 Modelo hidrogeológico

La caracterización hidrogeológica resulta fundamental para definir posibles infiltraciones de agua en la mina y si se necesitan potenciales requerimientos de drenaje y/o bombeo, ya que estas infiltraciones pueden tener efectos negativos en la estabilidad del talud.

3.4.3 Modelo estructural

Con el modelo estructural es posible describir la orientación y distribución espacial de las estructuras geológicas que pueden llegar a influir en la estabilidad del talud (Castillo, 2019). En el modelo estructural se incluyen las características de las fallas y los pliegues presentes en la mina, además de otras estructuras. Este modelo está desarrollado en dos niveles:

- Estructuras mayores: pliegues y fallas a escala mina
- Estructuras menores: juntas, diaclasas y fallas a escala local.

Las estructuras menores poseen continuidad limitada, pero muy poco espaciadas y también impactan en la estabilidad de las labores mineras según su orientación espacial en la que se encuentran respecto al avance de las labores mineras (formación de cuñas y bloques, caída por gravedad y deslizamiento).

3.4.3.1 Fallas

Una falla es una fractura en la corteza terrestre a lo largo de la cual se mueven bloques rocosos que son separados por ella. Esencialmente, son planos de discontinuidad originados cuando la roca ha estado sometida a un esfuerzo tectónico que sobrepasó su límite de rotura (Fossen, 2010), se originan cuando las dos secciones que separa la fractura han sufrido desplazamiento, una respecto a la otra, paralelamente a la fractura, y que dependiendo de su movimiento recibe su nombre, como se indica en la figura 3.8. La magnitud del desplazamiento puede variar entre milímetros (carácter local) y decenas de kilómetros (carácter regional).

Diaclasa o también llamada junta, es una discontinuidad planar o sub planar visible que separa cuerpos rocosos donde no se aprecie un movimiento de cizalla medible (Van der Pluijm & Marshak, 2004) y cuando su límite de elasticidad es superado por la aplicación de un esfuerzo. Son las fracturas más comunes en casi todos los tipos de rocas. En un macizo rocoso se pueden encontrar conjuntos de discontinuidades con un patrón de orientación similar.

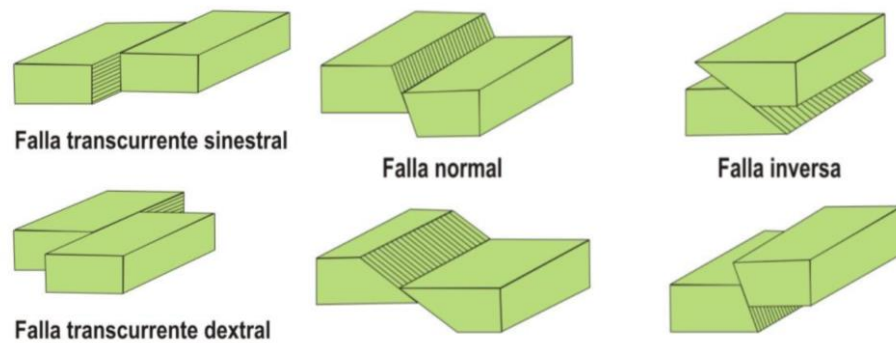


Figura 3.8- Tipos de desplazamiento falla geológica.

Extraído: Geología Estructural Aplicada a la Minería y Exploración Minera, J. Lillo, 2013.

3.4.4 Mecanismos de inestabilidad asociados a taludes

a) Falla planar

También denominada falla o rotura plana, es aquella que se genera a través de una superficie relativamente uniforme, dependiendo de la escala involucrada y las

características geométricas de la estructura (J. M. Madariaga, 2015). Se produce siguiendo una discontinuidad con dirección bastante similar a la que tiene el talud (Figura 3.9, izquierda), para que ocurra un deslizamiento de cuña se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Debe aparecer una estructura (plano débil).
- El rumbo de la estructura debe formar un ángulo no mayor de 20° con el rumbo del talud.
- La estructura debe aflorar en el talud, es decir, debe ser menos empinada que este.
- La inclinación de la estructura debe ser mayor que su ángulo de fricción.

b) Falla tipo cuña

Este tipo de mecanismo de falla o rotura, está formado por la intersección de dos planos de discontinuidad de diferente orientación, los que generan una geometría en forma de cuña, como se indica en la figura 3.9 (derecha), en el que la roca contenida es potencialmente inestable y podrá eventualmente deslizarse (J. M. Madariaga, 2015). Para que ocurra un deslizamiento de cuña deben cumplirse las siguientes condiciones:

- Deben aparecer dos estructuras (planos débiles), orientados de modo tal que se intersecten y formen una cuña.
- La línea de intersección de estas estructuras debe aflorar en el talud,
- La inclinación de las estructuras y de su línea de intersección debe ser tal que los ángulos de fricción de las estructuras sean insuficientes para mantener la cuña estable.

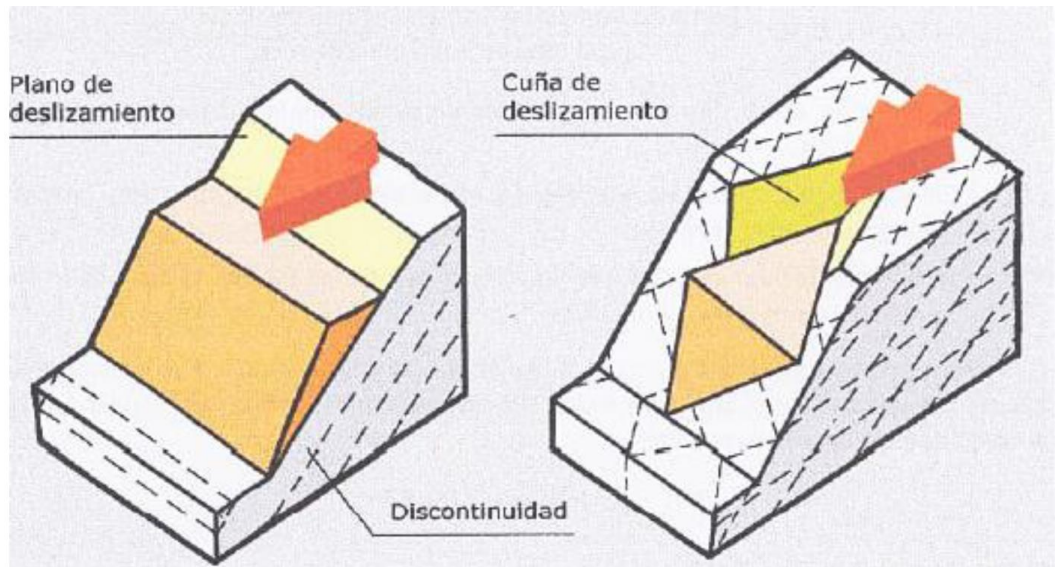


Figura 3.9- Esquema de rotura plana (izquierda) y rotura por cuña (derecha).

Extraído: Guía Control Geotécnico en Minería a Cielo Abierto, J. M. Madariaga, 2015.

c) Falla por vuelco

Este tipo de fallamiento se produce en taludes de macizo rocosos en donde se tiene una familia de discontinuidades muy persistentes y relativamente poco espaciadas, estos estratos presentan buzamiento contrario a la inclinación del talud y dirección paralela o sub paralela al mismo (J. M. Madariaga, 2015), como se ilustra en la figura 3.10. Para que ocurra un volcamiento deben cumplirse las siguientes condiciones:

- Debe aparecer una estructura (plano débil).
- El rumbo de la estructura debe formar un ángulo no mayor que unos 30° con el rumbo del talud.
- La estructura debe mantenerse hacia la parte interna del talud, es decir, en dirección opuesta a la dirección de manto de la cara del banco.

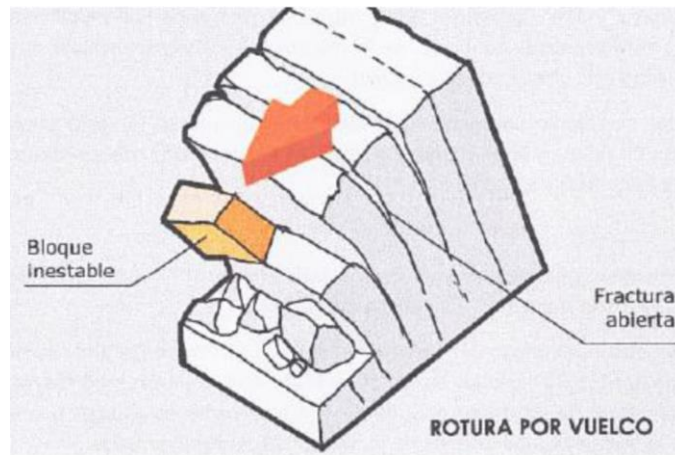


Figura 3.10- Esquema de rotura por vuelco.

Extraído: Guía Control Geotécnico en Minería a Cielo Abierto, J. M. Madariaga, 2015.

d) Falla circular o rotacional

Este tipo de fallamiento no presenta control estructural, y se produce por deslizamiento del material siguiendo una trayectoria circular (Figura 3.11). La principal causa de este tipo de falla es el incremento de la inclinación del talud, meteorización y fuerzas de filtración. Al no tener un control estructural, la superficie de deslizamiento es libre de encontrar el camino de menor resistencia a través del talud del banco. (J. M. Madariaga, 2015).

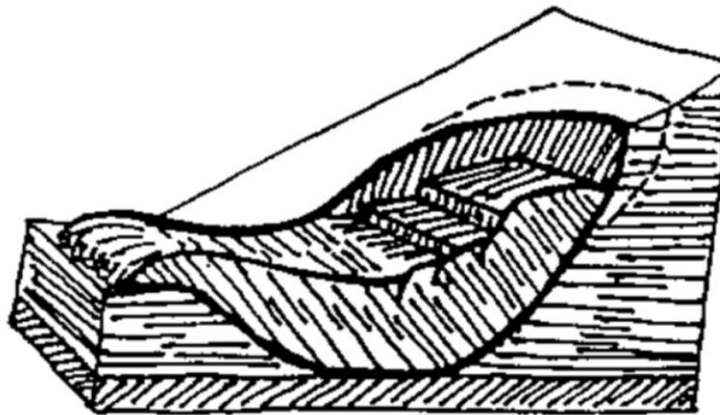


Figura 3.11- Esquema de rotura circular.

Extraído: Guía Control Geotécnico en Minería a Cielo Abierto, J. M. Madariaga, 2015.

e) Caída de rocas

Rockfall o también conocido como caída de rocas, no tiene control estructural y es cuando material suelto cae desde las caras del talud, como se ilustra en la figura 3.12. Se produce cuando, por diferentes razones, el macizo rocoso colapsa o falla, lo que genera inestabilidad y por acción de la gravedad las rocas caen de forma repentina. Una de las causas de este término, es el uso excesivo de explosivos en una tronadura, lo que debilita las paredes y provoca la generación de microfracturas y aperturas de diaclasas.



Figura 3.12- Fotografía caída de rocas in situ.

Extraído: Minas El Romeral (2021)

f) Derrame

Los derrames son caídas repentinas de una porción de suelo y roca por pérdida de la resistencia al esfuerzo cortante (Figura 3.13). No presentan planos o superficies de deslizamiento.



Figura 3.13- Fotografía de derrame in situ.

Extraído: Minas El Romeral (2021)

3.4.5 Modelo macizo rocoso

El propósito de este modelo es determinar las propiedades geomecánicas del macizo rocoso a ser usadas en el análisis de estabilidad y diseño de las labores para cada etapa del desarrollo del proyecto. Este modelo debe estar conformado por diferentes análisis como son las propiedades de la roca intacta, índice RQD, clasificación geomecánica, resistencia de las estructuras mayores y propiedades de resistencia del macizo rocoso.

3.4.5.1 Roca intacta

Es un bloque o trozo libre de fracturas y juntas que se encuentra ubicado entre las discontinuidades del macizo rocoso y podría ser representada por una muestra de mano o trozo de testigo que se utiliza para ensayos de laboratorio.

3.4.5.2 Discontinuidades

Planos de estructuras que afectan a la continuidad y las propiedades de una roca (deformabilidad, resistencia, permeabilidad). Las superficies de discontinuidad pueden aparecer durante la deformación de la roca o bien, posteriormente, por causas tectónicas.

Generalmente, la resistencia a la tracción de los planos de discontinuidad es muy baja o nula.

3.4.5.2.1 Propiedades de las discontinuidades

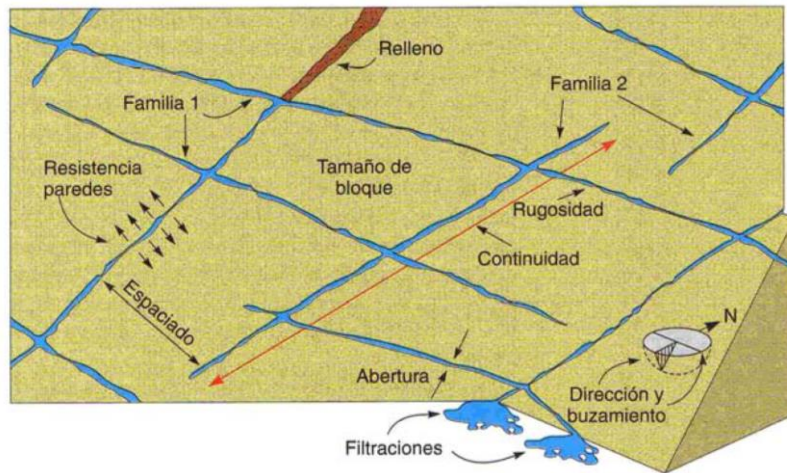


Figura 3.14- Representación esquemática de las propiedades geométricas de las discontinuidades.

Extraído: Ingeniería Geológica, L. Gonzáles de Vallejo, 2004.

a) Orientación

La orientación de una discontinuidad en el espacio viene dada por el buzamiento y por la dirección de inclinación medida desde el norte verdadero en el sentido de las agujas del reloj (azimutal). Midiendo la orientación de unas discontinuidades respecto de otras se puede determinar la forma de los bloques y si estos actúan de forma favorable o desfavorable en cuanto a la estabilidad. Según la orientación similar de un grupo de discontinuidades se puede definir si se está en presencia de un sistema o una familia de discontinuidades (Brown, E. T. 1981).

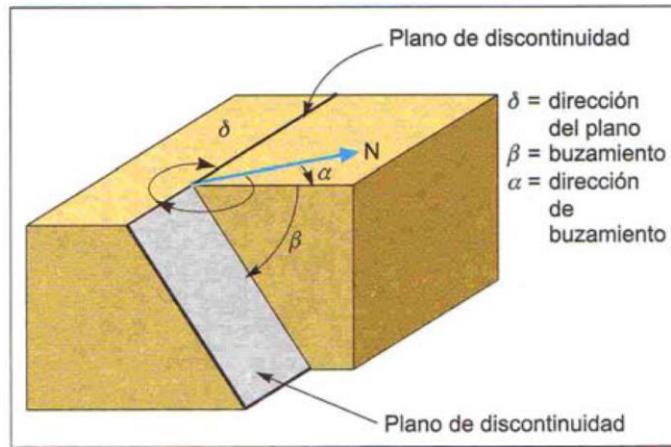


Figura 3.15- Medida de la orientación de discontinuidades.

Extraído: Ingeniería Geológica, L. Gonzáles de Vallejo, 2004.

b) Espaciado

Este término se refiere a la distancia perpendicular existente entre discontinuidades adyacentes, además, determina el tamaño de los bloques de material rocoso. Cuanto menos espaciado tengan, los bloques serán más pequeños y cuanto más espaciado tengan, los bloques serán más grandes (Brown, E. T. 1981).

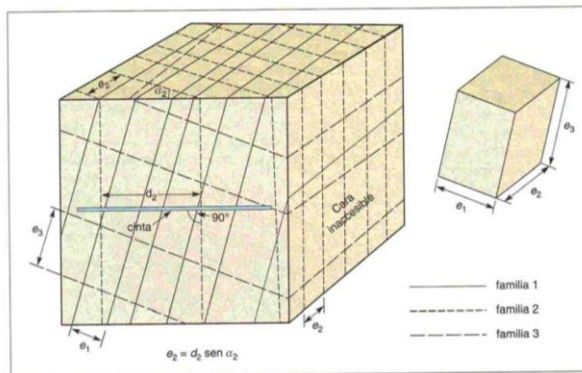


Figura 3.16- Espaciamiento en sistema de discontinuidades.

Extraído: Ingeniería Geológica, L. Gonzáles de Vallejo, 2004.

c) Persistencia

La persistencia o continuidad corresponde a la extensión en área o tamaño de una discontinuidad, medida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento

(Figura 3.17). Es un parámetro de gran importancia, pero de difícil medición. Cuanto menor sea la persistencia, la masa rocosa será más estable y si la persistencia es mayor, será menos estable (Brown, E. T. 1981).

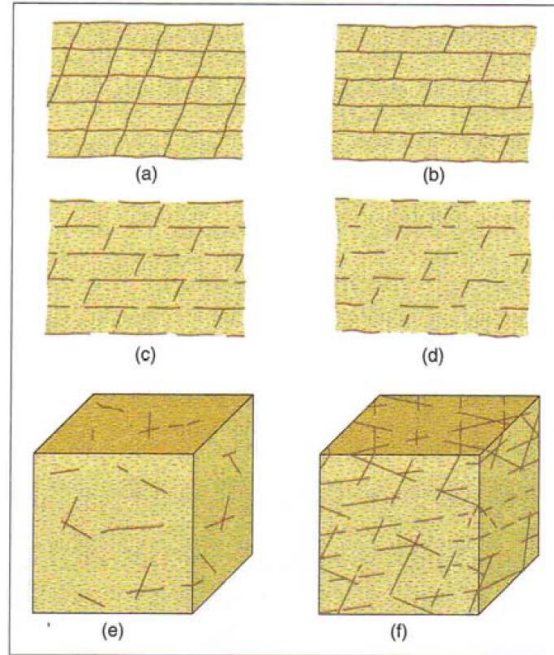


Figura 3.17- Diagramas mostrando distintos modelos de continuidad o persistencia de varias familias de discontinuidades.

Extraído: Ingeniería Geológica, L. Gonzáles de Vallejo, 2004.

d) Rugosidad

Es la aspereza o irregularidad de la superficie de la discontinuidad. Cuanta menor rugosidad tenga una discontinuidad, la masa rocosa será menos competente y cuanto mayor sea esta, la masa rocosa será más competente. En general, la rugosidad de una discontinuidad viene caracterizada por su ondulación y aspereza. Se reconocen dos tipos, primer orden en donde se describen como superficies planares, onduladas y escalonadas, y las de segundo orden, que se describen como superficies pulidas, lisas y rugosas, ilustradas en la figura 3.18. (Brown, E. T. 1981).

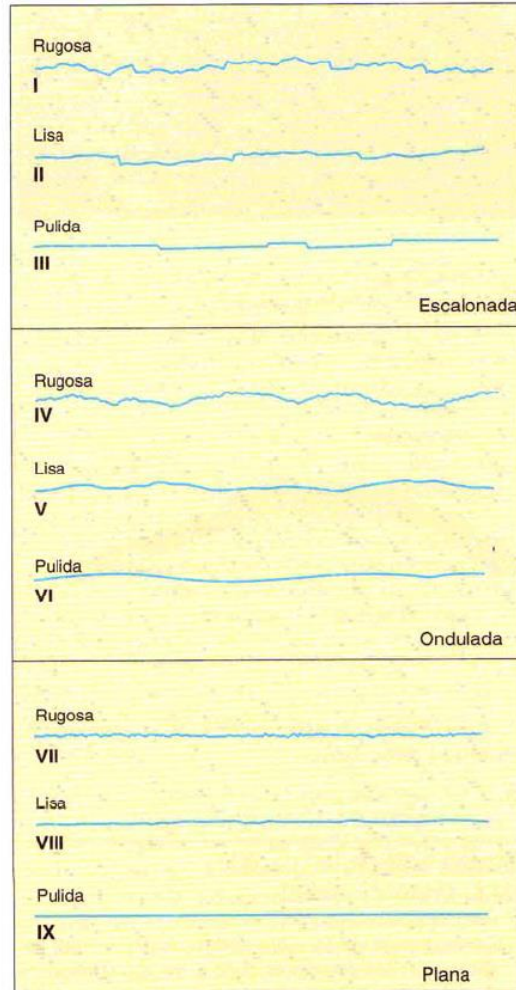


Figura 3.18- Perfiles de rugosidad.
 Extraído: Ingeniería Geológica, L. Gonzáles de Vallejo, 2004.

e) Apertura

Es la separación entre las paredes rocosas de una discontinuidad o el grado de apertura que esta presenta cuando no existe relleno, como se ilustra en la figura 3.19 (b). A menor apertura, las condiciones de la masa rocosa serán mejores y a mayor apertura, las condiciones serán más desfavorables. (Brown, E. T. 1981).

f) Relleno

Corresponde a los materiales que se encuentran dentro de la discontinuidad (Figura 3.19 (c)). Cuando los materiales son suaves, la masa rocosa es menos competente y cuando estos son más duros, esta es más competente. (Brown, E. T. 1981).

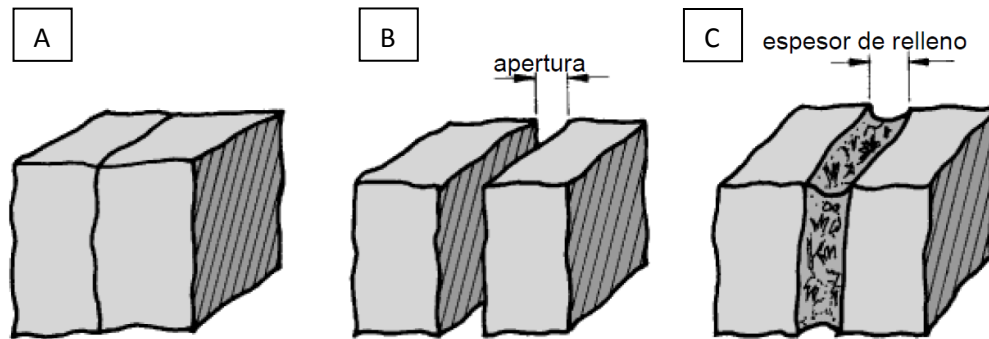


Figura 3.19- Definición de discontinuidad cerrada (a) abierta(b) y rellena(c).
Extraído: Mecánica de rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes, 2004.

g) Circulación de agua

La circulación de agua a través de los macizos rocosos resulta principalmente del flujo de agua a lo largo de las discontinuidades (permeabilidad secundaria). Sin embargo, la permeabilidad “primaria” del material rocoso puede ser de una importancia tal que la circulación de agua se produzca principalmente por los poros de la roca. (Brown, E. T. 1981).

3.4.5.3 Macizo rocoso

Los macizos rocosos (las masas rocosas) ocurren en la naturaleza y medio ambientes geológicos afectados por planos de discontinuidad (discontinuidades) o planos de debilidad que separan a los bloques de matriz rocosa, ambos conjuntos la matriz rocosa y discontinuidades forman el macizo rocoso.

3.4.5.3.1 Propiedades del macizo rocoso

A) Familias de discontinuidades

El comportamiento mecánico y el aspecto de un macizo rocoso están dominados por el número de familias de discontinuidades existentes en él. El aspecto del macizo rocoso se ve afectado por el número de familias, que determinan la forma de rotura por voladura, que tiende a ocurrir a lo largo de discontinuidades preexistentes. El comportamiento está especialmente afectado por el número de familias de discontinuidades, que determina el

grado en el que el macizo rocoso puede deformarse sin que se produzcan roturas en la roca. El macizo rocoso puede clasificarse por el número de familias según se indica en la figura 3.20.

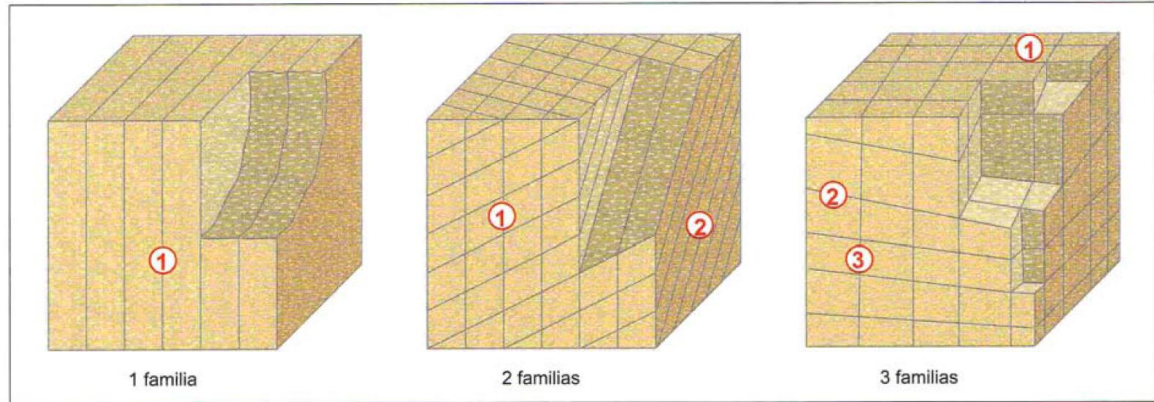


Figura 3.20- Representación del número de familias mediante bloques diagramas.
Extraído: Ingeniería Geológica, L. Gonzáles de Vallejo, 2004.

B) Tamaño de los bloques

El tamaño de los bloques que forma el macizo rocoso es un indicador muy importante de la calidad de este. Las dimensiones de los bloques vienen determinadas por el espaciado de las discontinuidades, por el número de familias y por el tamaño de las discontinuidades que delimitan los bloques potenciales, de acuerdo a lo indicado en la tabla 3.1.

Descripción	J_v (discontinuidades/m ³)
Bloques muy grandes	< 1
Bloques grandes	1-3
Bloques de tamaño medio	3-10
Bloques pequeños	10-30
Bloques muy pequeños	>30

Tabla 3.1- Descripción del tamaño de bloque en función del número de discontinuidades.

Extraído: Ingeniería Geológica, L. Gonzáles de Vallejo, 2004.

C) Grado de meteorización

La evaluación de este grado de meteorización se realiza por observación directa del afloramiento en el macizo rocoso y comparación con los índices estándares recogidos en la tabla 3.2. Puede ser necesario fragmentar un trozo de roca para observar la meteorización de la matriz rocosa.

Grado de meteorización	Tipo	Descripción
I	Fresco	No aparecen signos de meteorización.
II	Ligeramente meteorizado	La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso esta decolorado por meteorización.
III	Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
IV	Altamente meteorizado	Mas de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados.
V	Completamente meteorizado	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado

		en suelo. Se conserva la estructura original del macizo rocoso.
VI	Suelo residual	Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo. Se ha destruido la estructura del macizo rocoso y la fábrica del material.

Tabla 3.2- Evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso.
Extraído: Ingeniería Geológica, L. Gonzáles de Vallejo, 2004.

3.4.5.4 Clasificación del macizo rocoso

La clasificación geomecánica es de mucha importancia para el desarrollo minero y en especial para el análisis de propiedades del macizo rocoso que afectan a la estabilidad de este. La utilización directa de las clasificaciones para determinar la estabilidad de los taludes puede tener ventajas en fases iniciales del estudio, pero su empleo como única herramienta de decisión a nivel de proyecto es cuestionable (Bieniawski, 2003b).

Los sistemas de clasificación de los macizos rocosos tienen por objetivo evaluar sus características para determinar de forma cuantitativa su calidad y existe una gran cantidad para clasificar a este basado en sus características principales.

3.4.5.4.1 RQD – Deere (1967)

RQD (Rock Quality Designation) es el porcentaje de recuperación de trozos de testigo de un sondeo de longitud superior o igual a 10 cm en su eje comparado con el total del tramo o del sondeo, las fracturas causadas por el proceso de la perforación no deben tenerse en cuenta, y con este parámetro permite estimar el grado de fracturación del macizo rocoso. El RQD se puede determinar en el campo o zona de estudio de una operación minera mediante tres procedimientos.

El primer procedimiento se define midiendo y sumando el largo de todos los trozos del testigo mayores a 10 cm con respecto a la longitud total del sondeo, el diámetro del testigo

debe ser por lo menos de 54,7 milímetros. Matemáticamente, se representa con la ecuación 1.

$$RQD\% = \frac{\sum(\text{longitud fragmentos} \geq 10 \text{ cm})}{\text{Longitud total sondeo}} \cdot 100$$

Ecuación 1.- Cálculo de RQD en testigos de sondajes

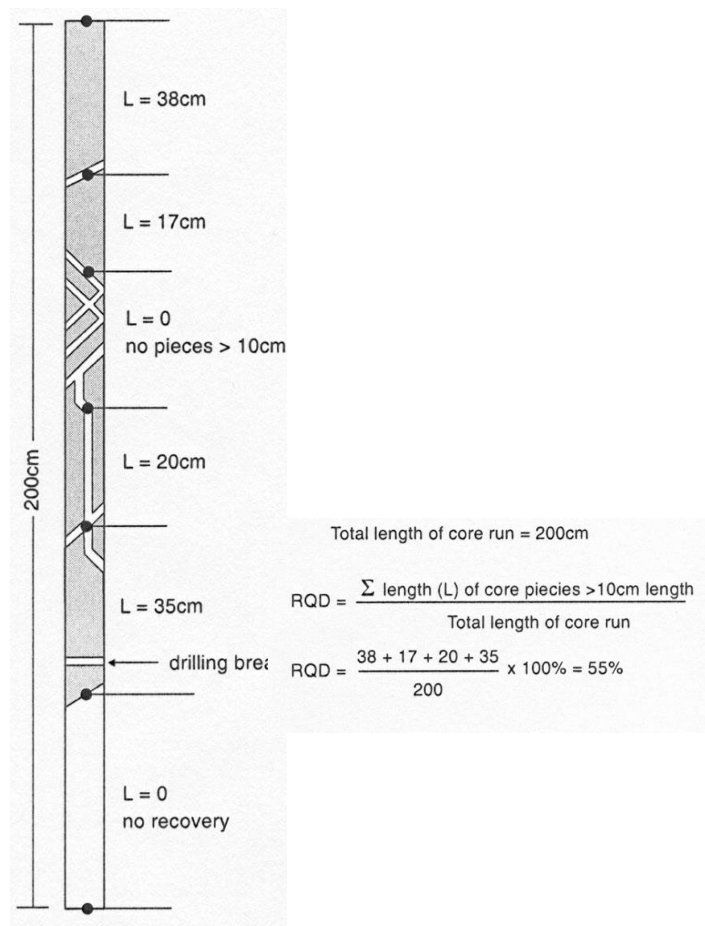


Figura 3.21- ejemplo de cálculo de RQD en tramo de sondaje.

Extraído: Procedimiento de cálculo del RQD. Deere, 1989

A partir del porcentaje obtenido se tiene una tabla de clasificación (tabla 3.3) de los macizos rocosos con la que se observa la calidad de la roca.

RQD %	Calidad de la roca
100-90	Muy buena
90-75	Buena
75-50	Aceptable
50-25	Pobre
>25	Muy pobre

Tabla 3.3- Clasificación del macizo rocoso según RQD.
Extraído: Procedimiento de cálculo del RQD. Deere, 1989

El segundo procedimiento comprende el cálculo del RQD en función del número de fisuras por metro determinadas al realizar el levantamiento litológico – estructural en el área o zona predeterminada de la operación minera. Matemáticamente, se representa con la ecuación 2, donde D corresponde al número de fisuras.

$$RQD = 100 * e^{-0.1 * D} * (0.1 * D + 1)$$

Ecuación 2.- Cálculo RQD en función del número de fisuras por metro (Priest y Hudson, 1989)

El tercer procedimiento presentado por Palmstrom en 1975, propuso que cuando no se disponga de testigos de sondeo se puede hacer una estimación del RQD en superficie, basado en el parámetro Jv (número de fisuras por metro cúbico), determinadas al realizar el levantamiento litológico – estructural en el área o zona predeterminada de la operación minera. Matemáticamente, se representa con la ecuación 3, donde Jv corresponde al número de fracturas por m³.

$$RQD = 115 - 3.3 * Jv$$

Ecuación 3.- Cálculo de RQD en función del número de fracturas por m³ (Palmstrom 1975)

3.3.5.4.2 RMR Bieniawski (1973, 1976, 1989)

RMR (Rock Mass Rating) clasificación que evalúa la calidad del macizo rocoso a partir de la dureza de la roca, calidad del macizo rocoso (RQD), espaciamiento de estructuras, condición de las estructuras y presencia de agua. Matemáticamente, se representa con la ecuación 4.

$$RMR = P(UCS) + P(RQD) + P(S) + P(JC) + P(WC)$$

Ecuación 4.- RMR (Bieniawski 1973)

Donde:

- UCS: Resistencia a la compresión uniaxial (Mpa)
- RQD: Rock Quality Designation (0-100%)
- S: Espaciamiento entre estructuras (m)
- JC: La condición de las estructuras
- WC: Condición de agua

El índice de calidad y clases para el macizo rocoso puede clasificarse en 5 categorías (Tabla 3.4)

Categoría	Clase o Calidad de Roca	RMR (%)
I	Muy Buena	$80 \leq \text{RMR} < 100$
II	Buena	$60 \leq \text{RMR} < 80$
III	Regular	$40 \leq \text{RMR} < 60$
IV	Mala	$20 \leq \text{RMR} < 40$
V	Muy Mala	$0 \leq \text{RMR} < 20$

Tabla 3.4- Clasificación del tipo de calidad de la roca según RMR.
Extraído: Guía Control Geotécnico en Minería a Cielo Abierto, 2015.

Los parámetros que influyen en el índice RMR son:

- Resistencia a la compresión uniaxial: determinada en laboratorio mediante muestras de rocas intactas y ensayos de carga puntual. La puntuación va de 0 a 15 dependiendo del puntaje de la resistencia de la roca.
- Valor RQD: se asigna desde 3 puntos si el RQD es inferior a 25% y hasta 20 puntos si el valor del RQD es mayor a 90%.
- Espaciamiento entre estructuras: puntaje obtenido del espaciamiento entre discontinuidades, la puntuación es de 30 puntos para fracturas separadas más de 3 metros y de 5 puntos para fracturas espaciadas menos de 50 mm.
- Condición de estructuras: puntaje obtenido de la condición de las discontinuidades, las cuales son a través de persistencia de las discontinuidades, abertura, rugosidad, presencia de relleno y alteración de las juntas. En superficies

muy rugosas, sin continuidad y sin separación con paredes de roca dura el valor es de 25 puntos y para relleno > 5 mm o fisuras abiertas > 5 mm y continuas es valor es de 0 puntos.

- Condición de agua: mide el flujo del agua, la humedad existente en las discontinuidades y las filtraciones de agua en el macizo rocoso. La puntuación es de 15 para un macizo rocoso totalmente seco, 10 para cuando es húmedo, 7 para cuando es mojado, 4 para cuando está goteando y de 0 para cuando está fluyendo.

3.4.5.4.3 Índice de resistencia geológica (GSI)

El GSI (Geological Strength Index), desarrollado por Hoek (1994), es una clasificación con la cual se puede evaluar el índice de calidad geotécnica en los macizos rocosos, combina dos aspectos fundamentales sobre el comportamiento de un macizo, la fracturación y la resistencia al corte de las discontinuidades.

Esta clasificación se basa en una observación cuidadosa de manera visual del macizo rocoso en afloramientos y en sondeos, que, además, incorpora la estructura del mismo y las características geomecánicas de las superficies de discontinuidad existentes en este, por lo cual se trata de una clasificación cualitativa.

Se determina tomando en consideración dos parámetros que son:

RMS: estructura del macizo rocoso, definida en términos de su blocosidad y grado de trabazón.

Jc: condición de las estructuras (discontinuidades) presentes en el macizo rocoso.

La evaluación del GSI se realiza mediante una cartilla (Figura 3.22) y las observaciones en terreno, el índice puede variar de 0 a 100, lo que permite definir 5 clases de macizos rocosos:

- Macizos de calidad Muy Mala: $0 \leq \text{GSI} \leq 20$
- Macizos de calidad Mala: $20 < \text{GSI} \leq 40$
- Macizos de calidad Regular: $40 < \text{GSI} \leq 60$
- Macizos de calidad Buena: $60 < \text{GSI} \leq 80$
- Macizos de calidad Muy Buena: $80 < \text{GSI} \leq 100$

ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO	CONDICIONES DE LOS LABIOS DE LAS DISCONTINUIDADES				
	MUY BUENA	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA
	CALIDAD DECRECIENTE DE LOS LABIOS DE LAS DISCONTINUIDADES $\Rightarrow$				
 INTACTO O MASIVO Muestras intactas de roca o macizos rocosos masivos con pocas discontinuidades muy espaciadas.	90	80	70	N/A	N/A
 FORMADO POR BLOQUES Macizo rocoso consistente en bloques cúbicos delimitados por tres familias de discontinuidades, con los bloques bien encajados.	80	70	60	50	40
 FORMADO POR MUCHOS BLOQUES Macizo rocoso formado por bloques angulares de muchas caras delimitados por cuatro o más familias de discontinuidades. Los bloques están encajados pero sólo parcialmente.	70	60	50	40	30
 FORMADO POR MUCHOS BLOQUES, DISTORSIONADO Y BANDEADO Plegado con muchos bloques angulares formados por la intersección de muchas familias de discontinuidades. Planos de estratificación o de esquistosidad persistentes.	60	50	40	30	20
 DESINTEGRADO Macizo rocoso muy fracturado con una mezcla de bloques angulares y redondeados débilmente encajados.	50	40	30	20	10
 LAMINADO Y CIZALLADO Debido a la existencia de numerosos planos débiles muy próximos de esquistosidad o de cizalla, no existen bloques.	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Figura 3.22- Índice de resistencia geológica (GSI) para macizos rocosos (Hoek y Marinos, 2000)

Extraído: Mecánica de rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes, 2004.

3.4.5.4.4 Índice de tronabilidad Lilly (Bi)

El índice de tronabilidad de Lilly se basa en las características y condiciones del macizo rocoso para señalar su comportamiento ante una tronadura en rajo abierto (Lilly, 1986). El Bi (Blastability Index) es una buena estimación de los parámetros geológicos y geotécnicos que inciden en el cálculo de factor de carga. Este índice se obtiene mediante la suma de parámetros geomecánicos, como se observa en la ecuación 5, utilizando los parámetros descritos en la tabla 3.5.

$$BI = 0,5 * (RMD + JPS + JPO + SGI + HD)$$

Ecuación 5.- Cálculo del Índice de Tronabilidad Lilly

Donde:

BI= Índice de tronabilidad

RMD= Descripción del macizo rocoso

JPS= Espaciamiento entre plano de juntas

JPO= Orientación de los planos de juntas

SGI= Influencia del peso específico

HD= Dureza de la roca

Parámetro	Rating	
RMD	Poco consolidado	10
	Diaclasado en bloques (0,5 cm)	20
	Diaclasado en bloques (1,0 m)	30
	Diaclasado en bloques (> 1 m)	40
	Masivo	50
JPS	Muy Pequeño (< 0,1 m)	10
	Pequeño (0,1 a 0,3 m)	20
	Medio (0,3 a 0,6 m)	30
	Grande (0,6 a 1,0 m)	40
	Muy Grande (>1,0 m)	50
JPO	Horizontal	10
	Manteo hacia cara	20
	Rumbo normal a cara	30
	Manteo contra la cara	40
SGI	SGI=25xDensidad-50	-
HD	Blanda	1
	Promedio	2
	Dura	5
	Muy dura	8
	Extremadamente dura	12
	HD=0.05xUCS	-

Tabla 3.5- Distribución de puntajes para cada parámetro del macizo rocoso.

Extraído: Manual de perforación y voladura de rocas. López Jimeno, 2011.

3.4.5.4.5 Resistencia de las rocas

Trata fundamentalmente de como estimar en campo la resistencia a la compresión de las rocas, también se refiere a suelos cohesivos, ya que muchas veces estos se encuentran

rellenando discontinuidades del macizo. La resistencia se puede estimar a partir de la dureza superficial de las mismas, la cual puede obtenerse mediante el martillo de Schmidt. El martillo tipo “L” permite medir valores de la resistencia a la compresión simple de la roca comprendidos entre 20 MPa y 300 MPa. Barton y Choubey (1997), propusieron la siguiente fórmula para calcular la resistencia de la roca partiendo del índice de rebote del martillo de Schmidt:

$$\text{Log}(\sigma_c) = 0,00088 \gamma R + 1,01$$

Donde:

σ_c = resistencia a compresión simple de la capa superficial de la roca (MPa)

γ = peso específico de la roca (kN/m³)

R = índice de rebote

Para aplicar la fórmula anterior, el martillo se debe poner de manera vertical hacia abajo sobre una superficie horizontal. Los índices de rebote van en la práctica de 10 a 60. El índice más bajo corresponde a las rocas más débiles (resistencia compresión simple <20 MPa), por el contrario, el más alto es propio de las rocas muy resistentes (resistencia compresión simple >150 MPa).

La resistencia de las rocas también se puede estimar en el campo utilizando una navaja y un martillo de geólogo, aunque con estos es menor la precisión que con el martillo de Schmidt. En la tabla 3.6 se describe la forma de realizarlo según la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (Brown,1981).

Grado	Descripción	Identificación de campo	Valor aproximado de la resistencia a compresión simple en MPa
R 0	Extremadamente débil	Se puede penetrar con el dedo pulgar	0,25-1,0
R 1	Muy débil	Deleznable bajo golpes fuertes con la parte puntiaguda del martillo geológico; puede cortarse con una navaja.	1,0-5,0
R 2	Débil	Puede cortarse con dificultad con una navaja; se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente la roca con la punta del martillo	5,0-25
R 3	Media	No se puede cortar con una navaja; las muestras se pueden romper con un golpe firme con el martillo.	25-50
R 4	Resistente	Se necesita más de un golpe con el martillo geológico para romper la muestra.	50-100
R 5	Muy resistente	Se necesitan muchos golpes con el martillo geológico para romper la muestra.	100-250
R 6	Extremadamente resistente	Sólo se pueden desprender esquirlas de la muestra con el martillo geológico.	>250

Tabla 3.6- Estimación de la resistencia de las rocas mediante un martillo de geólogo y una navaja (Brown, 10981)

Extraído: Mecánica de rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes, 2004.

3.5 Criterios de aceptabilidad

Corresponde al conjunto de requisitos/restricciones que debe cumplir un talud para que su diseño sea considerado aceptable. Generalmente, el criterio de aceptabilidad depende de la magnitud y consecuencias de una eventual inestabilidad del talud, y se define en términos de valores mínimos o máximos permisibles para uno o más de los siguientes parámetros: factor de seguridad, falla de un talud minero, probabilidad de falla y/o índice de confiabilidad (Hormazábal, E., Crignola, P., Peña, P., Navarro, B., Fuentes, C & Merino, M., 2020).

1) Factor de seguridad (FS): Corresponde a la razón entre la resistencia del material y las sollicitaciones actuantes sobre el mismo. Es adimensional y generalmente se define en términos de su valor medio en una potencial superficie de ruptura. De acuerdo con esto, si FS es mayor que 1,0 se tiene una condición estable o de “no falla”; si FS es igual a 1,0

se tiene una condición de “equilibrio límite” o “falla incipiente”; y si FS es menor que 1,0 se tiene una condición de falla o inestabilidad.

2) Falla de un talud minero: Condición donde parte del material que conforma el talud sufre desplazamientos/deformaciones excesivas o inadmisibles, modificando la geometría del talud de modo tal que afecta la normal operación del sector. El volumen de material afectado, usualmente proporcional a las consecuencias de la falla, queda delimitado por la geometría del talud y por una superficie de ruptura o límite de la zona de fluencia.

3) Probabilidad de falla (PF): Corresponde a la probabilidad de que ocurra la falla de un talud minero. Generalmente, se define como la probabilidad que el FS sea igual o menor que 1,0.

CAPÍTULO 4: MARCO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO

4.1 Fase V Minas El Romeral (MER)

La fase V norte se encuentra aún en producción, está ubicada entre el rajo principal y el rajo Tauro de Minas El Romeral (Figura 4.1)



Figura 4.1- Imagen que muestra ubicación Fase V norte con respecto a Rajo Principal y Rajo Tauro

El inicio de la fase se registra en septiembre del año 2020 y va desde la cota 500 hasta la 362.5. La altura de los bancos de 12.5 metros con un ángulo de inclinación de 75° . Los pre-cortes se realizan con muy poca anterioridad a la tronadura del polígono, 3000 milisegundos antes de la tronadura, y con un ángulo de 75° , en cuanto al ancho de berma es de 6 metros, en andesita y meta-andesita el ancho es de 9.3 metros.

4.2 Marco geológico local

El yacimiento Minas El Romeral forma parte de la denominada Franja Ferrífera chilena de edad cretácico, asociado a un sistema de fallas de dirección Norte - Sur (Sistema de Fallas de Atacama) esta franja ferrífera abarca cerca de 700 km de la Cordillera de la

Costa, entre la III y IV región. Dentro de esta franja se emplazan depósitos de IOCG (hierro-cobre-oro), y depósitos de tipo IOA (magnetita-apatito) (Figura 4.2).

