

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Optimización de la granulometría en función de la
voladura controlada en Mina Marcapunta Norte,
Sociedad Minera El Brocal, Arequipa 2020**

Yesu Duil Zea Revilla
Beltran Jacinto Noa Ppacco

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Arequipa, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

DEDICATORIA

A mis padres Juan y Gloria, quienes con sus consejos, amor, apoyo y paciencia me hicieron un hombre de bien, a ellos gracias por hacer posible que este sueño se haga realidad.

Yesu Duil Zea Revilla

A mi esposa Francisca y mis hijos Greteld, Yeron y Aaron, que son mi motivo para seguir adelante, a mi madre Dominga y mi padre Tomás que supieron guiarme en el buen camino

Beltran Jacinto Noa Ppacco.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Continental y a los docentes que influyeron con sus lecciones y experiencias durante mi formación académica, que forjaron las profesionales que somos hoy en día.

Finalmente, agradecemos a todos aquellos que directa o indirectamente ayudaron en la cristalización de la presente investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1.1 Planteamiento del problema	1
1.1.2 Formulación del problema	2
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	3
1.4 HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES	3
1.4.1 Hipótesis.....	3
1.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	3
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	5
2.2 BASES TEÓRICAS	6
2.2.1 Voladura	6
2.2.2 Fragmentación	11
2.2.3 Sociedad Minera El Brocal S.A.A.	16
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	22
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	26
3.1 MÉTODO, Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	26
3.1.1 Método de investigación.	26
3.1.2 Alcance de la investigación.....	26
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
3.2.1 Tipo de investigación.	27
3.2.2 Nivel de investigación.	27

3.2.3	Diseño de la investigación.	27
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA	28
3.3.1	Población.....	28
3.3.2	Muestra.....	28
3.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	28
3.4.1	Descripción de las técnicas empleadas	28
3.4.2	Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	28
3.4.3	Forma de tratamiento de los datos	29
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		30
4.1	RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	30
4.1.1	Análisis geomecánico – Tajo 1784N	30
4.1.2	Explosivos	39
4.2	PRUEBA DE HIPÓTESIS	40
4.2.1	Hipótesis general.....	43
4.2.2	Hipótesis específicas	50
4.3	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	51
CONCLUSIONES.....		53
RECOMENDACIONES		54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		55
ANEXOS.....		58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de las variables	4
Tabla 2.	Índice de Protodyakonov.	15
Tabla 3.	Datos para el tratamiento geomecánico.	30
Tabla 4.	Resumen de la clasificación geomecánica según Bieniawski.	32
Tabla 5.	Número de estabilidad y radio hidráulico, primer tramo.	37
Tabla 6.	Número de estabilidad y radio hidráulico, primer y segundo tramo.	38
Tabla 7.	Dimensiones para condiciones estables.	39
Tabla 8.	Características de las emulsiones.	39
Tabla 9.	Análisis de la fragmentación antes del diseño.	48
Tabla 10.	Análisis de la fragmentación después del diseño.	49
Tabla 11.	Consumo de explosivo por disparo y por avance.	50
Tabla 12.	Consumo de explosivo.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Voladura lisa.	11
Figura 2.	Distrito minero de Colquijirca.	17
Figura 3.	Mapa de ubicación de la Mina Marcapunta Norte.	18
Figura 4.	Mapa geológico de la mina Marcapunta Norte.	19
Figura 5.	Complejo volcánico Marcapunta-Smelter (Subterráneo Marcapunta).	21
Figura 6.	Tipos de rocas e identificación, descripción y correlación de las unidades estratificadas de rocas.	22
Figura 7.	Diseño de la investigación.	27
Figura 8.	Proyecto Tj 1784N.	31
Figura 9.	Clasificación geomecánica RMR de Bieniawski (1989).	32
Figura 10.	Resistencia al rebote con martillo Schmidt.	33
Figura 11.	Ubicación de sondajes.	34
Figura 12.	Cortes de las perforaciones diamantinas.	35
Figura 13.	Método gráfico y empírico Lunder & Pakalnis.	36
Figura 14.	Método gráfico de estabilidad. TJ 1784N, primer tramo.	36
Figura 15.	Ancho de minado VS Factor de seguridad.	37
Figura 16.	Método gráfico de estabilidad. TJ 1784N primer tramo y segundo tramo.	38
Figura 17.	Bancos mayores al tamaño requerido. La esfera blanca es el tamaño medio requerido en la planta concentradora (8 pulgadas).	40
Figura 18.	Diseño de la malla de perforación y voladura en el TJ 1784N, con brocas de 64 mm.	41
Figura 19.	Diseño de la malla de perforación y voladura en el TJ 1784N, con brocas de 64 mm y 89 mm.	42
Figura 20.	Análisis de fragmentación disparo 1, antes del diseño.	43
Figura 21.	Análisis de fragmentación disparo 2, antes del diseño.	43
Figura 22.	Análisis de fragmentación disparo 3, antes del diseño.	44
Figura 23.	Análisis de fragmentación disparo 4, antes del diseño.	44
Figura 24.	Análisis de fragmentación disparo 5, antes del diseño.	44
Figura 25.	Análisis de fragmentación disparo 6, antes del diseño.	45
Figura 26.	Análisis de fragmentación disparo 1, después del diseño.	45
Figura 27.	Análisis de fragmentación disparo 2, después del diseño.	46
Figura 28.	Análisis de fragmentación disparo 3, después del diseño.	46
Figura 29.	Análisis de fragmentación disparo 4, después del diseño.	46

Figura 30. Análisis de fragmentación disparo 5, después del diseño.....	47
Figura 31. Análisis de fragmentación disparo 6, después del diseño.....	47
Figura 32. Representación gráfica del tamaño de los fragmentos antes del uso del nuevo diseño.....	48
Figura 33. Representación gráfica del tamaño de los fragmentos después del uso del nuevo diseño.....	49

RESUMEN

La fragmentación de la roca con explosivos, es una costumbre diaria en la explotación de las minas sean subterráneas o superficiales. Los tamaños de los fragmentos afectan a las operaciones subsiguientes a la voladura tales como el carguío, el transporte y la preparación mecánica del mineral en la planta concentradora. De modo que en la Mina Marcapunta Norte, se decidió realizar un trabajo de investigación para mejorar la fragmentación del mineral. El punto de partida fue el problema ¿De qué manera la voladura controlada influye en la optimización de la granulometría en la Mina Marcapunta Norte, Sociedad Minera El Brocal? Por tal razón, se planteó como objetivo, Determinar de qué manera la voladura controlada influye en la optimización de la granulometría en la Mina Marcapunta Norte, Sociedad Minera El Brocal. El tipo del trabajo de investigación fue la aplicada y el nivel la descriptiva – explicativa, siendo el diseño el descriptivo comparativo. La población o universo de la investigación, fue compuesta por el conjunto de galerías con que cuenta la Galería 8942E – Nivel 3932 de la Unidad Operativa Marcapunta Norte (Sociedad Minera El Brocal); a partir de ello, la muestra se eligió de manera no probabilística al Tajo 1784N. Como resultados se tiene que se ha realizado dos tipos de mallas en la longitud de minado de acuerdo con el tipo de terreno, en calidad IIIB con taladros de 64 mm. y terreno de calidad IIIA la parte inferior del tajo con taladros de 64 mm., y 7,30 metros de longitud; y en la parte superior con taladros de 89 mm., y 9,00 metros de longitud. El promedio de los fragmentos antes del diseño fue de 10,055 pulgadas, 20% más que 8 pulgadas. Cuando se implementó el tamaño medio fue 6,56 pulgadas y se cumplió con el objetivo de ser menor a 8 pulgadas.