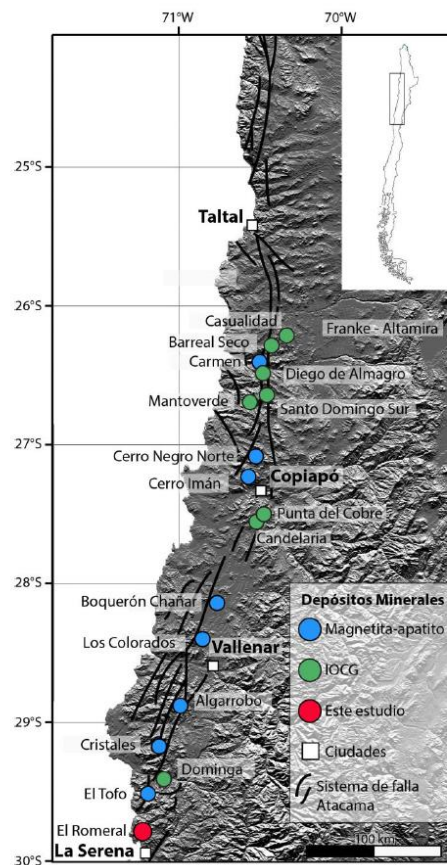


Figura 4.2- Franja de depósitos tipo IOCG-IOA en las regiones III Y IV.

Extraído: Rojas, 2017.

El yacimiento El Romeral, principal depósito tipo IOA de la IV Región, se encuentra dentro del distrito ferrífero, que forma parte de la franja ferrífera de la cordillera de la costa chilena, y se hospeda en rocas andesíticas pertenecientes a la Formación La Liga, sub miembro del Complejo Sub volcánico Agua Salada. El yacimiento se limita en el oeste por una falla transcurrente sinistral que pone en contacto a la Formación La Liga con un intrusivo de composición diorítica y en la parte oriental por un batolito granodiorítico (Bookstrom, 1977).

En general, en la zona mineralizada se distinguen: depósitos ferríferos, macizos de alta ley con morfología lenticular y disposición sub vertical; alrededor de los mismos se dispone una brecha de mediana ley y sobre la roca de caja se distinguen zonas de baja ley en las que el hierro aparece disseminado, reemplazando parcialmente o rellenando fracturas (Espinoza, 2000).

El rasgo estructural principal del yacimiento es la Falla Romeral, que lo atraviesa con dirección NS, esta falla es regional y forma parte del sistema de Falla de Atacama (Bookstrom, 1975; Espinoza, 2000).

Dentro del distrito se pueden diferenciar varios cuerpos de mena que ordenados de Norte a Sur son: Cerro Norte, Cerro Principal y Extensión Sur. Los cuerpos de mena de mayor volumen corresponden a Cerro Principal y Cerro Norte (Espinoza, 2000).

Cabe destacar que las rocas de caja han sufrido modificaciones debido a procesos tectónicos e hidrotermales. La intrusión de masas batolíticas y del magma mineralizado generan un proceso hidrotermal, cuya alteración principal es actinolita y como secundaria la alteración por feldespatos potásico y cuarzo que afecta a todo el yacimiento. Por otro lado, el efecto dinámico del sistema de fallas NS ha generado zonas esquistosas que se observan principalmente en la zona Norte del yacimiento. También se observa en el sector NE un proceso de argilización a favor del sistema de fallas NW y que probablemente sea consecuencia de los fluidos hidrotermales generados por la intrusión del batolito Punta de Piedra. Por último, a lo largo de todo el yacimiento se reconoce una densa red de diques microdioríticos porfirios, aplíticos, granodioríticos y dioríticos (Hormazábal, E., Crignola, P., Peña, P., Navarro, B., Fuentes, C & Merino, M., 2020).

Cada unidad de litología-alteración-zona mineral presenta una composición y características texturales propias, y, por lo tanto, un comportamiento geomecánico diferente. En Figura 4.3 y en la tabla 4.1 se resumen las principales unidades geotécnicas para rajo Cerro Principal.

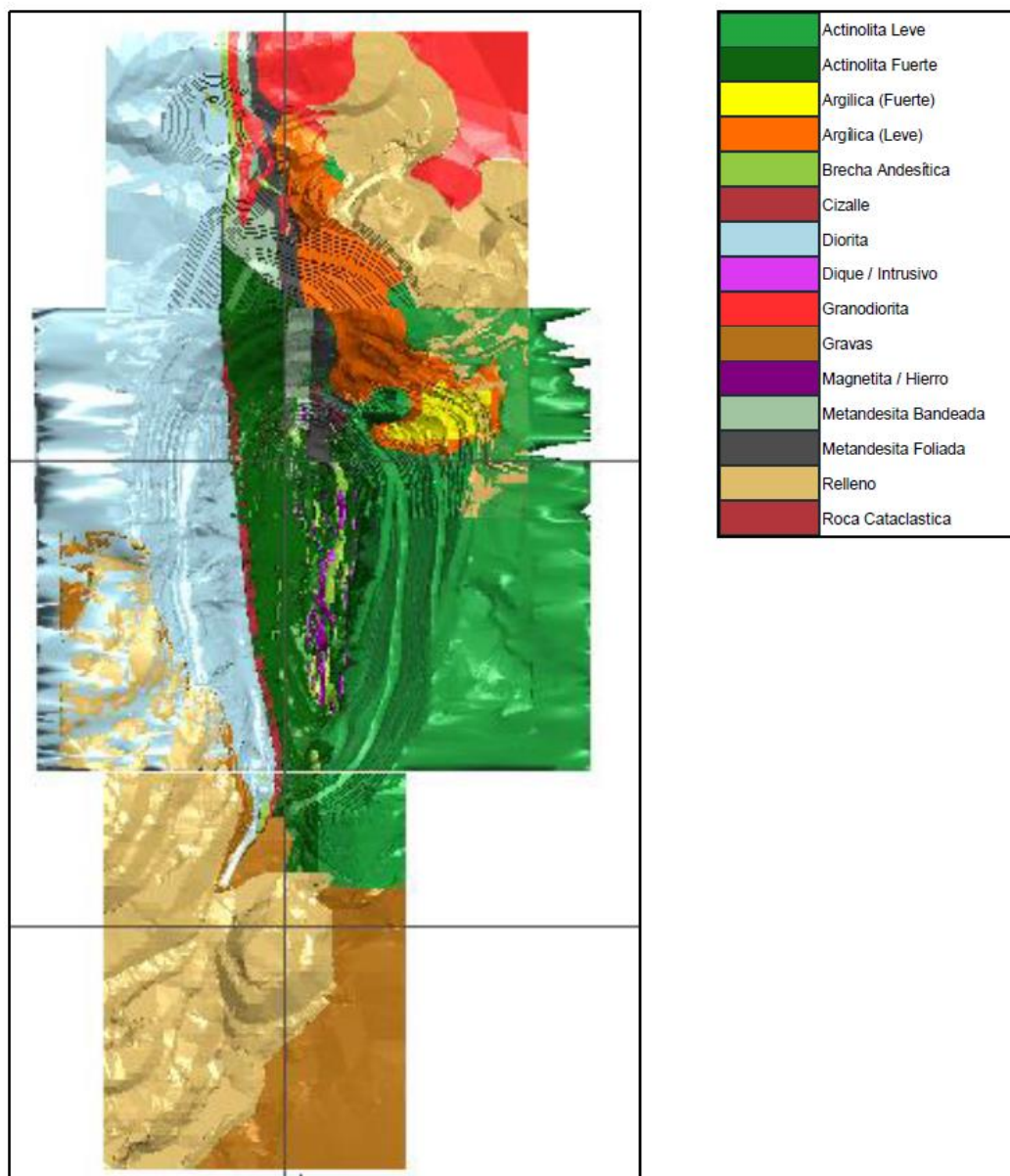


Figura 4.3- Planta con las Unidades Geotécnicas rajo Cerro Principal.
 Extraído: Estudio de Estabilidad Proyecto Romeral Fase V, Minas El Romeral y Puerto
 Guayacán, 2020.

UNIDADES GEOTECNICAS				
Litología	Alteración	UG	GSI	σ_{ci}
Andesita	Actinolita Leve	UG - 01	52	116.1
	Actinolita Fuerte	UG - 02	54	334.9
	Argílica Fuerte	UG - 03	35	41.1
	Argílica Leve	UG - 04	40	41.1
Brecha Andesítica		UG - 05	66	170.2
Cizalle		UG - 06	13	15
Diorita		UG - 07	68	225.5
Dique / Intrusivo		UG - 08	51	210.5
Granodiorita		UG - 09	45	157.9
Magnetita / Hierro		UG - 10	45	127.1
Metandesita	Bandeada	UG - 11	61	136.2
	Foliada	UG - 12	51	51.5
Roca Cataclástica		UG - 13	55	51.5
Gravas		UG - 14	–	–
Relleno		UG - 15	–	–

Tabla 4.1- Unidades Geotécnicas de Minas El Romeral (MER)
 Extraído: Estudio de Estabilidad Proyecto Romeral Fase V, Minas El Romeral y Puerto
 Guayacán, 2020.

4.2.1 Unidades geológicas geotécnicas

Para la fase V se observan las siguientes litologías con sus respectivas Unidades Geotécnicas:

- **Brecha Andesítica UGT -05**

Roca de falla de composición andesítica, la forma de los clastos es angulosa de tamaño centimétrico, con matriz soportada. Con proporción variable de magnetita. Esta roca se

encuentra cortada por finas venillas de actinolita tipo stockwork, identificándose mayoritariamente alrededor del cuerpo mineralizado.

- **Cizalle UG – 06**

Unidad geotécnica que le corresponde a la zona de Falla Romeral. Está compuesta principalmente por roca cizallada, y es una unidad de la mala calidad geotécnica.

- **Diorita UG – 07**

Diorita Romeral, roca plutónica que composicionalmente varía entre granodiorita, diorita y tonalita. En general, esta litología es de tono gris claro a verdoso, con textura fanerítica equicristalina, formada fundamentalmente por cristales subhedrales de plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico, presentando una leve actinolitización (reemplazo de los piroxenos por actinolita). Afloran de forma extensa al Oeste del yacimiento, en contacto estructural (Falla Romeral), con las rocas volcánicas del Este. Se caracteriza por no presentar mineralización.

- **Dique / Intrusivo UG – 08**

Corresponden a diques que se observan tanto dentro del yacimiento como en sus alrededores. Se trata de rocas porfídicas que composicionalmente corresponden a dioritas.

- **Granodiorita UG – 09**

Granodiorita Punta de Piedra, se encuentra al Oeste de la zona mineralizada en contacto intrusivo con la roca de caja. Se trata de una roca fanerítica de grano medio a grueso. Los cristales de cuarzo, feldespato potásico, hornblenda, plagioclasa y biotita secundaria son subhedrales. Esta granodiorita no presenta mineralización.

- **Magnetita - Hierro UG – 10**

Cuerpo de mena de hierro que se presenta en forma lenticular y manteo sub vertical, esta mena corresponde a una mezcla en distintas proporciones de magnetita, actinolita, apatito y sulfuros. De acuerdo con las características texturales y el contenido en hierro de la mena CMP se reconocen tres tipos y se clasifican como:

- **Mena de Hierro Masivo:** es el principal tipo de mena y con una ley de hierro mayor al 60%, siendo los minerales que la forman la magnetita y la martita. Se trata de cuerpos elongados según el eje Norte-Sur, irregulares en profundidad y que han intruído a favor de las estructuras: Falla NSI para Cerro Norte, Falla Romeral II para el Sector Central y Falla Romeral para el Sector Sur.
- **Mena de Hierro Brechoso:** es una mezcla de hierro de alta ley con ganga y/o roca de caja de textura brechosa. Se dispone rodeando a la mena de hierro masivo en forma de aureola. El porcentaje en hierro varía entre el 45-60%. La brecha está formada por fragmentos angulosos a sub-angulosos de magnetita en una matriz de actinolita, cuarzo y feldespato potásico. En la matriz existen vetillas de magnetita y magnetita-pirita-calcopirita.
- **Mena de Hierro Diseminado y en Vetillas:** en este tipo de mena la magnetita se encuentra diseminada en la matriz y/o en vetillas dentro de la roca de caja. La ley de hierro varía entre el 22% y el 45%.

- **Meta-andesita Bandeada UG – 11**

Esta unidad se caracteriza por su bandeamiento con recrystalizaciones, mayoritariamente cuarcíticas, que han reemplazado los minerales originales de la andesita, configurando una roca competente bandeada. Se encuentra situada al norte del rajo, generalmente en profundidad.

- **Meta-andesita Foliada UG – 12**

Meta-andesitas foliadas de baja resistencia a la compresión simple, estrechamente ligadas a las estructuras mayores y que presentan planos de debilidad, que generalmente son marcadas por bandas de biotita, alternadas con bandas de actinolita y/o cuarzo y feldespato. Esta unidad se encuentra en zonas más someras, en comparación con la Meta-andesita bandeada.

- **Roca Cataclástica UG - 13**

Las rocas andesíticas con alteración actinolítica han generado, en el sector norte del rajo y a lo largo de la zona de cizalle de la Falla Romeral, rocas denominadas cataclásticas con

texturas variables, muy bandeadas y poco competentes. Se encuentran espacialmente ligadas a las estructuras mayores. Generalmente, contienen bandas de biotita alternadas con bandas de actinolita y/o cuarzo y feldespato. La mineralización se presenta en bandas de magnetita y pirita.

- **Andesita:** roca volcánica formada fundamentalmente por lavas de composición andesítica, de tono gris verdoso a gris parduzco, de aspecto porfídico y masa fundamental afanítica. Está intruída al oeste por la Diorita Romeral a favor de la Falla Romeral y al este por la Granodiorita Punta de Piedra.

La Andesita se separa en distintas UG dependiendo de su alteración y del grado de esta, a continuación, se definen las alteraciones y las UG correspondientes a estas:

Actinolización:

Alteración en la que los minerales máficos (piroxenos, olivinos y anfíboles) se transforman a minerales de la serie actinolita-tremolita. Está relacionada espacialmente con la mineralización, con mayor intensidad de alteración cuanto más cerca del cuerpo de hierro se encuentran. Afecta principalmente a las rocas volcánicas (andesitas y brechas de andesita) siendo de intensidad alta en las proximidades de la mineralización masiva y presenta una distribución aproximadamente Norte-Sur rodeando a los cuerpos macizos de hierro. Esta alteración presenta una coloración verdosa a las rocas, así como una menor dureza.

- **Andesita - Actinolita (alteración leve) UGT - 01**
- **Andesita - Actinolita (alteración fuerte) UGT – 02**

Argilización:

Caracterizada por la formación de minerales de arcilla y cuarzo residual. En casos extremos, la roca puede ser transformada a una masa de sílice residual. Aparece en la parte NE del rajo Cerro Principal y en la parte Este de la Mina Tauro.

- **Andesita – Argílica (alteración fuerte) UGT – 03**
- **Andesita – Argílica (alteración leve) UGT – 04**

En la tabla 4.2 muestra un resumen con índices de calidad del macizo rocoso y respectivos parámetros estadísticos, para cada Unidad Geotécnica (UG) de la fase V MER.

Unidad Geotecnica		Parametros Estadísticos	Parametros Geotecnicos		Indices de Clasificacion del Macizo Rocosos	
Litologia / Alteracion	UG		RQD	FF/m	RMR (B89)	GSI
Andesita - Actinolita (alteracion leve)	1	Numero de resultados, N	140	140	140	140
		Valor maximo, MAX	100	40	83	89
		Valor minimo, MIN	0	0	29	9
		Valor promedio ponderado	60	9	57	52
Andesita - Actinolita (alteracion fuerte)	2	Numero de resultados, N	137	137	137	137
		Valor maximo, MAX	99	28	74	82
		Valor minimo, MIN	0	2	30	9
		Valor promedio ponderado	58	11	56	54
Andesita - Argilica (alteracion leve)	4	Numero de resultados, N	373	373	373	373
		Valor maximo, MAX	100	40	72	75
		Valor minimo, MIN	0	0	0	5
		Valor promedio ponderado	36	20	45	40
Brecha Andesitica	5	Numero de resultados, N	387	387	387	387
		Valor maximo, MAX	100	40	89	86
		Valor minimo, MIN	0	0	24	9
		Valor promedio ponderado	83	6	67	66
Cizalle	6	Numero de resultados, N	25	25	25	25
		Valor maximo, MAX	59	12	46	37
		Valor minimo, MIN	0	2	24	5
		Valor promedio ponderado	7	7	32	13
Diorita	7	Numero de resultados, N	1204	1204	1204	1204
		Valor maximo, MAX	100	40	96	95
		Valor minimo, MIN	0	0	28	8
		Valor promedio ponderado	83	7	68	68
Dique / Intrusivo	8	Numero de resultados, N	85	85	85	85
		Valor maximo, MAX	100	32	86	82
		Valor minimo, MIN	0	0	32	11
		Valor promedio ponderado	59	9	58	51
Granodiorita	9	Numero de resultados, N	5	5	5	5
		Valor maximo, MAX	58	40	59	54
		Valor minimo, MIN	0	19	30	20
		Valor promedio ponderado	36	26	50	45
Magnetita / Hierro	10	Numero de resultados, N	11	11	11	11
		Valor maximo, MAX	100	28	70	74
		Valor minimo, MIN	20	2	43	29
		Valor promedio ponderado	44	8	52	45
Metandesita Bandeada	11	Numero de resultados, N	229	229	229	229
		Valor maximo, MAX	100	30	91	86
		Valor minimo, MIN	0	0	38	21
		Valor promedio ponderado	72	10	60	61
Metandesita Foliada	12	Numero de resultados, N	107	107	107	107
		Valor maximo, MAX	100	40	68	74
		Valor minimo, MIN	0	1	23	5
		Valor promedio ponderado	54	18	51	51
Roca Cataclastica	13	Numero de resultados, N	103	103	103	103
		Valor maximo, MAX	100	17	81	74
		Valor minimo, MIN	0	0	35	14
		Valor promedio ponderado	83	2	62	55

Tabla 4.2- Tabla resumen con índices de calidad del macizo rocoso y respectivos parámetros estadísticos, para cada Unidad Geotécnica (UG).

Extraído: Estudio de Estabilidad Proyecto Romeral Fase V, Minas El Romeral y Puerto Guayacán, 2020.

4.3 Modelo estructural

El distrito Minas el Romeral se encuentra emplazado en el Sistema de Fallas de Atacama (SRK, 2006 & 2008). Distritalmente, se han reconocido los siguientes 6 sistemas estructurales mayores:

- 1) Sistema con actitud NS/vertical a sub vertical:**
- 2) Sistema con actitud NS/30-70 W**
- 3) Sistema con actitud NNW/50-90 SW**
- 4) Sistema con actitud NNW/19-65 E**
- 5) Sistema con actitud EW/sub vertical**
- 6) Sistema con actitud NNE/sub vertical**

El sistema con actitud NS (vertical a sub vertical), corresponde al sistema más importante, a favor del cual intruye la mineralización. La estructura principal del sistema NS es la Falla Romeral (Figura 4.4). Se trata de una falla regional con una longitud superior a los 100 km y que atraviesa todo el yacimiento con una dirección aproximadamente Norte-Sur y un buzamiento entre los 75° y 90° al W. Se trata de una estructura transcurrente de tipo siniestral perteneciente al sistema de Falla de Atacama.

En Minas El Romeral, específicamente en los bancos, las fallas se diferencian en 1° orden y 2° orden, en donde son consideradas de primer orden las fallas que tengan relleno mayor a 10 cm y de segundo orden si el relleno es menor a 10 cm, además si una falla pasa de los tres bancos será de primer orden independiente del relleno.

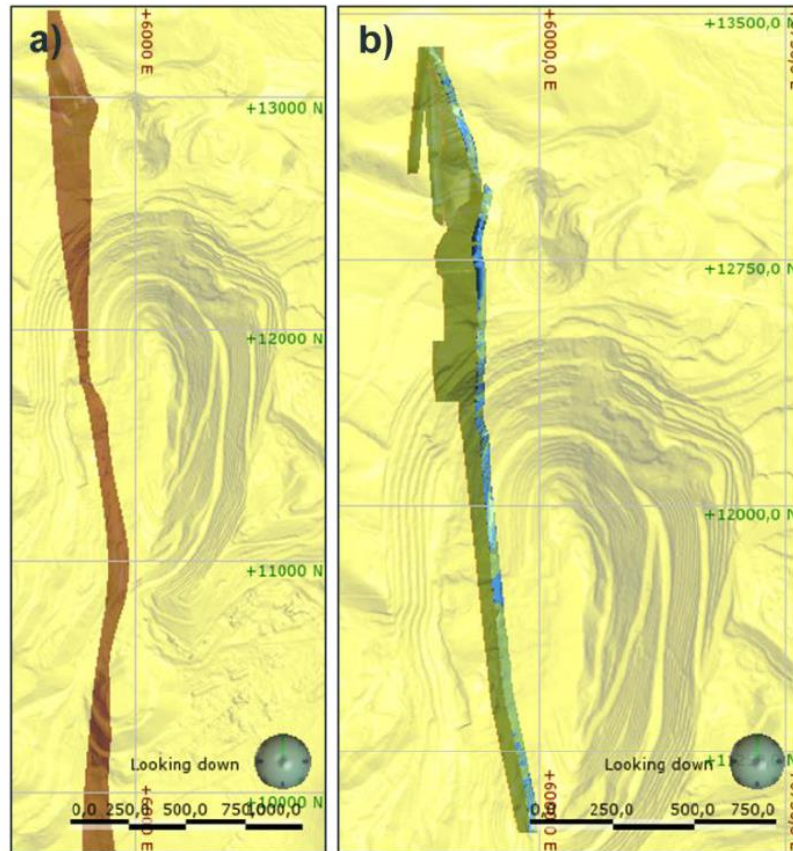


Figura 4.4- a) Traza de falla Romeral completa en modelo integrado; b) Zona de cizalle asociado a falla Romeral

Extraído: Estudio de Estabilidad Proyecto Romeral Fase V, Minas El Romeral y Puerto Guayacán, 2020.

4.3.1 Dominio estructural

En Minas El Romeral se reconoce un total de 12 dominios estructurales, los que se ilustran en la Figura 4.5.

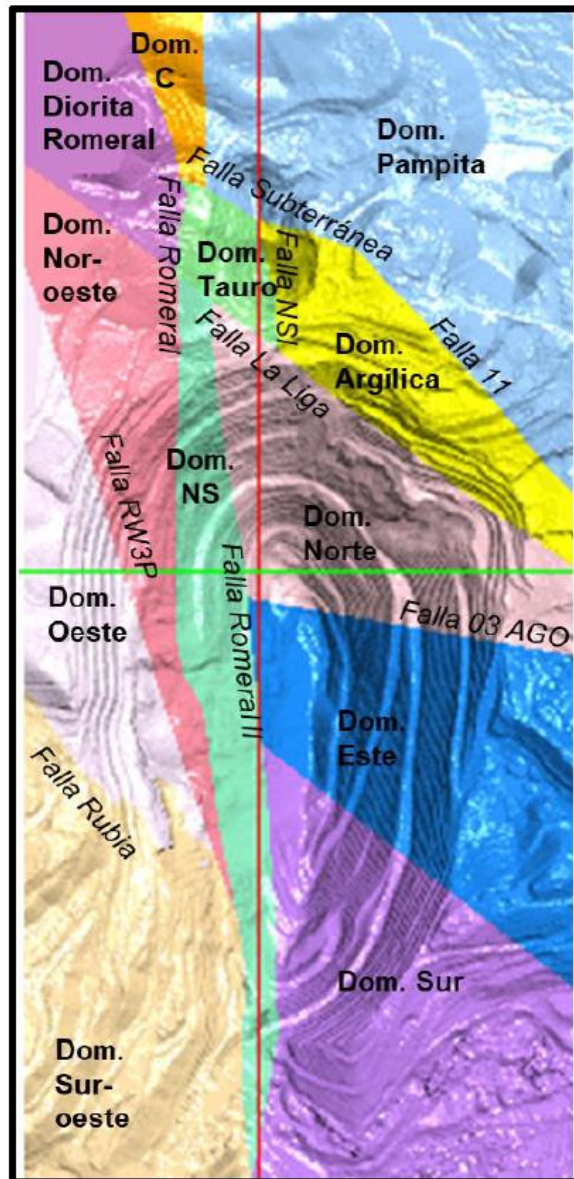


Figura 4.5.- Dominios estructurales para Minas El Romeral (MER), proyectados sobre la topografía de septiembre de 2018.

Extraído: Estudio de Estabilidad Proyecto Romeral Fase V, Minas El Romeral y Puerto Guayacán, 2020.

En la Fase V de Minas El Romeral se encuentran los siguientes dominios estructurales:

1.- Dominio Tauro: este dominio se encuentra en la parte centro norte de la figura 4.5, está limitado al norte por la falla Subterránea, al sur por la falla La Liga, al este por la falla NSI y al oeste por la falla Romeral.

2.- Dominio Argílico: Este dominio se encuentra en la parte noreste del área, al sur del Dominio Pampita. Es limitado por la falla Subterránea al norte, por Falla 11 al noreste, por Falla La Liga al sur y por la falla NSI al oeste (Figura 4.5). Su contacto con la superficie del rajo corresponde al contacto de la zona argilizada.

3.- Dominio Noroeste: Este dominio ocupa la parte oeste del área, al sur del Dominio Diorita Romeral. Se ubica al sur de la falla La Liga, al noreste de la falla RW3P y al oeste de la falla Romeral (Figura 4.5).

4.- Dominio Romeral (NS): Este dominio se encuentra en la parte central del área, constituyendo una franja de dirección NS a lo largo del eje del Rajo Cerro Principal. Está limitado al norte por Falla La Liga, al este por Falla Romeral y al oeste por la falla Romeral II (Figura 4.5).

5.- Dominio Norte: Este dominio se encuentra en la parte este del área, emplazado al este de la falla Romeral II, al sur de la falla La Liga y al norte de la falla 03 AGO (Figura 4.5).

4.4 Modelo hidrogeológico

El sistema hidrogeológico relacionado en Minas El Romeral corresponde a niveles saturados en un medio fracturado que presenta condiciones de muy baja a baja permeabilidad, con presencia de vías preferenciales y barreras asociadas a estructuras.

La falla Romeral, con dirección NNW y con una menor permeabilidad que los depósitos cercanos, actúa como barrera, provocando una variación local del gradiente hidráulico.

En la actualidad, la presencia del rajo Cerro Principal ha provocado una variación en el funcionamiento hidrogeológico, permitiendo la formación de un cono de depresión alrededor del rajo debido al drenaje provocado por la excavación. La baja permeabilidad de las unidades del macizo rocoso implica que la influencia del drenaje sea mínima, sin alcanzar la Quebrada El Romeral, donde el flujo mantiene su dirección natural.

CAPÍTULO 5: METODOLOGÍAS

El presente trabajo se basa en la comparación de; primero, lo que recomendó el área de geomecánica, segundo, el informe de tronadura generado por P & T y tercero, el factor de condición del talud realizado por el área de geomecánica. En este capítulo se presentan las metodologías de obtención de los datos de: recomendación de tronadura, informe de tronadura y factor de condición, la información de estas fue efectuada por el área de geomecánica y área de perforación y tronadura (P & T) y fue utilizada para la comparación de las tres, en simples palabras la comparación se basa en lo que se recomienda, lo que se hizo y en como quedó la pared del talud. A continuación, se detalla la metodología de cada una de ellas.

5.1 Recomendación tronadura

Las recomendaciones pre-tronadura, las hace el área de geomecánica y se realizan para cada polígono de tronadura en todos los bancos. Para lograr dar la recomendación, el geólogo y geomecánico tiene que seguir los siguientes pasos:

1. Seleccionar sector a acuñar de acuerdo a taludes saneados/acuñados (bancos entregados) y prioridades de perforación.
2. Realizar mapeo estructural. Identificación y caracterización de estructuras mayores y diaclasas.
3. Toma de coordenadas de mapeo in situ (tarea realizada junto con topografía)
4. Realizar mapeo geomecánico. Cuantificación de la dureza y calidad del macizo rocoso (GSI y dureza ISRM (R)).
5. Digitalización del mapeo estructural. Importación de datos csv y posterior generación de plano dxf.
6. Creación modelo 3D del mapeo estructural e intersección con topografía y línea de fase para proyección de estructuras tipo fallamientos planares y cuñas.

7. De acuerdo a los sectores con distintas características geotécnicas identificadas en terreno. Realizar cálculo de Lilly (Lilly, 1986) (factor de carga recomendado), para ello se realiza el cálculo de los siguientes parámetros:

- a) RMD. - descripción del macizo rocoso teniendo en cuenta el diaclasado en bloques.
- b) JPS. - Espaciamiento entre fracturas
- a) JPO. - Orientación de los planos de fractura (manteo respecto a la cara del banco)
- b) Influencia de la densidad. - Información extraída de geología de acuerdo a la caracterización litológica del sector.
- c) Dureza de la roca. - De acuerdo al golpeo in situ necesario con martillo geológico para fracturar la roca.

Con la obtención de los parámetros antes descritos, se realiza cálculo de factor de carga (g/Ton) recomendado para pozos buffer en cada uno de los sectores geotécnicamente identificados.

- 8. Realización de roseta de estructuras (una por estructuras mayores y otra por diaclasas) para determinar orientaciones preferentes o dominantes respecto al rumbo del talud.
- 9. De acuerdo a lo anterior, determinar dirección de salida de pre-cortes recomendada para disminuir, en la medida de lo posible, la inserción de gases al talud por las estructuras presentes.
- 10. Con todos los datos determinados, se crea informe de entrega de recomendación de tronadura. Para ello es necesario conocer el polígono exacto que va a ser tronado.
- 11. Una vez conocido el polígono a tronar, de acuerdo al rumbo de las estructuras existentes, litologías, cara libre y otros factores influyentes, se realiza recomendación de la secuencia de salida de tronadura y punto de inicio de ésta que sea más favorable para el cuidado de los taludes.

12. El documento, además, contiene otras recomendaciones geomecánicas específicas de cada polígono en sí, tales como descansos en la secuencia de salida, recomendaciones en sectores críticos, sectores con posibilidad de fallamientos en cuña o planares o cualquier otra especificación que se crea oportuna.

13. Antes de la entrega oficial del documento, se realiza evaluación conjunta con el área de tronaduras.

14. Entrega oficial del documento.

En cada Lilly se ve litología, GSI, frecuencia de fractura, dureza ISRM (R) y el factor de carga. La litología está dada por las UGT. Todo lo anterior se ilustra en la figura 5.1.

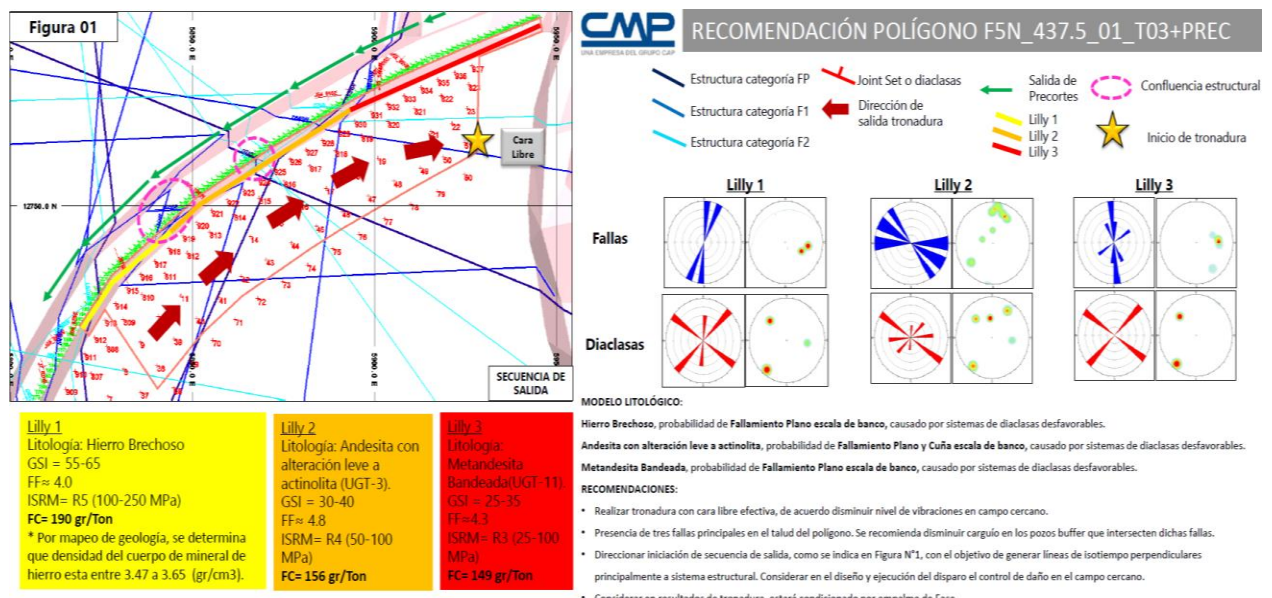


Figura 5.1- Recomendación de tronadura MER

Extraído: Área de Geomecánica, Minas El Romeral.

5.2 Informes tronadura

Estos informes los realiza el área de perforación y tronadura (P y T) a cargo de la empresa Enaex, y se comunican los análisis de los pozos perforados, si hubo pozos sub perforados, sobre perforados o si estuvieron en el rango aceptable. Los pozos sub perforados son aquellos en los que no se ejecutó la perforación completa y los sobre perforados, son aquellos en los que se perforó demás el pozo. P & T elabora un mapa térmico en donde muestra la longitud del diseño y la real (Figura 5.2)

MAPA TERMICO

LONGITUD DISEÑO / LONGITUD REAL

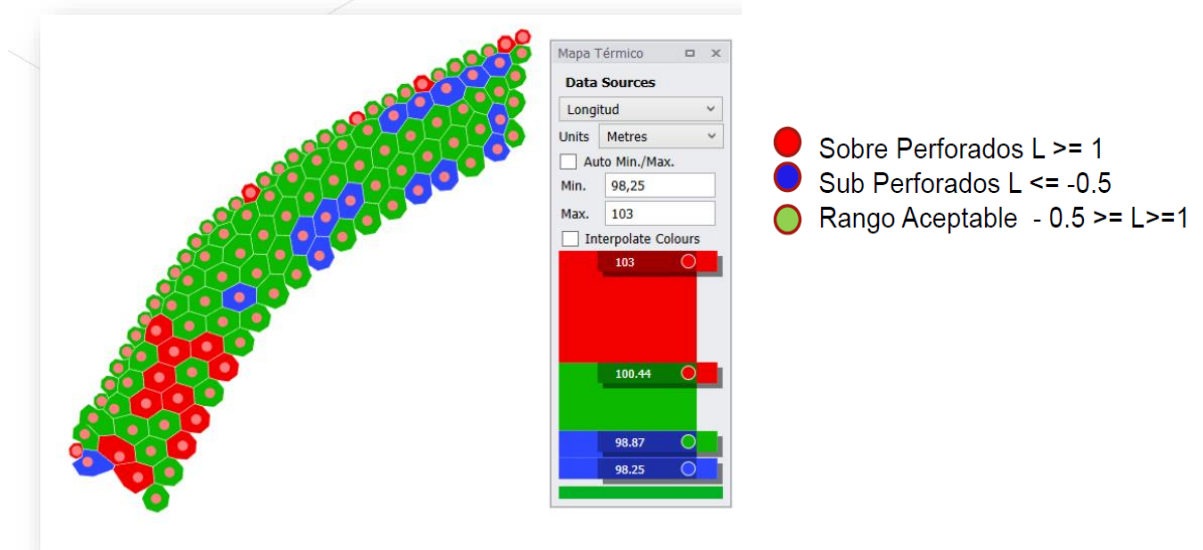


Figura 5.2- Imagen que muestra pozos sobre perforados, sub perforados y rango aceptable
Extraído: Área de Perforación y Tronadura, Minas El Romeral.

Además, estos reportes entregan un resumen de la tronadura indicando el consumo de explosivo, y parámetros respecto de lo teórico y lo real (Figura 5.3)

RESUMEN

Tronadura correspondiente a F05N_450_01_12-02-2021_TRON 02
Consumo de explosivo; 30.668 VX 930 y 5.431 VX 950

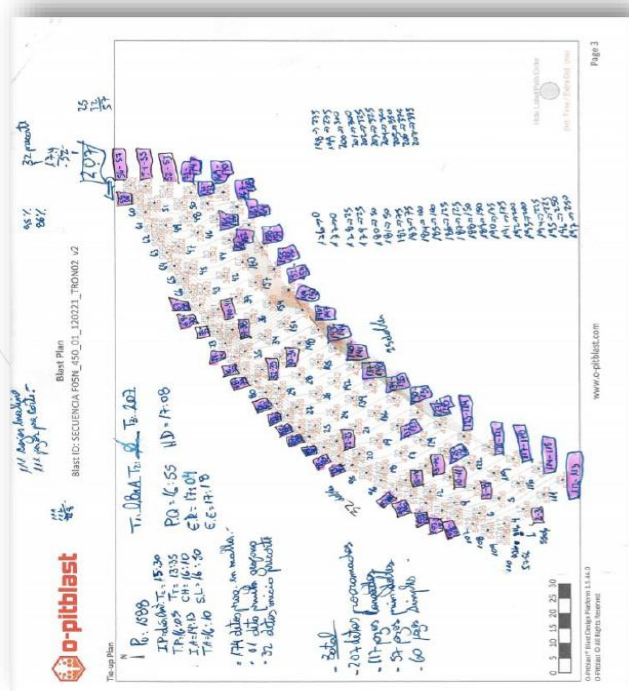
Parámetro	TEÓRICO	REAL	DIF	OBSERVACIONES
Largo Pozos (m)	13.0	13.2	2.2%	
Explosivo (Kg)	36,109	36,099	0.0%	
FC (g/ton)	194	162	-16.8%	
Diámetro Perf (in)	6 1/2	35	35	100.0%
	9 7/8	82	82	100.0%
Metros Perforados cargados (m)	1,516	1,550	2.2%	
Dens. Explosivo (g/cc)	1.00	1.01	1.0%	Toma de densidad VX 930 pozos (ld 54=1.02; ld 90=1.01; ld 19=1.00;ld 60=1.01)
Tonelaje Removido (Ton)	185,849	223187		
N° Pozos		117		
Material de Tapado		Material de Rechazo		
N°Detonadores Programados		207		
Fecha y Hora Tronadura		12-02-2021		Sin Novedad

Figura 5.3- Imagen que muestra resumen de tronadura entregada por P & T

Extraído: Área de Perforación y Tronadura, Minas El Romeral.

También, P & T entrega un reporte de los detonadores programados en donde se muestra el polígono a tronar con la información necesaria para su tronadura, como los es el término de carguío, de tapado, chequeo completo, hora salida línea y otros datos agregados en terreno, como son los pozos no cargados. (Figura 5.4)

REPORTE DE DETONADORES PROGRAMADOS



Tiempos

Salida perforadora	dia anterior
Termino de carguio	15:30
Termino de tapado	13:35
Termino chequeo completo	16:10
Hora salida linea	16:50
Hora punto de quema	16:55
Entrega mina a Enaex	17:04
Hora de disparo	17:08
Entrega de Enaex a Mina	17:18

Figura 5.4- Imagen que muestra polígono a tronar
Extraído: Área de Perforación y Tronadura, Minas El Romeral.

Se informa sobre la secuencia de salida, donde inicia la tronadura, los tiempos entre pozos y entre filas, se muestra, además, donde se realizaron los burden de alivio, que son los milisegundos por metro.

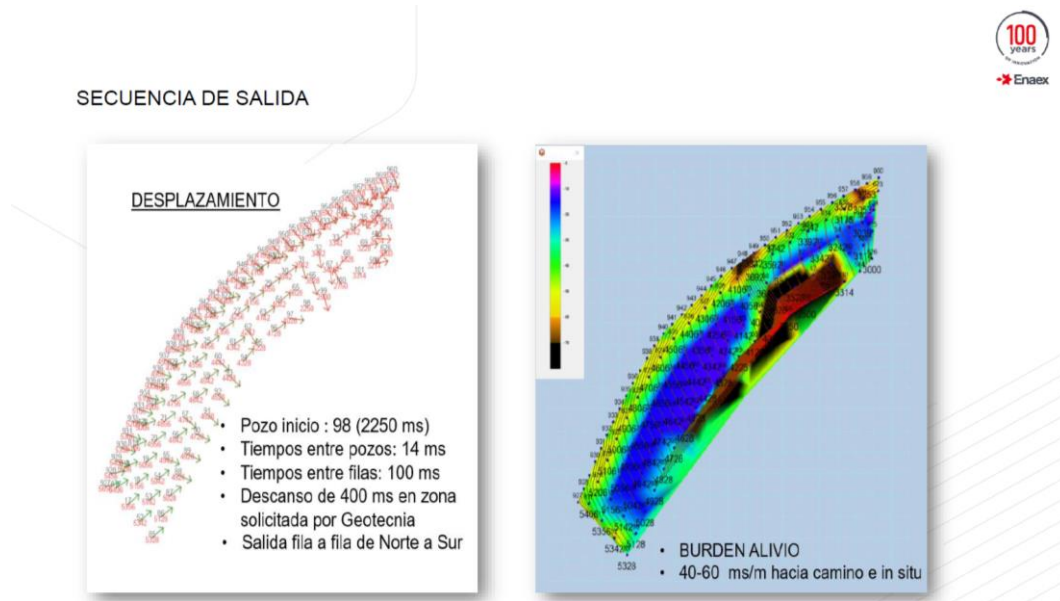
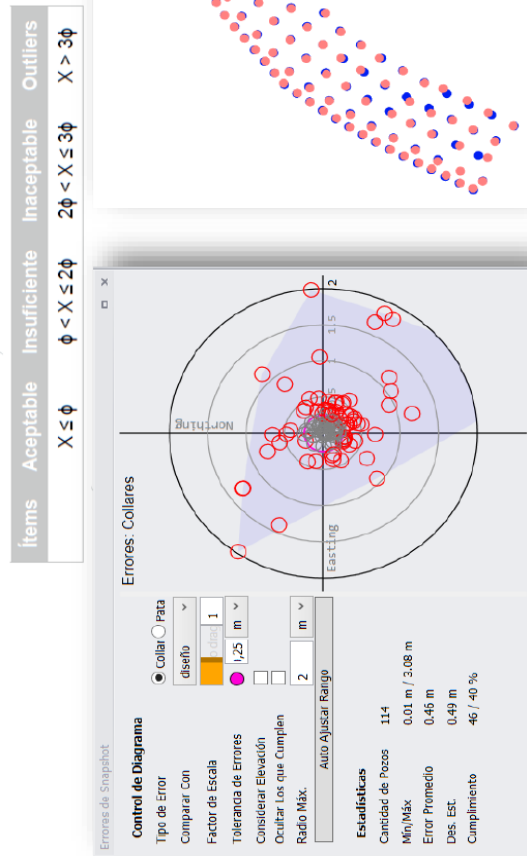


Figura 5.5- Secuencia de salida tronadura y burden de alivio
Extraído: Área de Perforación y Tronadura, Minas El Romeral.

Otro de los parámetros que entrega P & T en los reportes de tronadura son un QA/QC de la perforación de producción, en donde se muestran los errores de la perforación como es la desviación de los pozos (figura 5.6), un análisis de buffer y de amortiguado. En estos se muestra la cantidad de pozos de cada cuantos cumplen dentro del rango aceptable.

QA/QC PERFORACION



Pozos Marcados
Pozos Perforados

Nota:

- De 114 pozos perforados de producción, 46 pozos cumplen dentro del rango aceptable el cual corresponde al 40% de total.

Figura 5.6- QA/QC realizado por P & T
Extraído: Área de Perforación y Tronadura, Minas El Romeral.

Finalmente, P & T entrega fotografías pre y post tronadura (Figura 5.7).



Figura 5.7- Fotografías pre y post tronadura
Extraído: Área de Perforación y Tronadura, Minas El Romeral.

5.3 Metodología factor de condición

El factor de condición es una medida cualitativa del daño o posible daño del talud causado por tronadura. Está a cargo del área de Geomecánica y se basa en medir ciertos parámetros o características del talud resultante, una vez realizada la extracción y saneamiento y/o acuñadura. Es decir, el factor de condición se realiza una vez entregado el banco para perforación de pre-cortes o liberado por el área de geomecánica.

El factor de condición va desde 0 a 1, donde 0 es el peor valor asignado (talud totalmente dañado por tronadura) y 1 es un talud perfecto sin observación de ningún rasgo o indicio de daño por tronadura. Este factor de condición solo mide daño por tronadura, cualquier otra desviación de talud originado por otras causas, tales como influencia estructural, operacional, etc. debería ser descartado o en todo caso, ser indicado como otra causa del daño y no influir en la puntuación final.