Palabras clave: Voladura, fragmentación, P80, taladros largos

ABSTRACT

The fragmentation of the rock with explosives is a daily custom in the exploitation of mines, whether underground or on the surface. Fragment sizes affect post-blast operations such as loading, transportation, and mechanical ore preparation at the concentrator plant. Therefore, at the Marcapunta Norte Mine, it was decided to carry out research work to improve mineral fragmentation. The starting point was the problem: How does controlled blasting influence the optimization of granulometry at the Marcapunta Norte Mine, Sociedad Minera El Brocal? For this reason, the objective was to determine how controlled blasting influences the optimization of granulometry at the Marcapunta Norte Mine, Sociedad Minera El Brocal. The type of research work was applied and the level descriptive - explanatory, the design being descriptive comparative. The population or universe of the research was made up of the set of galleries in Gallery 8942E - Level 3932 of the Marcapunta Norte Operating Unit (Mining Company El Brocal); from this, the sample was chosen in a non-probabilistic way to Tagus 1784N. As a result, two types of meshes have been made in the mining length according to the type of terrain, in IIIB quality with 64 mm holes and IIIA quality ground in the lower part of the pit with 64 mm holes, and 7,30 meters in length; and in the upper part with holes of 89 mm, and 9.00 meters in length. The average of the pre-design fragments was 10.055 inches, 20% more than 8 inches. When implemented the average size was 6.56 inches and the goal of being less than 8 inches was accomplished.

Keywords: Blasting, fragmentation, P80, long holes drilling.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación titulado “Optimización de la granulometría en función de la voladura controlada en mina Marcapunta norte, sociedad minera El Brocal, Arequipa 2020”, tiene como principal objetivo, optimizar la granulometría en función de la voladura controlada en Tajo 1784N en mina Marcapunta norte, sociedad minera El Brocal, determinando como el factor de carga, y la redistribución de la carga explosiva influye en la optimización de la granulometría.

La mina Marcapunta norte, sociedad minera El Brocal es considerada como mediana minería porque su producción actual es inferior a medio millón de toneladas/año. Emplea actualmente método convencional de “cámaras y pilares corridos” y “tajeos por subniveles con taladros largos” de producción subterránea para la extracción de mineral polimetálico. El trabajo de investigación está compuesto por el capítulo I, que refiere al planteamiento del estudio y formulación del problema, objetivos, justificación e importancia del estudio, hipótesis y descripción de las variables. El capítulo II, trata sobre la fundamentación con el marco teórico, los antecedentes de la investigación, la fundamentación teórica en donde se menciona la ubicación y acceso, seguido con el entorno geológico, y descripción del yacimiento, y la definición de términos básicos. El capítulo III, trata de la metodología de la investigación, diseño de la investigación población y muestra, técnicas e instrumentos utilizados para el presente trabajo. El capítulo IV, trata sobre los resultados de la investigación, con la descripción de la realidad y procesamiento de datos, análisis e interpretación de la información, la discusión de los resultados. Finalmente, se presentan las conclusiones, las recomendaciones, las referencias bibliográficas y los anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Planteamiento del problema

La Perforación y Voladura, es la actividad conjunta unitaria más significativa de toda operación minera y tiene implicancia directa en todas las demás actividades, es decir, el sostenimiento, el acarreo y el transporte, entre otras.

En la minería peruana subterránea, no se le otorga la importancia debida al proceso de perforación y voladura, porque cada disparo no mueve grandes cantidades de material como en la minería superficial, por lo que en diversos casos, los diseños de las mallas de perforación, los controles durante el proceso de perforación, el carguío de taladros, la distribución de retardos y chispeo, quedan a criterio del perforista; lo mencionado anteriormente genera diversos tipos de inconvenientes en la homogeneidad de la granulometría del material arrancado.

En los últimos años, en la unidad operativa Marcapunta Norte de Sociedad Minera El Brocal, se ha determinado que en los procesos de perforación y voladura cotidianos existen muchas limitaciones y que no se toman en cuenta todas las variables encontradas in situ o en lugar del trabajo, tales como la calidad de la roca, la presencia de agua, la existencia de estructuras, etc. Aunque en el diseño de la malla de perforación y voladura, contempla algunos datos como la geomecánica del macizo rocoso, tipo de explosivo, entre otros; sin embargo, no existen la supervisión y la dirección técnica durante la ejecución de la perforación, principalmente, por lo que se tiene la falta de paralelismos entre los taladros, la desviación de los taladros, así como la sobrecarga de los taladros con explosivos para “asegurar” la salida del disparo.