El factor de condición se realiza por tronadura, es decir, el talud evaluado es el resultante de una única tronadura, por tanto:

1° Indicar en terreno las coordenadas correspondientes a la tronadura evaluada.

Si en la tronadura existieran distintas litologías, se debería realizar un factor de condición por cada una de las litologías existentes, por tanto:

2° Indicar en terreno las coordenadas correspondientes a cada una de las litologías existentes.

Si dentro de una misma litología se observan resultados de condiciones de talud distintas, se debe realizar factor de condición por cada una de las condiciones distintas, por tanto:

3° Una vez en terreno y observado el talud se identifican condiciones de talud distintas, por ende, tomar las coordenadas correspondientes a cada una de las condiciones identificadas.

Finalmente, el resultado de condición de la tronadura será la ponderación por metros de cada uno de los sectores diferenciados.

- **Análisis factor de condición**

Para realizar el análisis del factor de condición de cada uno de los tramos identificados, se utiliza la planilla adjunta (Tabla 5.1).

La planilla se basa en dar un valor numérico a cada uno de los parámetros que se evaluarán y que corresponden a características que se puedan observar en el talud y que evidencian un daño por tronadura.

Tronadura						
Parámetros	Condición del Talud					
	SANO	BUENO	MODERADO	MALO	MUY MALO	P
Medias cañas	>75%	50-75 %	25-50 %	0-25%	0%	
Puntaje	25	15	10	8	0	
Grietas inducidas	<3	3 a 5	5 a 10	10 a 15	>15	
Puntaje	10	8	6	3	0	

Condición de discontinuidades menores	Todos los sistemas cerrados	Algunas discontinuidades rellenas abiertas	Todos los sistemas abiertos	Algunos sistemas abiertos y movilizados	Todos los sistemas abiertos y movilizados	
Puntaje	10	8	6	3	0	
Presencia bloques inestables	Sin bloques inestables	Bloques inestables aislados	Varios bloques inestables	Muchos bloques inestables	Muchos bloques inestables y desplazados	
Puntaje	15	10	7	3	0	
Geometría del talud	0 - 10 % Sobre excavados en la base	10 - 20 % Sobre excavados en la base	20 - 40 % Sobre excavados en la base	40 - 80 % Sobre excavados en la base	80 - 100 % Sobre excavados en la base	
Puntaje	25	20	15	10	0	
Condición de la cresta	Cresta limpia	0 a 1 m Fracturado o roca suelta	1 a 2 m Fracturado o roca suelta	2 a 3 m Fracturado o roca suelta	> 3 m Fracturados o roca suelta	
Puntaje	15	9	6	3	0	
Puntaje evaluación						

Tabla 5.1 Planilla indicando los parámetros a medir en el factor de condición
Extraído: Área de Geomecánica, Minas El Romeral.

Parámetros:

- **Medias cañas:**

La presencia de medias cañas (figura 5.8) o no en el talud, es un buen signo para evaluar daño por tronadura. Un talud sobre excavado y dañado no se observarán, en cambio, un buen porcentaje de medias cañas en el talud indica un talud sano (tabla 5.2). Se debe poder diferenciar si la presencia es por daño/sobre excavación o, en cambio, porque no se ha llegado a la línea de diseño.



Figura 5.8- Fotografía que muestra medias cañas
Extraído: Área de Geomecánica, Minas El Romeral.

Parámetro	Condición del Talud				
	SANO	BUENO	MODERADO	MALO	MUY MALO
Medias cañas	>75%	50-75 %	25-50 %	0-25%	0%
Puntaje	25	15	10	8	0

Tabla 5.2- Parámetro de medias cañas para condición del talud

- **Grietas inducidas por tronadura:**

La presencia de grietas inducidas por tronaduras son una clara indicación de daño (figura 5.9), cuanto mayor número de grietas indica un mayor daño al talud. Las grietas inducidas por tronadura no deben confundirse con discontinuidades menores, las grietas no siguen planos de discontinuidad, se observan en zonas de macizo intacto sin seguir una dirección preferente de discontinuidad. El valor de estas grietas es medido cada 10 metros y se mide con respecto a la cantidad de estas (tabla 5.3).



Figura 5.9- Grietas inducidas por tronadura
Extraído: Área de Geomecánica, Minas El Romeral.

Parámetro	SANO	BUENO	MODERADO	MALO	MUY MALO
Grietas inducidas (c/10 m)	< 3	3 a 5	5 a 10	10 a 15	>15
Puntaje	10	8	6	3	0

Tabla 5.3- Parámetro de grietas inducidas para condición del talud

- **Condición de discontinuidades menores:**

En este caso se observan los planos de diaclasas y fallas existentes en el talud, como se ilustra en la figura 5.10. Si estos están abiertos o incluso desplazados, es una clara indicación de daño por tronadura y se miden dependiendo de la condición de estas discontinuidades, como se ilustra en la tabla 5.4.

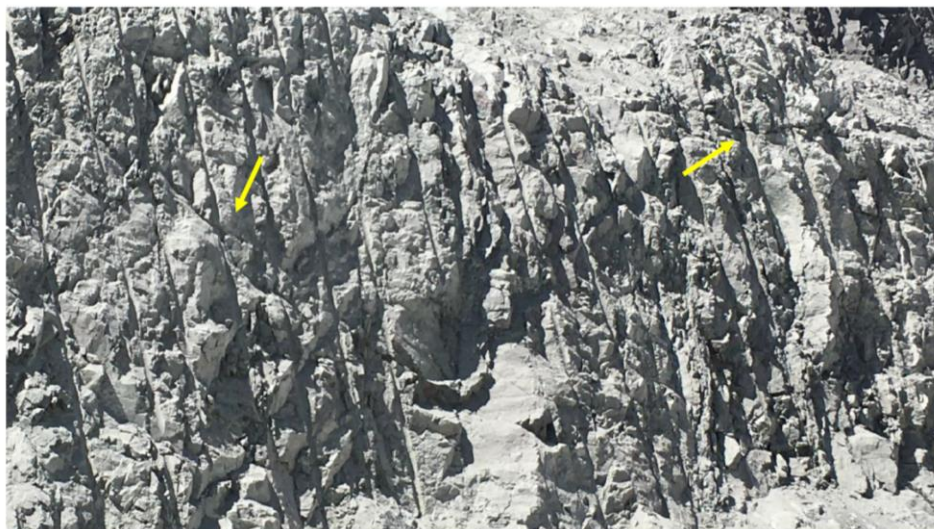


Figura 5.10- Condición de discontinuidades menores
Extraído: Área de Geomecánica, Minas El Romeral.

Parámetro	SANO	BUENO	MODERADO	MALO	MUY MALO
Condición discontinuidades menores	Todos los sistemas cerrados	Algunas discontinuidades rellenas abiertas	Todos los sistemas abiertos	Algunos sistemas abiertos y movilizados	Todos los sistemas abiertos y movilizados
Puntaje	10	8	6	3	0

Tabla 5.4- Parámetro de condición de discontinuidades menores para condición del talud

- **Presencia bloques inestables:**

El factor evalúa la presencia de bloques sueltos o inestables que se encuentren en el talud y la cantidad de estos, y se les da un puntaje, como se ilustra en la tabla 5.5.

Parámetro	SANO	BUENO	MODERADO	MALO	MUY MALO
Presencia bloques inestables	Sin bloques inestables	Bloques inestables aislados	Varios bloques inestables	Muchos bloques inestables	Muchos bloques inestables y desplazados
Puntaje	15	10	7	3	0

Tabla 5.5- Parámetro de presencia bloques inestables para condición del talud

- **Geometría del talud:**

La sobre excavación en la zona inferior del talud es un indicador de daño en la parte inferior del talud por tronadura (figura 5.11). Una geometría inversa del talud es un factor de alto riesgo geomecánico.

El factor evalúa el porcentaje de talud que este sobre excavado, como se ilustra en la tabla 5.6, y para la realización de este parámetro es muy buen indicador las medias cañas. El que se puedan ver medias cañas en la parte inferior del talud es una indicación de que se está cumpliendo el diseño.



Figura 5.11- Geometría del talud
Extraído: Área de Geomecánica, Minas El Romeral.

Parámetro	SANO	BUENO	MODERADO	MALO	MUY MALO
Geometría del talud	0 - 10 % Sobre excavado en la base	10 - 20 % Sobre excavado en la base	20 - 40 % Sobre excavado en la base	40 - 80 % Sobre excavado en la base	80 - 100 % Sobre excavado en la base
Puntaje	25	20	15	10	0

Tabla 5.6- Parámetro de geometría del talud para condición del talud

- **Condición de cresta:**

El daño o sobre excavación en la zona de cresta (figura 5.12), es un indicados de daño de la tronadura superior (pozos de la tronadura afectaron a la cresta del banco inferior), normalmente este daño es causado por la sobre perforación de esos pozos. Se mide respecto a los parámetros indicados en la tabla 5.7.

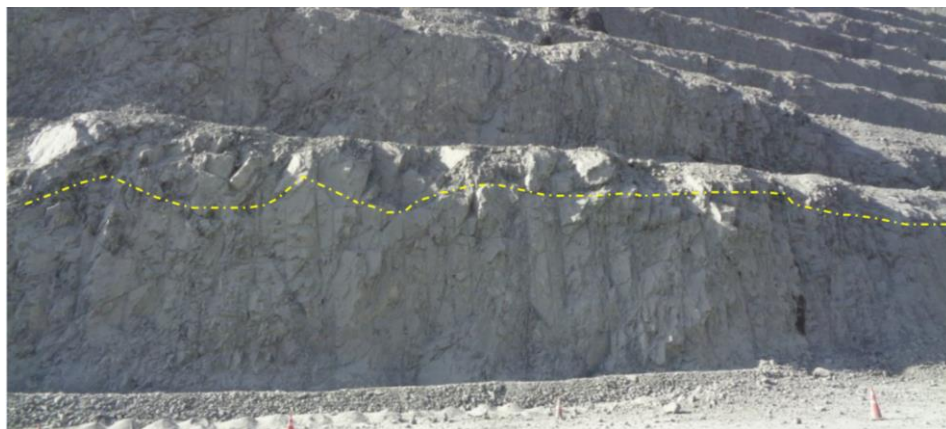


Figura 5.12- Condición de la cresta
Extraído: Área de Geomecánica, Minas El Romeral.

Parámetro	SANO	BUENO	MODERADO	MALO	MUY MALO
Condición de la cresta	Cresta limpia	0 a 1 m Fracturado o roca suelta	1 a 2 m Fracturado o roca suelta	2 a 3 m Fracturado o roca suelta	> 3 m Fracturados o roca suelta
Puntaje	15	9	6	3	0

Tabla 5.7- Parámetro de condición de la cresta para condición del talud

Por último, el factor de condición es relativamente subjetivo, ya que cada observador interpreta el daño o puntaje a su forma de ver. Sin embargo, la variación entre un observador y otro no debería ser muy variable, la calificación del talud no debería resultar muy distinta.

Por tanto, lo ideal es hacer el factor de condición una misma persona o si son varias, realizarlo con un mismo criterio.

5.4 Metodología realización comparación

En primer lugar, el área de geomecánica entrega la recomendación de tronadura, la que incluye los factores de carga para la pared y las precauciones que se deben tener al momento de poner las cargas y de tronar. En segundo lugar, el área de P & T realiza entrega del informe de la tronadura en donde se muestra el inicio del disparo, las zonas de descanso y el factor de carga utilizado, para los dos primeros se compara lo recomendado y lo realizado, además para el factor de carga se realiza una planilla en donde se identifique el número de la tronadura, el factor de carga recomendado y factor de carga utilizado, como se indica en la tabla 5.8.

	Factor de carga recomendado geomecánica			Factor de carga ENAEX	
Tronadura	Lilly 1	Lilly 2	Promedio	Teórico global	Real Global (utilizado por tronadura)
Numero Tronadura	litología	litología		Factor de carga teórico	Factor de carga utilizado
	Factor de carga	Factor de carga			
Numero Tronadura					
Numero Tronadura					
Numero Tronadura					

Tabla 5.8- Planilla en la que se comparan los factores de carga recomendado y realizado

Además, se realizan planillas que incluyen la cantidad de pozos perforados y cuantos de estos son sub perforados, sobre perforados y cuantos están en el rango aceptable (tabla 5.9), otra planilla realizada es la información de los pre-cortes, si estos fueron realizados o no (tabla 5.10).

	Pozos				
Tronadura	Sub Perforados	Sobre Perforados	Rango Aceptable	Total	% Rango aceptable
Numero tronadura					
Numero tronadura					

Numero tronadura					
Numero tronadura					
TOTAL					

Tabla 5.9- Planilla en la que se observan los tipos de pozos y la cantidad de estos por tronadura

Tronadura	Pre-cortes			
	Se Solicitó		Se Realizó	
	Si	No	Si	No
Numero de tronadura				
Numero de tronadura				
Numero de tronadura				
Numero de tronadura				

Tabla 5.10- Planilla en la que se muestran los pre-cortes solicitados y realizados

En tercer lugar, el área de geomecánica entrega el factor de condición y el puntaje para cada uno de los parámetros (descritos en el capítulo 5.3) y total. Finalmente, con la entrega de todos estos datos se realizan comparaciones para cada tronadura, separadas en los diferentes bancos y se observa si P & T ocupó el factor de carga recomendado y como quedó finalmente la pared, en el caso de que la pared no haya quedado en buenas condiciones se verifica si P & T ocupó el factor recomendado y si se realizaron los pre-cortes que se recomendaron (tabla 5.11).

Tronadura	Litología	Factor carga recomendado	Factor de carga utilizado	% Error	Factor de condición	Factor de condición promedio

Tabla 5.11- Planilla en la que se muestra la litología, factor de carga recomendado, utilizado y factor de condición de cada tronadura separada por bancos.

CAPÍTULO 6: RESULTADOS

Los resultados se basarán en la comparación de los datos obtenidos de acuerdo a las distintas metodologías, estas comparaciones se realizarán para los bancos 500 – 487.5 – 475 – 462.5 – 450 – 437.5 – 425 pertenecientes a la fase V de Minas El Romeral. Al inicio del presente trabajo se tenía considerado evaluar todos los bancos de la fase V, es decir, del banco 500 hasta el 362.5, pero por temas operacionales y por no contar con la información necesaria para la evaluación se decide efectuar el trabajo hasta el banco 425.

La comparación del presente trabajo, se realiza para cada tronadura de cada banco según tres factores:

- **Recomendación:** ejecutada por el área de geomecánica y en donde se extrae el análisis Lilly correspondiente a la litología presente en la tronadura, el factor de carga recomendado, el GSI, los mecanismos de inestabilidad y si se recomendaron pre-cortes.
- **Informe de tronadura:** ejecutada por el área de perforación y tronadura, en donde se extrae el número de pozos totales, de sub perforados, sobre perforados y de rango aceptable, además de sí se llevaron a cabo los pre-cortes y si se realizan las zonas de descanso solicitadas.
- **Factor de condición:** ejecutada por el área de geomecánica, en donde se extrae los parámetros, la condición general del talud y el puntaje por sector y un promedio.

A continuación, se muestran las comparaciones realizadas para cada banco:

6.1 Banco 500

Este banco tiene un total de 3 polígonos A, B y C, en el cual el polígono B presenta dos mallas explotadas en conjunto. Para estos polígonos no se realizaron recomendaciones por parte del área de geomecánica, ni tampoco se le realizó un factor de condición posterior a la tronadura, por lo que se muestran los informes y los resultados de las tronaduras de los polígonos presentes en el banco, en los que se observa los factores de carga utilizados y el tiempo entre pozos.

- **Polígono FVN_500-A 001**

Se cargaron 94 pozos con explosivo Blendex 950. El factor de carga utilizado es de 324 g/ton. Tiempo entre pozos: 11 ms y tiempo entre filas 120 ms.

Aumento del factor de carga en 16.5% respecto al teórico, debido a que no se respeta el diámetro de perforación según diseño. Lo que provocó un aumento en la cantidad de pozos a perforar y cargar.

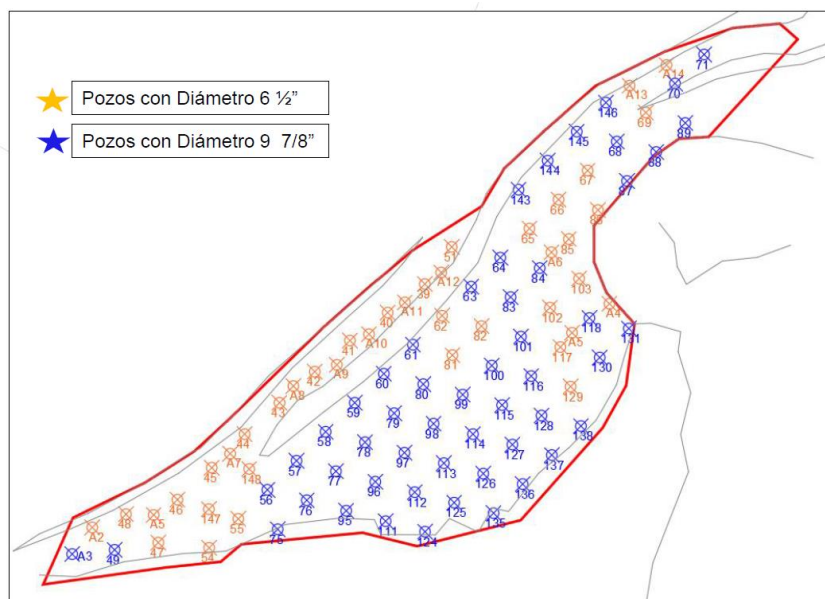


Figura 6.1- Malla FVN_500-A

- **Polígono FVN_500-B 002 & C 004**

Polígono B:

Numero de pozos 58

Factor de carga teórico 180 / Factor de carga real 184

Polígono C:

Numero de pozos 77

Factor de carga teórico 146 / Factor de carga real 138

Con respecto al factor de carga, diferenciado de cada polígono, este posee un aumento del 1.9% en el polígono B, y una disminución de un 5.5% en el polígono C, ambos respecto al valor teórico. La disminución del valor en este último, se debe al carguío de pozos con longitud menor a la esperada.

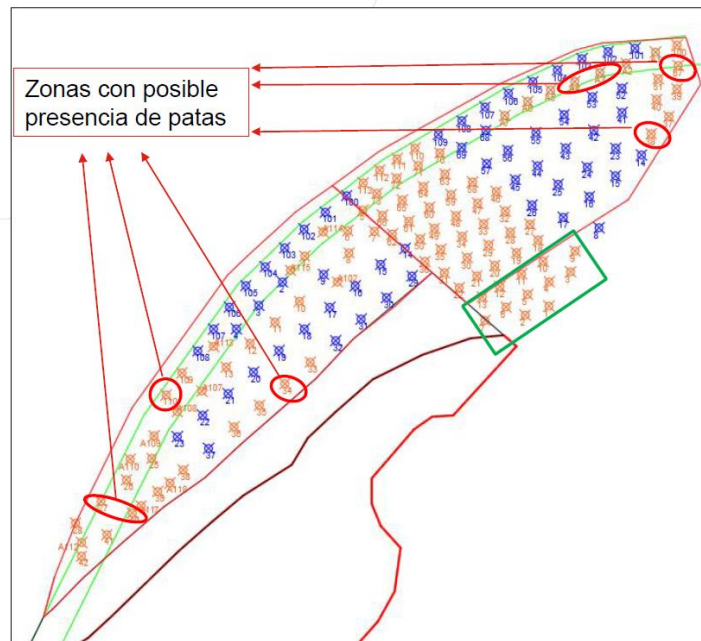


Figura 6.2- Malla FVN_500 B & C

- **Polígono 500-D 003**

Se cargan 49 pozos

Factor de carga teórico 188 / Factor de carga real 199

Con respecto al factor de carga, este posee un aumento del 6.1% respecto al valor obtenido teóricamente.

6.2 Banco 487.5

El banco presenta un total de 4 tronaduras de las cuales en 2 de ellas no se les realizó recomendación, además hay tronaduras en las que se dispararon mallas conjuntas como son en la tronadura 05-08 y en la tronadura 03-04 & 07. Además, en este banco no se realizó factor de condición ya que, según indico el área de geomecánica el banco anterior

a este (Banco 500) no tenía estructuras para mapear. El detalle de cada una de estas se presenta a continuación:

- **Tronadura 05-08**

En esta tronadura existen 2 mallas de perforación por lo que se hablará de malla 05 y 08 en el informe de tronadura con una sola recomendación.

Según recomendación:

El polígono comprende una litología:

- **Lilly 1 Diorita**
Factor de Carga: 150 gr/ton
GSI: 35-45
FF: 3.5
R: 03

Macizo rocoso de mala a regular calidad, acorde a caracterización GSI. Direccional iniciación de secuencia de salida, como se indica en la figura 6.3, con el objetivo de generar líneas de isotiempo perpendiculares a sistema estructural. Además, la secuencia debe dirigir el tren de onda en dirección Noreste. Finalmente, direccionar iniciación de pre-corte en dirección Norte-Sur desde Pozo de pre-corte 145 y considerar cambio de dirección desde pozo 146 de Sur a Norte, como se indica en Figura 6.3.

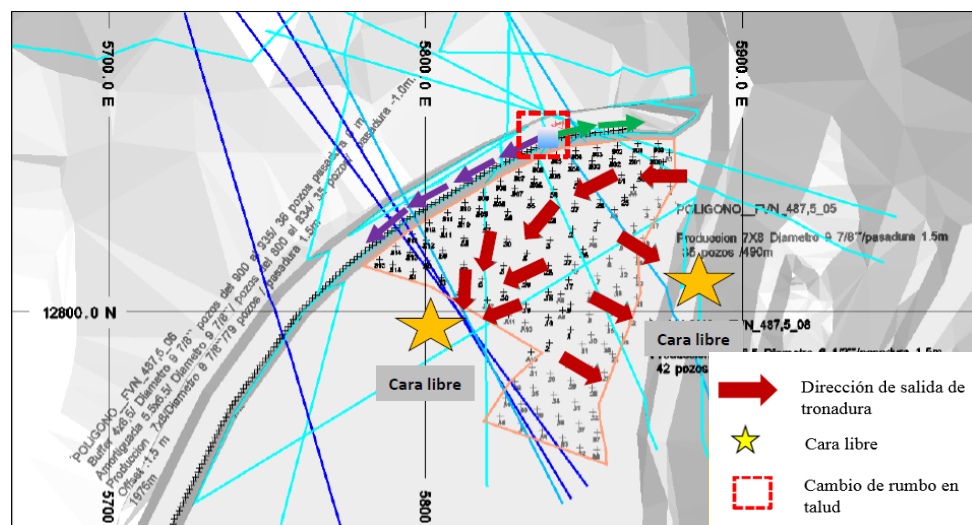


Figura 6.3- Recomendación tronadura 05-08 realizada por geomecánica.

Según informe de tronadura:

Malla 05

La tronadura presenta un total de 83 pozos de los cuales 55 fueron sub perforados, 9 sobre perforados y 18 en rango aceptable.

Malla 08

La tronadura presenta un total de 41 pozos de los cuales 21 fueron sub perforados, 20 sobre perforados y 0 en rango aceptable.

Para ambas mallas:

El valor del burden de alivio en la zona de producción fue de 17 ms/m; tiempo entre pozos y filas es de 09 y 120 ms respectivamente. Además, se realiza descanso de 500 ms entre plataforma y la malla 05. Se cargaron 63 pozos de pre-cortes.

Según factor de condición:

No realizado, según indico el área de geomecánica el banco anterior a este (Banco 500) no tenía estructuras para mapear.

- **Tronadura_06**

Según recomendación:

El polígono comprende una litología:

- **Lilly 1 Diorita**
Factor de Carga: 161 gr/ton
GSI: 40-50
FF: 4.0
R: 03

Macizo rocoso de regular calidad, acorde a caracterización GSI. Direccionar iniciación de secuencia de salida, como se indica en la figura 6.4, con el objetivo de generar líneas de isotiempo perpendiculares a sistema estructural. Además, direccionar iniciación de pre-corte en dirección Norte-Sur, como se indica en Figura 6.4.

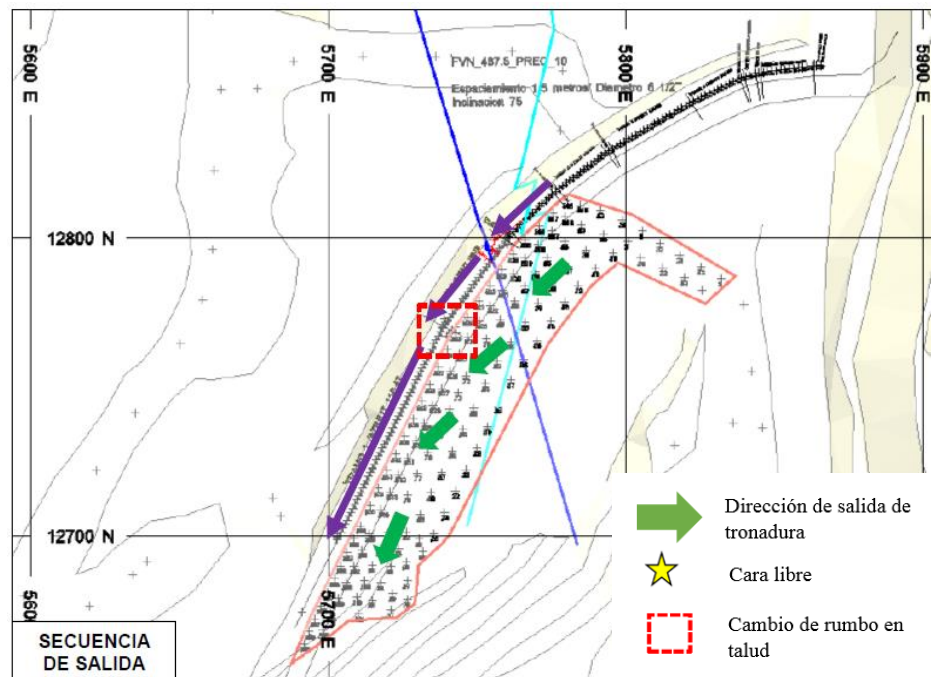


Figura 6.4- Recomendación tronadura 06 realizada por geomecánica.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 127 pozos de los cuales 81 fueron sub perforados, 39 sobre perforados y 7 en rango aceptable.

El valor del burden de alivio en la zona de producción fue de 17 ms/m; y en la zona de buffer su valor está entre 35 a 40 ms/m. tiempo entre pozos y filas es de 09 y 120 ms respectivamente. Además, se realiza descanso de 500 ms. Se cargaron 83 pozos de pre-cortes.

Según factor de condición:

No realizado, según indico el área de geomecánica el banco anterior a este (Banco 500) no tenía estructuras para mapear.

- **Tronadura 01**

Según recomendación:

No se le realizó recomendación ya que no existían estructuras en el banco 500 para mapear.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 159 pozos de los cuales 97 fueron sub perforados, 47 sobre perforados y 18 en rango aceptable.

Secuencia fila a fila, aliviando la última fila. Tiempo entre pozos y filas es de 09 y 120 ms respectivamente. No hay información sobre si se realizaron pre-cortes.

Según factor de condición:

No realizado, según indico el área de geomecánica el banco anterior a este (Banco 500) ya que no tenía estructuras para mapear.

- **Tronadura 03 04 07**

Según recomendación:

No se le realizó recomendación ya que no existían estructuras en el banco 500 para mapear.

Según informe de tronadura:

Separados por malla 03 y malla 04 & 07:

Malla 03:

La tronadura presenta un total de 98 pozos de los cuales 48 fueron sub perforados, 50 sobre perforados y 0 en rango aceptable.

Malla 04 & 07:

La tronadura presenta un total de 189 pozos de los cuales 42 fueron sub perforados, 117 sobre perforados y 30 en rango aceptable.

Para ambas mallas:

Secuencia fila a fila, aliviando la última fila. Tiempo entre pozos y filas es de 09 y 120 ms respectivamente. No hay información sobre si se hicieron pre-cortes.

Según factor de condición:

No realizado, según indico el área de geomecánica el banco anterior a este (Banco 500) no tenía estructuras para mapear.

6.3 Banco 475

El banco tiene un total de seis tronaduras de contorno, las recomendaciones para cada una de estas fueron realizadas por E-MINING TECHNOLOGY. En todas las recomendaciones se menciona realizar pre-corte anticipadamente en tronaduras de contorno. El detalle de cada una de estas se presenta a continuación:

- **Tronadura 01 parte 3**

Según recomendación:

El polígono comprende una litología separada por dos Lilly:

- **Lilly 1 Diorita**
Factor de Carga: 181 gr/ton
GSI: 45-55
FF: 2.4
R: 04
- **Lilly 2 Diorita**
Factor de Carga: 159 gr/ton
GSI: 40-50
FF: 3.0
R: 03

Macizo rocoso de regular calidad, acorde a caracterización GSI. Direccionar iniciación de secuencia de salida, como se indica en la figura 6.5, con el objetivo de generar líneas de isotiempo perpendiculares principalmente a sistema estructural de categoría F2.

Direccional iniciación de pre-corte en dirección Norte-Sur, como se indica en la figura 6.5.

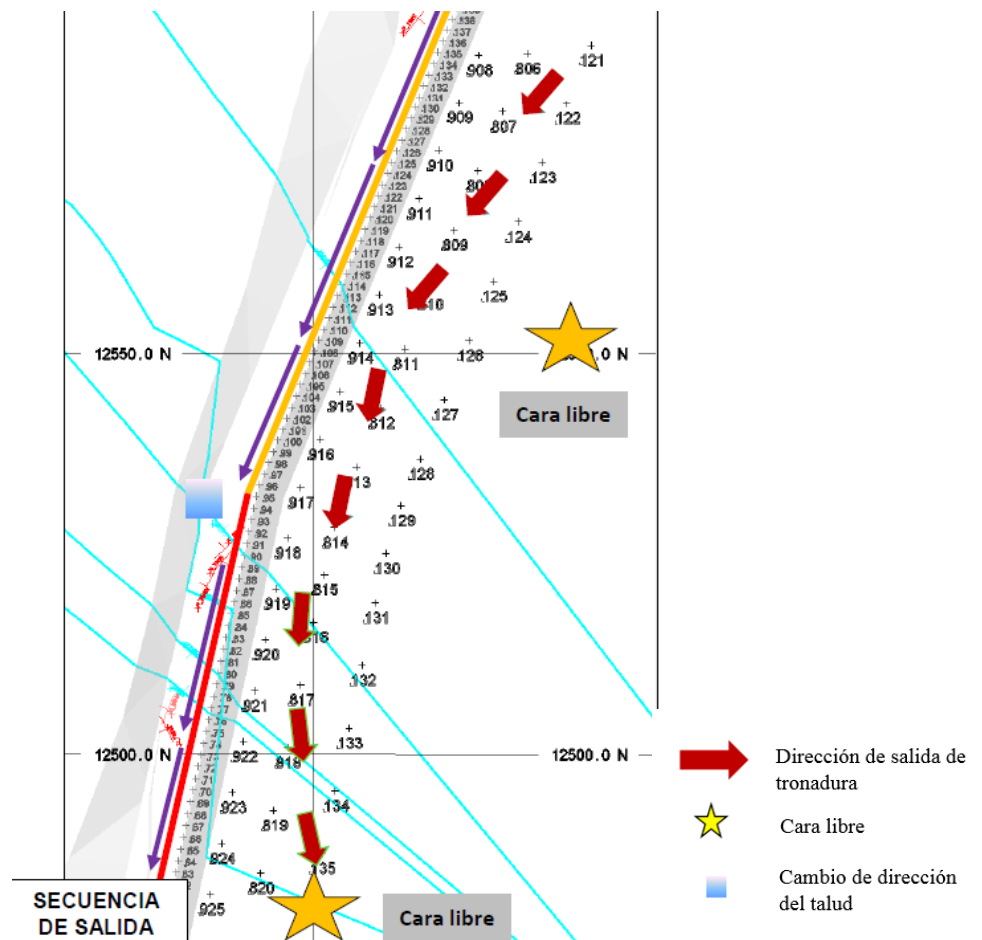


Figura 6.5- Recomendación de tronadura 01 parte 3

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 52 pozos de los cuales 37 fueron sub-perforados, 16 sobre perforados y 0 en rango aceptable. El valor del burden de alivio en la zona de producción fue de 17 ms/m. Se cargaron 85 pozos de pre-cortes.

Según factor de condición:

Dos factores de condición separados por Lilly:

Sector 1 Diorita Lilly 1: Los parámetros del factor de condición son considerados entre moderado a muy malo, en donde en la categoría moderado, están medias cañas y

geometría del talud, en la categoría malo están grietas inducidas, condición de discontinuidades menores y presencia bloques inestables. Finalmente, en categoría muy malo está la condición de la cresta. Como condición general de la pared tenemos una pared muy irregular, crestas muy dañadas y bloques inestables en la cresta.

Sector 2 Diorita Lilly 2: Los parámetros del factor de condición son considerados entre bueno a moderado, en donde en la categoría bueno están grietas inducidas y geometría del talud, y en la categoría moderado están medias cañas, condición de discontinuidades menores, presencia bloques inestables y condición de la cresta. Como condición general de la pared tenemos macizo de menor calidad argilizado, en cuanto a la pata del talud parece conservar el diseño, no hay sobre excavaciones.

Diorita presenta un factor de condición de 0.40 el que es muy por debajo de lo aceptable (0.65)

Diorita presenta un factor de condición de 0.60 el que es por debajo de lo aceptable (0.65)

Factor condición general pared: 0.51

- **Tronadura 10 2**

Según recomendación:

El polígono comprende una litología:

- **Lilly 1 Diorita**
Factor de Carga: 157 gr/ton
GSI: 40-50
FF: 4.0
R: 03

Macizo rocoso de regular calidad, acorde a caracterización GSI. Direccionar iniciación de secuencia de salida, como se indica en la figura 6.6, con el objetivo de generar líneas de isotiempo perpendiculares principalmente a sistema estructural de categoría F2. Direccionar iniciación de pre-corte en dirección Norte-Sur, como se indica en la figura 6.6.

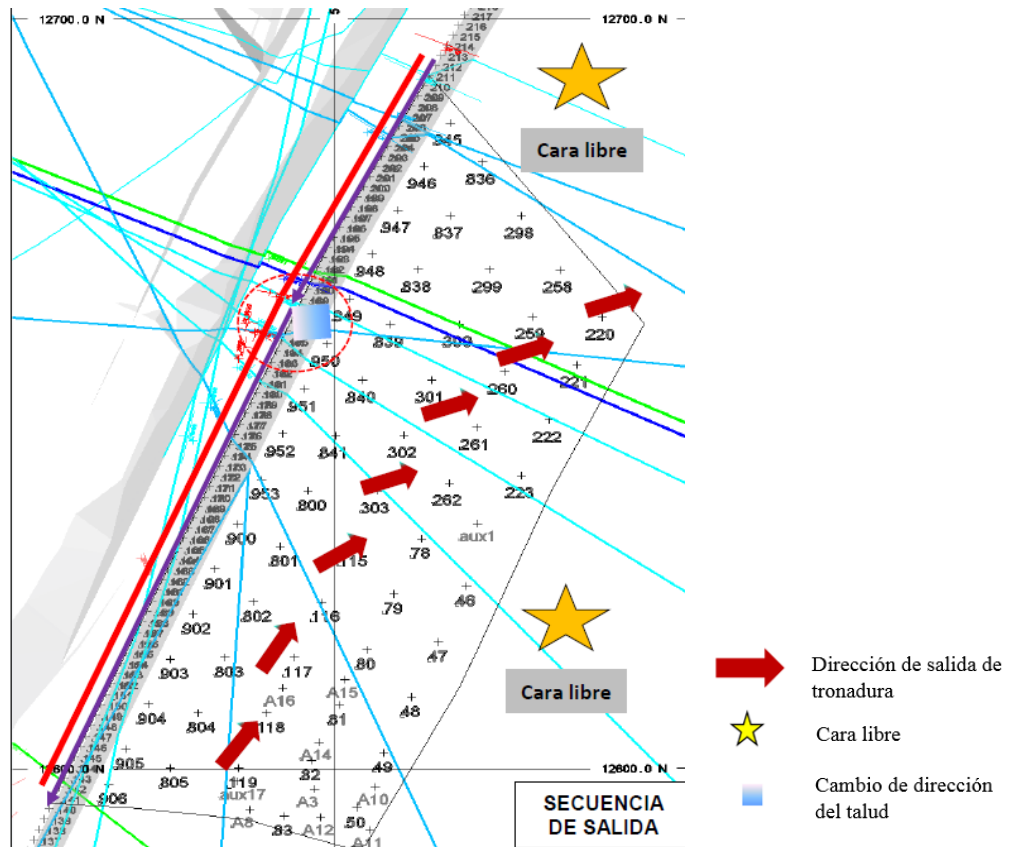


Figura 6.6- Recomendación de tronadura 10_2

Según informe de tronadura:

No se obtuvo respuesta por parte del área de P & T en la entrega del informe.

Según factor de condición:

No hay información del F.C ya que la empresa que realizó el trabajo para este banco, E-MINING TECHNOLOGY, no entregó la información de la tronadura del banco a CMP.

• Tronadura 01 PARTE 2

Según recomendación:

El polígono comprende dos litologías separadas por Lilly:

- **Lilly 1 Diorita**
Factor de Carga: 156 gr/ton
GSI: 40-50
FF: 4.0

R: 03

- **Lilly 2 Diorita**

Factor de Carga: 149 gr/ton

GSI: 35-45

FF:5.4

R:03

Macizo rocoso de regular calidad, acorde a caracterización GSI. Direccionar iniciación de secuencia de salida, como se indica en la figura 6.7, con el objetivo de generar líneas de isotiempo perpendiculares principalmente a sistema estructural de categoría F2. Direccionar iniciación de pre-corte en dirección Norte-Sur, como se indica en la figura 6.7.

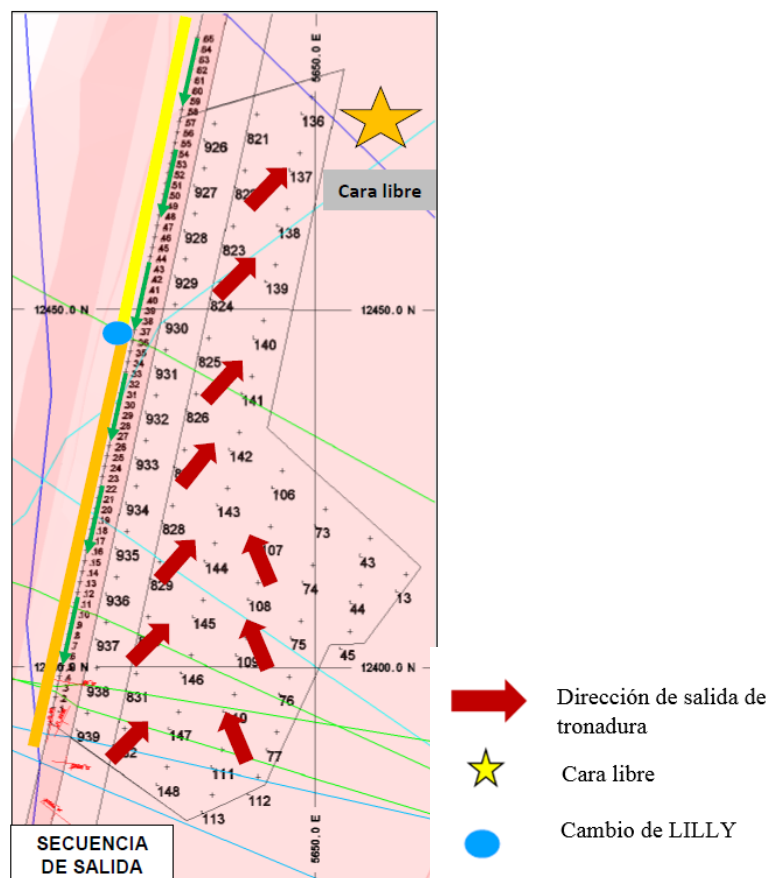


Figura 6.7- Recomendación de tronadura 01 parte 2

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 56 pozos de los cuales 14 fueron sub-perforados, 37 sobre perforados y 5 en rango aceptable. El valor del burden de alivio en la zona de producción fue de 17 ms/m. No hay información sobre pre-cortes.

Según factor de condición:

A pesar de que existen dos análisis Lilly solo hay un factor de condición.

Los parámetros del factor de condición son considerados entre bueno a muy malo, en donde en la categoría bueno están grietas inducidas y geometría del talud, en la categoría moderado están medias cañas, condición de discontinuidades menores y presencia bloques inestables. Finalmente, en categoría muy malo está la condición de la cresta. Como condición general de la pared tenemos diorita de madia calidad con alteración silicificada. La cresta está dañada a favor de diaclasa en más de 3 m. la pata del banco cumple en su mayor parte a excepción de sectores puntuales en donde existe la presencia de esta y sobre pisos. Además, se observa la presencia de discontinuidades abiertas, grietas inducidas por tronadura y bloques sueltos en la cresta.

Diorita presenta un factor de condición de 0.54 el que es por debajo de lo aceptable (0.65).

- **Tronadura 06**

Según recomendación:

El polígono comprende dos litologías separadas por Lilly:

- **Lilly 1** Metandesita bandeada
Factor de Carga: 140 gr/ton
GSI: 20-30
FF: 5.0
R: 03
- **Lilly 2** Diorita
Factor de Carga: 152 gr/ton
GSI: 35-45
FF: 4.6
R: 04

Macizo rocoso de mala a regular calidad, acorde a caracterización GSI. Direccional iniciación de secuencia de salida, como se indica en la figura 6.8, con el objetivo de generar líneas de isotiempo perpendiculares principalmente a sistema estructural de categoría F1 y F2. Generar descanso en tronadura en línea de pozo de 917 al 198, con el objetivo de generar alivio en zona de Falla Romeral. Direccional iniciación de pre-corte como se indica en la figura 6.8.

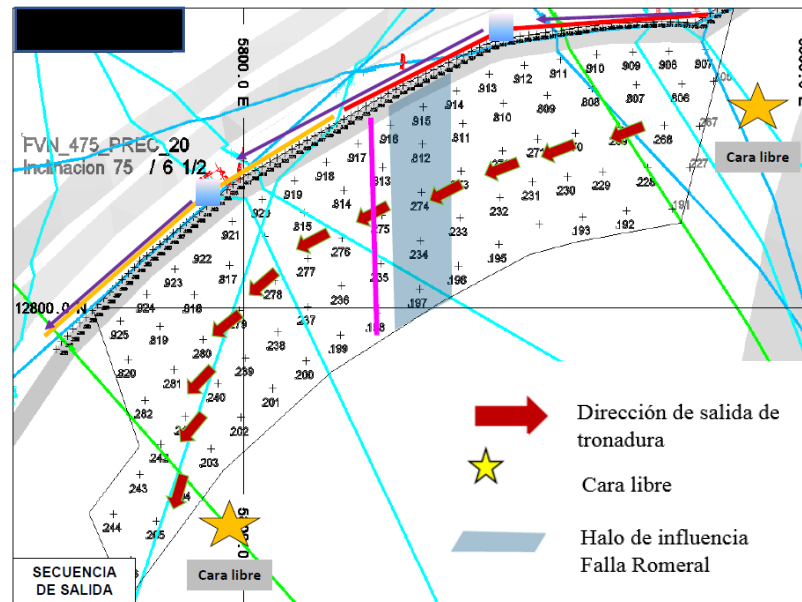


Figura 6.8- Recomendación de tronadura 06

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 83 pozos de los cuales 35 fueron sub-perforados, 43 sobre perforados y 5 en rango aceptable. El valor del burden de alivio en la zona de producción fue de 17 ms/m, en la zona de buffer su valor esta entre 40 a 45 ms/m. El tiempo entre pozos y filas es de 14 y 200 ms respectivamente. Se realiza descanso de 500 ms en la parte central de la malla. Se cargaron 73 pozos de pre-cortes.

Según factor de condición:

Los parámetros del factor de condición son considerados entre moderado a muy malo, en donde en la categoría moderado está grietas inducidas, en la categoría malo está presencia de bloques inestables y geometría del talud. Finalmente, en categoría muy malo están medias cañas, condición de discontinuidades menores y condición de la cresta. Como condición general: sector con un alto componente estructural, desfavorable al talud, el

cual va a influenciar en gran medida el resultado de diseño de talud, pero en menor medida debería influenciar en la condición resultante. Cresta muy dañada y evidencia de signos de daño generalizado por tronadura en todo el talud.

Presenta un factor de condición de 0.25 el que es muy por debajo de lo aceptable (0.65).