Lo señalado se puede corroborar en el Tajo 1784N, Galería 8942E – Nivel 3932. La inexistencia de la supervisión y dirección técnica durante el proceso de perforación y voladura, conlleva a resultados desfavorables, siendo el más importante la heterogeneidad

en cuanto la granulometría resultante producto de la voladura, porque no se cumple con el P80, es decir, que más del 20% del material excede el tamaño máximo de 8 pulgadas; esto altera el ciclo de minado ya que debe hacerse tareas no programadas para conseguir la homogeneidad en la granulometría, dando origen a nuevos procedimientos, los cuales requieren de tiempo e inversión adicional. En el mencionado Tajo, se ha realizado el seguimiento durante un mes, en el que se obtuvo 25 (veinticinco) casos de banqueo (Banqueo = término usado en minería referido a la formación de bloques de roca con magnitudes de 1 metro cúbico, producto de una voladura masiva, normalmente, en tajeos de taladros largos). Por ello el control involucra un seguimiento programado desde el inicio de la perforación, hasta el momento de chispeo o voladura. Esta preocupación tiene como objetivo obtener la mejora de la granulometría con el uso de explosivos, lo cual nos permitirá tener ciclo de minado continuo, reducir los de costos de perforación y voladura, así como en las operaciones mineras subsiguientes.

Tal como se observa, los resultados no son los esperados; por lo que se propone una voladura controlada, así como el control técnico y la supervisión durante el proceso de la perforación y voladura. En consecuencia, se ha planteado un trabajo de investigación para mejorar la fragmentación del material en la Unidad Operativa Marcapunta Norte.

1.1.2 Formulación del problema

Problema general

¿Cómo optimizar la granulometría en función de la voladura controlada en la Mina Marcapunta Norte, Sociedad Minera El Brocal?

Problemas específicos

¿Cómo la reducción del factor de carga influye en la optimización de la granulometría en la Mina Marcapunta Norte, Sociedad Minera El Brocal?

¿En cuánto la redistribución de la carga explosiva influye en la optimización de la granulometría en la Mina Marcapunta Norte, Sociedad Minera El Brocal?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Optimizar la granulometría en función de la voladura controlada en la mina Marcapunta Norte, Sociedad Minera El Brocal.

1.2.2 Objetivos específicos

Determinar cómo la reducción del factor de carga influye en la optimización de la granulometría en la Mina Marcapunta Norte, Sociedad Minera El Brocal.

Determinar en cuánto la redistribución de la carga explosiva influye en la optimización de la granulometría en la Mina Marcapunta Norte, Sociedad Minera El Brocal.

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El presente trabajo de investigación se realiza para optimizar la fragmentación de la masa rocosa arrancada en la Mina Marcapunta Norte. Se ha determinado que los fragmentos tienen un tamaño de 10,055 pulgadas, de acuerdo con el programa Wip Frag utilizado, de manera que es más grande que las 8 pulgadas requeridas como máximo, es decir, sobrepasa en 20% del tamaño requerido.

El incumplimiento de la fragmentación adecuada para tener mayor eficiencia en las operaciones subsiguientes a la perforación y la voladura de rocas hicieron necesario su desarrollo e implementación.

La importancia radica en que los valores que se estandaricen para los diferentes parámetros de perforación, tales como la longitud del taladro, la desviación máxima y en el caso de la voladura el método de voladura controlada, la cantidad de explosivo, el factor de carga, etc., determinados para la optimización de la fragmentación en el Tajo 1784N, Galería 8942E – Nivel 3932, serán la línea base para la estandarización de tales parámetros en los demás Tajos de la Mina Marcapunta Norte. También es factible el uso de los resultados para otras compañías mineras de similares características de operación.

1.4 HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

1.4.1 Hipótesis

Hipótesis general

La voladura controlada permite optimizar la granulometría en la Mina Marcapunta Norte, Sociedad Minera El Brocal.

Hipótesis específica

La reducción del factor de carga influye significativamente en la optimización de la granulometría en la Mina Marcapunta Norte, Sociedad Minera El Brocal.

La redistribución de la carga explosiva influye significativamente en la optimización de la granulometría en la Mina Marcapunta Norte, Sociedad Minera El Brocal.

1.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1.*Operacionalización de las variables*

Variables	Conceptualización de las Variables	Operacionalización de las variables	
		Dimensiones	Indicadores
Variable X: Voladura controlada	Es el uso de varias técnicas, para tratar de minimizar los daños producidos a la roca remanente en los límites de una labor y/o excavación debido a la acción de la onda de choque subterránea y a las altas presiones de los gases de la explosión, generados durante la detonación de las mezclas explosivas comerciales usadas en un disparo primario.	- Factor de carga.	-Kg/TM -Kg/m ³
		- Distribución de taladros	-Número de taladros.
Variable Y: Fragmentación.	La fragmentación de la masa rocosa en la mina es el comienzo de un extenso proceso para la recuperación del mineral. Al fragmentar la roca esta adquiere un tamaño, que si el adecuado hace posible su transporte.	- Distribución.	-P95. -% pasante.
		- Tamaño de los fragmentos	-Pulgadas, centímetros.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

En la tesis “Reducción de los costos operativos en mina, mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura”, (Jáuregui Aquino, 2009), se concluye que:

Un seguimiento operacional y control operativo de la perforación y voladura, debe abarcar el control del diseño de la malla de perforación según el tipo de roca y cumplimiento del mismo, control del modo de perforación (paralelismo en la perforación de todo el barrenos) y de la adecuada demarcación o delineado de la malla de perforación (puntos de perforación al espaciamiento y burden establecidos en la malla de perforación), control y verificación de un adecuado secuenciamiento de los retardos (tiempo de retardos en los faneles), con respecto a la cara libre en la malla de voladura, además, el control de la distribución de la carga explosiva en mina, permitirá eliminar el exceso de explosivos y accesorios despachados y asegurar toda devolución de remanente.

En el trabajo de investigación “Optimización de las prácticas de perforación y voladura en el avance y producción de la minería mediana escala, Unidad Minera Macdesa”, (Calderon Navarro, 2015), como conclusión principal se dice que:

El diseño y marcado de malla de perforación, así como el uso de guías en las diferentes labores son el punto inicio de una buena voladura y por consecuencia tener un material cuya granulometría es la óptima.

En la tesis “Optimización en los procesos de perforación y voladura en el avance de la rampa en la Mina Bethzabeth – Ecuador”, (Sánchez Villarreal, 2012), se indica que:

A partir de un modelo matemático, se obtendrá una malla de perforación técnica, ajustada a las características físico-mecánicas del macizo rocoso, consiguiendo óptimos

tiempos de perforación, número adecuado de barrenos y cantidad exacta de material explosivo, para tener un avance en el tiempo programado; con esto se minimizarán costos de operación y el tiempo de avance de la rampa.

En la Tesis titulada “Diagnóstico y optimización de disparos en desarrollo horizontal – Mina el Teniente”, (Music Garrido, 2005), se señala que:

Como instrumento de investigación se utilizó las fotografías de los disparos antes y después de cada tronadura y el monitoreo de las vibraciones producto de la tronadura; por consiguiente, la reducción del número de perforación por disparo un 10% reducción de la sobre excavación de un 24% a un 6%, menor exposición al riesgo por desprendimiento y caídas de rocas, disminución de los tiempos de trabajo y disminución de los costos directos de perforación y tronadura.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Voladura

Voladura de rocas.

La voladura de rocas se refiere a la actividad final que se realiza, representando la conclusión exitosa de la guardia. (Chavez Flores, 2018)

A fin de llevar a cabo tal efecto en la roca, se utiliza los explosivos comerciales en el carguío de los taladros previamente perforados; siempre y cuando el disparador tome en consideración la actividad que desarrolla, sabiendo que debe tener gran relevancia y delicadeza en el uso del explosivo. De acuerdo con los criterios de la mecánica de rotura, la voladura es un proceso tridimensional, donde las presiones ocasionadas por explosivos confinados dentro de taladros perforados en la roca, originan una zona de alta concentración de energía que genera dos efectos dinámicos: la fragmentación y el desplazamiento. El primero se refiere al tamaño de los fragmentos producidos a su distribución y porcentajes por tamaños mientras, en cuanto el segundo, se refiere al movimiento de la masa de roca triturada.