- **Tronadura 08**

Según recomendación:

El polígono comprende una litología:

- **Lilly 1 Diorita**
Factor de Carga: 155 gr/ton
GSI: 35-45
FF: 4.3
R: 03

Macizo rocoso de regular calidad, acorde a caracterización GSI. Direccionar iniciación de secuencia de salida, como se indica en la figura 6.9, con el objetivo de generar líneas de isotiempo perpendiculares principalmente a sistema estructural de categoría FP, F1 y F2. Generar descanso en tronadura en línea de pozo de 930 al 285 y de 938 a 214, con el objetivo de generar alivio en zona de Falla Romeral. Direccionar iniciación de pre-corte en dirección Norte-Sur, como se indica en la figura 6.9.

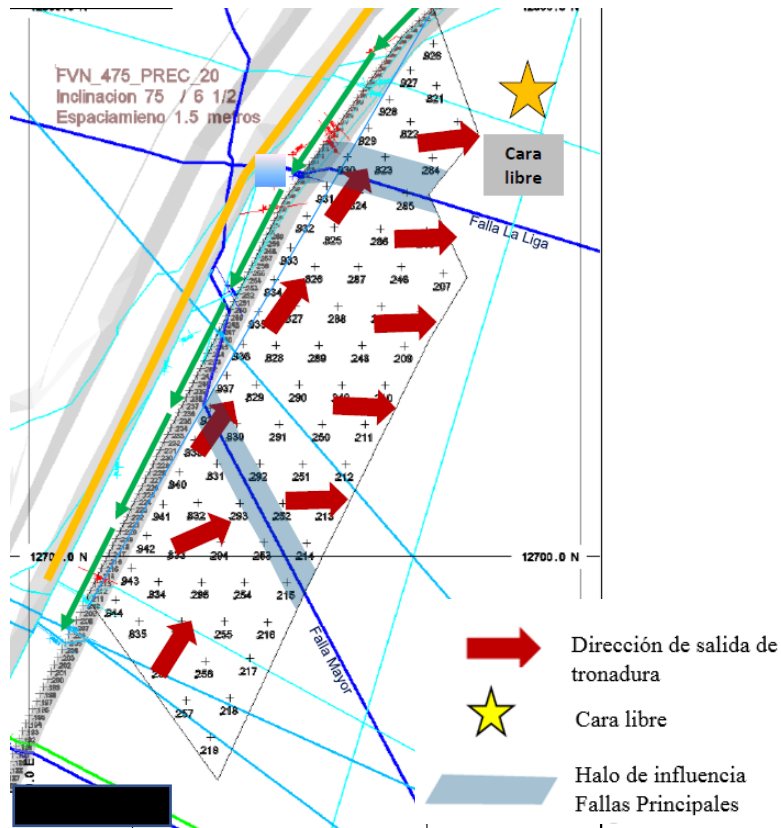


Figura 6.9- Recomendación de tronadura 08.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 76 pozos de los cuales 50 fueron sub-perforados, 19 sobre perforados y 6 en rango aceptable. El valor del burden de alivio en la zona de producción fue de 17 ms/m. El tiempo entre pozos y filas es de 06 y 70 ms respectivamente. Se realiza descanso de 500 ms en la parte central de la malla. Se realizaron 69 pre-cortes y se cargaron en su totalidad.

Según factor de condición:

No hay análisis detallado de los parámetros, pero si, el valor de factor de condición.

Lilly 1 Diorita (1): 0.55

Lilly 2 Diorita (2): 0.27

Factor de Condición Tronadura: 0.36

- **Tronadura 10**

Según recomendación:

El polígono comprende una litología:

- **Lilly 1 Diorita**
Factor de Carga: 150 gr/ton
GSI: 20-30
FF: 4.3
R: 03

Macizo rocoso de mala calidad, acorde a caracterización GSI. Direccional iniciación de secuencia de salida, como se indica en la figura 6.10, con el objetivo de generar líneas de isotiempo perpendiculares principalmente a sistema estructural de categoría FP, F1 y F2. Generar descanso en tronadura en línea de pozo de 908 al 12, con el objetivo de generar alivio en zona de Falla principal. Direccional iniciación de pre-corte en dirección Norte-Sur, como se indica en la figura 6.10.

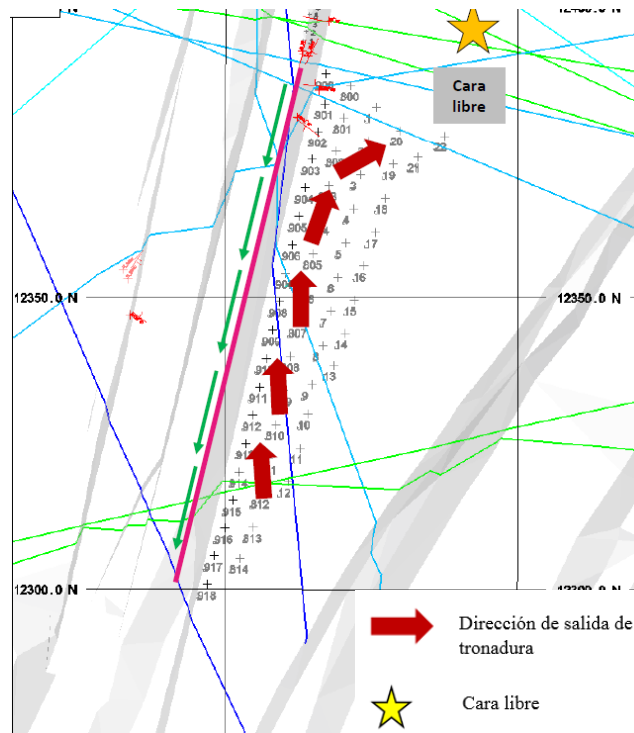


Figura 6.10- Recomendación de tronadura 10.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 51 pozos, no hay información en el reporte sobre pozos sub perforados, sobre perforados o si estuvieron en el rango aceptable. Se tronaron 48 pre-cortes.

Según factor de condición:

Los parámetros del factor de condición son considerados entre bueno a muy malo, en donde en la categoría bueno están la condición de discontinuidades y la geometría del talud, en la categoría moderado están medias cañas, grietas inducidas y condición de la cresta. Finalmente, en categoría muy malo esta la presencia de bloques inestables. Como condición general de la pared: diorita con grado de alteración variables y altamente diaclasado, el talud se encuentra con alto riesgo geomecánico por la presencia de rampa auxiliar realizada y conectada con el talud (no hay presencia de berma), lo cual implica un continuo goteo de material procedente de la rampa situada en el banco superior. Por lo anterior se recomienda la realización de pretil continuo en banco inferior y la no realización de pre-cortes por riesgo de caída de rocas en todo el talud.

Diorita presenta un factor de condición de 0.55 el que es por debajo de lo aceptable (0.65)

6.4 Banco 462.5

El banco presenta un total de ocho tronaduras, en las cuales cuatro muestran la cantidad de pozos subperforados, sobreperforados y rango aceptable. Además, en tres tronaduras se indica si se realizaron pre-cortes. El detalle de cada una de estas se presenta a continuación:

- **Tronadura 03: Polígono F5N 462.5 02 T03**

Según recomendación:

El polígono comprende dos litologías separadas por Lilly:

- **Lilly 1** Metandesita bandeada
Factor de Carga: 152 gr/ton
GSI: 30-40
FF: 4.3
R: 03

- **Lilly 2 Diorita**
Factor de Carga: 163 gr/ton
GSI: 35-45
FF: 3.7
R: 04

Informa zona de cizalle Falla Romeral. Se recomendó la realización de pre-cortes y una zona de descanso destacada con azul en la imagen 6.11.

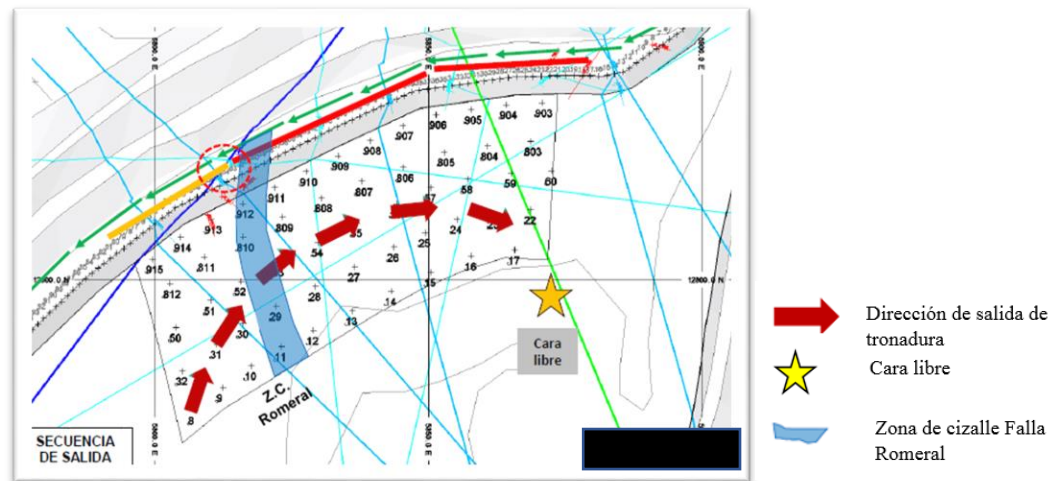


Figura 6.11- Recomendación de tronadura 03.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 55 pozos, no informa la cantidad de pozos sub-perforados, sobre perforados o en rango aceptable. El reporte tampoco muestra si se realizó el descanso solicitado por geomecánica. Se tronaron 86 pre-cortes.

Según factor de condición:

El factor de condición se divide en dos sectores correspondientes a cada Lilly

Sector Metandesita bandeada: los parámetros del factor de condición en su mayoría son considerados bueno a excepción de la condición de la cresta el cual está clasificado como malo. Como condición general de la pared se observa un buen resultado de condición y diseño. En cuanto a la cresta sector adyacente sur con presencia de grieta, lo que concluye

riesgo geomecánico, se aconseja y se recomienda creación de pretil y posterior acañadura. Se da cumplimiento al diseño en la pata.

Sector Diorita: los parámetros del factor de condición van desde bueno a muy malo, en donde queda en la categoría de bueno grietas inducidas y geometría del talud. Cae en la categoría moderado la condición de discontinuidades menores, malo son consideradas las medias cañas y la presencia de bloques inestables y finalmente muy malo es la condición de la cresta. Este sector se encuentra en confluencia estructural e influenciado por cizallamiento. La cresta se encuentra altamente fracturada > 4 m y presenta abundantes bloques.

Metandesita bandeada presenta un factor de condición de 0.66 el cual no es aceptable

Diorita presenta un factor de condición de 0.50 el que no es aceptable.

Factor de condición promedio: 0.62

- **Tronadura 04: Polígono F5N 462.5-02-03-04 T04**

Según recomendación:

El polígono comprende una litología:

- **Lilly 1 Diorita**
Factor de Carga: 159 gr/ton
GSI: 40-50
FF: 4.3
R: 04

Informa zona de cizalle Falla La Liga. Se recomendó la realización de pre-cortes

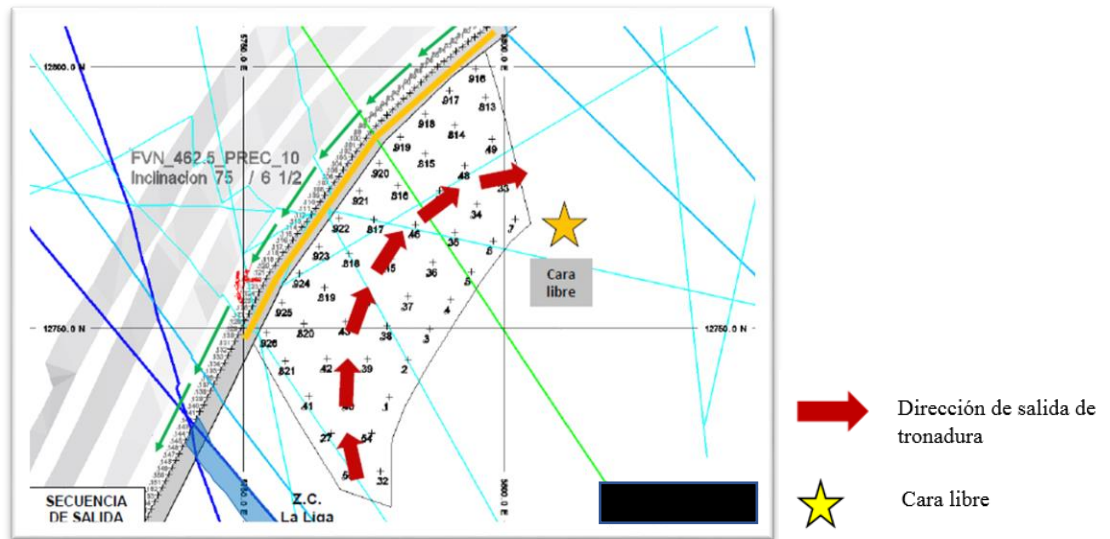


Figura 6.12- Recomendación de tronadura 04.

Según informe de tronadura:

Polígono presenta 48 pozos de los cuales 32 son tronados, 3 pozos perforados, pero no cargados y 9 pozos auxiliares. Ahora en la secuencia de salida el tiempo entre pozos es de 14 ms y entre filas es 80-100 ms. Se realizó un burden de alivio 35 ms/m al in situ y 35-40 ms/m a pared. No hay información sobre si se realizaron pre-cortes.

Según factor de condición:

Los parámetros del factor de condición están entre las categorías malo y muy malo, en donde malo se encuentran grietas inducidas, condición discontinuidades menores, presencia de bloques inestables y la geometría del talud. Y dentro de la categoría muy malo están las medias cañas y la condición de la cresta. Como condición general de la pared se observa un talud altamente fracturado y muy blocoso. No hay observación de medias cañas en todo el talud, la pared se encuentra descrestada a favor de sistema estructural. Hay una gran presencia de abundantes bloques inestables en todo el talud y más abundante aun en la zona de la cresta. Presencia de discontinuidades abiertas y abundantes grietas inducidas por tronadura en todo el talud.

Diorita presenta un factor de condición de 0.21 el que es muy por debajo de lo aceptable. (aceptable > 0.65)

- **Tronadura 08: Polígono F5N_462.5-02-04_T08**

Según recomendación:

El polígono comprende dos litologías separadas por Lilly:

- **Lilly 1** Diorita con alteración argílica moderada-fuerte
Factor de Carga: 160 gr/ton
GSI: 40-50
FF: 4.7
R: 04
- **Lilly 2** Diorita con silicificación moderada-fuerte
Factor de Carga: 179 gr/ton
GSI: 60-70
FF: 3.0
R: 05

Informa zona de cizalle Falla La Liga.

Se recomendó la realización de pre-cortes y direccionar iniciación de secuencia de salida, como se indica en figura 6.13, con el objetivo de generar líneas de isotiempo perpendiculares principalmente a sistema estructural. Además, se debe considerar en el diseño y ejecución del disparo el control de daño en el campo cercano, en específico con zona de cizalle de Falla La Liga.

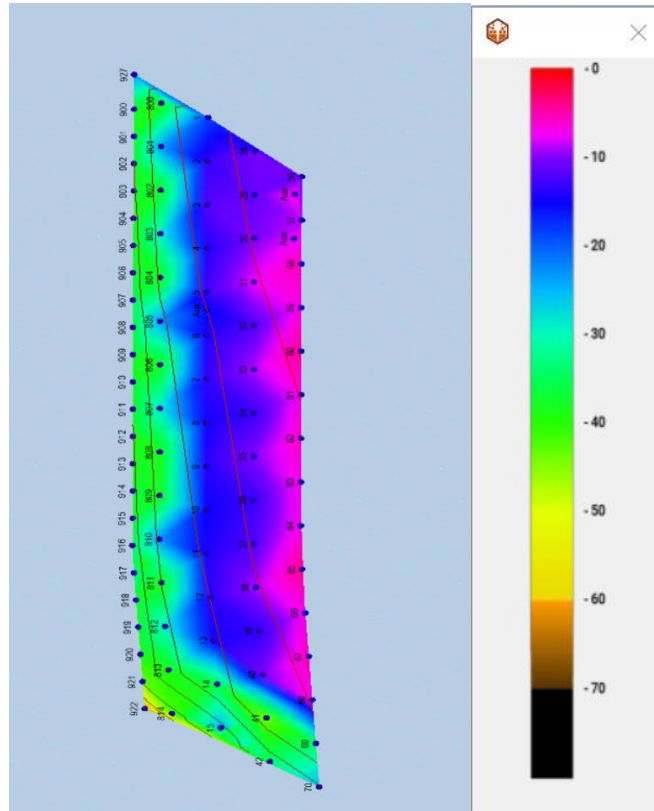


Figura 6.14- Burden de alivio 35-45 ms/m al in situ.

Según factor de condición:

Se realiza un factor de condición a pesar de que son dos Lilly:

Los parámetros están categorizados como bueno y moderado, donde en la categoría bueno están medias cañas, grietas inducidas, condición de discontinuidades menores y geometría del talud. En la categoría moderado está la presencia de bloques y condición de la cresta. Se observa una buena condición de todo el talud e igualmente se observa descreste en zona de berma a favor de estructuras, pero el daño por tronadura es mucho menor.

Diorita presenta un factor de condición de 0.69 el cual es aceptable

- **Tronadura 11: Polígono F5N_462.5-10_T11**

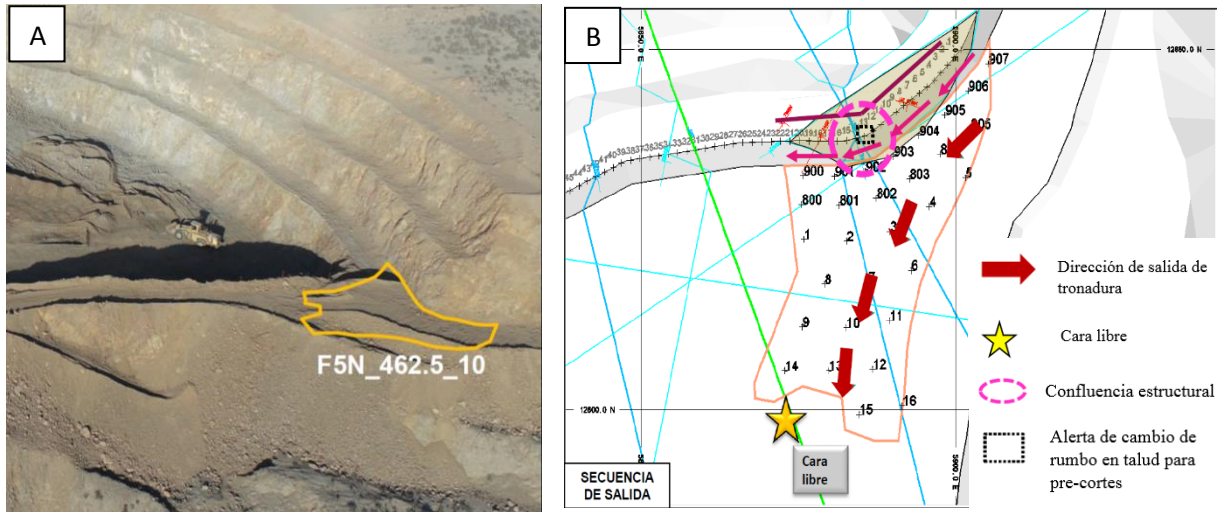


Figura 6.15- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 11, indicando secuencia de salida y cara libre.

Según recomendación:

El polígono comprende una litología:

- **Lilly 1** Metandesita bandeada
Factor de Carga: 152 gr/ton
GSI: 30-40
FF: 4.3
R: 03

Informa alerta para planificación de pre-cortes por cambio de rumbo en talud y se recomendó la realización de pre-cortes además de direccionar iniciación de secuencia de salida como se indica en la figura 6.15 (b), con el objetivo de generar líneas de isotiempo perpendiculares principalmente a sistema estructural.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 15 pozos de los cuales 5 fueron sub-perforados, 0 sobre perforados y 10 en rango aceptable. Se realizó un burden de alivio de 40 – 50 ms/m hacia la pared, el tiempo entre filas es de 56 ms y tiempo entre pozos 14 ms. En cuanto al pre-corte se cargaron 10 pozos.

Según factor de condición:

Los parámetros del factor de condición están entre las categorías bueno a muy malo, en donde bueno se encuentran condición discontinuidades menores, en la categoría moderado están las grietas inducidas, geometría del talud y condición de la cresta. Dentro de la categoría malo está la presencia de bloques inestables. Y finalmente, dentro de la categoría muy malo se encuentra las medias cañas. Como condición general de la pared se observa sector final de la fase, no se llega a diseño, existe presencia de sobrepiso. En cuanto a la cresta, se encuentra fracturada o dañada en sectores diferenciados. Presencia de rocas inestables en cresta y presencia de fracturas inducidas por tronadura.

Metandesita bandeada presenta un factor de condición de 0.48 el que es menor al criterio de aceptabilidad. (aceptable > 0.65)

- **Tronadura 16: Polígono F5N_462.5_04_T16**

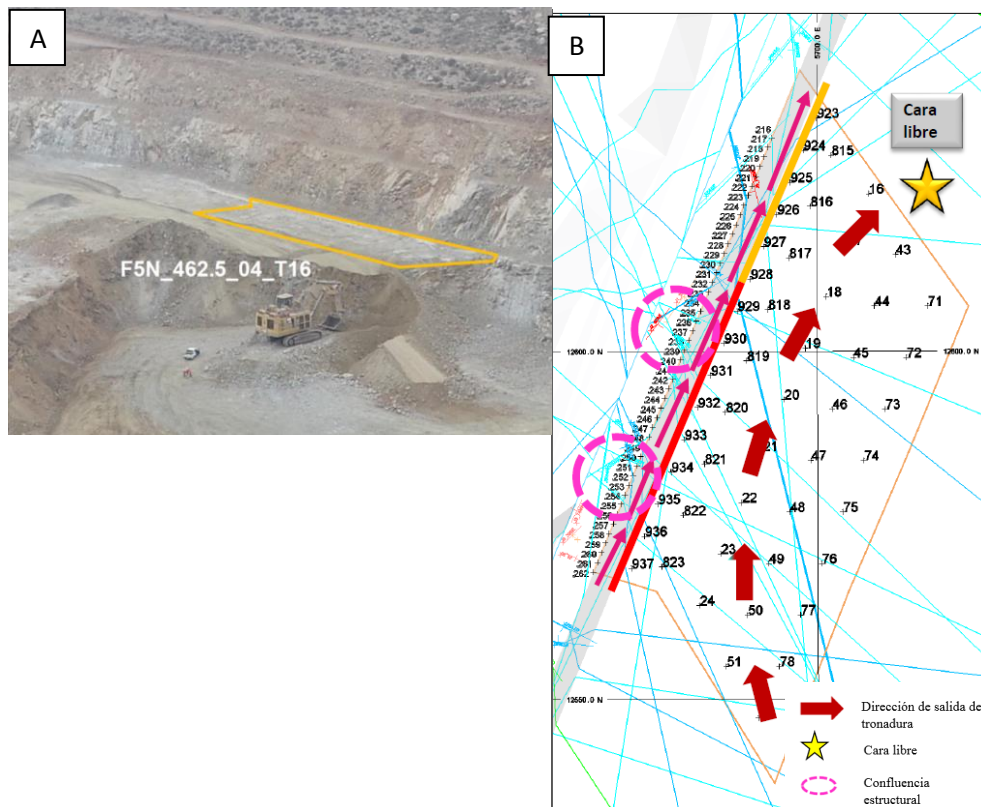


Figura 6.16- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 16, indicando secuencia de salida y cara libre.

Según recomendación:

El polígono comprende dos litologías separadas por Lilly:

- **Lilly 1** Diorita con alteración silícea
Factor de Carga: 177 gr/ton
GSI: 50-60
FF: 4.5
R: 04
- **Lilly 2** Diorita con alteración argílica
Factor de Carga: 156 gr/ton
GSI: 30-40
FF: 4.0
R: 03

Se recomendó la realización de pre-cortes, y direccionar iniciación de secuencia de salida como se indica en la figura 6.16(b), con el objetivo de generar líneas de isotiempo perpendiculares principalmente a sistema estructural.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 50 pozos de los cuales 16 fueron sub-perforados, 1 sobre perforados y 33 en rango aceptable. Se realizó un burden de alivio de 40 – 60 ms/m hacia in situ y pared, el tiempo entre filas es de 100 ms y tiempo entre pozos 14 ms. No hay información sobre si realizaron pre-cortes.

Según factor de condición:

Se realiza un factor de condición a pesar de que son dos Lilly:

Los parámetros están categorizados como desde bueno a malo, donde en la categoría bueno están medias cañas, condición de discontinuidades menores y geometría del talud. En la categoría moderado están las grietas inducidas y finalmente, en la categoría malo está la presencia de bloques inestables y la condición de la cresta. La pared no presenta grandes evidencias de daño en el talud, salvo en cresta dañada.

Diorita presenta un factor de condición de 0.64 el cual es aceptable.

- **Tronadura 19: Polígono F5N_462.5_08_T19**

Según recomendación:

El polígono comprende una litología separada por Lilly:

- **Lilly 1 Diorita**
Factor de Carga: 171 gr/ton
GSI: 45-55
FF: 3.3
R: 03
- **Lilly 2 Diorita**
Factor de Carga: 168 gr/ton
GSI: 50-60
FF: 3.5
R: 04
- **Lilly 3 Diorita**
Factor de Carga: 169 gr/ton
GSI: 40-50
FF: 3.0
R: 04

Se recomendó la realización de pre-cortes, y direccionar iniciación de secuencia de salida como se indica en la figura 6.17, con el objetivo de generar líneas de isotiempo perpendiculares principalmente a sistema estructural. Además, se debe considerar generar cara libre efectiva (mínimo en la zona de inicio de tronadura) para evitar activación de fallas planas reconocidas en mapeos geotécnicos y dominios estructurales.

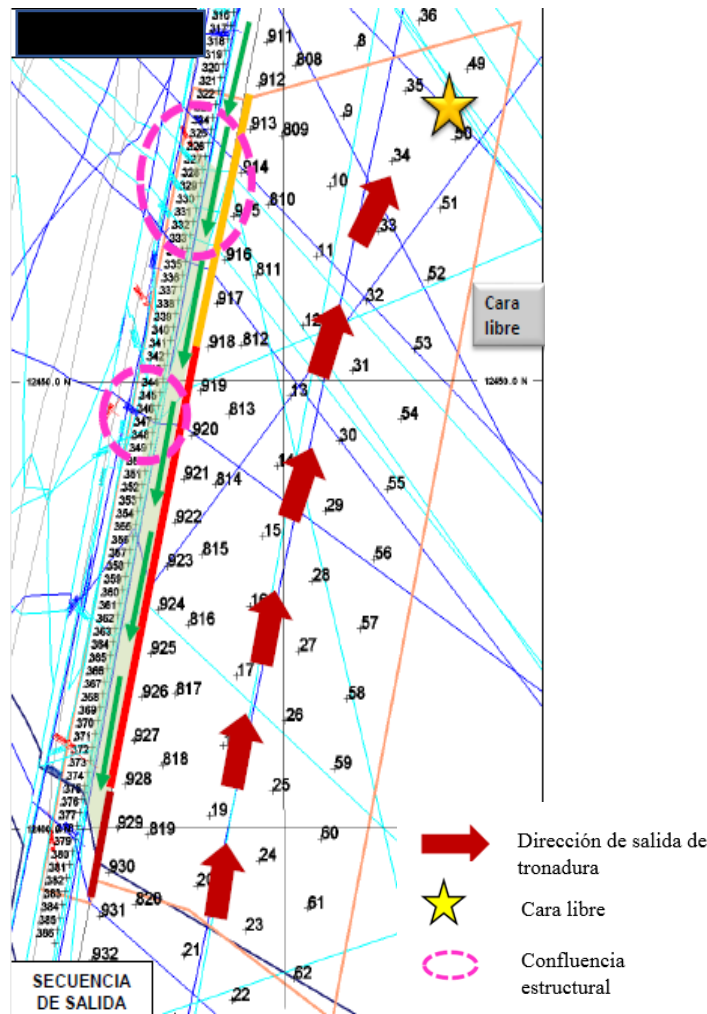


Figura 6.17- Recomendación de tronadura 19, indicando secuencia de salida y cara libre

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 68 pozos de los cuales 3 fueron sub-perforados, 9 sobre perforados y 56 en rango aceptable. Se realizó un burden de alivio de 40 – 60 ms/m hacia in situ y pared, el tiempo entre filas es de 100 ms y tiempo entre pozos 14 ms. Se realizaron 42 pozos de pre-cortes.

Según factor de condición:

No hay información, debido a que no fue entregada por el área de geomecánica.

- **Tronadura 20: Polígono F5N_462.5_04,08_T20**

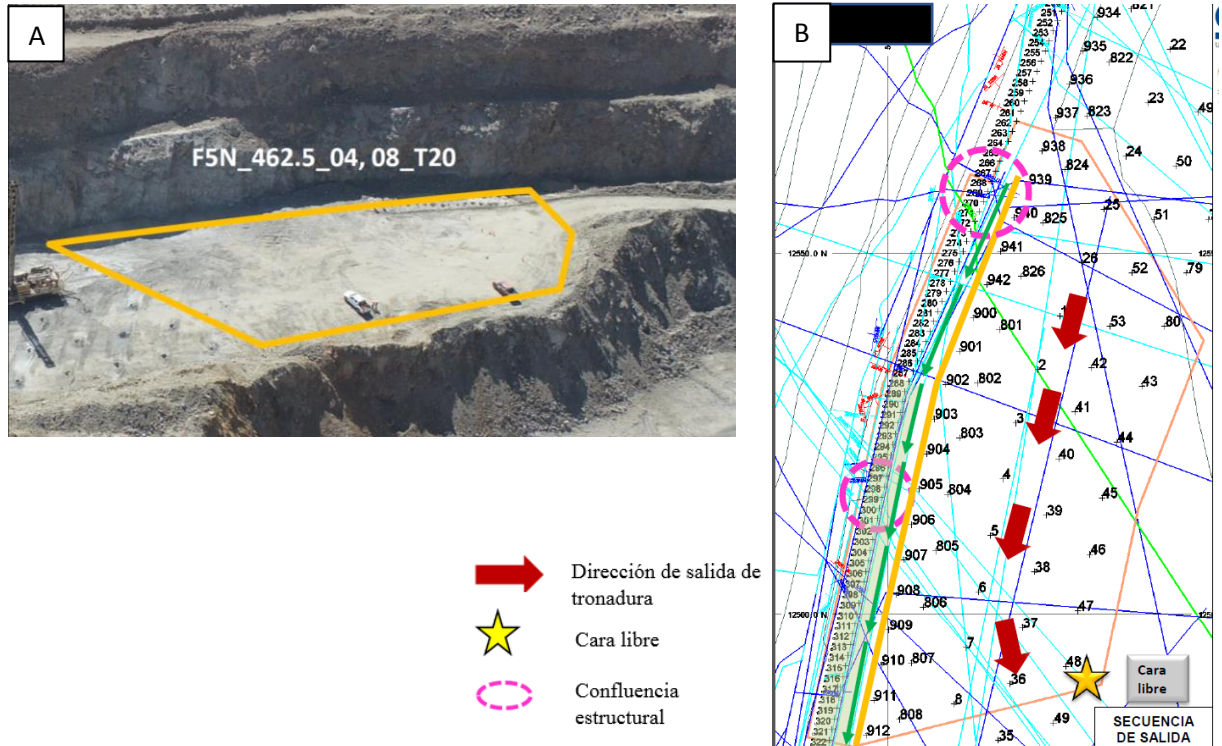


Figura 6.18- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 20, indicando secuencia de salida y cara libre.

Según recomendación:

- **Lilly 1 Diorita**
Factor de Carga: 173 gr/ton
GSI: 45-55
FF: 3.5
R: 04

Direccionar iniciación de secuencia de salida como se indica en la figura 6.18(b), con el objetivo de generar líneas de isotiempo perpendiculares principalmente a sistema estructural. Además, se debe considerar generar cara libre efectiva para evitar activación de fallas planas reconocidas en mapeos geotécnicos y dominios estructurales. También, se recomienda pre-cortes.

Según informe de tronadura:

No hay información, no se obtuvo respuesta por parte de P & T para la información de cómo se realizó finalmente la tronadura.

Según factor de condición:

No hay información, no se tenía registro de planilla para esta tronadura.

- **Tronadura 23: Polígono F5N_462.5_13_T23**

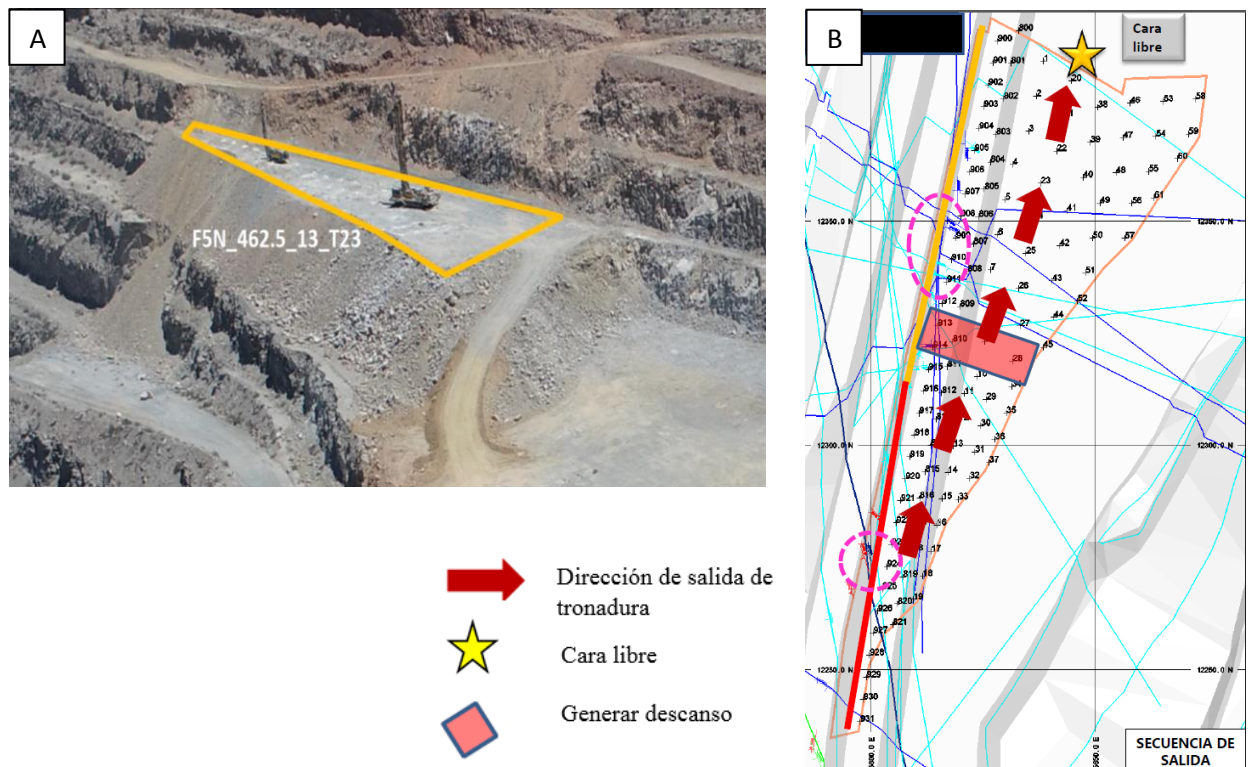


Figura 6.19- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 23, indicando secuencia de salida y cara libre.

Según recomendación:

El polígono comprende dos litologías separadas por Lilly:

- **Lilly 1** Diorita con silicificación moderada
Factor de Carga: 175 gr/ton
GSI: 55-65
FF: 8.0
R: 06

- **Lilly 2** Diorita con argilización leve

Factor de Carga: 165 gr/ton

GSI: 40-50

FF: 7.3

R: 04

Se recomendó direccionar iniciación de secuencia de salida como se indica en la figura 6.19 (b), con el objetivo de generar líneas de isotiempo perpendiculares principalmente a sistema estructural. También se recomienda generar descanso y no realizar pre-cortes.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 103 pozos de los cuales 6 fueron sub-perforados, 41 sobre perforados y 56 en rango aceptable. Se realizó un burden de alivio de 40 – 60 ms/m (figura 6.20) hacia el camino, el tiempo entre filas es de 56-65 ms y tiempo entre pozos 14 ms, se realizó el descanso en sector central de 400 ms por solicitud de geotecnia.

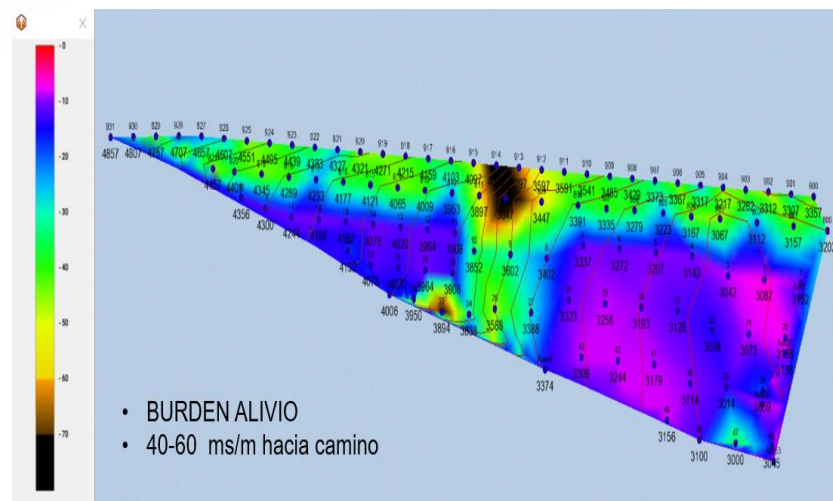


Figura 6.20- Burden de alivio 40-60 ms/m hacia camino.

Según factor de condición:

El factor de condición se divide en dos sectores correspondientes a cada Lilly (figura 6.21):

Sector Diorita silicificada: los parámetros del factor de condición son considerados buenos todos a excepción de medias cañas en donde no aplica ya que no se realizaron pre-cortes por recomendación de geomecánica (caída de rocas en banco superior). La cresta se

encuentra prácticamente sin sobre excavación y en cuanto a la pata no hay sobre excavaciones.

Sector Diorita meteorizada: los parámetros están entre bueno y moderado, en donde en la categoría bueno esta la condición de discontinuidades menores y la condición de la cresta. Y en la categoría moderado están las grietas inducidas, presencia de bloques y geometría del talud. Al igual que en sector anterior el parámetro medias cañas no aplica ya que no se realizaron pre-cortes. No se observan sobre excavaciones en la pata. En general hay buen logro de talud teniendo en cuenta la no realización de pre-cortes.

Diorita silicificada presenta un factor de condición de 0.81 el cual es aceptable

Diorita meteorizada presenta un factor de condición de 0.65 el cual es aceptable.

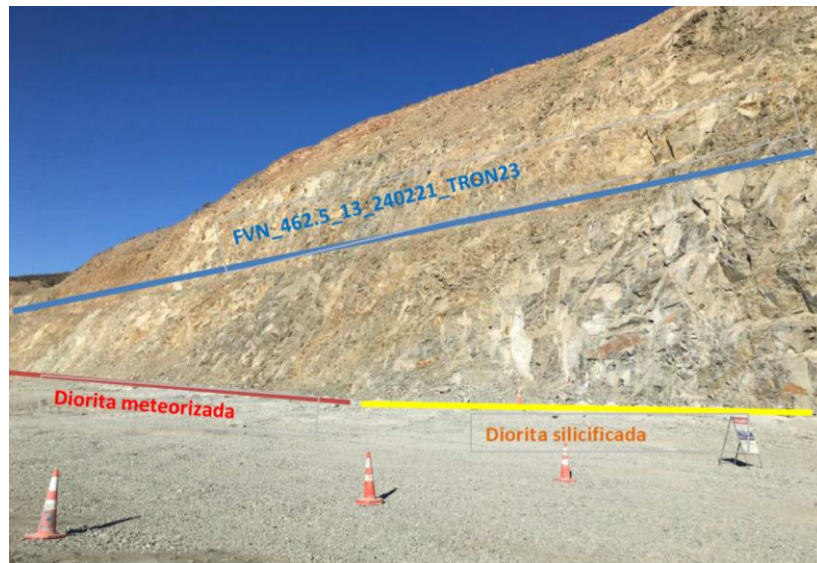


Figura 6.21- Fotografía que muestra sector tronado e indicando litología

6.5 Banco 450

Este banco presenta un total de seis tronaduras de las cuales una corresponde a un contorno rampa (tronadura 04) y otra a una rampa (tronadura 06). El detalle de cada una de estas se presenta a continuación:

- **Tronadura 02: Polígono F5N_450_01_T02**

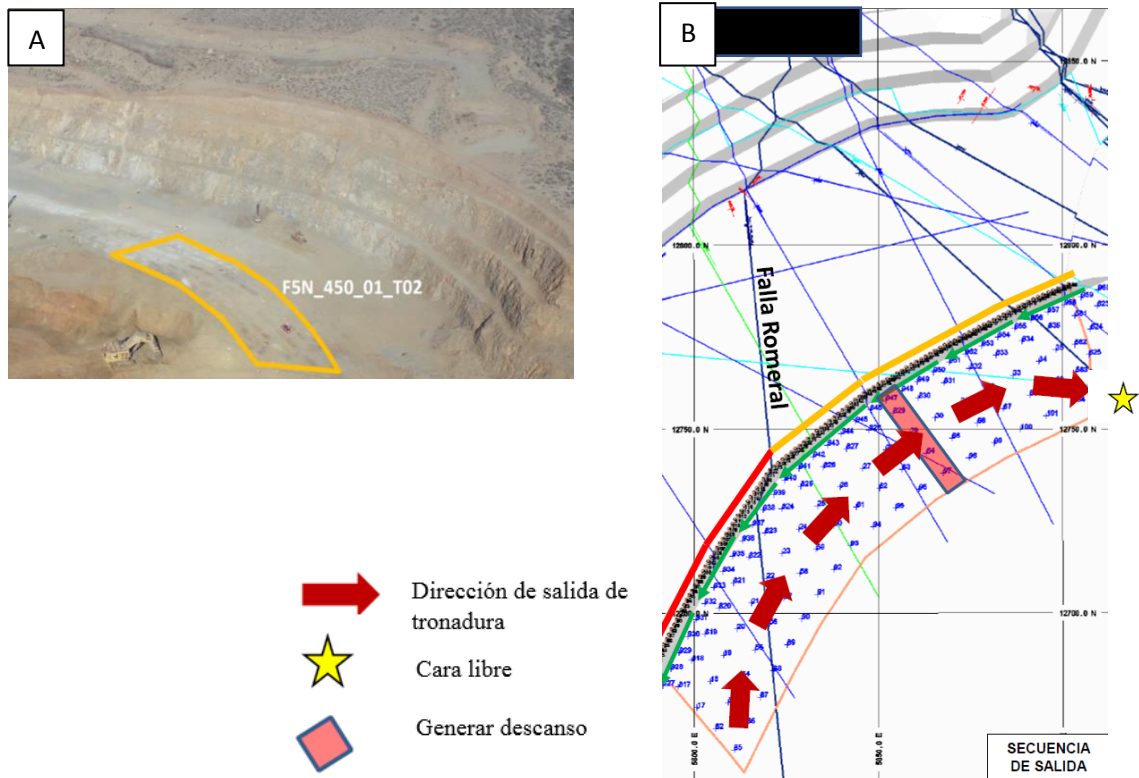


Figura 6.22- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 02, indicando secuencia de salida.

Según recomendación:

El polígono comprende dos litologías separadas por Lilly:

- **Lilly 1** Metandesita Bandeada
Factor de Carga: 140 gr/ton
GSI: 45-55
FF: 4.3
R: 03
- **Lilly 2** Diorita
Factor de Carga: 175 gr/ton
GSI: 50-60
FF: 3.7

R: 05

Mecanismos de inestabilidad: fallamiento plano en crestas y cuñas en UGT Metandesita bandeada, causada por sistemas de diaclasas desfavorables. Fallamiento plano en crestas, cuñas y volcamiento en UGT Diorita, causado por sistemas de diaclasas desfavorables. Se recomendó la realización de pre-cortes.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 117 pozos de los cuales 15 fueron subperforados, 17 sobre perforados y 85 en rango aceptable.

Se realizó un descanso de 400 ms en la zona solicitada por geomecánica y la salida fila a fila es de Norte a Sur, como se puede observar en la figura 6.22 (b). Se realizó un Burden de alivio de 40-60 ms/m hacia camino e in situ (figura 6.23), y se planificaron 123 pre-cortes de los cuales se tronaron 111 pre-cortes, con un cumplimiento del 90%.

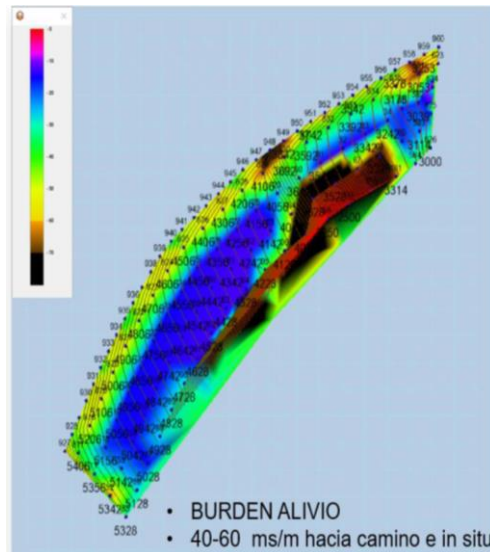


Figura 6.23- Burden de alivio 40-60 ms/m hacia camino e in situ.

Según factor de condición:

Se evidenció la presencia de Fe macizo, no detectado en pozos de perforación. Sector de elevada dureza, superior a la andesita oxidada y contiguo a Falla Romeral.

Sector Andesita oxidada: los parámetros del factor de condición son considerados bueno a excepción de la condición de la cresta el cual es malo. La pata del banco cumple con la

línea de diseño y sin sobre excavaciones en ella. También se observan algunas grietas en el talud y algunas discontinuidades abiertas, algunos bloques inestables en la cresta. Fallas principales sin daños ni sobre excavaciones.

Sector Diorita: de los parámetros analizados solo dos son buenos, medias cañas y geometría del talud. Dos son considerados moderado, grietas inducidas y condición de discontinuidades. Uno es considerado malo, presencia de bloques inestables, y uno es considerado muy malo, condición de la cresta. La pata del banco cumple con la línea de diseño, se observan medias cañas hasta la base y se observa alguna pata de poca relevancia. Abundantes grietas por tronadura en el primer tercio superior del banco (dañada por pasadura), en el resto del talud se observan de 3 a 5 cada 10 metros algunas discontinuidades abiertas y abundantes bloques en zona de cresta.

Andesita oxidada presenta un factor de condición de 0.72 el cual es aceptable

Diorita presenta un factor de condición de 0.59 el que es por debajo de lo aceptable (0.65)

Factor de condición promedio: 0.66

- **Tronadura 04 contorno rampa: Polígono F05N 450 01 TRON04**

Según recomendación:

El polígono comprende una litología y se trata de un contorno rampa

- **Lilly 1** Diorita con alteración silícea

Factor de Carga: 175 gr/ton

GSI: 60-70

FF: 3.0

R: 05

Fallamiento plano en crestas causado por sistemas de diaclasas desfavorables. Se recomendó la realización de pre-cortes.

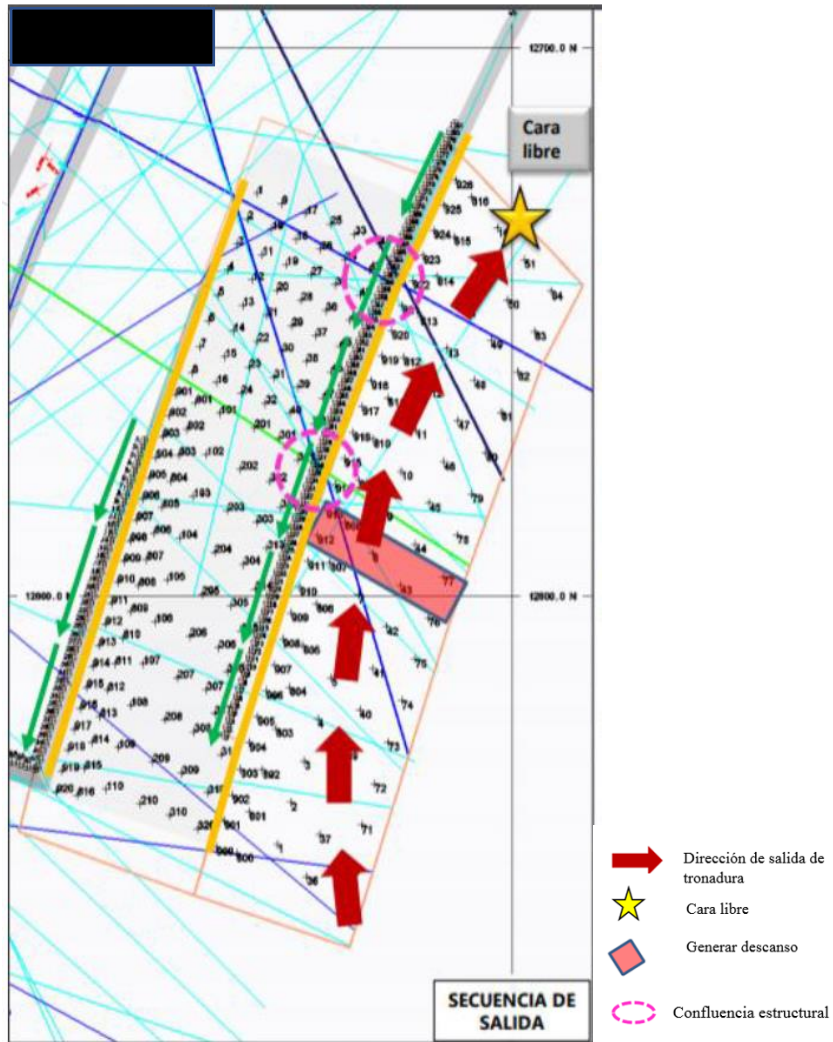


Figura 6.24- Recomendación de tronadura 04 contorno rampa.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 90 pozos de los cuales 27 fueron sub perforados, 6 sobre perforados y 57 en rango aceptable. Se realizó un burden de alivio (Figura 6.25) hacia camino e in situ de 45 – 60 ms/m además de un descanso en sector medio de tronadura según recomendación geomecánica. Se planificó 63 pre-cortes de los cuales se tronaron 39 pre-cortes, con un cumplimiento del 62%.

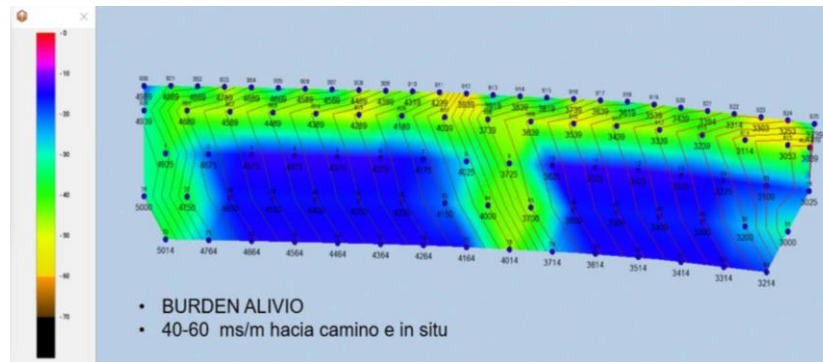


Figura 6.25- Burden de alivio 40-60 ms/m hacia camino e in situ.

Según factor de condición:

Registra un factor de condición de 0.29, el cual es muy por debajo de lo aceptable. (no hay información que muestre el detalle del análisis del factor de condición)

- **Tronadura 06 rampa: Polígono F5N 450 02 T06+PREC**

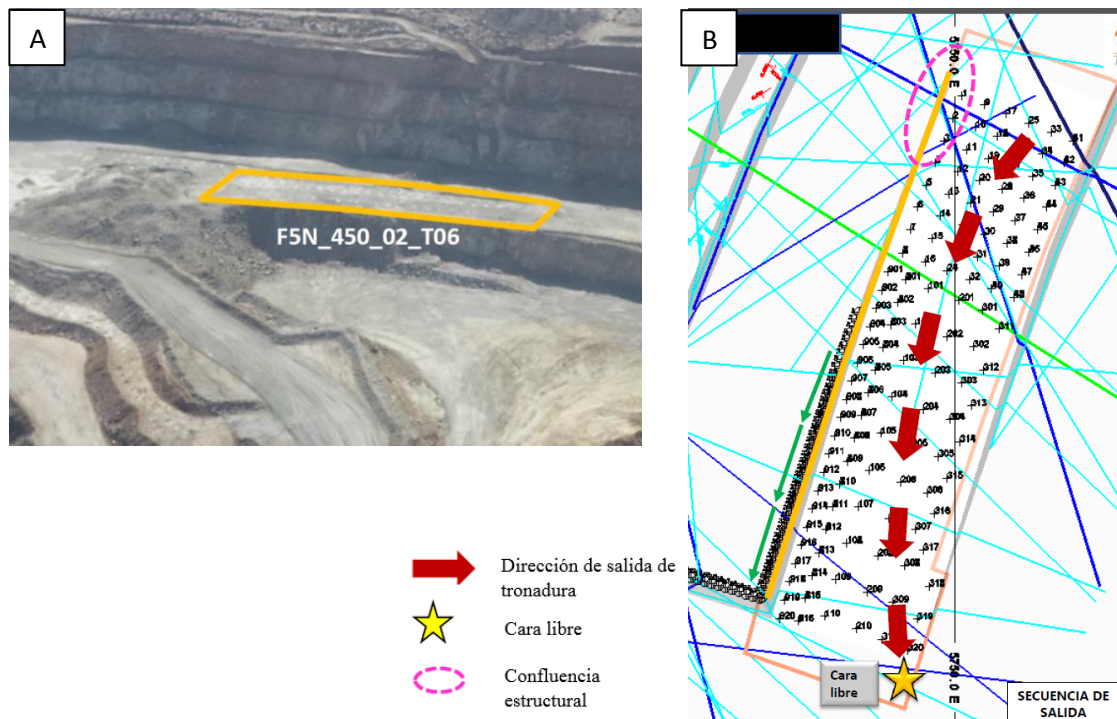


Figura 6.26- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 06 rampa, indicando secuencia de salida y cara libre.

Según recomendación:

El polígono comprende una litología y se trata de una rampa.

- **Lilly 1** Diorita con alteración silícea

Factor de Carga: 175 gr/ton

GSI: 60-70

FF: 3.0

R: 05

Fallamiento plano en crestas causado por sistemas de diaclasas desfavorables. Se recomendó la realización de pre-cortes y la dirección de estos, como se ilustra en la figura 6.26.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 138 pozos de los cuales 38 fueron subperforados, 38 sobre perforados y 62 en rango aceptable. Se realizó un burden de alivio de 40 – 60 ms/m hacia el talud, el tiempo entre filas es de 56 ms y tiempo entre pozos 14 ms. Se planificó 43 pre-cortes de los cuales se tronaron 37 pre-cortes, con un cumplimiento del 86%. De los 43 pozos analizados de pre-corte, 12 pozos cumplen dentro del rango aceptable.

Según factor de condición:

Registra un factor de condición de 0.15, el cual es muy por debajo de lo aceptable. (no hay información que muestre el detalle del análisis del factor de condición).

- **Tronadura 09: Polígono F5N 450 09 T09+PREC**

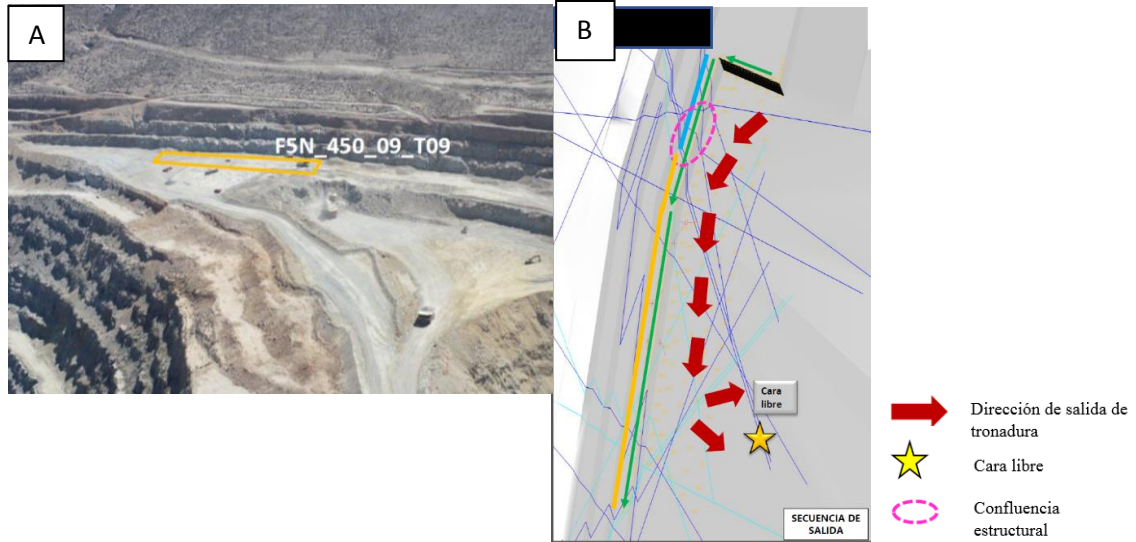


Figura 6.27- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 09, indicando secuencia de salida y cara libre.

Según recomendación:

El polígono comprende dos litologías:

- **Lilly 1** Diorita con alteración silíceo
Factor de Carga: 184 gr/ton
GSI: 60-70
FF: 3.3
R: 05
- **Lilly 2** Diorita argilizada
Factor de Carga: 170 gr/ton
GSI: 60-70
FF: 3.3
R: 04

Mecanismo de inestabilidad: control estructural de diaclasas con potencial de fallamiento plano. Se recomendó la realización de pre-cortes y direccionar la iniciación de secuencia de salida (en V) y luego girar en sentido sur a norte, como se indica en la figura 6.27 (b),

con el objetivo de generar líneas de isotiempo perpendiculares principalmente a sistema estructural.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 97 pozos de los cuales 20 fueron subperforados, 27 sobre perforados y 50 en rango aceptable. El informe no muestra si se realizó alivio ni el tiempo entre filas ni pozos. En cuanto a los pre-cortes no se indica si fueron realizados.

Según factor de condición:

El factor de condición se divide en dos sectores correspondientes a cada Lilly (figura 6.28):

Sector Diorita silicificada (sector 1): los parámetros del factor de condición son considerados bueno a excepción de la condición de la cresta el cual está clasificado como moderado. La pata del banco cumple con la línea de diseño y se observan medias cañas hasta la base. Como condición general de la pared el macizo es de elevada dureza y buena calidad, buen logro del diseño, sin marcas evidenciadas de daño por tronadura.

Sector Diorita meteorizada (sector 2): este sector en general no presenta buenas condiciones, de los parámetros analizados dos son moderados, grietas inducidas y geometría del talud, dos son considerados malos, condición de discontinuidades y presencia de bloques inestables, y dos son considerados muy malo, medias cañas y condición de la cresta. Como condición general de la pared la diorita con alteración argilizada de dureza media resulta con daños por tronadura. Sector empotrado en zona desacople. Se observa solo un 10% o menor de medias cañas. La cresta presenta un daño de 2 m aprox. Gran presencia de bloques en el sector y alta presencia de grietas inducidas por tronadura. En cuanto a la pata del talud se observa presencia de material en esta que no permite observar bien, pero que, por proyección del talud, en un 20 % aprox. se encuentra sobre excavación.

Diorita silicificada presenta un factor de condición de 0.73 el cual es aceptable

Diorita meteorizada presenta un factor de condición de 0.37 el que es por debajo de lo aceptable (0.65).

Factor de condición promedio: 0.62

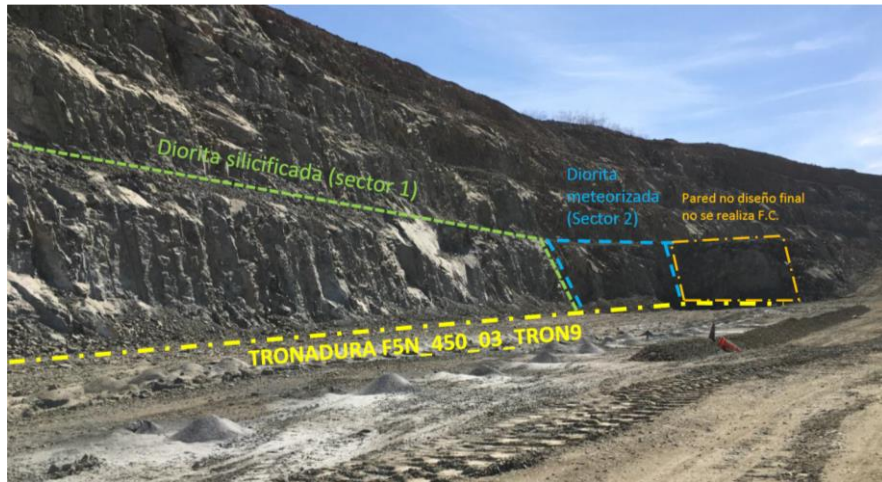


Figura 6.28- Fotografía que muestra sector tronado con sus respectivas litologías

- **Tronadura 13: Polígono F5N 450 05 T13**

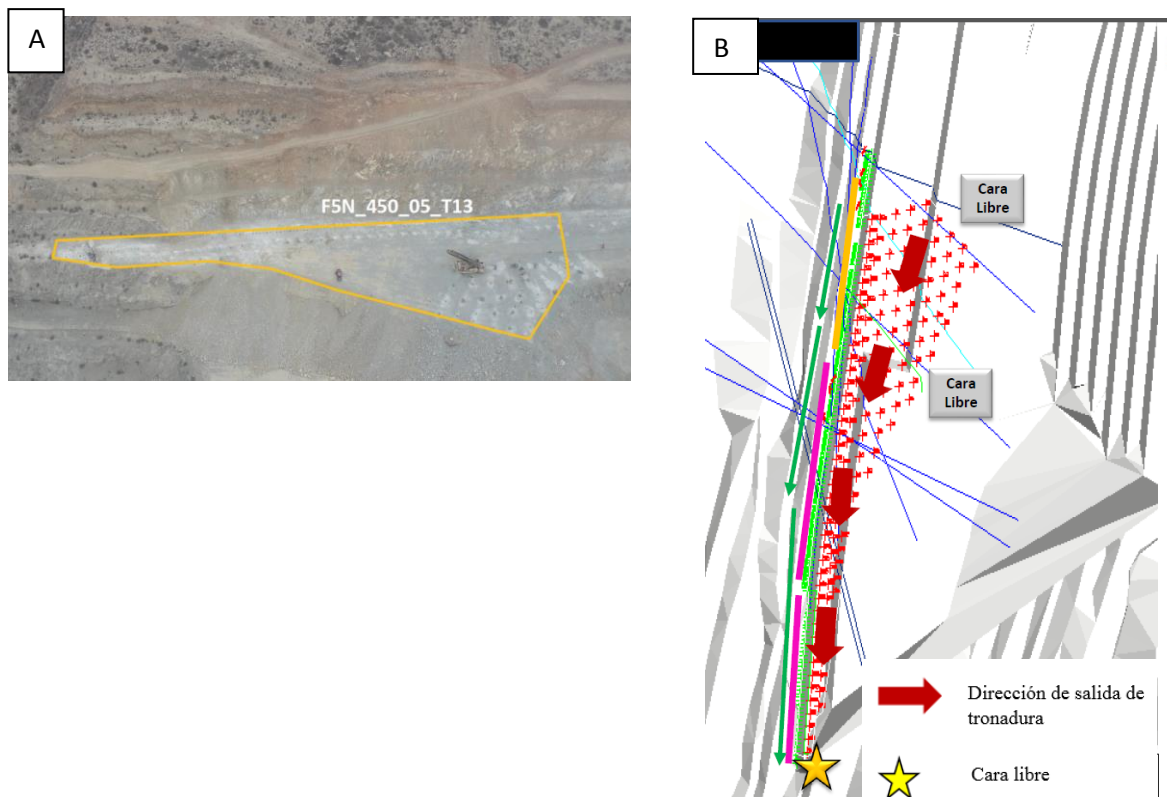


Figura 6.29- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 13, indicando secuencia de salida y cara libre.

Según recomendación:

El polígono comprende dos litologías:

- **Lilly1** Diorita con alteración silícea
Factor de Carga: 187 gr/ton
GSI: 55-65
FF: 3.4
R: 05
- **Lilly 2** Diorita con alteración silícea
Factor de Carga: 183 gr/ton
GSI: 40-50
FF: 3.4
R: 04

Modelo litológico: diorita con alteración silícea / Fallamiento plano en cresta por sistemas de diaclasas desfavorables. Se recomendó la realización de pre-cortes y direccionar la iniciación de secuencia de salida, como se indica en la figura 6.29 (b), con el objetivo de generar líneas de isotiempo perpendiculares principalmente a sistema estructural.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 146 pozos de los cuales 51 fueron subperforados, 14 sobre perforados y 81 en rango aceptable. No se informa sobre si hubo un burden de alivio, ni el tiempo entre filas ni pozos. Y sobre pre-corte se informa que fueron 72 pozos cargados.

Según factor de condición:

El factor de condición en este polígono se divide en sector con pre-cortes y son pre-cortes (figura 6.30):

Sector sin Pre-cortes: corresponde a Diorita silicificada, los parámetros en este sector van de moderado a muy malo, donde solo la condición de discontinuidades menores es moderada, en cuanto a los otros parámetros analizados están clasificados como malo: grietas inducidas, presencia de bloques inestables y geometría del talud. Y muy malo está considerada la condición de la cresta. Como condición general de la pared el sector en

su mayoría no son tronados pre-cortes por motivos operacionales por ser sector de empalme de fases, pozos cortos, derrumbados, etc. En cuanto a la cresta, al igual que todo el banco, se encuentra altamente dañado y se produce una disminución del tamaño de berma. Ahora, la pata del talud en la mayor parte de este sector presenta más de 2 m por delante de diseño. Tras el saneamiento quedan bloques y material fono suelto en sectores de cresta dañadas, se realiza una estabilización del área, pero aun así queda con el riesgo de caídas de rocas post-tronadura, sismos o condiciones climáticas desfavorables.

Sector con pre-cortes: corresponde a Diorita silicificada, los parámetros de este sector están entre buenos y moderados, donde bueno se encuentra; medias cañas, condición de discontinuidades menores y geometría del talud. Y moderado se encuentra grietas inducidas, presencia de bloques inestables y condición de la cresta. Se observa un porcentaje de entre 75 a 80 % de medias cañas, la cresta en general presenta un buen estado y la pata cumple con el diseño.

Diorita silicificada sin pre-cortes presenta un factor de condición de 0.35 el cual no es aceptable

Diorita silicificada con pre-cortes presenta un factor de condición de 0.65 el cual es aceptable.

Factor de condición promedio: 0.56



Figura 6.30- Fotografía que muestra sector tronado identificando zonas con y sin pre-cortes.

- **Tronadura 14: Polígono F5N_450_03_05_TRON14**

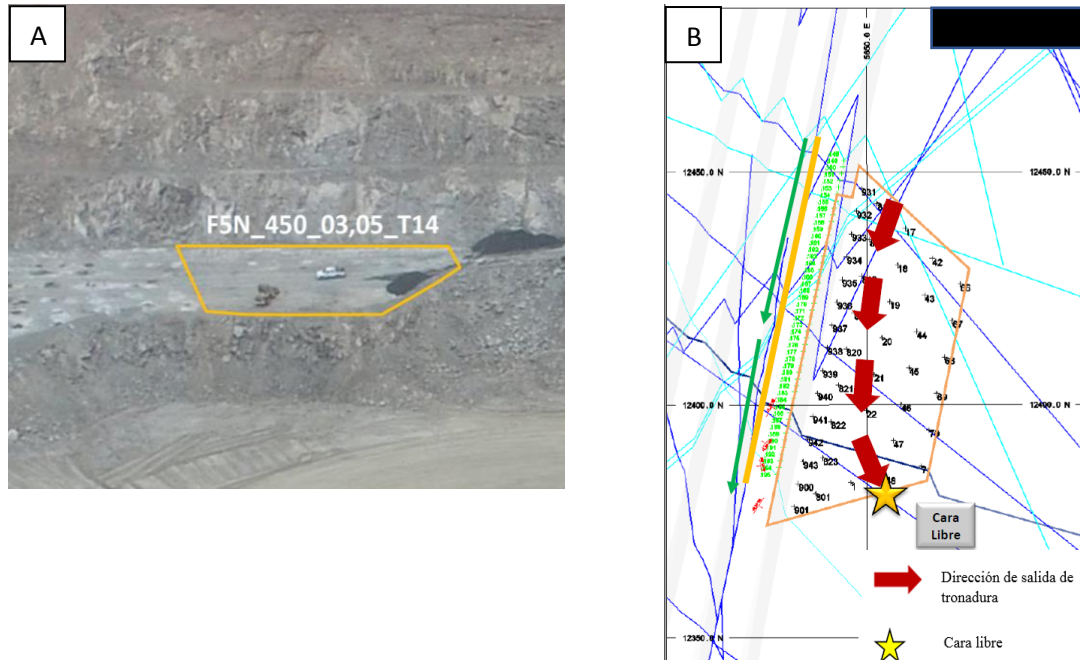


Figura 6.31- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 14, indicando secuencia de salida y cara libre.

Según recomendación:

El polígono comprende una litología:

- **Lilly 1** Diorita con fuerte alteración silícea
Factor de Carga: 187 gr/ton
GSI: 55-65
FF: 3.4
R: 05

Modelo litológico: diorita con fuerte alteración silícea / Fallamiento plano en cresta por sistemas de diaclasas desfavorables. Se recomendó la realización de pre-cortes y direccionar la iniciación de secuencia de salida, como se indica en la figura 6.31 (b), con el objetivo de generar líneas de isotiempo perpendiculares principalmente a sistema estructural.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 45 pozos de los cuales 17 fueron subperforados, 5 sobre perforados y 23 en rango aceptable. No se informa sobre si hubo un burden de alivio, ni el tiempo entre filas ni pozos. Y en cuanto a los pre-cortes se informa que fueron 38 pozos cargados.

Según factor de condición:

El factor de condición se divide en dos sectores a pesar de que corresponde a la misma litología (figura 6.32):

Sector 1: corresponde a Diorita silicificada, los parámetros en este sector van desde sano a malo, donde sano se encuentra medias cañas, bueno están considerados grietas inducidas y condición de discontinuidades menores, moderado son la presencia de bloques y condición de cresta, y finalmente dentro de la categoría malo se encuentra la geometría del talud. Se observa un 75 % aprox. de medias cañas, la cresta está dañada entre 1-2 m donde también hay una condición estructural (diaclasado con manteo a favor del talud) que influye, aunque los saneados hasta llegar a plano diaclasado sano. En cuanto a la condición de la pata se observa la presencia de estas en todo el sector, se destaca que la tronadura entera presenta un callo o pata en ambos extremos (zona límite con tronaduras adyacentes). Las grietas por tronadura aparecen de forma aislada (3-5 cada 10 m).

Sector 2: corresponde a Diorita silicificada, este sector se encuentra altamente dañado por tronadura. Los parámetros van desde moderado a muy malo, donde en la categoría moderado están las medias cañas y la condición de discontinuidades menores. Considerado malo están las grietas inducidas, la presencia de bloques inestables y la geometría del talud, por último, en la categoría malo está la condición de la cresta. Medias cañas se vislumbran en menos de un 40 %, el sector está muy fracturado en general, daño al talud. La cresta está altamente dañada en más de 3 m. se observa la presencia de pata en el límite sur de la tronadura. Finalmente, el sector presenta varios bloques inestables en el talud, incluso con realización de saneamiento, la pared se encuentra en general blocosa, bloques separados por discontinuidades abiertas. Mas de 10 fracturas inducidas por tronadura cada 10 m.

Diorita silicificada sector 1 presenta un factor de condición de 0.65 el cual es aceptable

Diorita silicificada sector 2 presenta un factor de condición de 0.39 el cual es muy por debajo de lo aceptable.

Factor de condición promedio. 0.55



Figura 6.32- Fotografía que muestra sector tronado indicando los factores de condición por sector

6.6 Banco 437.5

Este banco cuenta con once tronaduras de las cuales dos no fueron explotadas (tronaduras 18 y 22) hasta el final del presente trabajo. El detalle de cada una de estas se presenta a continuación:

- **Tronadura 04**

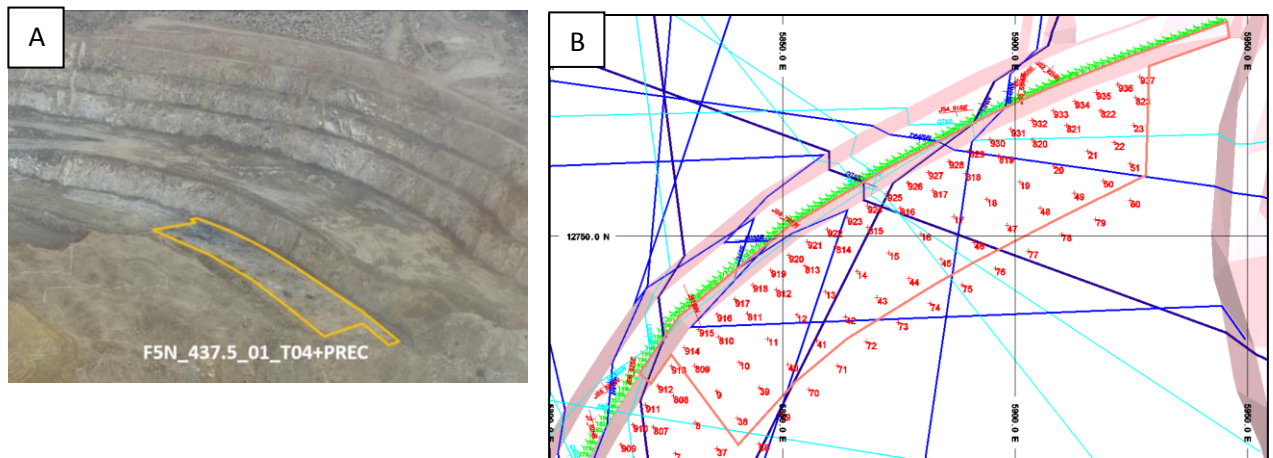


Figura 6.33- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 04.

Según recomendación:

El polígono comprende tres litologías separadas por Lilly:

- **Lilly 1** Hierro brechoso

Factor de Carga: 190 gr/ton

GSI: 55-65

FF: 4.0

R: 05

Hierro Brechoso, probabilidad de Fallamiento Plano escala de banco, causado por sistemas de diaclasas desfavorables.

- **Lilly 2** Andesita con alteración leve a actinolita

Factor de Carga: 156 gr/ton

GSI: 30-40

FF: 4.8

R: 04

Andesita con alteración leve a actinolita, probabilidad de Fallamiento Plano y Cuña de banco, causado por sistemas de diaclasas desfavorables.

- **Lilly 3** Metandesita bandeada

Factor de Carga: 149 gr/ton

GSI: 25-35

FF: 4.3

R: 03

Metandesita Bandeada, probabilidad de Fallamiento Plano escala de banco, causado por sistemas de diaclasas desfavorables.

Realizar tronadura con cara libre efectiva para disminuir nivel de vibraciones en campo cercano. Presencia de tres fallas principales en el talud del polígono. Se recomienda disminuir carguío en los pozos buffer que intercepten dichas fallas. Además, direccionar iniciación de secuencia de salida, como se indica en Figura 6.33 (b), con el objetivo de generar líneas de isotiempo perpendiculares principalmente a sistema estructural y se recomendó la realización de pre-cortes.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 68 pozos de los cuales 15 fueron subperforados, 7 sobre perforados y 46 en rango aceptable. Se realizaron pre-cortes.

Según factor de condición:

El factor de condición se divide en tres sectores correspondientes a cada Lilly:

Sector Hierro brechoso: los parámetros del factor de condición son considerados bueno y malo, en donde en la categoría bueno están las medias cañas y las grietas inducidas, y en la categoría malo esta la condición de discontinuidades menores, presencia de bloques inestables, geometría del talud y condición de la cresta. Como condición general de la pared se observa una gran diferencia entre dos sectores, debido al no tronado de 2 pozos buffer. Cresta dañada entre 1 a 2 m, presencia de patas y presencia de algunas grietas inducidas por tronadura.

Hierro brechoso presenta un factor de condición de 0.59 el cual no es aceptable.

Sector Andesita con alteración leve a actinolita: los parámetros del factor de condición son considerados buenos y moderados, en donde en la categoría bueno esta condición de discontinuidades menores y geometría del talud, en la categoría moderado estas medias cañas, grietas inducidas, presencia de bloques inestables y condición de la cresta. Como condición general de la pared el sector presenta un buen logro de diseño.

Andesita con alteración leve a actinolita presenta un factor de condición de 0.62 el que no es aceptable (0.65).

Sector Metandesita bandeada: los parámetros del factor de condición son considerados buenos a malo, en donde en la categoría bueno esta condición de discontinuidades menores y geometría del talud. En la categoría moderado están las grietas inducidas, presencia de bloques inestables y condición de la cresta, finalmente, en la categoría malo esta las medias cañas.

Metandesita bandeada presenta un factor de condición de 0.59 el que es por debajo de lo aceptable (0.65).

Factor de condición promedio: 0.60

- **Tronadura 07**

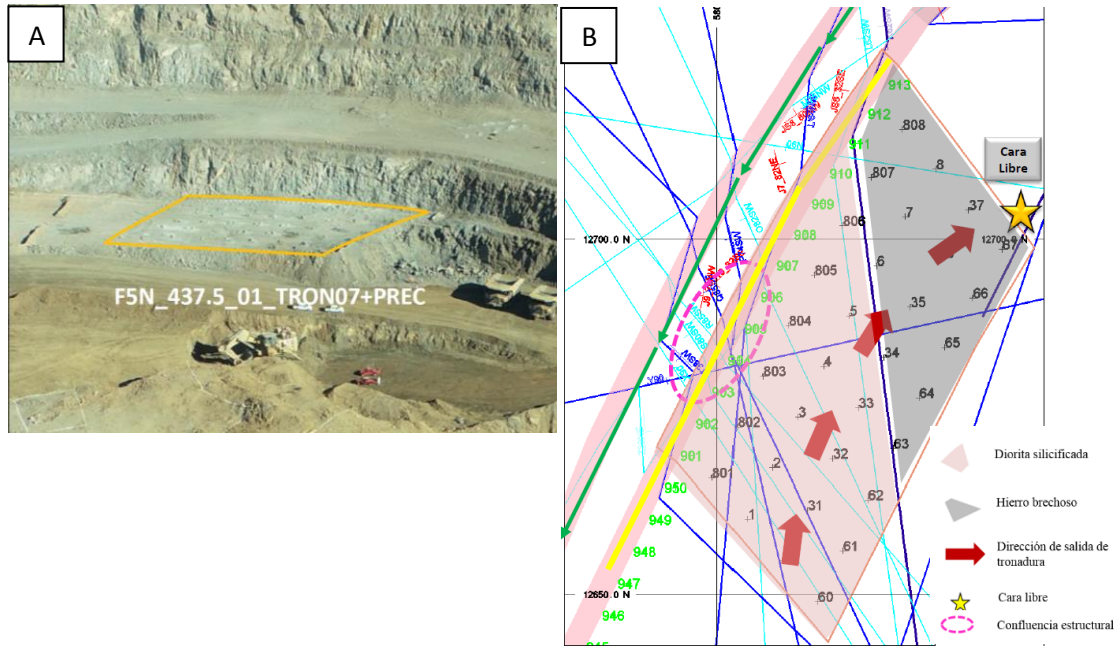


Figura 6.34- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura.

Según recomendación:

El polígono comprende una litología:

- **Lilly 1** Diorita silicificada
Factor de Carga: 185 gr/ton
GSI: 45-55
FF: 3.2
R: 04

Diorita silicificada, probabilidad de fallamiento plano escala de banco, causado por sistemas de diaclasas desfavorables. Realizar tronadura con cara libre efectiva para así disminuir nivel de vibraciones en campo cercano. Presencia de falla principal Romeral en el talud del polígono por lo que se recomienda disminuir carguío en los pozos buffer que intercepten dichas fallas. Direccionar iniciación de secuencia de salida, como se indica en Figura 6.34 (b), con el objetivo de generar líneas de isotiempo perpendiculares principalmente a sistema estructural. Se recomendó la realización de pre-cortes.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 43 pozos de los cuales 24 fueron sub-perforados, 1 sobre perforados y 18 en rango aceptable. No hay información sobre si se realizaron pre-cortes.

Según factor de condición:

No realizado, por temas de tiempos, el área de geomecánica no había realizado el factor de condición hasta el fin del presente trabajo.

- **Tronadura 09**

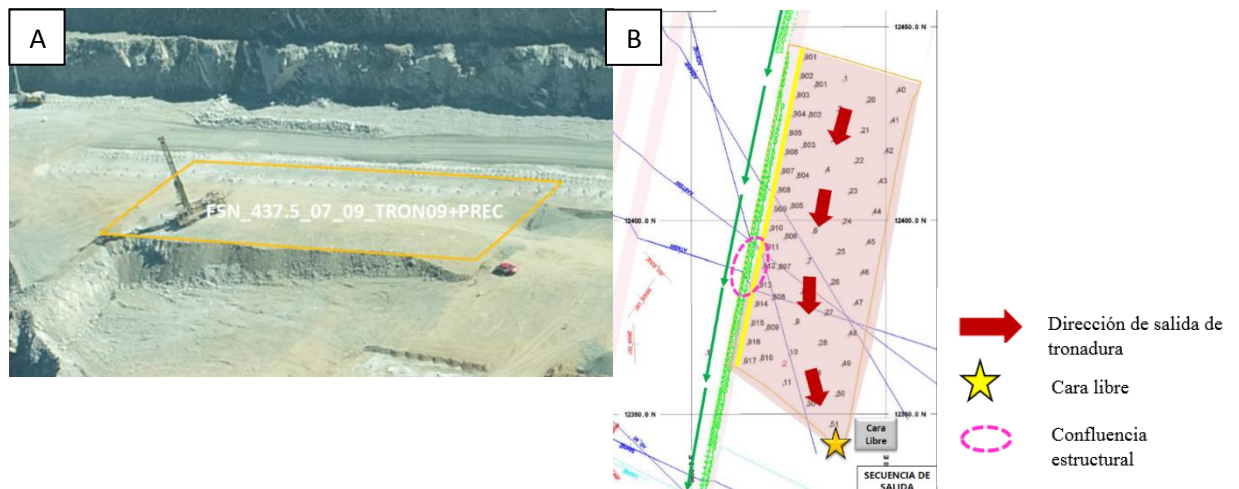


Figura 6.35- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura.

Según recomendación:

El polígono comprende una litología:

- **Lilly 1** Diorita silicificada
Factor de Carga: 182 gr/ton
GSI: 60-70
FF: 3.7
R: 06

Diorita silicificada, probabilidad de fallamiento plano escala de banco, causado por sistemas de diaclasas desfavorables. Realizar tronadura con cara libre efectiva, de acuerdo disminuir nivel de vibraciones en campo cercano. Direccionar iniciación de secuencia de salida, como se indica en Figura 6.35 (b), con el objetivo de generar líneas de isotiempo

perpendiculares principalmente a sistema estructural. Se recomendó la realización de pre-cortes

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 61 pozos de los cuales 9 fueron sub-perforados, 14 sobre perforados y 38 en rango aceptable. Se realizaron los pre-cortes solicitados.

Según factor de condición:

No realizado, por temas de tiempos el área de geomecánica no había realizado el factor de condición hasta el fin del presente trabajo.

- **Tronadura 10**

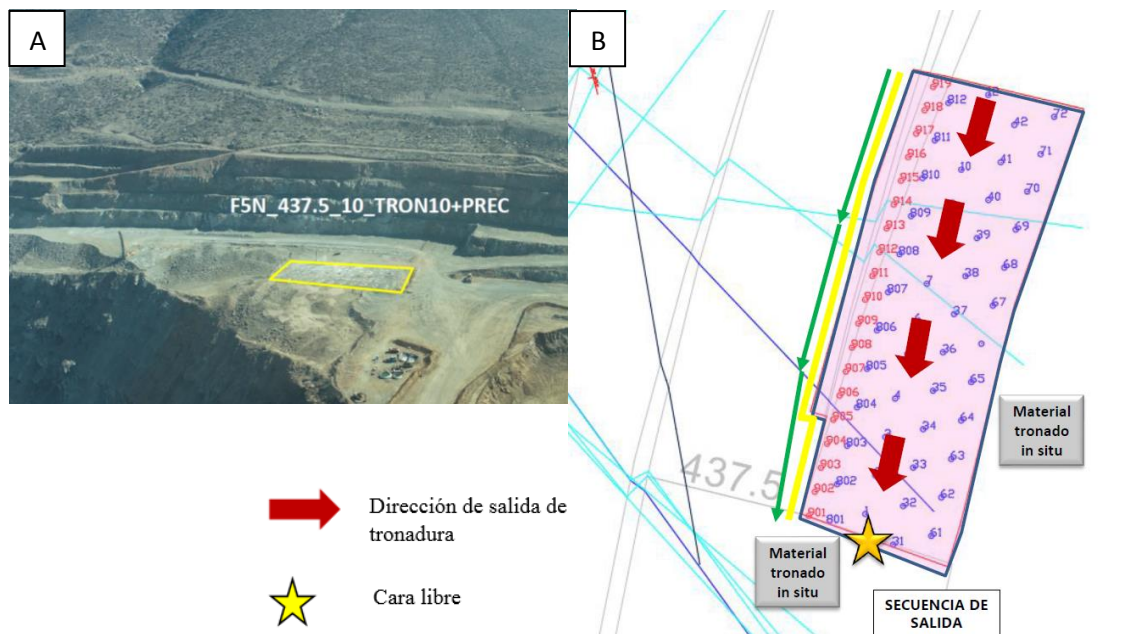


Figura 6.36- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura, indicando secuencia de salida y cara libre.

Según recomendación:

El polígono comprende una litología:

- **Lilly 1** Diorita silicificada
Factor de Carga: 198 gr/ton
GSI: 60-70

FF: 4.3

R: 06

Diorita silicificada, probabilidad de fallamiento plano escala de banco, causado por sistemas de diaclasas desfavorables. Realizar tronadura con cara libre efectiva, se direcciona tronadura privilegiando la salida hacia material tronado in situ, con línea de isotiempo perpendiculares al talud del contorno rampa. Direccional iniciación de secuencia de salida, como se indica en Figura 6.36 (b), con el objetivo de generar líneas de isotiempo perpendiculares principalmente a sistema estructural. Se recomendó la realización de pre-cortes.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 67 pozos de los cuales 7 fueron subperforados, 1 sobre perforados y 59 en rango aceptable. Se realizaron los pre-cortes solicitados.

Según factor de condición:

Lilly 1 Diorita silicificada: 0.23

- Tronadura 12

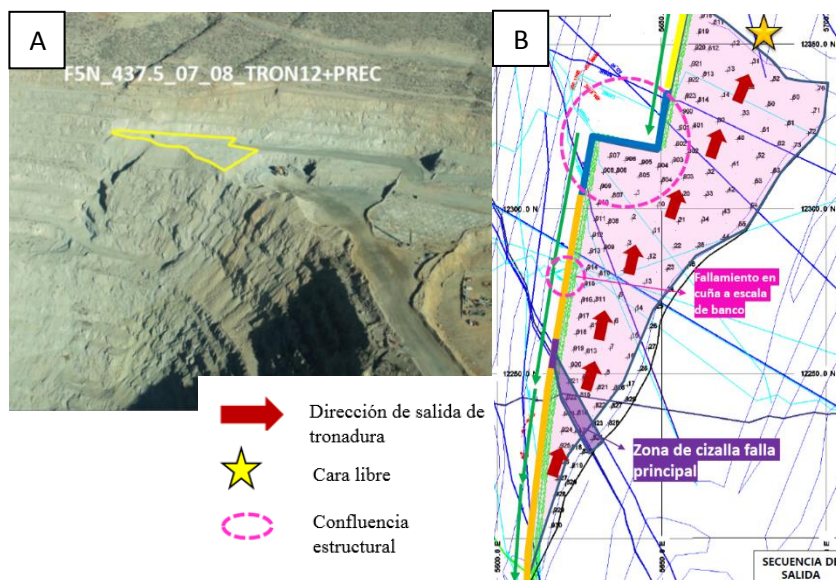


Figura 6.37- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura, indicando secuencia de salida y cara libre.

Según recomendación:

El polígono comprende una litología separada por tres análisis Lilly:

- **Lilly 1** Diorita silicificada
Factor de Carga: 188 gr/ton
GSI: 60-70
FF: 3.7
R: 06
- **Lilly 2** Diorita silicificada
Factor de Carga: 175 gr/ton
GSI: 40-50
FF: 4.7
R: 05
- **Lilly 3** Diorita silicificada
Factor de Carga: 181 gr/ton
GSI: 55-65
FF: 4.8
R: 05

Diorita silicificada, probabilidad de fallamiento plano escala de banco, causado por sistemas de diaclasas desfavorables en Lilly 1 y 3. Realizar tronadura con cara libre efectiva, con línea de isotiempo perpendiculares al talud. Reducir factor de carga en pozos situados en la traza de la zona de cizalla de la falla principal. Se recomendó la realización de pre-cortes.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 105 pozos de los cuales 44 fueron subperforados, 7 sobre perforados y 54 en rango aceptable. No hay información descrita sobre si se realizaron pre-cortes, ni sobre si se realizaron descansos, pero si se puede identificar a través de la imagen (6.38) que estos si fueron hechos, como se observa en los colores negros y anaranjados en los que se les dio una menor interacción entre pozos y así evitar daños.