Resulta sumamente importante, llevar a cabo una óptima voladura de roca a fin de facilitar la remoción y transporte del material volado, estando relacionada directamente con el uso al que se destinará el material, lo que calificará a la “Mejor” fragmentación. De tal manera, que en la explotación de minerales se pretende generalmente una fragmentación menuda, la cual facilita los procesos posteriores de conminación en las plantas metalúrgicas; mientras que el desplazamiento y la forma de acumulación del material

volado se proyectan de la forma más adecuada para el paleo o acarreo, de acuerdo con el tipo y dimensiones de las palas y vehículos disponibles (Chavez Flores, 2018).

Voladura controlada.

Sabiendo que, tanto en minería subterránea como en minería superficial, los daños causados por un disparo primario de producción se incrementarán en la misma proporción que el peso de las mezclas explosivas usadas en dicho disparo, conlleva a señalar que cualquier reducción en el consumo de las mezclas explosivas, significará una reducción en los daños producidos a la roca remanente y circundante al disparo primario.

Debido a que los daños en las rocas se encuentran detrás de la última fila de los taladros del disparo primario de producción, resultará principalmente en problemas de estabilidad de los taludes en la cara libre del nuevo banco, en minería superficial y en los techos y hastiales de los tajos en minería subterránea, es lógico que la optimización del disparo primario de producción es el paso más importante para controlar los daños a la roca remanente y circundante al disparo primario. Por lo tanto, cuando se va a diseñar un disparo primario de producción es de vital importancia controlar el sobre-fracturamiento y los daños resultantes.

Importancia de la voladura controlada.

Las técnicas de la voladura controlada han sido y están siendo usadas tanto en operaciones mineras subterráneas como superficiales, en obras de construcción civil, canteras y otros desde varias décadas atrás.

Los motivos específicos para el uso de las técnicas de la voladura controlada pueden variar de acuerdo con las aplicaciones específicas, sin embargo, se pueden mencionar las siguientes razones:

- 1) Para mejorar la seguridad del personal y del equipo que se encuentra trabajando en interior mina, evitando tener gran fracturamiento hacia atrás y el debilitamiento de las rocas circundantes.
- 2) Para alcanzar que la roca sea fracturada solamente hasta el límite planificado en el diseño de la excavación a realizarse.
- 3) Para minimizar el fracturamiento hacia atrás de los límites del tajo abierto, y consecuentemente minimizar los costos. Porque como bien se sabe, el excesivo fracturamiento hacia atrás en la parte perimetral del pit, generalmente resultará en un ángulo total de la pared del pit, menor al diseñado y, por lo tanto, será necesario sistemas de soporte artificial muy costoso.

- 4) Para minimizar la dilución, especialmente en operaciones mineras subterráneas, que es el resultado del sobre- fracturamiento en los tajeos.
- 5) Para minimizar el desquinche de las paredes, y de los techos en la parte perimetral de las chimeneas y las galerías; de tal manera de facilitar la instalación de los diversos sistemas de soporte artificial que sean necesarios.
- 6) Para minimizar el fracturamiento detrás de los límites diseñados, porque en el caso de trabajos de construcción civil, esto conllevará al movimiento de muchas toneladas de roca que no fueron especificadas en el contrato.
- 7) También probablemente sea necesario, adicional desquinche y algunos sistemas de sostenimiento artificial para obtener una buena estabilidad a largo plazo de las paredes de las labores correspondientes.
- 8) Para obtener ambientes de trabajo más seguros. Se debe tener presente que, tanto las paredes de los pit, como de las canteras que hayan soportado demasiado fracturamiento hacia atrás más propensas al peligro de la caída de rocas. Las bermas de seguridad construidas para evitar la caída de material suelto serán prácticamente muy angostas e inefectivas.

Mecanismos responsables del sobre fracturamiento de las rocas.