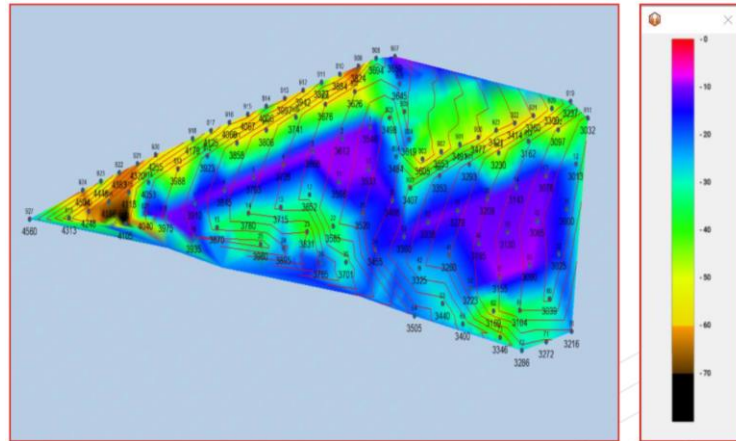


Figura 6.38- Líneas de isotiempo y burden de alivio de la tronadura 12.

Según factor de condición:

No realizado, por temas de tiempos el área de geomecánica no había realizado el factor de condición hasta el fin del presente trabajo.

• Tronadura 13

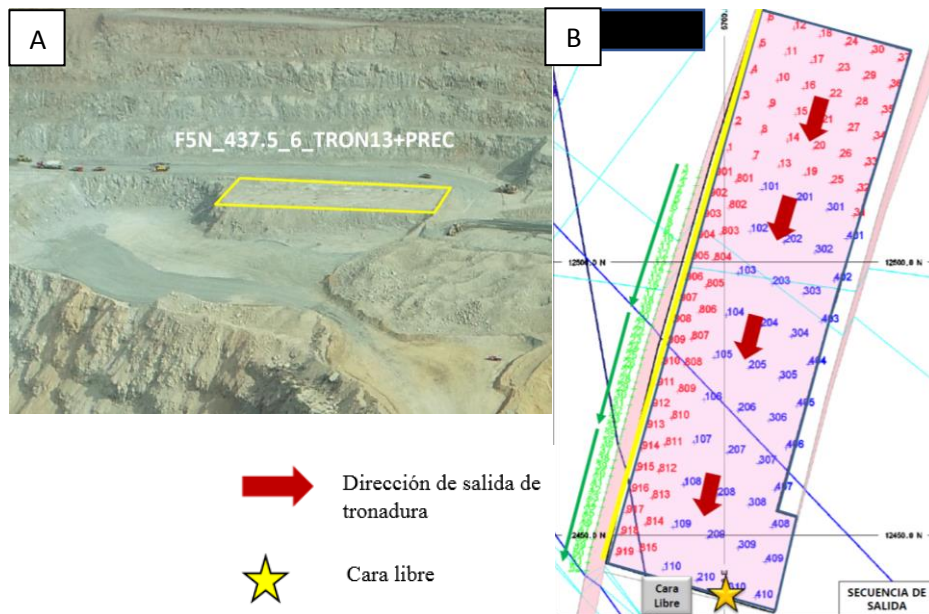


Figura 6.39- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura.

Según recomendación:

El polígono comprende una litología:

- **Lilly 1** Diorita

Factor de Carga: 198 gr/ton

GSI: 60-70

FF: 4.3

R: 06

Diorita silicificada, probabilidad de fallamiento plano escala de banco, causado por sistemas de diaclasas desfavorables. Direccional iniciación de secuencia de salida, como se indica en Figura 6.39 (b), con el objetivo de generar líneas de isotiempo perpendiculares principalmente a sistema estructural. Se recomendó la realización de pre-cortes.

Según informe de tronadura:

No hay información, el área de P & T no entregó el informe hasta el término del presente trabajo.

Según factor de condición:

No realizado, por temas de tiempos el área de geomecánica no había realizado el factor de condición hasta el fin del presente trabajo.

- **Tronadura 15**

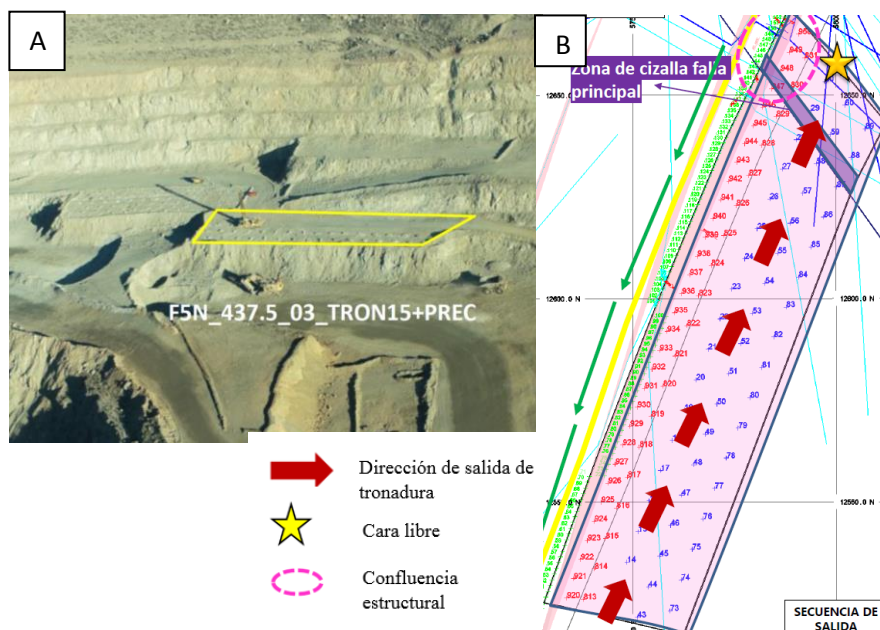


Figura 6.40- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura, indicando secuencia de salida y cara libre.

Según recomendación:

El polígono comprende una litología:

- **Lilly 1** Diorita silicificada
Factor de Carga: 193 gr/ton
GSI: 55-65
FF: 3.5
R: 05

Diorita silicificada, probabilidad de fallamiento plano y cuña escala de banco, causado por sistemas de diaclasas desfavorables. Direccional tronadura de acuerdo a la cara libre efectiva, con líneas de isotiempo perpendiculares al talud. Reducir factor de carga en los pozos situados en la traza de la zona de cizalla de la falla principal. Además, reducir factor de carga en los pozos de pre-corte 72 al 100, debido a su cercanía con la primera línea buffer de pozos. Se recomendó la realización de pre-cortes

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 100 pozos de los cuales 31 fueron sub-perforados, 3 sobre perforados y 66 en rango aceptable. En cuanto a los pre-cortes estos fueron realizados en su totalidad. Ahora, con respecto al descanso hacia la pared, este fue realizado como se puede observar en la imagen (6.41) a través de los colores amarillos y verdes fluorescentes.

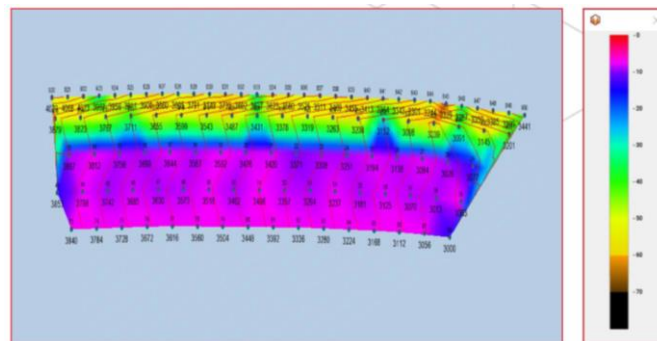


Figura 6.41- Líneas de isotiempo y burden de alivio de la tronadura 15.

Según factor de condición:

Lilly 1 Diorita Silicificada Sector 1: 0.27

Lilly 2 Diorita Silicificada Sector 2: 0.54

Factor de Condición Tronadura: 0.44

- **Tronadura 18 (No Explotada)**

Hasta el fin del presente trabajo esta tronadura no fue explotada por problemas de retrasos en la mina.

- **Tronadura 20**

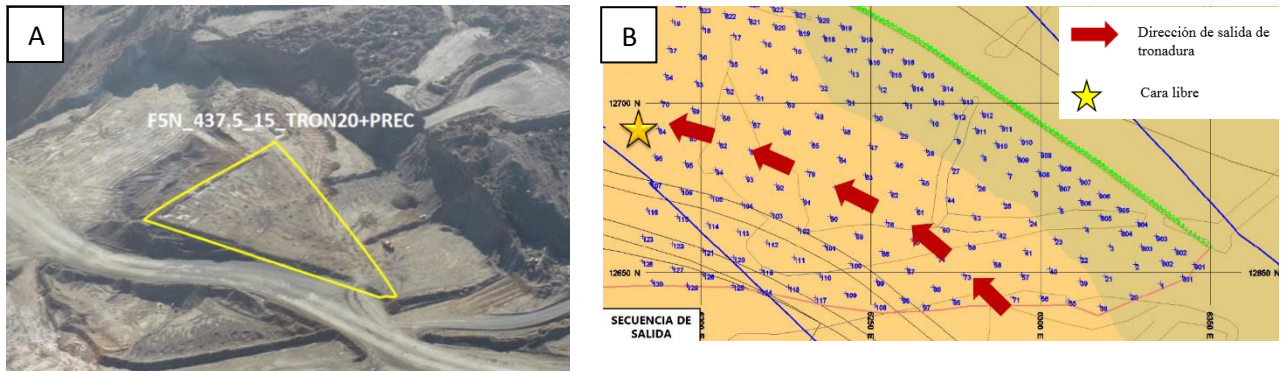


Figura 6.42- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura, indicando secuencia de salida y cara libre.

Según recomendación:

El polígono comprende una litología, no tiene una recomendación completa (Figura 6.42 b)

Andesita argilizada leve, el polígono se encuentra en un sector con andesita argilizada leve y rellenos, estos últimos abarcan casi la mitad de la malla de tronadura. Existe probabilidad de fallamiento plano causado por estructuras desfavorables, diaclasas y fallas. No se recomienda dirección de pre-cortes, ya que todos colapsaron a causa de la mala calidad del material (relleno). Además, se recomienda direccionar tronadura de acuerdo a la cara libre efectiva, con línea de isotiempo perpendiculares al talud.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 29 pozos de los cuales 12 fueron subperforados, 0 sobre perforados y 17 en rango aceptable. No hay información sobre si se realizaron pre-cortes.

Según factor de condición:

No realizado, por temas de tiempos el área de geomecánica no había realizado el factor de condición hasta el fin del presente trabajo.

- **Tronadura 21**

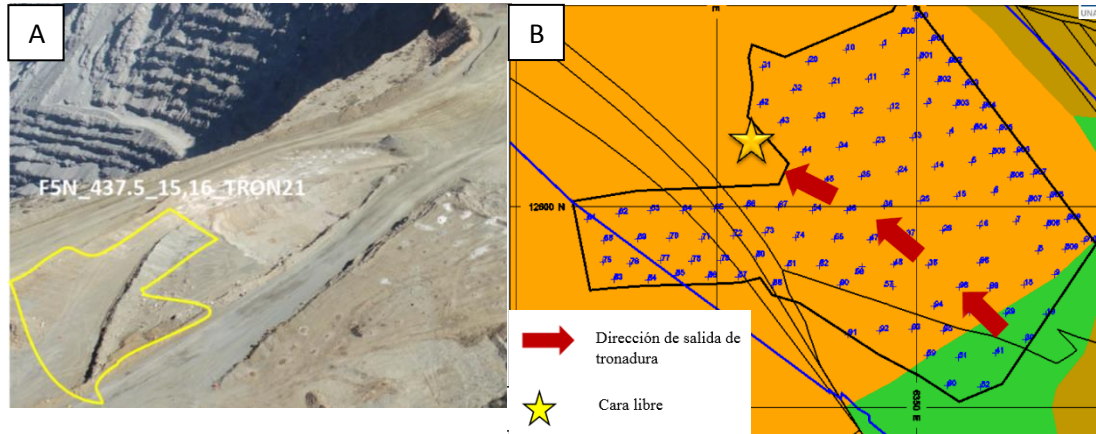


Figura 6.43- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura, indicando secuencia de salida y cara libre.

Según recomendación:

El polígono comprende dos litologías:

- Andesita argilizada leve, de acuerdo con el modelo geotécnico (Informe SRK, 2020), el polígono se encuentra en un sector con Andesita Argilizada leve.
- Andesita actinolita leve, roca de mediana competencia, la cual solo abarca 7 pozos en el extremo SE del polígono.

Con respecto al modelo estructural, existiría una probabilidad de fallamiento plano causado por estructuras desfavorables, diaclasas y fallas, en la UGT Andesita argilizada. Direccional tronadura de acuerdo a la cara libre efectiva, con línea de isotiempo perpendiculares al talud. El factor de carga recomendado se encuentra en el rango de 140-150 (gr/ton), ya que la calidad de la roca en las paredes es de mala a muy mala calidad. Se recomendó la realización de pre-cortes.

Según informe de tronadura:

No hay información, el área de P & T no entregó el informe hasta el término del presente trabajo.

Según factor de condición:

No realizado, por temas de tiempos el área de geomecánica no había realizado el factor de condición hasta el fin del presente trabajo.

- **Tronadura 22 (No Explotada)**

Hasta el fin del presente trabajo esta tronadura no fue explotada por problemas de retrasos en la mina.

6.7 Banco 425

Este banco presenta 9 tronaduras. El detalle de cada una de estas se presenta a continuación:

- **Tronadura 03**

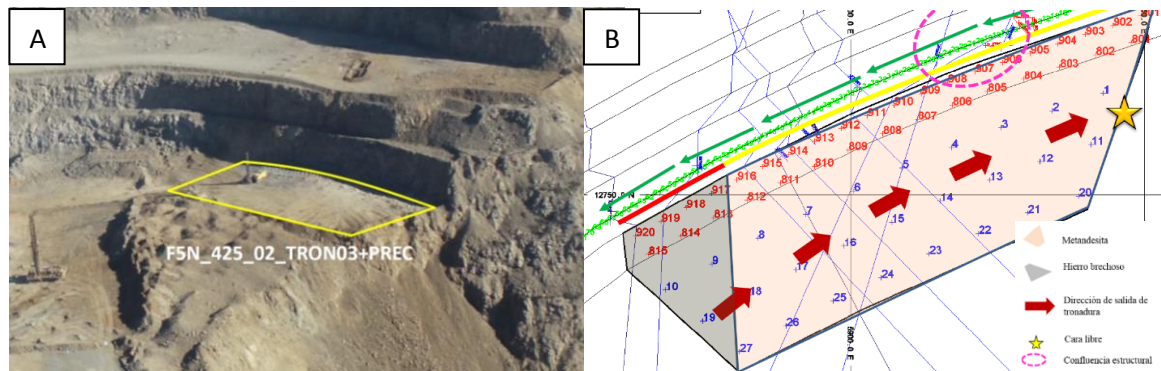


Figura 6.44- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 03, indicando secuencia de salida, cara libre y litología.

Según recomendación:

- **Lilly 1 Hierro Brechoso**
Factor de Carga: 201 gr/ton
GSI: 40-50
FF: 4.8
R: 05
- **Lilly 2 Metandesita bandeada**
Factor de Carga: 160 gr/ton
GSI: 30-40
FF: 4.8
R: 03

Hierro Brechoso, probabilidad de fallamiento plano, causado por sistemas de diaclasas desfavorables. Metandesita bandeada, probabilidad de fallamiento plano, causado por sistemas de diaclasas desfavorables. Direccional tronadura de acuerdo a cara libre efectiva, con línea de isotiempo perpendiculares al talud. Se recomendó la realización de pre-cortes en dirección Norte a Sur, como se ilustra en la figura 6.44 (b).

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 59 pozos de los cuales 9 fueron subperforados, 8 sobre perforados y 42 en rango aceptable. En cuanto a los pre-cortes estos fueron realizados.

Según factor de condición:

Lilly 1 Andesita actinolita: 0.88

Lilly 2 Metandesita bandeada: 0.84

Factor de Condición Tronadura: 0.85

Observación: por modelo en Lilly 1 la litología pertenecía a Hierro Brechoso, pero al momento de realizar el factor de condición en terreno se observó que en realidad se trataba de andesita actinolita, por lo que se realizó el factor de condición, y por lo tanto la litología real es la del factor de condición.

• Tronadura 06

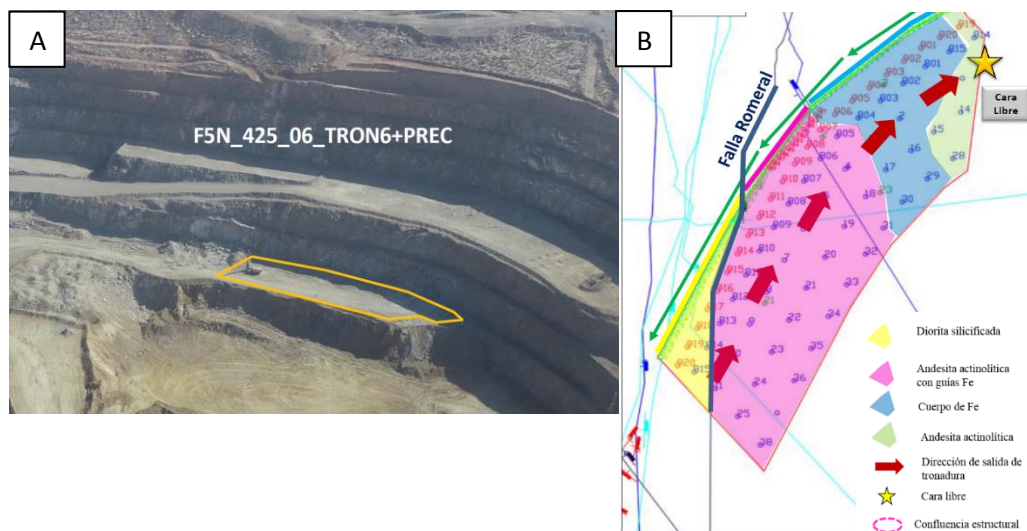


Figura 6.45- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 06, indicando secuencia de salida y cara libre.

Según recomendación:

- **Lilly 1** Diorita silicificada
Factor de Carga: 194 gr/ton
GSI: 55-65
FF: 3.8
R: 05
- **Lilly 2** Andesita actinolítica con guías de Fe
Factor de Carga: 201 gr/ton
GSI: 40-50
FF: 5.0
R: 05
- **Lilly 3** Cuerpo de Fe
Factor de Carga: 218 gr/ton
GSI: 70-80
FF: 0
R: 06
Cuerpo de Fe sin presencia de estructuras

Diorita silicificada, probabilidad de fallamientos planos a escala banco, causado por sistemas de diaclasas desfavorables. Realizar tronadura con cara libre efectiva para disminuir nivel de vibraciones en campo cercano. Presencia de Falla Romeral en el talud del polígono, por esto, disminuir carguío en los pozos que intersectan dicha falla (pozos 915 y 916).

Direccionar iniciación de secuencia de salida como se indica en la figura 6.45 (b) con el objetivo de generar líneas de isotiempo perpendiculares principalmente a sistema estructural. Se recomendó la realización de pre-cortes y realizar descanso para controlar dilución del Fe.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 94 pozos de los cuales 39 fueron subperforados, 1 sobre perforados y 54 en rango aceptable.

No hay información sobre si se realizaron pre-cortes. En la figura 6.46 se observa que realizaron el descanso en la zona de falla, como se puede ver por los colores verdes fluorescentes.

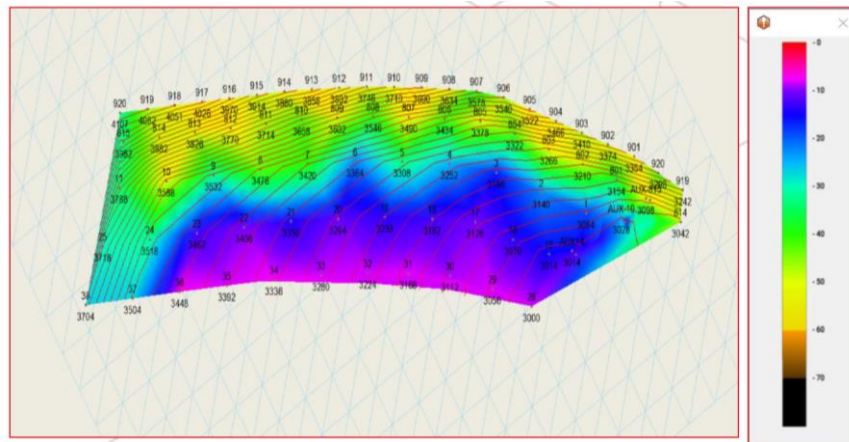


Figura 6.46.- Líneas de isotiempo y burden de alivio de la tronadura 06.

Según factor de condición:

No realizado, por temas de tiempos el área de geomecánica no había realizado el factor de condición hasta el fin del presente trabajo.

• Tronadura 10

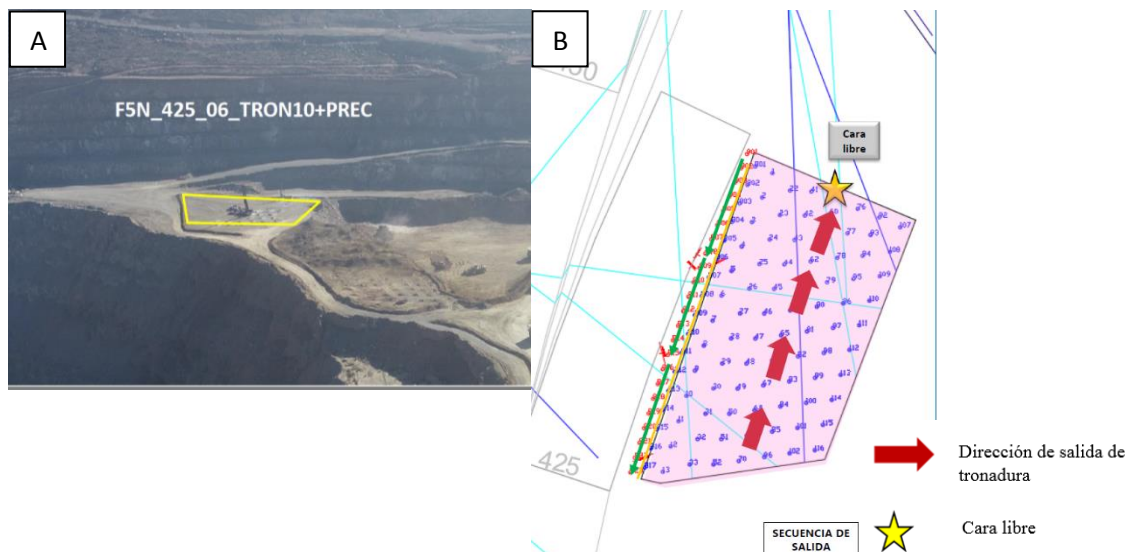


Figura 6.47- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 10, indicando secuencia de salida y cara libre.

Según recomendación:

- **Lilly 1** Diorita silicificada
Factor de Carga: 198 gr/ton
GSI: 60-70
FF: 4.3
R: 05

Diorita silicificada, probabilidad de fallamientos planos a escala banco, causado por sistemas de diaclasas desfavorables. Direccional tronadura con cara libre efectiva, con línea de isotiempo perpendiculares al talud del contorno rampa, como se indica en la figura 6.47 (b). Realizar salida de pre-cortes en dirección N a S.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 88 pozos de los cuales 12 fueron sub-perforados, 4 sobre perforados y 72 en rango aceptable. En cuanto a los pre-cortes estos fueron realizados.

Según factor de condición:

No realizado, por temas de tiempos el área de geomecánica no había realizado el factor de condición hasta el fin del presente trabajo.

• **Tronadura 11**

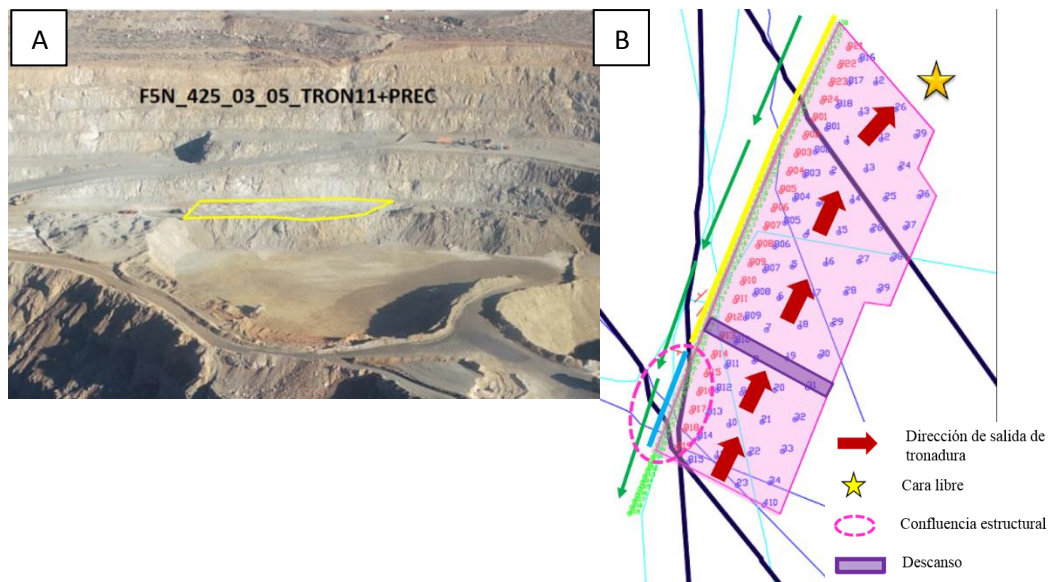


Figura 6.48- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 11, indicando secuencia de salida y cara libre.

Según recomendación:

- **Lilly 1** Diorita silicificada
Factor de Carga: 194 gr/ton
GSI: 55-65
FF: 2.7
R: 05
- **Lilly 2** Diorita silicificada
Factor de Carga: 178 gr/ton
GSI: 45-55
FF: 3.7
R: 05

Diorita silicificada, probabilidad de fallamiento plano a escala banco, causado por sistemas de diaclasas desfavorables. Presencia al sur del polígono de sector de confluencia estructural. Direccional tronadura con cara libre efectiva al norte y este de la tronadura, con líneas de isotiempo perpendiculares al talud, como se ilustra en la figura 6.48 (b). Reducir factor de carga en los pozos situados en la traza de la zona de la falla principal en Lilly 1. Se recomendó la realización de pre-cortes en dirección N a S, y la no realización de estos en pozos del 187 al 193.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 81 pozos de los cuales 20 fueron subperforados, 2 sobre perforados y 59 en rango aceptable. Si se realizaron pre-cortes. En la figura 6.49 se observa que realizaron el descanso solicitado, el que se puede ver por los colores anaranjados y negros (mayor descanso) y por el color verde fluorescente (descanso medio).

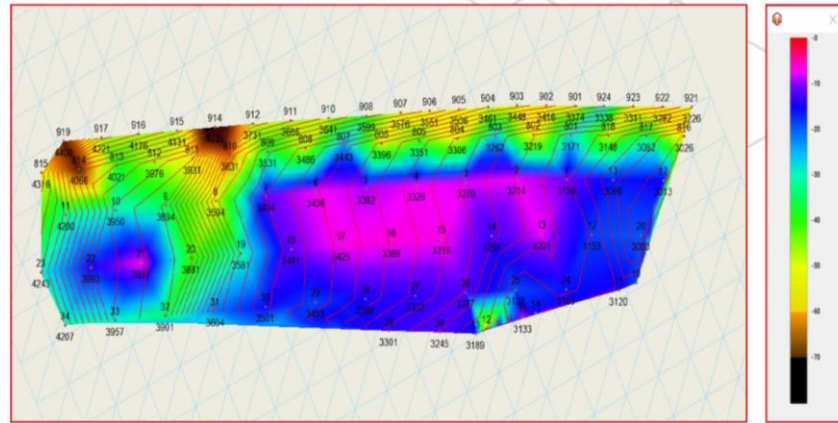


Figura 6.49- Líneas de isotiempo y burden de alivio de la tronadura 11.

Según factor de condición:

No realizado, por temas de tiempos el área de geomecánica no había realizado el factor de condición hasta el fin del presente trabajo.

• Tronadura 12

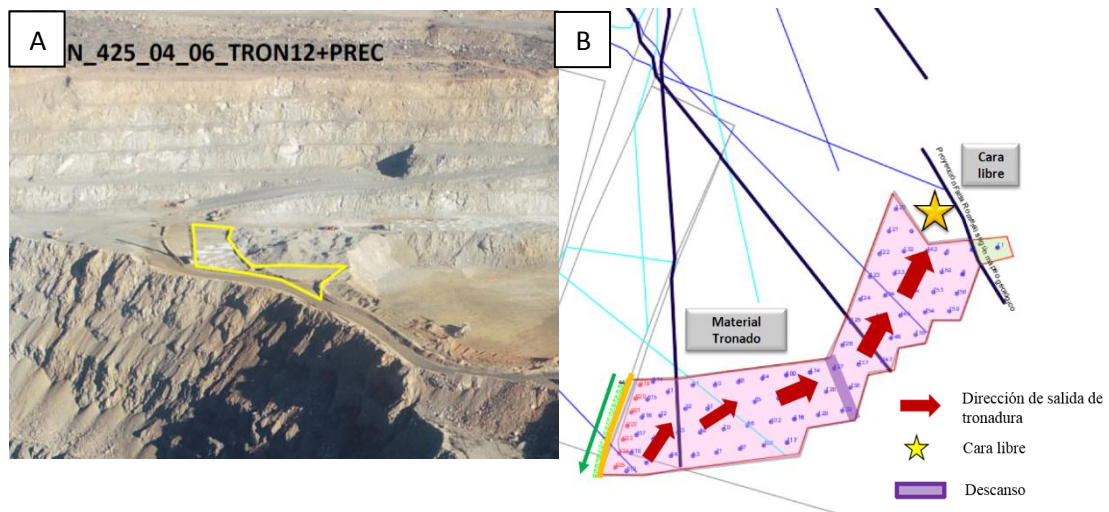


Figura 6.50- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 12.

Según recomendación:

- **Lilly 1** Diorita silicificada
Factor de Carga: 198 gr/ton
GSI: 60-70
FF: 4.3

R: 05

Diorita silicificada, probabilidad de fallamiento plano a escala banco, causado por sistemas de diaclasas desfavorables. Direccional tronadura hacia la cara libre efectiva. Una vez tronado el brazo de producción, realizar descanso para continuar con zona de contorno realizando la salida de forma lo más perpendicular posible al talud y a la dirección de las fallas principales, como se indica en la figura 6.50 (b). Se recomendó la realización de pre-cortes en dirección N a S.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 74 pozos de los cuales 26 fueron subperforados, 0 sobre perforados y 48 en rango aceptable. En cuanto a la realización de los pre-cortes estos fueron realizados. En la figura 6.51 se observa que realizaron el descanso solicitado por los bordes como se ve por los colores verde fluorescente y amarillos.

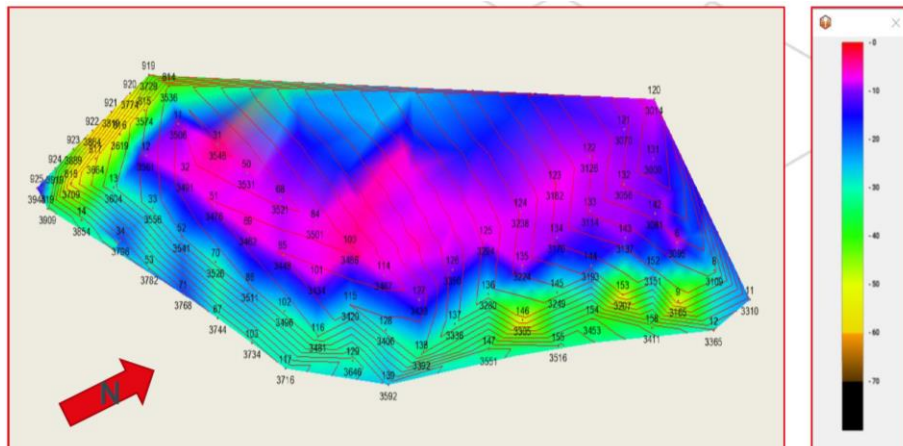


Figura 6.51- Líneas de isotiempo y burden de alivio de la tronadura 12.

Según factor de condición:

No realizado, por temas de tiempos el área de geomecánica no había realizado el factor de condición hasta el fin del presente trabajo.

- **Tronadura 14**

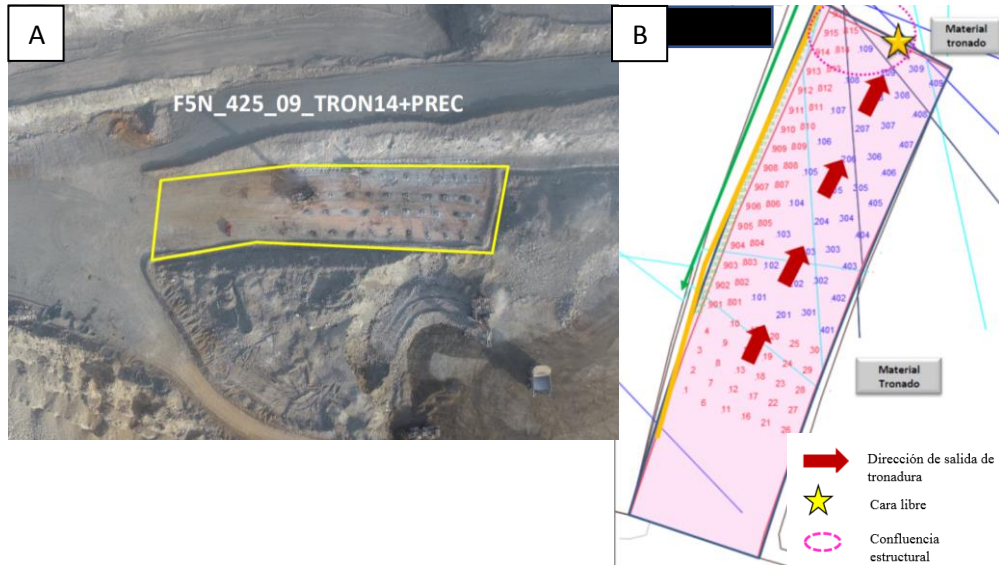


Figura 6.52- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 14, indicando secuencia de salida y cara libre.

Según recomendación:

- **Lilly 1 Diorita silicificada**
Factor de Carga: 198 gr/ton
GSI: 60-70
FF: 4.3
R: 05

Diorita silicificada, probabilidad de fallamiento plano a escala banco, causado por sistemas de diaclasas desfavorables. Generar cara libre efectiva al norte y este de la tronadura, mínimo una. Direccionar tronadura hacia el norte, con líneas de isotiempo perpendiculares a la dirección del talud y oblicua a falla principal existente en el sector de inicio de tronadura. Se recomendó la realización de pre-cortes en dirección N a S a excepción de pozos pre-cortes 207-212, 232 y 233.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 68 pozos de los cuales 18 fueron subperforados, 11 sobre perforados y 39 en rango aceptable. Si se realizaron pre-cortes. En la figura 6.53 se

observa que realizaron el descanso solicitado por confluencia estructural, como se puede ver a través de los colores negro y amarillo, lo que indica que les dieron una interacción de tiempo en los pozos más lenta.

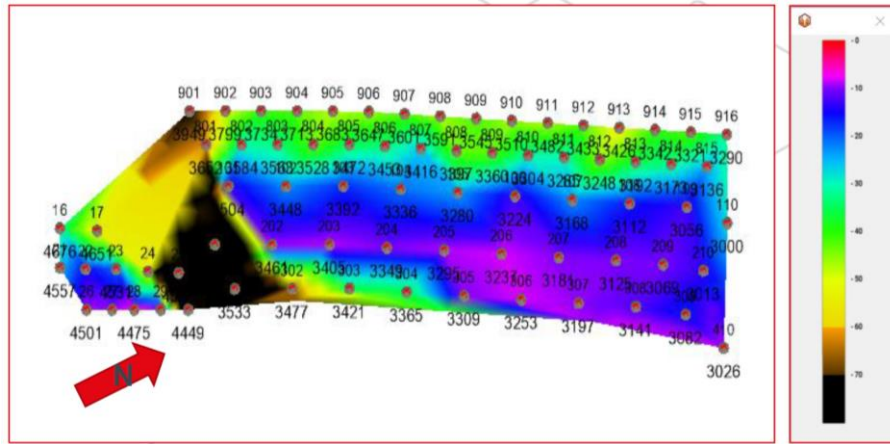


Figura 6.53- Líneas de isotiempo y burden de alivio de la tronadura 14.

Según factor de condición:

No realizado, por temas de tiempos el área de geomecánica no había realizado el factor de condición hasta el fin del presente trabajo.

• Tronadura 15

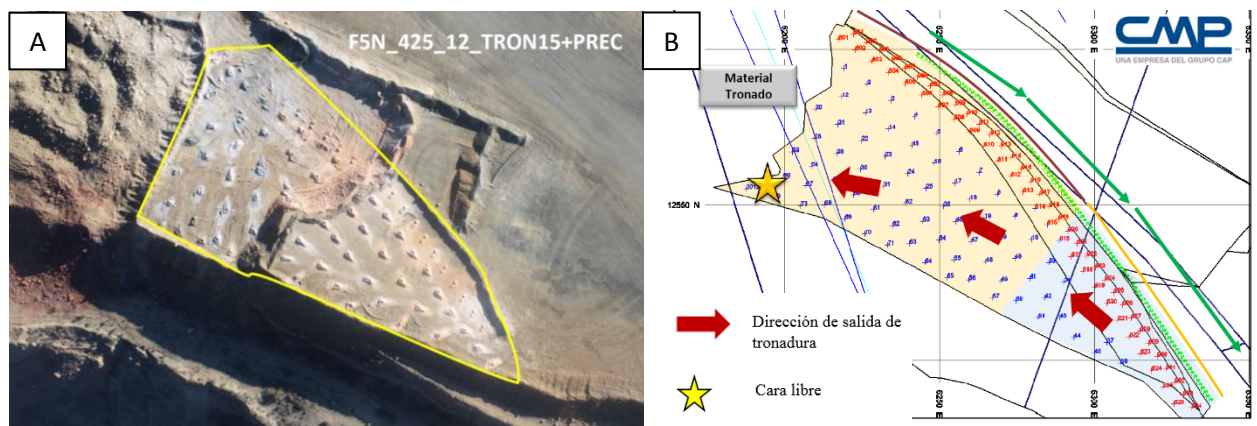


Figura 6.54- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 15, indicando secuencia de salida y cara libre.

Según recomendación:

- **Lilly 1** Roca con silicificación moderada a fuerte

Factor de Carga: 160 gr/ton

GSI: no tiene

FF: -

R: 05

- **Lilly 2** Andesita argilizada leve

Factor de Carga: 136 gr/ton

GSI: no tiene

FF: -

R: 03

Roca con silicificación moderada a fuerte, probabilidad de fallamiento plano a escala banco, causado por sistemas de diaclasas y fallas paralelas al talud. Andesita argilizada leve, probabilidad de fallamiento plano a escala banco, causado por sistemas de diaclasas desfavorables. Direccional tronadura hacia el oeste, con líneas de isotiempo perpendiculares a la dirección del talud, como se ilustra en la figura 6.54 (b) Se recomienda salida de pre-cortes en dirección NW a SE.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 82 pozos de los cuales 27 fueron sub perforados, 11 sobre perforados y 44 en rango aceptable. Si se realizaron pre-cortes.

Según factor de condición:

No realizado, por temas de tiempos el área de geomecánica no había realizado el factor de condición hasta el fin del presente trabajo.

- **Tronadura 17**



Figura 6.55- Fotografía indicando sector a tronar.

Según recomendación:

- **Lilly 1** Andesita argilizada
Factor de Carga: 126 gr/ton
GSI: 20-30
FF: 5.0
R: 02
- **Lilly 1** Metandesita bandeada
Factor de Carga: 154 gr/ton
GSI: 35-45
FF: 5.7
R: 03

Diorita silicificada, probabilidad de fallamiento plano a escala banco, causado por sistemas de diaclasas desfavorables. Generar cara libre efectiva al norte y este de la tronadura, mínimo una. Direccional tronadura hacia el norte, con líneas de isotiempo perpendiculares a la dirección del talud y oblicua a falla principal existente en el sector de inicio de tronadura, como se ilustra en la figura 6.56. Se recomendó la realización de pre-cortes en dirección N a S a excepción de pozos pre-cortes 207-212, 232 y 233. Pozos pre-cortes 234 a 246 con ángulo de 90°

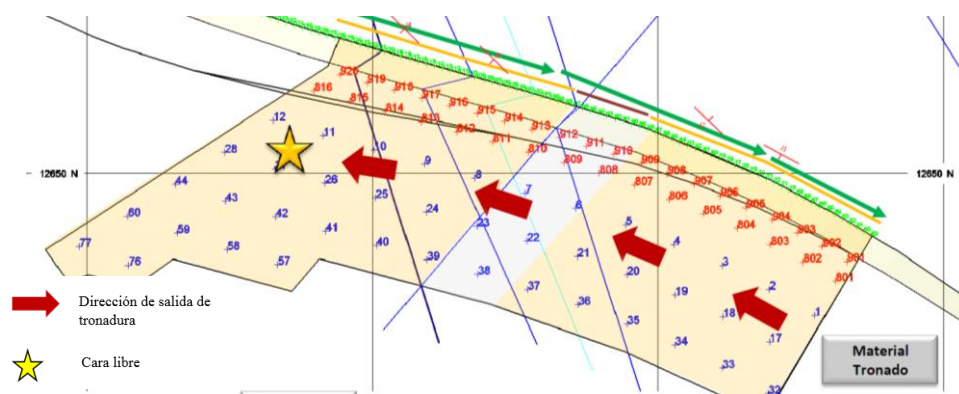


Figura 6.56- Recomendación de tronadura 17, indicando secuencia de salida y cara libre.

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 157 pozos de los cuales 28 fueron sub-perforados, 2 sobre perforados y 127 en rango aceptable. Si se realizaron pre-cortes.

Según factor de condición:

No realizado, por temas de tiempos el área de geomecánica no había realizado el factor de condición hasta el fin del presente trabajo.

- **Tronadura 19**

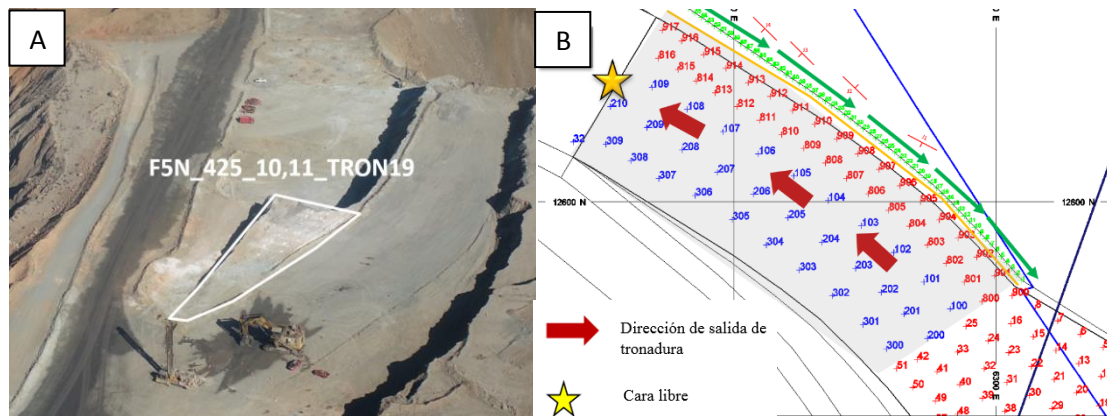


Figura 6.57.- a) Fotografía indicando sector a tronar. b) Recomendación de tronadura 19, indicando secuencia de salida y cara libre.

Según recomendación:

- **Lilly 1 Metandesita bandeada**

Factor de Carga: 136 gr/ton

GSI: 20-30

FF: 5.0

R: 02

Metandesita bandeada, sin embargo, de acuerdo con el modelo geotécnico (Informe SRK, 2020), el polígono se encuentra en sector del Dominio Estructural Argílica. La calidad de la roca en el polígono de tronadura es de baja competencia. Con respecto al modelo estructural (Informe SRK, 2020 y mapeo estructural), existiría una probabilidad de fallamiento plano escala de banco, causado por estructuras desfavorables, diaclasas y fallas.

Direccionar tronadura de acuerdo a la cara libre efectiva, con línea de isotiempo perpendiculares al talud (figura 7.57 (b)). El factor de carga en líneas buffer recomendado se encuentra en el rango de 130-140 (gr/ton), ya que la calidad de la roca en las paredes es de mala a muy mala calidad. Se recomendó la realización de pre-cortes

Según informe de tronadura:

La tronadura presenta un total de 54 pozos de los cuales 2 fueron subperforados, 14 sobre perforados y 38 en rango aceptable. Si se realizaron los pre-cortes solicitados.

Según factor de condición:

No realizado, por temas de tiempos el área de geomecánica no había realizado el factor de condición hasta el fin del presente trabajo.

6.8 Comparación zona con y sin pre-cortes

En el banco 450 en la tronadura 13 se realizó una evaluación más detallada al factor de condición en el que la tronadura se realizó con y sin pre-cortes (figura 6.58), este estudio se presenta a continuación.



Figura 6.58- Tronadura 13 que muestra zona sin y con pre-cortes.

Tronadura situada en extremo sur del banco 450, sector empalme de fases. La malla fue diseñada con pre-cortes en su totalidad, sin embargo, por ubicación, morfología de diseño y dificultades operacionales, sector extremo sur del polígono, no son tronados los pre-

cortes casi en su totalidad. La longitud del sector sin pre-cortes es de 4.2 m y del sector con pre-cortes es de 1.8 m.

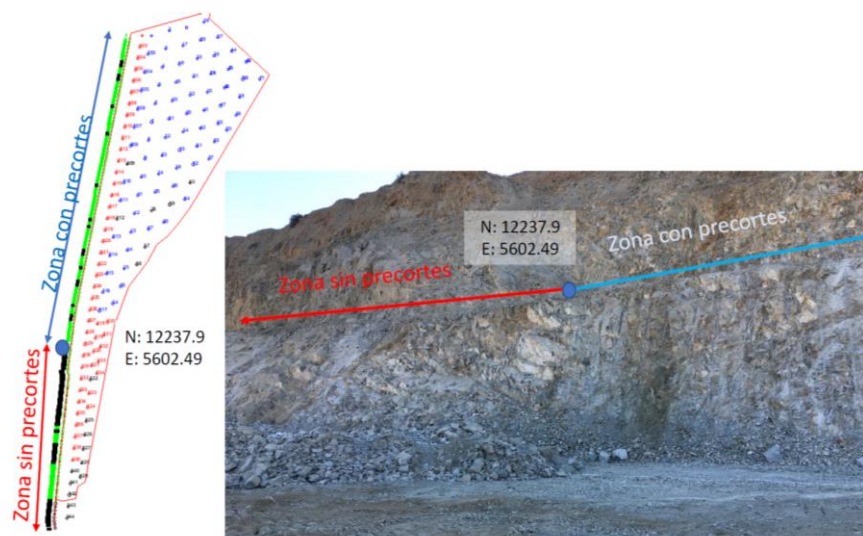


Figura 6.59- Tronadura 13 que muestra zona sin y con pre-cortes en malla de tronadura y fotografía del sector.

Factor de condición zona con pre-cortes:

TRONADURA		FF5N_450_05_010421_TRON13_CON PRECORTES					
PARÁMETRO	CONDICIÓN DEL TALUD					P	
	SANO	BUENO	MODERADO	MALO	MUY MALO		
Medias Cañas	>75%	50 - 75%	25 - 50%	0 - 25%	0%	18	SANO
Puntaje	25	15	10	8	0	6	BUENO
Grietas inducidas (C/10 m)	< 3	3 a 5	5 a 10	10 a 15	> 15		MODERADO
Puntaje	10	8	6	3	0	8	MALO
Condición discontinuidades menores	Todos los sistemas cerrados	Algunas discontinuidades rellenas abiertas	Todos los sistemas abiertos	Algunos sist. abiertos y movilizados	Todos los sist. abiertos y movilizados		
Puntaje	10	8	6	3	0	7	MUY MALO
Presencia bloques inestables	Sin bloques inestables	Bloques inestables aislados	Varios bloques inestables	Muchos bloques inestables	Muchos bloques inestables y desplazados		
Puntaje	15	10	7	3	0	20	
Geometría del talud	0 -10% Sobreexcavado en la base	10 -20% Sobreexcavado en la base	20 -40% Sobreexcavado en la base	40 -80% Sobreexcavado en la base	80 -100% Sobreexcavado en la base		
Puntaje	25	20	15	10	0	6	
Condición de la cresta	Cresta limpia	0 a 1 m fracturado o roca suelta	1 a 2 m fracturado o roca suelta	2 a 3 m fracturado o roca suelta	> 3 m fracturado o roca suelta		
Puntaje	15	9	6	3	0	65	
PUNTUAJE EVALUACIÓN							

Figura 6.60- Factor de condición del sector con pre-cortes, tronadura 13.

De acuerdo al resultado de condición obtenido el sector cumple con la línea establecida de 0.65 (figura 6.60). Talud con cumplimiento de diseño general, presenta un 80 % de medias cañas, algunas grietas inducidas por tronadura, discontinuidades abiertas de forma aislada y algunos bloques inestables en la zona de cresta.

Factor de condición zona sin pre-cortes:

TRONADURA						
FSN_450_05_010421_TRON13_SIN PRECORTES						
CARTILLA DE CONDICIÓN PARA NO REALIZACIÓN DE PRECORTES						
PARÁMETRO	CONDICIÓN DEL TALUD					P
	SANO	BUENO	MODERADO	MALO	MUY MALO	
Medias Cañas	>75%	50 - 75%	25 - 50%	0 - 25%	0%	-
Puntaje Grietas	NA	NA	NA	NA	NA	-
inducidas (C/10 m)	< 3	3 a 5	5 a 10	10 a 15	> 15	5
Puntaje	13	10	8	4	0	
Condición discontinuidades menores	Todos los sistemas cerrados	Algunas discontinuidades rellenas	Todos los sistemas abiertos	Algunos sist. abiertos y movilizados	Todos los sist. abiertos y movilizados	8
Puntaje	13	10	8	4	0	
Presencia bloques inestables	Sin bloques inestables	Bloques inestables aislados	Varios bloques inestables	Muchos bloques inestables	Muchos bloques inestables y desplazados	5
Puntaje	20	12	8	4	0	
Geometría del talud	0 -10% Sobreexcavado en la base	10 -20% Sobreexcavado en la base	20 -40% Sobreexcavado en la base	40 -80% Sobreexcavado en la base	80 -100% Sobreexcavado en la base	14
Puntaje	34	26	18	14	0	
Condición de la cresta	Cresta limpia	0 a 1 m fracturado o roca suelta	1 a 2 m fracturado o roca suelta	2 a 3 m fracturado o roca suelta	> 3 m fracturado o roca suelta	3
Puntaje	20	12	8	4	0	
PUNTAJE EVALUACIÓN						35

SANO
BUENO
MODERADO
MALO
MUY MALO

Figura 6.61- Factor de condición del sector sin pre-cortes, tronadura 13.

De acuerdo al resultado de condición obtenido se encuentra muy por debajo de la línea base establecida 0.65 (figura 6.61). Talud sin cumplimiento de diseño, en general muy por delante de la línea de diseño, pero altamente fracturado, se le realiza acunadura, pero sigue son cumplir con el diseño. Presenta moderada a elevada aparición de grietas por tronadura, sistemas abiertos, elevada cantidad de bloques inestables (que tras saneamiento se reducen, pero no se eliminan), daño generalizado en todo el talud.

Durante el saneamiento del sector se extraen gran cantidad de material hasta conseguir una pared estable, aunque con bloques fracturados con posibilidad de caída de rocas post-sismos o post tronaduras cercanas.

CAPÍTULO 7: DISCUSIÓN

Anteriormente, se realizó una comparación de cada una de las tronaduras de los diferentes bancos, en donde se comparaba la recomendación realizada por geomecánica, el informe entregado por el área de perforación y tronadura, y el factor de condición realizado por el área de geomecánica. Con los datos entregados se confecciona este análisis para cada banco: 425, 437.5, 450, 462.5, 475, 487.5 y 500.

En estos análisis se observa:

- Cantidad de pozos por cada banco, si estos pozos son sub perforados, sobre perforados o están en el rango aceptable.
- Si se efectuaron los pre-cortes en las tronaduras de cada banco que se recomendaron.
- Si efectivamente se realizaron las zonas de descanso en donde se recomendó.
- Si se utilizaron los factores de carga entregados por geomecánica.
- Factor de condición en cuanto a cómo se encuentra la pared del banco en general, evaluando: medias cañas, grietas inducidas, condición de discontinuidades menores, presencia de bloques inestables, geometría del talud y condición de la cresta.

Además, se realizan tablas comparativas en donde se puede observar de mejor manera las diferencias ya explicadas anteriormente, estas tablas se encuentran en anexos.

A continuación, se presentan los análisis para cada banco:

7.1 Banco 500

El banco comprende cuatro polígonos tronados, en donde los polígonos B y C fueron tronados al mismo tiempo. En este banco no se puede realizar un análisis comparativo, ya que para este solo está la información entregada por el área de perforación y tronadura, no se le realizaron recomendaciones, ni tampoco se le realizó un factor de condición. A continuación, se presentan los factores de carga teóricos y los utilizados finalmente para el banco.

	Factor Carga Teórico	Factor Carga Utilizado	% de Error
Polígono A	No hay información	324	-
Polígono B	180	184	Aumento 1.9 %

Polígono C	146	138	Disminución 5.5 %
Polígono D	188	199	Aumento 6.1 %

Tabla 7.1- Presentación de factores de carga banco 500.

7.2 Banco 487.5

El banco está conformado por cuatro tronaduras, de las cuales dos se explotaron en mallas conjuntas como son la tronadura 05-08 y la tronadura 03-04-07. Además, para las tronaduras 01 y 03-04-07 no se les realizaron recomendación. A continuación, se presentan las tronaduras del banco junto con su respectiva litología (figura 7.1).

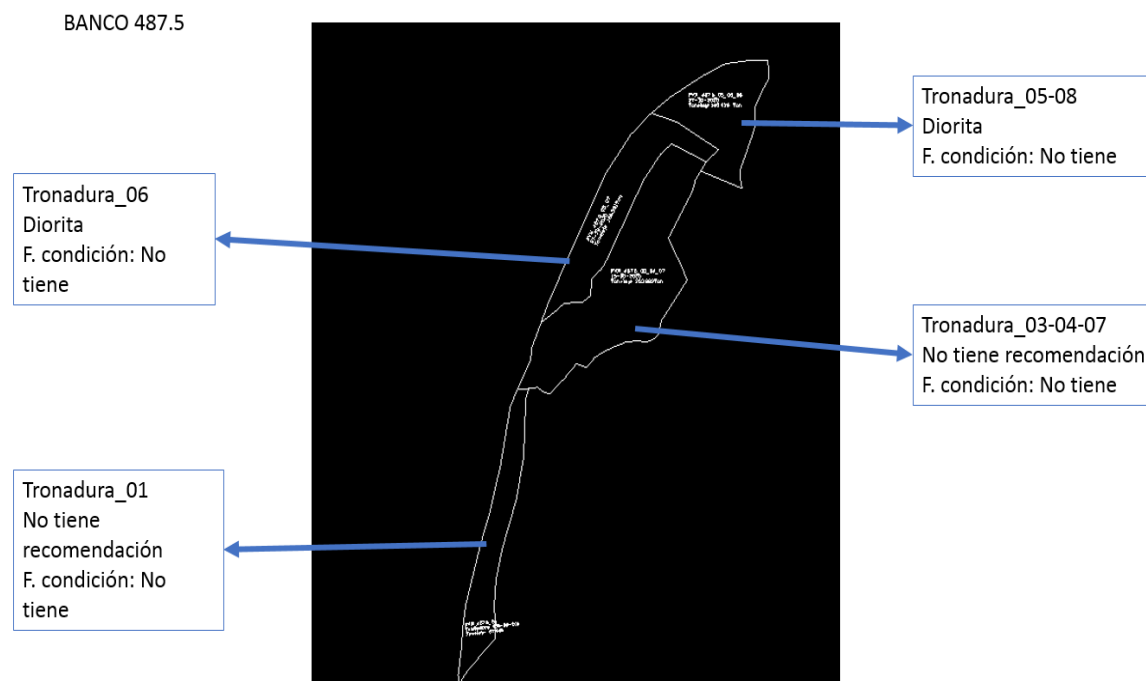


Figura 7.1- Tronaduras de contorno pertenecientes al Banco 487.5.

• Pozos

El banco tiene un total de 697 pozos perforados, de los cuales 344 son sub perforados, 282 sobre perforados y 73 en rango aceptable, lo que indica que solo un 10.47 % de las perforaciones son correctamente aceptables.

- **Pre-cortes**

Ahora en cuanto a los pre-cortes se solicitaron en las tronaduras 05, 08 y 06, y por lo que informa P & T si se realizaron.

- **Factor de condición**

Como no se les realizó factor de condición a ninguna tronadura, es difícil poder decir si lo anterior descrito influyo en el resultado de la pared.

7.3 Banco 475

El banco comprende un total de seis tronaduras, no se tiene información de parte del área de P & T para las tronaduras 10_2 y 10, a continuación, se presentan las tronaduras del banco junto con su respectiva litología y factor de condición (figura 7.2).

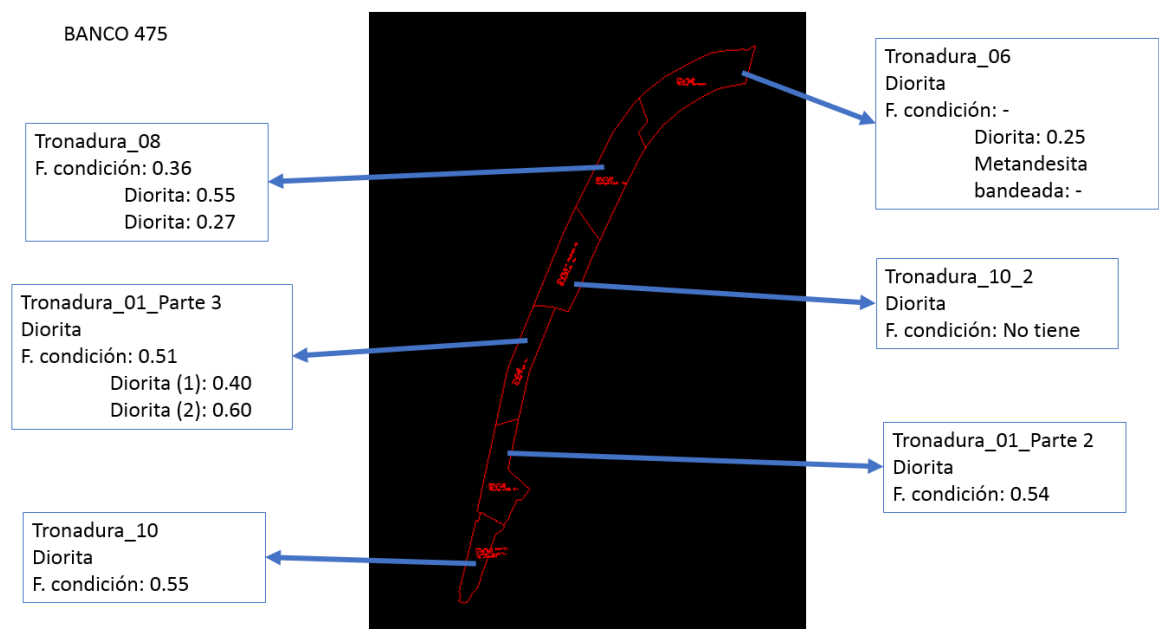


Figura 7.2- Tronaduras de contorno pertenecientes al Banco 475.

- **Pozos**

El banco tiene un total de 318 pozos tronados, de los cuales 136 son sub perforados, 115 sobre perforados y 16 en rango aceptable. No se puede sacar estadísticas ya que no hay información de dos tronaduras, pero si se puede observar que el número de pozos correspondientes a rango aceptable es muy bajo.

- **Pre-cortes**

Ahora en cuanto a los pre-cortes, estos se solicitaron por el área de geomecánica para todas las tronaduras y si se realizaron en su mayoría a excepción de donde no se tiene información.

- **Zonas de descanso**

Para las zonas de descanso solicitadas para las tronaduras 06 y 08 se realizaron dando su respectivo burden de alivio.

- **Factor de carga**

Los factores de carga recomendados presentan leves diferencias con respecto a los utilizados por el área de P & T.

- **Factor de condición**

Finalmente, para los factores de condición en dos tronaduras no se tiene información que son las tronaduras 06 y 10_2. Por otra parte, a las que si se le efectuaron ninguna está dentro del rango aceptable (0.65) tal como se observa en la tabla 7.2.

Tronadura	Factor de Condición	
Tronadura_01_parte3_ Lilly 1	0.4	0.51
Tronadura _01_parte3_ Lilly 2	0.6	
Tronadura _10_2_ Lilly 1	No hay información	No hay información
Tronadura _01_parte2_ Lilly 1	0.54	0.54
Tronadura _01_parte2_ Lilly 2	0.54	
Tronadura _06_ Lilly 1	0.25	0.25
Tronadura _06_ Lilly 2	0.25	
Tronadura _08_ Lilly 1	0.55	0.36
	0.27	
Tronadura _10_ Lilly 1	0.55	0.55

Tabla 7.2- Factores de condición de las tronaduras de contorno del banco 475.

De las tronaduras donde se realizaron los factores de condición se tiene lo siguiente con respecto a los parámetros del mismo, la cresta cae en parámetro moderado y muy malo, la geometría del talud es el parámetro mejor evaluado, ahora en cuanto a la presencia de bloques inestables está entre los parámetros moderado y muy malo, en donde malo es la que sobresale. La condición de discontinuidades menores esta entre los rangos bueno y muy malo en donde sobresalen moderado y muy malo. Las grietas inducidas están entre los rangos bueno y malo, por otra parte, el parámetro de medias cañas está en el rango moderado y muy malo, en donde moderado es el que sobresale. Finalmente, lo mejor evaluado es la geometría del talud y lo peor evaluado es la condición de la cresta, esto observado a través del gráfico representado en la figura 7.3

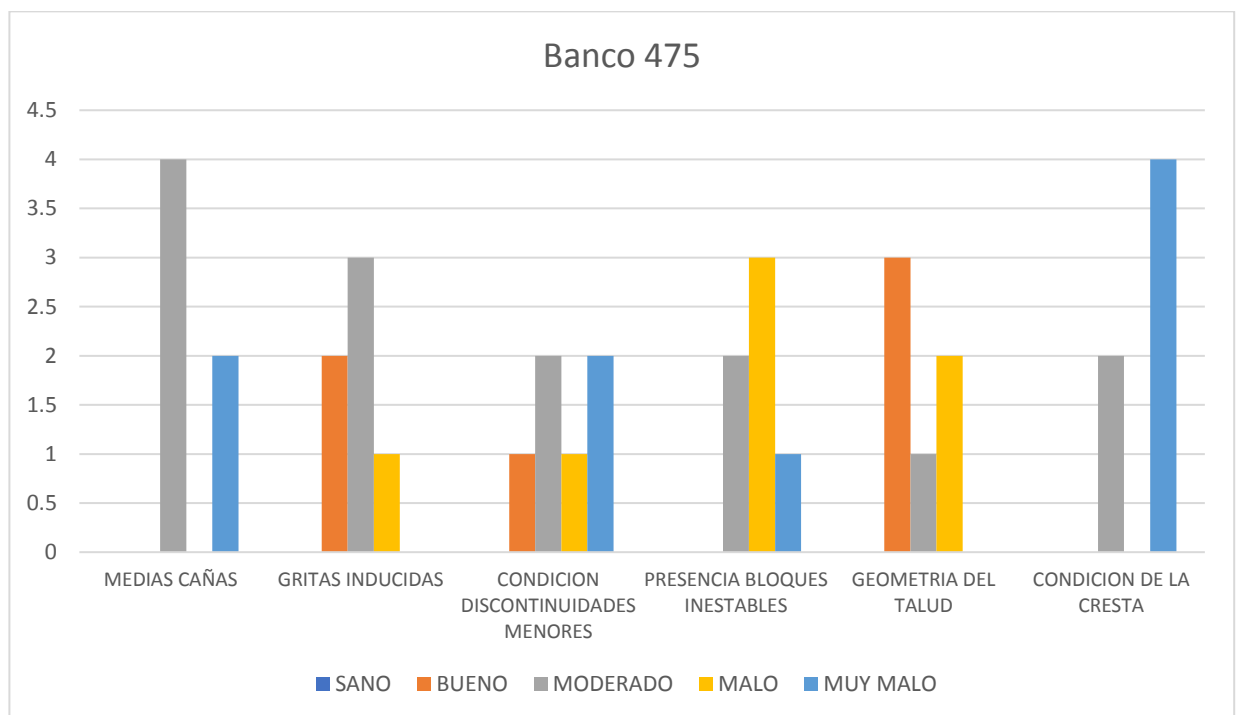


Figura 7.3- Gráfico que muestra los parámetros evaluados en el factor de condición.

7.4 Banco 462.5

El banco comprende un total de ocho tronaduras, a continuación, se presentan las tronaduras del banco junto con su respectiva litología y factor de condición (figura 7.4).

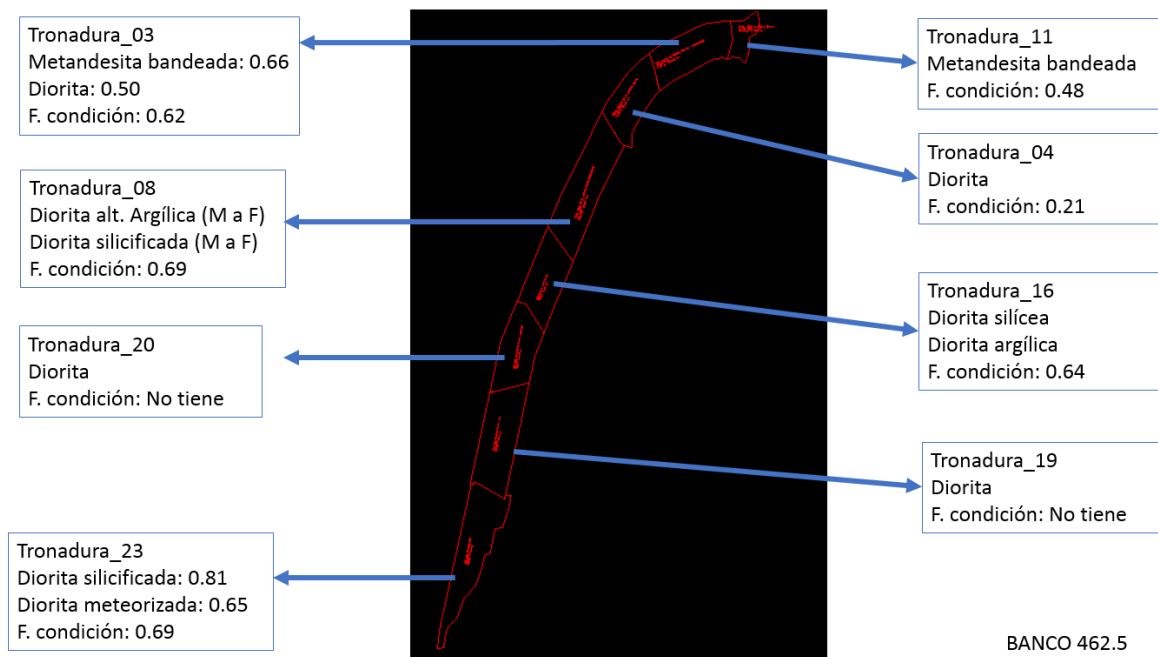


Figura 7.4- Tronaduras de contorno pertenecientes al Banco 462.5.

- **Pozos**

El banco tiene un total de 425 pozos, sin contar la tronadura 20, ya que no hay información por parte de P & T para esta. Tampoco se puede contabilizar la cantidad de pozos sub perforados, sobre perforados y de rango aceptable, ya que esta información solo está disponible para la mitad de las tronaduras.

- **Pre-cortes**

Ahora en cuanto a los pre-cortes, estos se solicitaron por el área de geomecánica para todas las tronaduras, a excepción de la tronadura 23 en donde no se recomendó por caída de rocas en banco superior, los pre-cortes se realizaron para las tronaduras 03, 08 y 11 para las demás no se tiene información.

- **Zonas de descanso**

Para las zonas de descanso solicitadas para la tronadura 03 no hay información sobre si se realizó o no, ahora para la tronadura 08 según la información entregada por P & T se realizó un burden de alivio, pero no precisamente en la zona solicitada, como se puede observar en la imagen 6.13 en el capítulo 6. Finalmente, para la tronadura 23 si se realizó el burden de alivio para la zona solicitada.

- **Factor de carga**

El factor de carga utilizado por el área de P & T para todas las tronaduras fue mayor que lo recomendado por geomecánica. Estos cambios en los factores de carga se ven reflejados en los factores de condición en donde solo dos de las ocho tronaduras de este banco presentan un rango aceptable.

- **Factor de condición**

Finalmente, para los factores de condición en dos tronaduras no se tiene información que son las tronaduras 19 y 20. Por otra parte, a las que si se le realizaron solo una tronadura está muy por debajo de lo aceptable (0.65) y otras medianamente aceptables tal como se observa en la tabla 7.3.

Tronadura	Factor de Condición	
Tronadura_03_ Lilly 1	0.66	0.62
Tronadura_03_ Lilly 2	0.50	
Tronadura_04_ Lilly 1	0.21	0.21
Tronadura_08_ Lilly 1	0.69	0.69
Tronadura_08_ Lilly 2		
Tronadura_11_ Lilly 1	0.48	0.48
Tronadura_16_ Lilly 1	0.64	0.64
Tronadura_16_ Lilly 2		
Tronadura_19_ Lilly 1	No hay información	No hay información
Tronadura_19_ Lilly 2	No hay información	
Tronadura_19_ Lilly 3	No hay información	
Tronadura_20_ Lilly 1	No hay información	No hay información
Tronadura_23_ Lilly 1	0.81	0.69
Tronadura_23_ Lilly 2	0.65	

Tabla 7.3- Factores de condición de las tronaduras de contorno del banco 462.5.

De las tronaduras donde se realizaron los factores de condición se tiene lo siguiente con respecto a los parámetros del mismo, la cresta y las medias cañas son los parámetros que

están en el rango muy malo. El parámetro de condición de discontinuidades menores es el que mejor está, ya que cae en el rango de bueno. Según se puede observar en la figura 7.5 ninguno de los parámetros está en el rango de sano. Ahora hablando de cada parámetro, la condición de la cresta está entre los rangos bueno y muy malo, por igual, la geometría del talud, su mayor rango está considerado como bueno, la presencia de bloques inestables, el más alto es el rango de malo, la condición de discontinuidades menores tan solo tiene una condición de moderado y de malo mientras que lo mejor evaluado es la categoría de bueno. Las grietas inducidas están entre los rangos de bueno y moderado, y finalmente las medias cañas tiene rangos entre bueno y muy malo, este parámetro presenta menor cantidad de evaluación que los demás, ya que en la tronadura 23 no aplica este parámetro por no realizar pre-cortes, esto observado a través del gráfico representado en la figura 7.5.

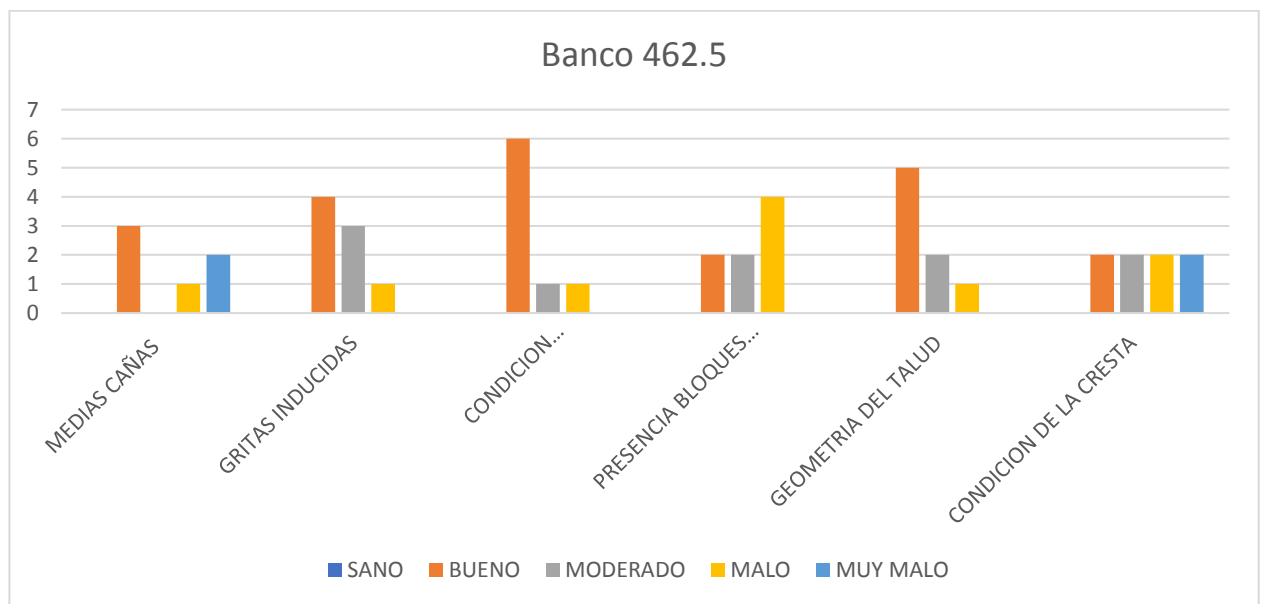


Figura 7.5.- Gráfico que muestra presentación de los parámetros evaluados en el factor de condición, banco 462.5.

7.5 Banco 450

El banco comprende un total de seis tronaduras, de las cuales una corresponde a contorno rampa y otra a la rampa. Este es el único banco de todos los presentados que contiene toda

la información necesaria para realizar los análisis. A continuación, se presentan las tronaduras del banco junto con su respectiva litología y factor de condición (figura 7.6).

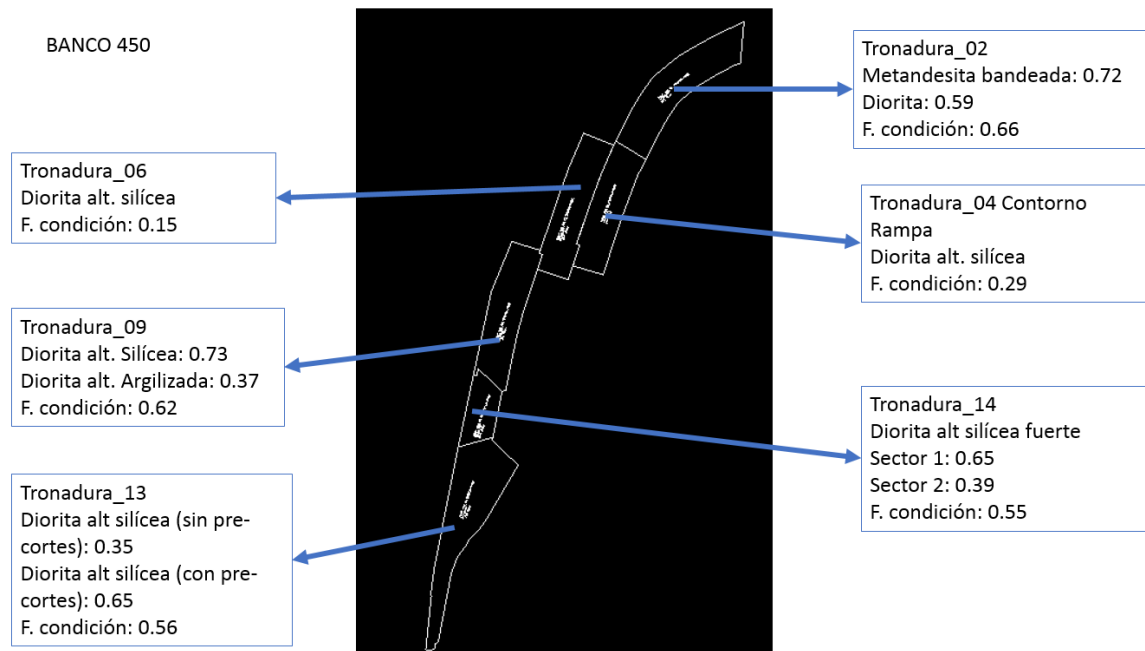


Figura 7.6.- Tronaduras de contorno pertenecientes al Banco 450.

- **Pozos**

La cantidad de pozos del banco se tiene un total de 633 pozos cargados, en donde 168 pozos fueron sub perforados, 107 sobre perforados y 358 estuvieron en el rango aceptable.

Tronadura	% Rango Aceptable	Factor de Condición	
Tronadura _02_ Lilly 1	72.64%	0.72	0.66
Tronadura _02_ Lilly 2		0.59	
Tronadura _04_ contorno_rampa_ Lilly 1	63.33%	0.29	0.29
Tronadura _06_ rampa_ Lilly 1	44.92%	0.15	0.15
Tronadura _09_ Lilly 1	51.54%	0.73	0.62
Tronadura _09_ Lilly 2		0.37	

Tronadura _13_ Lilly 1	55.47%	0.35	0.56
Tronadura _13_ Lilly 2		0.65	
Tronadura _14_ Lilly 1	51.11%	0.65	0.55
		0.39	

Tabla 7.4- Tronaduras del banco 450 con el porcentaje de rango aceptable y factor de condición para cada una.

Como se observa en la tabla anterior (7.4), en donde hubo un porcentaje de rango aceptable mayor al 50 % el factor de condición está en un rango medianamente aceptable a excepción de la tronadura 04, en donde a pesar de tener un porcentaje de rango aceptable mayor al 50% el factor de condición es muy por debajo de lo aceptable.

- **Pre-cortes**

En todas las tronaduras de este banco se solicitó la realización de pre-cortes, por parte de P & T, informa que se realizaron en todas a excepción de la tronadura 09 en donde no se tiene información sobre esto. En cuanto al factor de condición, solo una tronadura está por sobre lo aceptable y en cuanto al promedio del banco completo es de 0.53, el que es por debajo de lo aceptable ($0.65 \geq$ aceptable).

- **Zonas de descanso**

En el banco para dos tronaduras se solicitaron zonas de descanso que son la tronadura 02 y 04, el cual se cumplió para ambas, tal como se muestra en las figuras 6.22 y 6.24 pertenecientes al capítulo 6.

- **Factor de carga**

En los informes realizados por P & T no utilizan el factor de carga recomendado por geomecánica, sino que utilizan uno denominado teórico y es este el que lo compran con el real (que es el utilizado finalmente). Comparando el factor de carga recomendado con el utilizado se saca un porcentaje de error y esto se compara con el factor de condición.

Se puede observar que donde hubo menor porcentaje de error el factor de condición no fue muy bajo, a diferencia de uno en donde puede que el factor de carga recomendado no fuera el correcto.

- **Factor de condición**

Para los factores de condición se tiene toda la información para todas las tronaduras pertenecientes al banco. Para las tronaduras rampa y contorno rampa no se tiene el detalle en cuanto a las puntuaciones de cada parámetro, pero sí su valor final.

Tronadura	Factor de Condición	
Tronadura _02_ Lilly 1	0.72	0.66
Tronadura _02_ Lilly 2	0.59	
Tronadura _04_ contorno_rampa_ Lilly 1	0.29	0.29
Tronadura _06_ rampa_ Lilly 1	0.15	0.15
Tronadura _09_ Lilly 1	0.73	0.62
Tronadura _09_ Lilly 2	0.37	
Tronadura _13_ Lilly 1	0.35	0.56
Tronadura _13_ Lilly 2	0.65	
Tronadura _14_ Lilly 1	0.65	0.55
	0.39	

Tabla 7.5- Factores de condición de las tronaduras de contorno del banco 450.

En general la condición de la cresta del talud del banco se encuentra en la categoría muy malo, la geometría del talud es buena, la presencia de bloques inestables es malo, lo que indica que existe una alta cantidad de estas en la pared. Ahora, la condición de discontinuidades menores se encuentra entre bueno y moderado, lo que indica que está medianamente buena esta condición. Existe una baja cantidad de grietas inducidas, pero no nula, y finalmente, la pared del talud presenta una buena cantidad de medias cañas, esto observado a través del gráfico representado en la figura 7.7.

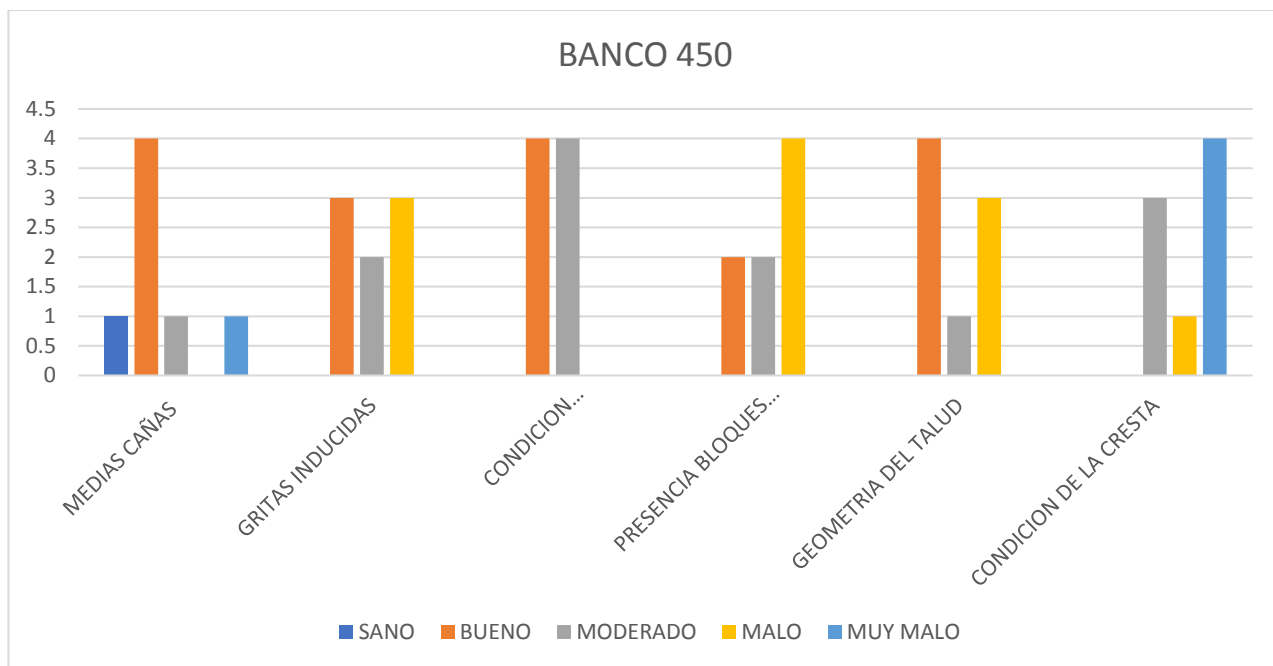


Figura 7.7- Gráfico que muestra presentación de los parámetros evaluados en el factor de condición, banco 450.

7.6 Banco 437.5

El banco comprende un total de once tronaduras, para este banco existen cuatro tronaduras para las que no se tiene información, que son la tronadura 13 y 21 que solo cuentan con la recomendación de geomecánica y la tronadura 18 y 22 porque hasta la fecha del presente trabajo no se habían explotado, además para varias tronaduras no se les había realizado el factor de condición. A continuación, se presentan las tronaduras del banco junto con su respectiva litología y factor de condición (figura 7.8).



Figura 7.8- Tronaduras de contorno pertenecientes al Banco 437.5.

- **Pozos**

La cantidad de pozos del banco se tiene un total de 473 pozos cargados, en donde 142 pozos fueron sub perforados, 33 sobre perforados y 298 estuvieron en el rango aceptable, sin contar los pozos de las tronaduras 13, 18, 21 y 22 por las razones ya expuestas anteriormente.

- **Pre-cortes**

Ahora en cuanto a los pre-cortes, estos se solicitaron por el área de geomecánica para todas las tronaduras del banco, a excepción de la tronadura 20 donde por razones de mala calidad del material no se solicitan, los pre-cortes se realizaron para las tronaduras 04, 09, 10 y 15 para las demás no se tiene información.

- **Zonas de descanso**

Se solicitaron dos zonas de descanso para dos tronaduras, para la tronadura 12 se realizó según solicitud, ahora para la tronadura 15 según la información entregada por P & T se realizó un burden de alivio, pero no precisamente en la zona solicitada, como se puede observar en la imagen 6.41 en el capítulo 6.

- **Factor de carga**

Los factores de carga utilizados por el área de P & T para todas las tronaduras de las que se tiene la información de este banco, son todas por sobre el factor recomendado por el área de geomecánica a excepción de las tronaduras 18, 20, 21 y 22 para las cuales no existe información ni de lo recomendado ni de lo realizado.

- **Factor de condición**

Finalmente, para los factores de condición solo se tiene información para tres tronaduras que son la tronadura 04, 10 y 15, para las demás por temas operacionales no se han realizado, por lo que con la información obtenida no se puede realizar un análisis.

7.7 Banco 425

El banco comprende un total de nueve tronaduras, a continuación, se presentan las tronaduras del banco junto con su respectiva litología y factor de condición (figura 7.9).



Figura 7.9- Tronaduras de contorno pertenecientes al Banco 425 indicando la litología correspondiente a cada polígono.

- **Pozos**

La cantidad de pozos del banco se tiene un total de 757 pozos cargados, en donde 181 pozos fueron sub perforados, 53 sobre perforados y 523 estuvieron en el rango aceptable.

- **Pre-cortes**

En todas las tronaduras de este banco se solicitó la realización de pre-cortes, por parte de P & T, informa que se realizaron en todas a excepción de la tronadura 06 en donde no se tiene información sobre esto.

- **Zonas de descanso**

Se solicitaron dos zonas de descanso, pero se realizaron cuatro, primero para la tronadura 06, no solicitada, pero realizada por parte de P & T por zona de falla Romeral, segundo para las tronaduras 11 y 12 fueron solicitadas y realizados los burden de alivio, tercero y final para la tronadura 14 no se solicitó, pero fue realizada por confluencia estructural.

- **Factor de carga**

Los factores de carga utilizados finalmente por el área de P & T para este banco varían con respecto a lo recomendado, para las tronaduras 03 y 14 se utilizó un factor menor al dado por geomecánica, ahora para la tronadura 06 se utilizó un factor mucho mayor al recomendado, lo que se debe a la litología, ya que corresponde a guías de Fe y cuerpo de Fe.

- **Factor de condición**

Finalmente, para los factores de condición solo se tiene información para una tronadura correspondiente al número 03, el cual tiene un resultado de 0.88 para Lilly 1 y 0.84 para Lilly 2, para las demás tronaduras por temas operacionales no se han realizado, por lo que con la información obtenida no se puede realizar un análisis.

7.8 Relevancia de las características del macizo rocoso en la operación de tronadura de contorno

Orientación de las discontinuidades

Con respecto a la orientación de la secuencia de disparos se obtiene que cuando estas se programan en función de las estructuras principales FP (falla principal), F1 (falla de

primer orden) y F2 (fallas de segundo orden) resulta en una adecuada operación de tronadura. Esto puede deberse a que, al disponerse la dirección de disparo de manera perpendicular a las fallas, se evita que la falla actúe como un canal de transmisión para las ondas y los gases. De esta manera, la secuenciación minimiza el daño al talud. Por consiguiente, se considera que la tipología y orientación de las discontinuidades es un factor que debe tenerse en cuenta siempre a la hora de planificar la secuenciación de tronadura, en consideración a su alta influencia en el daño final generado sobre la cara del talud.

Influencia de las propiedades del macizo rocoso en la operación de tronadura

Las diferentes propiedades de cada UG tienen una estrecha relación al momento de definir las recomendaciones entregadas por el área de geomecánica en las que se incluyen el factor de carga, la litología y el GSI, ya que gracias a las características geológicas y geotécnicas de cada unidad geotécnica se puede dar una recomendación mejor a las distintas tronaduras de cada banco. Cada unidad de litología - alteración - zona mineral presenta una composición y características texturales propias, por lo tanto, un comportamiento geomecánico diferente. Según lo observado en el capítulo de resultados, sugiere el impacto que tiene un factor de carga adecuado para evitar daños al talud. Además, del capítulo de resultados se obtiene que el GSI presentado en las UG se encuentran diferentes a las que son entregadas en cada recomendación, ya que el GSI entregado en estas, es el que se calcula para cada tronadura. Otra propiedad definida en la unidad geotécnica, es la litología, en donde según sea el sector a tronar el factor de carga varia, puesto que las rocas de diferente composición tienen distintas resistencias y deformabilidad. De acuerdo a la resistencia de las rocas definida en el capítulo de marco teórico, y observando la litología en cada una de las tronaduras de los diferentes bancos sugieren que la roca correspondiente a la diorita y meta-andesita bandeada presentan una R de 03, lo que propone un grado medio de resistencia, ahora las rocas que presentan una R de 04 corresponden en su mayoría diorita con alteración argílica y a algunas dioritas silicificadas lo que insinúa un grado resistente, las rocas que presentan una R de 5 y 6 corresponde a diorita silicificada y a hierro brechoso por lo que sugiere un grado muy resistente y extremadamente resistente. Finalmente, la propiedad de la resistencia de las

rocas relacionada con los pozos y los factores de condición resultantes sugiere que: según se observa en el capítulo de resultados, el banco 475 tiene una mayor cantidad de pozos sub perforados (137) y se presentan en una mayor cantidad R3, los factores de condición resultantes en este banco son medianamente bajos de los cuales el más bajo es de 0.25 con una litología de meta-andesita bandeada, ahora en el banco 462.5 presenta una mayor cantidad de pozos en rango aceptable (223) y se reconoce una mayor cantidad de R4, de los resultados de los factores de condición se tiene que uno de estos es altamente bajo 0.21 y corresponde a diorita, el resto de los factores se encuentran en los rangos de 0.48 a 0.81, todo lo anterior sugiere la estrecha relación que se tiene entre los pozos, la litología, la resistencia de las rocas y por último el factor de condición que es el que indica el resultado de la pared final.

Relación Zonas de descanso con presencia de estructuras

En todos los polígonos de las tronaduras descritas en el presente trabajo que contengan estructuras principales, se recomiendan zonas de descanso en donde se les da una secuencia un poco más larga, esto con el fin de evitar la interacción entre pozos, ya que entre más rápida es esta interacción durante la tronadura, la fragmentación es mayor. No obstante, esto también incrementa el daño producido sobre el talud. Esto demuestra la importancia de las zonas de descanso, ya que estas evitan la generación de una dirección de propagación más rápida, lo que eventualmente podría activar mecanismos de inestabilidad asociados en los taludes. En consecuencia, lo anterior sugiere que la planificación e implementación de zonas de descanso, logra minimizar el daño al talud.

Relación GSI y pozos

Al observar la relación existente entre los valores de GSI y los parámetros de pozos de cada banco se tiene que:

- En el banco 487.5 se observan que los pozos que tienen una mayor cantidad de sub perforados.
- En el banco 475 se observa que los pozos tienen una mayor cantidad de sub perforados.

- En el banco 462.5 se observa que los pozos tienen una mayor cantidad de rango aceptable.
- En el banco 450 se observa que los pozos tienen en su totalidad el parámetro de rango aceptable.
- En el banco 437.5 se observa que los pozos tienen una mayor cantidad de rango aceptable.
- En el banco 425 se observa que los pozos tienen en su totalidad el parámetro de rango aceptable.

Lo previamente descrito sugiere que los valores con indicadores bajos de GSI entre los rangos 35-45 y 40-50, tienden a tener una mayor cantidad de pozos sub perforados, mientras que con respecto va subiendo el valor del GSI entre los rangos de 40-50 a 60-70 el parámetro de pozos perforados tiene niveles de rango aceptable. Ahora bien, con respecto la cota del banco, se puede notar que conforme esta va bajando, el parámetro de los pozos perforados para la tronadura se incrementa en aquellos de rango aceptable. Lo anterior, podría relacionarse con las estructuras del macizo y la condición de estas, como se puede observar en el banco 500 (banco superior), el que presenta una mayor cantidad de relleno y no posee estructuras, como fue descrito en el capítulo de resultados, en donde no se le realizaron recomendaciones ni factor de condición, ya que estaba compuesto principalmente de relleno.

Lo anterior, sugiere que debe llevarse un continuo control y revisión de los valores de GSI asociados a cada tronadura. Esto, dado que el valor de GSI parece tener un control en la adherencia al plan de tronadura definido preliminarmente para cada caso.

Relación pre-cortes y talud

Según lo que se puede observar con respecto a los pre-cortes es que estos se relacionan de manera directa con el estado final del talud, estos se queman al mismo tiempo que la tronadura con tan solo 3000 milisegundos antes que el resto del polígono. Estos pre-cortes, son quemados por paquetes de 10 pozos separados por 25 milisegundos. Lo anterior, con el fin de no generar tanta vibración y reducir el ruido. Al revisar los factores de condición de las distintas tronaduras en los bancos estudiados, estos sugieren una estrecha relación con la observación de medias cañas, como lo es en el banco 450, en donde las tronaduras

que presentan factores de condición con valores menores a lo aceptable, el reconocimiento de medias cañas son bajas, es decir, se encuentra en los parámetros de malo a muy malo, mientras que en aquellas tronaduras con factores de condición categorizadas como aceptables, la observación de medias cañas se encuentra en los parámetros de sano y bueno. Además, los pre-cortes se direccionan de sur a norte para evitar que la onda llegue a la ciudad, pero existen casos como son las tronaduras 05-08 del banco 487.5 en las que su dirección cambia de norte a sur, esto para proteger la pared y evitar la activación de posibles mecanismos de inestabilidad en el talud.

Influencia de las propiedades del macizo rocoso en el daño de talud ocasionado por tronadura

Para observar las influencias de las propiedades del macizo se realizan análisis a través de gráficos en los que se puede ver el factor de condición con respecto a GSI, FF y R de todos los bancos en conjunto, para así observar la implicancia de estas en el estado final del talud.

- Factor de condición v/s R

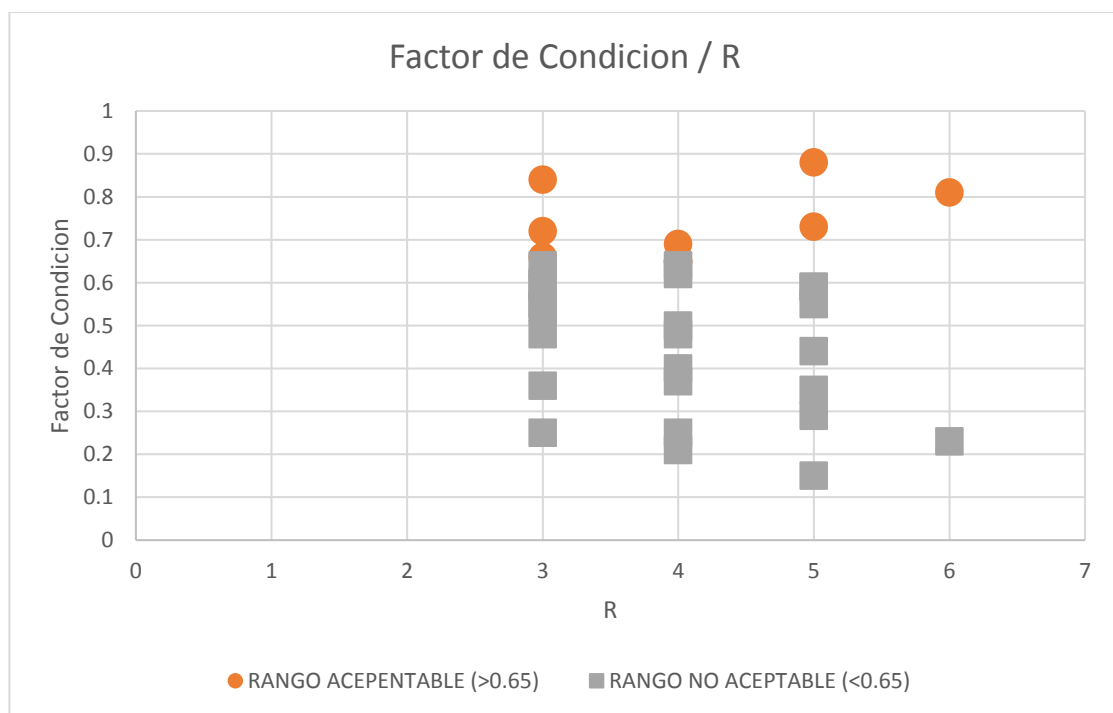


Figura 7.10- Gráfico que muestra los factores de condición y los R pertenecientes a los bancos evaluados.

- Factor de condición v/s FF

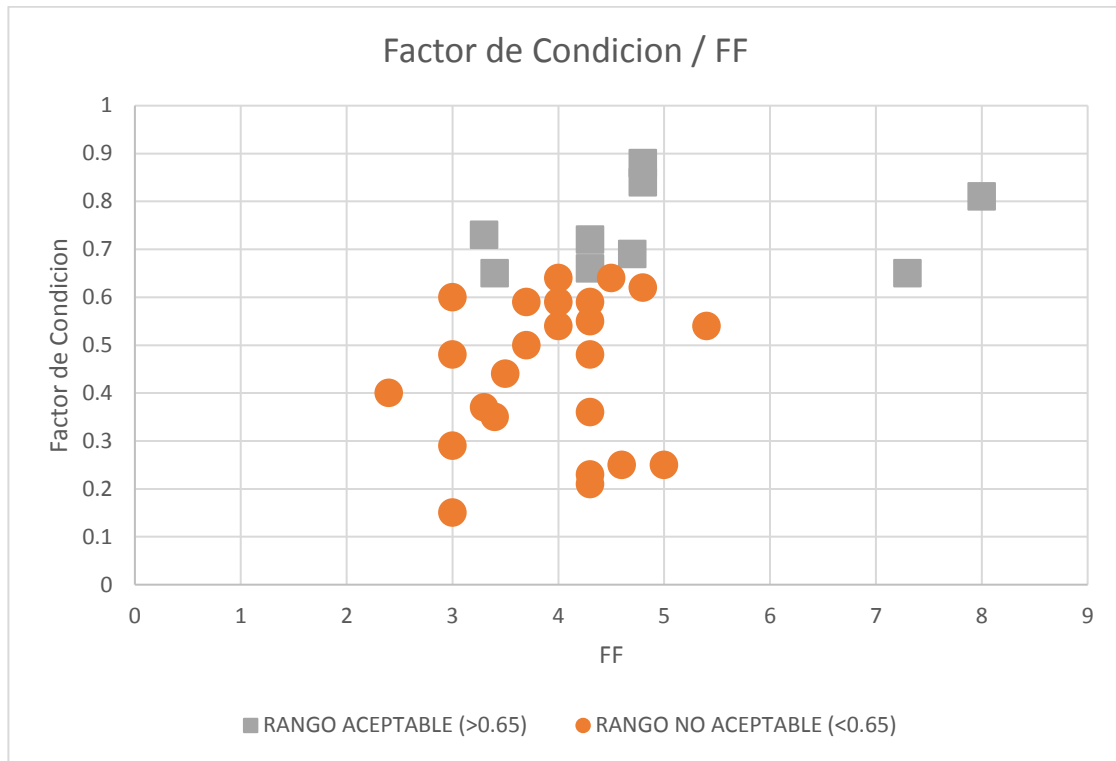


Figura 7.11- Gráfico que muestra los factores de condición y los FF pertenecientes a los bancos evaluados.

- Factor de condición v/s GSI

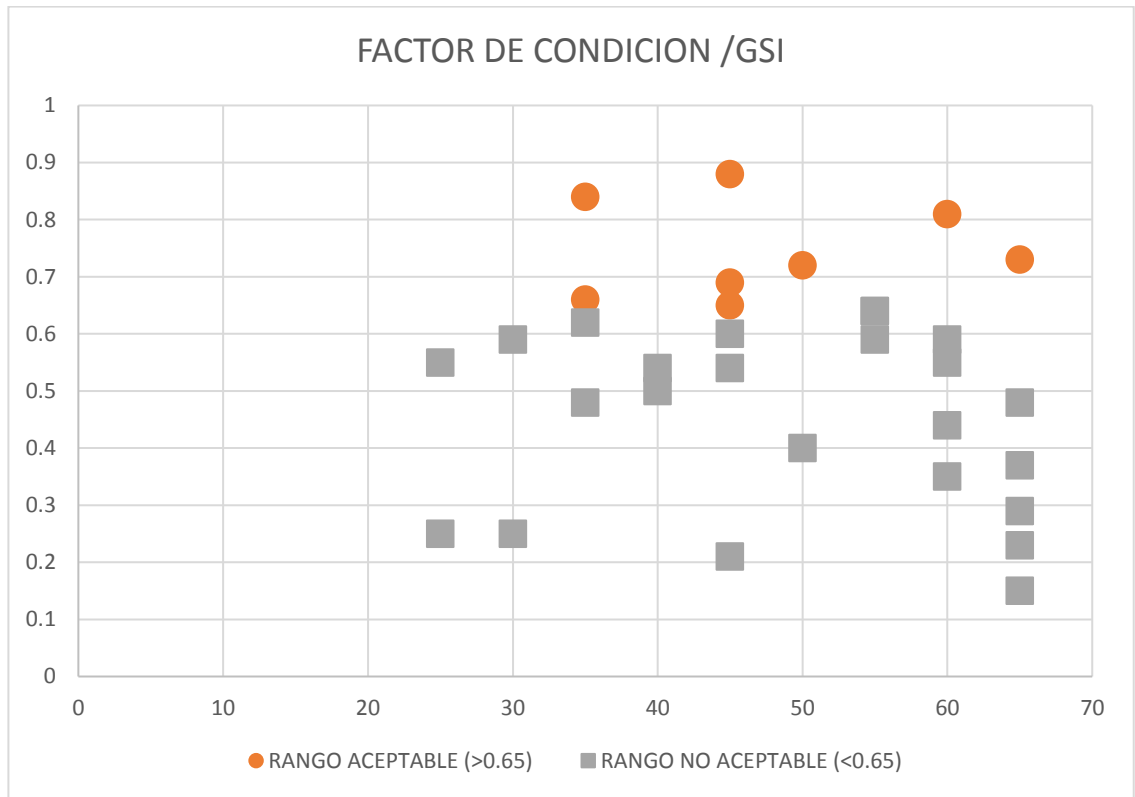


Figura 7.12- Gráfico que muestra los factores de condición y los GSI pertenecientes a los bancos evaluados.

Los gráficos anteriores (figuras 7.10, 7.11 y 7.12) sugieren que no existe correlación alguna en los datos obtenidos con respecto al factor de condición y las propiedades del macizo rocoso, esto puede deberse a que de acuerdo a los resultados, el efecto principal en el daño al talud, no está controlado por las propiedades del macizo rocoso, sino más bien en la adherencia al plan de tronadura previamente definido, y en la correcta ejecución de este mismo, de acuerdo a la orientación-tipología de estructuras existentes en el talud, y a la planificación e implementación de zonas de descanso, además de los factores de carga entregados para cada tronadura. Con ello se obtiene que se debe llevar un adecuado control geomecánico de las variables FF, GSI y R para todas las operaciones de tronadura planificadas y ejecutadas.

CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

Por medio del presente trabajo se estableció un procedimiento de control geomecánico sobre el proceso de tronadura de contorno, y se elaboró un procedimiento de verificación y aseguramiento de diseño y minimización del daño al talud, específicamente para la fase V de Minas El Romeral.

La obtención de un buen talud minero radica en varios factores: línea de pre-corte, línea buffer y el factor de carga utilizado en los pozos de perforación. La no realización de los tiros de pre-corte puede producir grandes cambios en el resultado final del talud. El factor de carga utilizado juega un papel fundamental, ya que es uno de los factores más importantes en resultado de la pared final.

El pre-corte es una operación fundamental en el fracturamiento de la base del talud, si no se tiene un buen diseño de perforación y un factor de carga adecuado se hace difícil que se logre la línea de diseño. La línea de los tiros buffer debe tener una distancia óptima de la línea de los pre-cortes para que se pueda romper la roca hasta los límites deseados y así no generar sobre excavaciones en la cresta del talud ni la generación de sobre pisos en la pata del talud.

La geología y geomecánica cumplen un rol primordial en la realización de la preparación de la tronadura de contorno, como es en la decisión de los factores de carga entregados, los cuales se realizan a través de un análisis Lilly en el que además se incluye la litología, el GSI, la dirección de salida de la tronadura, la salida de los pre-cortes, el inicio de la tronadura y las estructuras presentes. Además, se tiene que existen estrechas relaciones entre las propiedades de macizo rocoso en la operación de la tronadura de contorno como lo es la resistencia de las rocas, las estructuras que se encuentran en la zona a explotar, la litología de la roca presente en la tronadura, las categorías de los pozos perforados ya sea sub perforados, sobre perforados o rango aceptable y el GSI, con estos datos se controlan los tipos de inestabilidad (definidos en el capítulo 3), finalmente está el indicador del factor de condición el que permite establecer el rendimiento de los parámetros, medias

cañas, grietas inducidas condición de discontinuidades, presencia de bloques inestables, geometría del talud y condición de la cresta y con ello observar el estado del talud final.

Los bancos fueron estudiados en su totalidad con la información proporcionada por las áreas de geomecánica y de perforación y tronadura (P & T), ahora en las tronaduras 18 y 22 pertenecientes al banco 437.5 no fueron analizadas, ya que por motivos operativos no fueron explotadas hasta el final del presente trabajo. Según los informes entregados por ambas áreas y comparándolos con la información general de la fase V vista en el capítulo 4 se tiene que:

- Se cumple con la consideración de bancos simples de 12. 5 metros para el rajo.
- Se cumple con el proceso de que las mallas de tronadura incluyan las líneas de pre-corte para disminuir el daño al macizo rocoso.
- De los parámetros evaluados en el capítulo 6 se tiene que existe un mayor descreste en la pared oeste de la fase V.

8.2 Recomendaciones

A fin de generar un mejoramiento continuo y con lo desarrollado en el presente trabajo de título, se recomienda lo siguiente:

Recomendaciones de control geomecánico

- Solicitar al área de perforación y tronadura que en los informes entregados posterior a la explotación de las tronaduras agreguen los factores de cargas utilizados en las líneas buffer con el fin de acotar los tiempos en el caso de que geomecánica requiera realizar estudios.
- Agregar la numeración de UG en las recomendaciones y en el factor de condición a fin de no confundir litologías.
- Seguir con la altura de bancos simples de 12,5 m para todo el rajo.
- Se recomienda usar para el proceso de tronadura mallas que incluyan líneas de pre-corte y/o tronadura amortiguada, para disminuir el daño inducido al macizo rocoso y lograr los ángulos cara de banco recomendados en diseño geotécnico.
- Se recomienda mantener un monitoreo constante en las paredes a desarrollar de Romeral Fase V, especialmente en la Zona Este, sector con presencia de materiales

argílicos, donde se debe implementar un sistema de alertas continuo de monitoreo en tiempo real.

- Seguir con el disparo de pre-cortes de manera anticipada al resto del polígono, pero en lo posible con un mayor tiempo de separación entre ambas con el fin de generar un mayor descanso a la pared.
- Realizar un escaneo topográfico para cada banco terminado para observar el factor de diseño, lo que permitirá realizar una evaluación continua a lo largo de los bancos de la fase.
- A la UG 7 correspondiente a Diorita se recomienda separarla en distintas UG con sus alteraciones, tal como es con la UG de andesita.
- Llevar un adecuado control geomecánico de las variables FF, GSI y R para todas las operaciones de tronadura planificadas y ejecutadas.
- Se sugiere la utilización del siguiente formato para la determinación del factor de condición de taludes (figura 8.1):

FACTOR DE CONDICION BANCO X

SECTOR ENTREGADO / SECTOR ENTREGADO CON OBSERVACIONES / SECTOR NO ENTREGADO

FOTOGRAFIA TALUD
POST TRONADURA

Observaciones:
Sector correspondiente a la **tronadura X** del banco **X** de la **fase X**.
LITOLOGIA.- Observaciones
Medias cañas: % en el que se observan
Cresta: todas las observaciones con respecto a la cresta.
Pata: observaciones con respecto a la pata.
Discontinuidades y bloques inestables: observaciones respecto de ambos parámetros.



UNA EMPRESA DEL GRUPO CAP

PARAMETRO	CONDICION TALUD	PUNTAJE
Medias Cañas	X	X %
Grietas Inducidas (cada 10 m)	X	X %
Condición de Discontinuidades Menores	X	X %
Presencia de Bloques Inestables	X	X %
Geometría del Talud	X	X %
Condición de la Cresta	X	X %
	Condición	% total

Tronadura X, LILLY 1	
Offset	x m
Buffer	Explosivo – x m
Amortiguada 1°	Explosivo – x m
Producción	Explosivo – x m

	Punto Inicial	Punto final
X	X	X
Y	X	X
Z	X	X
Largo	X m	

**IMAGEN
TOPOGRAFICA
TRONADURA**

**FOTOGRAFIA DE
TRONADURA
DELIMITADA CON
NOMBRE A TRONAR**

Figura 8.1.- Diseño Recomendación Factor de Condición (Elaboración propia)

REFERENCIAS

- Alonso, J. B., Gómez, J. C., & Herbert, J. H. (2013). Perforación y voladura de rocas en minería. *España: Universidad Politécnica de Madrid*.
- Atkinson, T. (1992). Design and Layout of Haul Roads. En H. L. Hartman (Ed.), *SME Mining Engineering Handbook* (págs. 1334-1342). Littleton, Colorado, EE.UU: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
- Barton, N., Choubey, V. The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock Mechanics*. (Springer-Verlag) 10, 1-54, 1997.
- Bieniawski, ZT. (2003b). Comunicación durante el coloquio. New tendencies in rock mass characterization. Jornada técnica sobre “Aspectos relevantes en la caracterización del terreno”, Madrid.
- Bookstrom, A. 1975. Magnetite deposits of El Romeral, Chile: physical geology, sequence of events, and processes of formation. In partial fulfillment of the requirements for degree of Doctor of Philosophy, Stanford University, Department of Geology, Palo Alto.
- Bookstrom, A., 1977. Magnetite deposits of El Romeral, Chile. *Economic Geology* 72:1101-1130.
- Brown, E. T. 1981. Rock characterization, testing and monitoring: ISRM Suggested Methods. Oxford: Pergamon Press, 211p.
- CMP, una empresa del grupo CAP. Memoria Anual, 2020.
- Diaz, C. (2017) Planificación minera a cielo abierto considerando diseño óptimo de rampas. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil de Minas, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 100p.
- Espinoza, L. 2000. Estudio petrográfico del cuerpo Cerro Principal del distrito ferífero El Romeral IV región – La Serena, Chile. Memoria para optar al título de geólogo. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología, Santiago.
- Floyd, L. J. 1998. Técnicas de voladura eficiente en operaciones superficiales. New York. Dyno Nobel.
- Fossen, H. (2010). *Structural Geology*. New York: Cambridge University Press.

- Gonzales De Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería geológica*. Pearson Education.
https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5540850/mod_resource/content/1/Livro%202.pdf.
- Guía 4 de operación para la pequeña minería, perforación y tronadura SONAMI, 2014.
- Hidalgo, T., López, I., & Troncoso, A. (1998). Minería a cielo abierto: métodos de tronadura.
- Hoek, E. 1994. Strength of rock and rock masses, *ISRM News Journal*, 2(2):4-16.
- Hormazábal, E., Crignola, P., Peña, P., Navarro, B., Fuentes, C & Merino, M. (2020). Estudio de estabilidad Proyecto Romeral Fase V Minas El Romeral y Puerto Guayacán, Rev. 2. La Serena, Chile.
- Hustrulid, W., Kuchta, M., Martin, R. (2006). *Open Pit Mine Planning and Design*. Capítulo 5, pág. 689-700.
- Hustrulid, W., Kuchta, M., Martin, R. (2013). *Open Pit Mine Planning and Design*. (3rd Edition) (Vol. 1. Fundamentals). Boca Raton, Florida: CRC Press and London, U.K.: Taylor and Francis.
- IDEABLAST, SONAMI. (2019). IDEABLAST boletín minero SONAMI. 27 abril 2022, de IDEABLAST Sitio web: <https://www.ideablast.cl/2019/04/10/boletin-sonami/>
- J. Pernía Llera, Fernando Ortiz de Urbina, Carlos López Jimeno y Emilio López Jimeno. *Manual de perforación y voladura de rocas*. 2003.
- Konya, C. 1998. Diseño de voladuras. Ediciones Cuicatl. Madrid, España.
- Laboratorio Oficial J. M. Madariaga (LOM). (2015). *Guía sobre control geotécnico en minería a cielo abierto*.
<https://energia.gob.es/mineria/Seguridad/Guias/Gu%C3%ADas/Guia-control-geotecnico-en-mineria-a-cielo-abierto.pdf>
- Lilly, P. 1986. An empirical method of assessing rock mass blastability.
- Marino, P & Hoek, E. 2000. GSI: A geologically friendly tool for rock mass strength estimation. *Proc. GeoEng2000 Conference* (ed M C Erwin), Melbourne, Vol 1, pp 1422-1440, Technomic: Lancaster, Pennsylvania.

- Moraga, G. (2018) Características geológicas y geotécnicas generales que intervienen en la tronadura y el efecto de daño en el campo lejano en minería de rajo abierto. Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad de Concepción, Concepción, Chile, 113p.
- Morales, M. (2009) Caracterización geotécnica y determinación de ángulos de talud en yacimiento Franke. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil de Minas, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 108p.
- Ramírez Oyanguren, P., & Alejano Monge, L. R. (2004). Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes.
- Read, J. & Stacey, P., 2009. Guidelines for Open Pit Slope Desing. 1s ed. Leiden: CRC Press/Balkema.
- Rebolledo, F. (2018) Desarrollo de metodología de diseño y planificación de tronadura controlada para administrar y controlar riesgos geotécnicos. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil de Minas, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 96p.
- Rojas, P. (2017) Genesis of the El Romeral iron ore: new contributions to the understanding of iron oxide-apatite deposits. Memoria para optar al título de Geóloga, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 169p.
- Rojas, P., Barra, F., Uribe, F., Reich, M., Palma, G., Salazar, E. (2015) Eventos de mineralización en el depósito de magnetita-apatito El Romeral, IV Región de Coquimbo. XIV Congreso Geológico Chileno, pág. 413-416, La Serena, Chile.
- Parra, A. (2015) Planificación minera a cielo abierto utilizando fundamentos geomecánicos. Tesis para optar al grado de Magister en Minería, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 137p.
- Thompson, R. (2011). Design, Construction, and Maintenance of Haul Roads. En P. Darling (Ed.), SME Mining Engineering Handbook (Vol. 1, págs. 957-975). Littleton, Colorado, EE.UU: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
- Van der Pluijm, B. A., & Marshak, S. (2004). Earth Structure: an introduction to structural geology and tectonics. New York: W. W. Norton & Company, Inc.

ANEXOS

Anexo 1.- Tablas comparativas factor de carga por banco Banco 500

	Factor de carga recomendado por geomecánica			Factor de carga ENAEX	
Tronadura	Lilly 1	Lilly 2	Promedio	Teórico Global	Real Global (Utilizado por tronadura)
Polígono FVN_500-A 001	No se realizó recomendación			No tiene	324
Polígono FVN_500-B 002	No se realizó recomendación			180	184
Polígono C 004	No se realizó recomendación			146	138
Polígono_500-D 003	No se realizó recomendación			188	199

Banco 487.5

	FACTOR DE CARGA RECOMENDADO POR GEOMECHANICA			FACTOR DE CARGA ENAEX	
Tronadura	Lilly 1	Lilly 2	Promedio	Teórico Global	Real Global (Utilizado por tronadura)
tronadura_05	DIORITA		150	231	237
	150				
tronadura_08	DIORITA		150	188	162
	150				
tronadura_06	DIORITA		150	231	239
	161				
tronadura_001	no le hicieron recomendación			236	248
tronadura_03	no le hicieron recomendación			227	220
tronadura_04 & 07	no le hicieron recomendación			206	200

Banco 475

	Factor de carga recomendado geomecánica			Factor de carga ENAEX	
Tronadura	Lilly 1	Lilly 2	Promedio	Teórico Global	Real Global (Utilizado por tronadura)
tronadura_01_parte3	Diorita	Diorita	170	153	146
	181	159			
tronadura_10_2	Diorita		157	no hay información	no hay información
	157				
tronadura_01_parte2	Diorita	Diorita	152	197	202
	156	149			
tronadura_06	Metandesita Bandeada	Diorita	146	180	153
	140	152			
tronadura_08	Diorita		155	166	165
	155				
tronadura_10	Diorita		150	no hay información	no hay información
	150				

Banco 462.5

	Factor de carga recomendado geomecánica				Factor de carga ENAEX	
Tronadura	Lilly 1	Lilly 2	Lilly 3	Promedio	Teórico	Factor de Carga Real (Utilizado por tronadura)
tronadura_03	Metandesita bandeada	Diorita		157.5	Buffer 152	Buffer 150
	152	163				
tronadura_04	Diorita			159	Buffer 161	Buffer 160
	159					
tronadura_08	Diorita	Diorita		169.5	Buffer A 164 / Buffer B 179	Buffer A 152 / Buffer B 166
	160	179				
tronadura_11	Metandesita bandeada			152	181	150
	152					

tronadura_16	Diorita con alt. Silíceas	Diorita con alt. Argílica		166.5	212	186
	177	156				
tronadura_19	Diorita	Diorita	Diorita	169.3	205	199
	171	168	169			
tronadura_20	Diorita					
	173					
tronadura_23	Diorita con silicificación	Diorita con argilización leve		170	232	227
	175	165				

Banco 450

	Factor de carga recomendado geomecánica			Factor de carga ENAEX	
Tronadura	Lilly 1	Lilly 2	Pro medio	Teórico Global	Real Global (Utilizado por tronadura)
tronadura_02	Metandesita Bandeada	Diorita	158	194	162
	140	175			
tronadura_04_contorno_rampa	Diorita con alteración silíceas		175	245	235
	175				
tronadura_06_rampa	Diorita con alteración silíceas		175	190	228
	175				
tronadura_09	Diorita con alteración silíceas	Diorita con alteración argilizada	177	239	308
	184	170			
tronadura_13	Diorita con fuerte alteración silíceas	Diorita con fuerte alteración silíceas, altamente diaclasados y cizallados	185	238	198
	187	183			
tronadura_14	Diorita silicificada sector 1	Diorita silicificada sector 2	187	239	223
	187				

Banco 437.5

Tronadura	Factor de carga recomendado geomecanica				Factor de carga ENAEX	
	Lilly 1	Lilly 2	Lilly 3	Promedio	Teórico Global	Real Global (Utilizado por tronadura)
tronadura_04	Hierro Brechoso	Andesita con alteración leve a actinolita	Metandesita bandeada	165	242	252
	190	156	149			
tronadura_07	Diorita silicificada			185	248	219
	185					
tronadura_09	Diorita silicificada			182	255	252
	182					
tronadura_10	Diorita silicificada			198	220	218
	198					
tronadura_12	Diorita silicificada	Diorita silicificada	Diorita silicificada	181.3	259	257
	188	175	181			
tronadura_13	Diorita silicificada			198		
	198					
tronadura_15	Diorita silicificada			193	215	193
	193					
tronadura_18						
tronadura_20	Andesita argilizada leve				156	185
tronadura_21	Andesita argilizada leve			145		
	140-150					
tronadura_22						

Banco 425

	Factor de carga recomendado geomecánica				Factor de carga ENAEX	
TRONADURA	Lilly 1	Lilly 2	Lilly 3	Promedio	Teórico Global	Real Global (Utilizado por tronadura)
tronadura_03	Hierro Brechoso (en factor de con. Sale andesita actinolita)	Metandesita Bandeada		180.5	178	187
	201	160				
tronadura_06	Diorita Silicificada	Andesita Actinolítica con Guías de Fe	Cuerpo de Fe	204.33	228	236
	194	201	218			
tronadura_10	Diorita Silicificada			198	220	215
	198					
tronadura_11	Diorita Silicificada	Diorita Silicificada		186	216	192
	194	178				
tronadura_12	Diorita Silicificada			198	203	200
	198					
tronadura_14	Diorita Silicificada			198	238	103
	198					
tronadura_15	Roca con silicificación moderada a fuerte	Andesita argilizada leve		148	158	186
	160	136				
tronadura_17	Andesita argilizada	Metandesita Bandeada		140	145	163
	126	154				
tronadura_19	Metandesita bandeada				135	41
	136					

Anexo 2.- Tablas comparativas por banco

Banco 487.5

- Pozos

	POZOS				BUFFER			AMORTIGUADO		
Tronadura	Sub perforados	Sobre perforados	Rango aceptable	Total	Aceptable	No Aceptable	Total	Aceptable	No Aceptable	Total
tronadura_05	55	9	18	83	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I

tronadura_08	21	20	0	41	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
tronadura_06	81	39	7	127	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
tronadura_01	97	47	18	159	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
tronadura_03	48	50	0	98	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
tronadura_04 & 07	42	117	30	189	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
TOTAL	344	282	73	697	N/I = no hay información					

- Pre-cortes

Tronadura	Se solicitó		Se realizó	
	Si	No	Si	No
tronadura_05	X		X	
tronadura_08	X		X	
tronadura_06	X		X	
tronadura_001	no hay información			
tronadura_03				
tronadura_04 & 07				

Banco 475

- Pozos

Tronadura	POZOS				BUFFER			AMORTIGUADO		
	Sub Perforados	Sobre Perforados	Rango Aceptable	Total	Aceptable	No Aceptable	Total	Aceptable	No Aceptable	Total
tronadura_01_p arte3	37	16	0	52	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
tronadura_10_2	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
tronadura_01_p arte2	14	37	5	56	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
tronadura_06	35	43	5	83	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
tronadura_08	50	19	6	76	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
tronadura_10	N/I	N/I	N/I	51	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
TOTAL	136	115	16	318	N/I = no hay información					

- Pre-cortes

Tronadura	Se solicitó		Se realizó	
	Si	No	Si	No
tronadura_01_parte3	X		X	
tronadura_10_2	X		no hay información	
tronadura_01_parte2	X			
tronadura_06	X		X	
tronadura_08	X		X	
tronadura_10	X		X	

- Factor de condición

TRONADURA_01_PARTE_3_LILLY 1_DIORITA	SA NO	BUE NO	MODER ADO	MA LO	MUY MALO	Factor condición
medias cañas			X			0.4
gritas inducidas				X		
condición discontinuidades menores				X		
presencia bloques inestables				X		
geometría del talud			X			
condición de la cresta					X	

TRONADURA_01_PARTE_3_LILLY 2_DIORITA	SA NO	BUE NO	MODER ADO	MA LO	MUY MALO	Factor condición
medias cañas			X			0.6
gritas inducidas		X				
condición discontinuidades menores			X			
presencia bloques inestables			X			
geometría del talud		X				
condición de la cresta			X			

tronadura_01_parte_2_lilly 1_diorita	SAN O	BUEN O	MODERA DO	MAL O	MUY MALO	Factor condición
medias cañas			X			0.54
gritas inducidas		X				
condición discontinuidades menores			X			
presencia bloques inestables			X			
geometría del talud		X				
condición de la cresta					X	

tronadura_08_lilly 1_diorita	SAN O	BUEN O	MODERA DO	MAL O	MUY MALO	Factor condición
------------------------------	-------	--------	-----------	-------	----------	------------------

medias cañas					X	0.25
gritas inducidas			X			
condición discontinuidades menores					X	
presencia bloques inestables				X		
geometría del talud				X		
condición de la cresta					X	

tronadura_10_lilly 1_diorita	SANO	BUENO	MODERADO	MALO	MUY MALO	Factor condición
medias cañas			X			0.55
gritas inducidas			X			
condición discontinuidades menores		X				
presencia bloques inestables					X	
geometría del talud		X				
condición de la cresta			X			

Banco 462.5

- Pozos

	POZOS				BUFFER			AMORTIGUADO		
Tronadura	Sub Perforados	Sobre Perforados	Rango Aceptable	Total	Aceptable	No Aceptable	Total	Aceptable	No Aceptable	Total
tronadura_03	N/I	N/I	N/I	55	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
tronadura_04	N/I	N/I	N/I	48	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
tronadura_08	N/I	N/I	N/I	86	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
tronadura_11	5	0	10	15	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
tronadura_16	16	1	33	50	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
tronadura_19	3	9	56	68	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
tronadura_20	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I
tronadura_23	6	41	56	103	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I	N/I

- Pre-cortes

Tronadura	Se solicitó		Se realizó	
	Si	No	Si	No
tronadura_03	X		X	
tronadura_04	X			
tronadura_08	X		X	
tronadura_11	X		X	
tronadura_19	X		N/I	N/I
tronadura_16	X		N/I	N/I
tronadura_20	N/I	N/I	N/I	N/I
tronadura_23		X	N/I	

- Factor de condición

tronadura_03_metandesita bandeada	SAN O	BU EN O	MODE RADO	MAL O	MUY MALO	Factor condición
medias cañas		X				0.66
gritas inducidas		X				
condición discontinuidades menores		X				
presencia bloques inestables		X				
geometría del talud		X				
condición de la cresta				X		

tronadura_03_diorita	SAN O	BU EN O	MODE RADO	MAL O	MUY MALO	Factor condición
medias cañas				X		0.5
gritas inducidas		X				
condición discontinuidades menores			X			
presencia bloques inestables				X		
geometría del talud		X				
condición de la cresta					X	

tronadura_04_diorita	SAN O	BUEN O	MODERA DO	MAL O	MUY MALO	Factor condición
medias cañas					X	0.21
gritas inducidas				X		
condición discontinuidades menores				X		
presencia bloques inestables				X		
geometría del talud				X		

condición de la cresta					X	
------------------------	--	--	--	--	---	--

tronadura_08_diorita	SAN O	BUEN O	MODERA DO	MAL O	MUY MALO	Factor condición
medias cañas		X				0.69
gritas inducidas		X				
condición discontinuidades menores		X				
presencia bloques inestables			X			
geometría del talud		X				
condición de la cresta			X			

tronadura_11_metandesita bandeada	SAN O	BUEN O	MODERA DO	MAL O	MUY MALO	Factor condición
medias cañas					X	0.48
gritas inducidas			X			
condición discontinuidades menores		X				
presencia bloques inestables				X		
geometría del talud			X			
condición de la cresta			X			

tronadura_16_diorita argilizada	SAN O	BUEN O	MODERA DO	MAL O	MUY MALO	Factor condición
medias cañas		X				0.64
gritas inducidas			X			
condición discontinuidades menores		X				
presencia bloques inestables				X		
geometría del talud		X				
condición de la cresta				X		

tronadura_23_diorita silicificada	SAN O	BUEN O	MODERA DO	MAL O	MUY MALO	Factor condición
	NO APLICA, TRONADURA SIN PRE-CORTES					0.81
medias cañas						
gritas inducidas		X				
condición discontinuidades menores		X				
presencia bloques inestables		X				
geometría del talud		X				
condición de la cresta		X				

tronadura_23_dirorita argilizada	SAN O	BUEN O	MODERA DO	MAL O	MUY MALO	Factor condicion
medias cañas	NO APLICA, TRONADURA SIN PRE-CORTES					0.65
gritas inducidas			X			
condición discontinuidades menores		X				
presencia bloques inestables			X			
geometría del talud			X			
condición de la cresta		X				

Banco 450

- Pozos

POZOS					
Tronadura	Sub Perforados	Sobre Perforados	Rango Aceptable	Tot al	% Rango Aceptable
tronadura_02	15	17	85	117	72.64%
tronadura_04_contorno _rampa	27	6	57	90	63.33%
tronadura_06_rampa	38	38	62	138	44.92%
tronadura_09	20	27	50	97	51.54%
tronadura_13	51	14	81	146	55.47%
tronadura_14	17	5	23	45	51.11%
TOTAL	168	107	358	633	56..55 %

- Pre-cortes

Tronadura	Se solicitó		Se realizó	
	Si	No	Si	No
tronadura_02	X		X	
tronadura_04_contorno_rampa	X		X	
tronadura_06_rampa	X		X	
tronadura_09	X		no hay información	
tronadura_13	X		X	
tronadura_14	X		X	

- Factor de condición

tronadura_02_metandesita bandeada	SAN O	BUEN O	MODERA DO	MAL O	MUY MALO	Factor condición
medias cañas		X				0.72
gritas inducidas		X				

condición discontinuidades menores		X				
presencia bloques inestables		X				
geometría del talud		X				
condición de la cresta				X		

tronadura_02_diorita	SAN O	BUEN O	MODERADO	MAL O	MUY MALO	Factor condición
medias cañas		X				0.59
gritas inducidas			X			
condición discontinuidades menores			X			
presencia bloques inestables				X		
geometría del talud		X				
condición de la cresta					X	

tronadura_09_diorita con alt. silicea	SAN O	BUEN O	MODERADO	MAL O	MUY MALO	Factor condición
medias cañas		X				0.73
gritas inducidas		X				
condición discontinuidades menores		X				
presencia bloques inestables		X				
geometría del talud		X				
condición de la cresta			X			

tronadura_09_diorita con alt. argilizada	SAN O	BUEN O	MODERADO	MAL O	MUY MALO	Factor condición
medias cañas					X	0.37
gritas inducidas				X		
condición discontinuidades menores			X			
presencia bloques inestables				X		
geometría del talud			X			
condición de la cresta					X	

tronadura_13_sin pre-cortes	SAN O	BUEN O	MODERADO	MAL O	MUY MALO	Factor condición
medias cañas	No aplica, tronadura se realizó sin pre-cortes					0.35
gritas inducidas				X		
condición discontinuidades menores			X			
presencia bloques inestables				X		
geometría del talud				X		

condición de la cresta					X	
------------------------	--	--	--	--	---	--

tronadura_13_con pre-cortes	SAN O	BUEN O	MODERA DO	MAL O	MUY MALO	Factor condición
medias cañas		X				0.65
gritas inducidas			X			
condición discontinuidades menores		X				
presencia bloques inestables			X			
geometría del talud		X				
condición de la cresta			X			

tronadura_14_sector 1	SAN O	BUEN O	MODERA DO	MAL O	MUY MALO	Factor condición
medias cañas	X					0.65
gritas inducidas		X				
condición discontinuidades menores		X				
presencia bloques inestables			X			
geometría del talud				X		
condición de la cresta			X			

tronadura_14_sector 2	SAN O	BUEN O	MODERA DO	MAL O	MUY MALO	Factor condición
medias cañas			X			0.39
gritas inducidas				X		
condición discontinuidades menores			X			
presencia bloques inestables				X		
geometría del talud				X		
condición de la cresta					X	

Banco 437.5

- Pozos

	POZOS			
Tronadura	Sub Perforados	Sobre Perforados	Rango Aceptable	Total
tronadura_04	15	7	46	68
tronadura_07	24	1	18	43
tronadura_09	9	14	38	61
tronadura_10	7	1	59	67
tronadura_12	44	7	54	105
tronadura_13	N/I	N/I	N/I	N/I

tronadura_15	31	3	66	100
tronadura_18	N/I	N/I	N/I	N/I
tronadura_20	12	0	17	29
tronadura_21	N/I	N/I	N/I	N/I
tronadura_22	N/I	N/I	N/I	N/I
TOTAL	142	33	298	473

- Pre-cortes

Tronadura	Se solicitó		Se realizó	
	Si	No	Si	No
tronadura_04	X		X	
tronadura_07	X			
tronadura_09	X		X	
tronadura_10	X		X	
tronadura_12	X		N/I	
tronadura_13	X		N/I	
tronadura_15	X		X	
tronadura_18	N/I		N/I	
tronadura_20		X		X
tronadura_21	X			
tronadura_22	N/I		N/I	

- Factor de condición

tronadura_04_hierro brechoso	SAN O	BUEN O	MODERADO	MAL O	MUY MALO	Factor condición
medias cañas		X				0.59
gritas inducidas		X				
condición discontinuidades menores				X		
presencia bloques inestables				X		
geometría del talud				X		
condición de la cresta				X		

tronadura_04_andesita con alt. leve a actinolita	SAN O	BUE NO	MODERADO	MA LO	MUY MALO	Factor condición
medias cañas			X			0.62
gritas inducidas			X			
condición discontinuidades menores		X				
presencia bloques inestables			X			
geometría del talud		X				
condición de la cresta			X			

tronadura_04_metandesita bandeada	SAN O	BUEN O	MODERA DO	MAL O	MUY MALO	Factor condición
medias cañas				X		0.59
gritas inducidas			X			
condición discontinuidades menores		X				
presencia bloques inestables			X			
geometría del talud		X				
condición de la cresta			X			

Banco 425

- Pozos

POZOS					
Tronadura	Sub Perforados	Sobre Perforados	Rango Aceptable	% Rango Aceptable	Total
tronadura_03	9	8	42	71.18%	59
tronadura_06	39	1	54	57.44 %	94
tronadura_10	12	4	72	81.81%	88
tronadura_11	20	2	59	72.83%	81
tronadura_12	26	0	48	64.86%	74
tronadura_14	18	11	39	57.35%	68
tronadura_15	27	11	44	53.65%	82
tronadura_17	28	2	127	80.89%	157
tronadura_19	2	14	38	70.37%	54
TOTAL	181	53	523	69.09%	757

- Pre-cortes

Tronadura	Se solicitó		Se realizó	
	Si	No	Si	No
tronadura_03	X		X	
tronadura_06	X		no hay información	
tronadura_10	X		X	
tronadura_11	X		X	
tronadura_12	X		X	
tronadura_14	X		X	
tronadura_15	X		X	
tronadura_17	X		X	
tronadura_19	X		X	