Para controlar el sobre - fracturamiento del macizo rocoso circundante a cualquier excavación, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- 1) Se deben usar explosivos cuidadosamente seleccionadas para el tipo de roca donde se va a llevar a cabo la voladura, de tal manera de evitar la abertura de fisuras provocadas por el gran volumen de gases generados en el momento de la detonación.
- 2) Se debe tratar de mantener a un nivel de vibraciones dentro del macizo rocoso, que no genere fragmentación por estallamiento.
- 3) La resistencia compresiva dinámicas de las rocas (S_{cd}), que circunda al explosivo no debe ser excedida.

Fracturamiento de las rocas por trituramiento y agrietamiento.

Se debe mencionar que una zona anular del material triturado o constantemente comprimido, es generalmente formada inmediatamente alrededor de las paredes de los taladros. Esto ocurrirá donde la máxima onda compresiva radial que se encuentra expandiéndose en forma cilíndrica, logra exceder la deformación de fracturamiento compresiva dinámica o el límite plástico aparente de la roca.

Cuando las ondas de deformación atraviesan una cavidad cilíndrica de la roca que se encuentra ubicada alrededor de los taladros, esta tendrá que soportar un desarrollo muy intenso de deformaciones compresivas tangenciales.

Si estas deformaciones exceden la deformación tensional dinámica de la roca, una zona de fracturas radiales muy pronunciadas, será formada, la cual terminará rápidamente a una distancia radial donde las deformaciones tangenciales de las ondas sean atenuadas a un valor, el cual ya no es capaz de generar nuevos límites.

Fracturamiento de las rocas por estallido.

Cuando una onda de deformación compresiva choca contra una cara libre efectiva, se crea una onda tensional reflejada. Si esta onda tensional reflejada es lo suficientemente fuerte progresivamente ocurrirá un estallido o desplazamiento, desde la cara libre efectiva hacia la parte posterior donde se encuentran los taladros.

Si los esfuerzos producidos por la detonación del explosivo sobrepasan la resistencia tensional dinámica de la roca, entonces el nivel de vibraciones producido por dicha detonación podría también provocar el fracturamiento de las rocas por estallido.

Matemáticamente se puede expresar mediante la siguiente relación:

$$\sigma = E/LW = LW.V.\rho r$$

Dónde:

σ = Esfuerzo

V = Velocidad pico de partícula VPP.

E = Modulo de elasticidad de Young.

LW = Velocidad de la Onda longitudinal o velocidad sísmica.

ρr = Densidad de la roca.

La influencia del tipo de relleno en los contactos y en los planos de discontinuidades, deben ser tomadas en cuenta, de tal manera que se puedan establecer los valores de deformación de la onda, la cual es transmitida y reflejada, por lo tanto, matemáticamente se puede escribir la siguiente relación:

$$S_t = (2S_i)/(1 + N'z)$$
$$S_r = S_i(1 - N'z)/(1 + N'z)$$

Donde:

S_t = Resistencia tensional de la onda transmitida. S_i = Resistencia tensional de la onda incidente.

$N'z$ = Relación de la impedancia de la roca y del relleno.

S_r = Resistencia tensional de la onda reflejada

Por otro lado, para calcular la velocidad pico de partícula se puede emplear la siguiente expresión matemática:

$$V_c = (S_{td})/(\rho_r \cdot WL_v)$$

Donde:

V_c = Velocidad crítica (PPV).

S_{td} = Resistencia tensional dinámica de la roca (MPa).

ρ_r = Densidad de la roca (gr/cc).

WL_v = Velocidad de la onda longitudinal (m/s).

Abertura de grietas por la expansión de los gases.

Los gases producidos por la detonación de los explosivos y que se encuentran a altas presiones y temperaturas, actúan para aperturar aún más las fracturas preexistentes y las que fueron creadas por la onda de deformación, las cuales pueden afectar el control del sobre- fracturamiento, lo cual significa que, en rocas suaves y muy fracturadas, los explosivos usados deben producir un pequeño volumen de gases, para no fracturar a dichas rocas en demasía.

Técnicas de la voladura controlada.

Entre las técnicas de voladura controlada mayormente usadas, tenemos a las siguientes:

- 1) Perforación en línea.
- 2) Pre-corte.
- 3) Voladura de recorte.
- 4) Voladura lisa.
- 5) Voladura suave.
- 6) Voladura amortiguada.

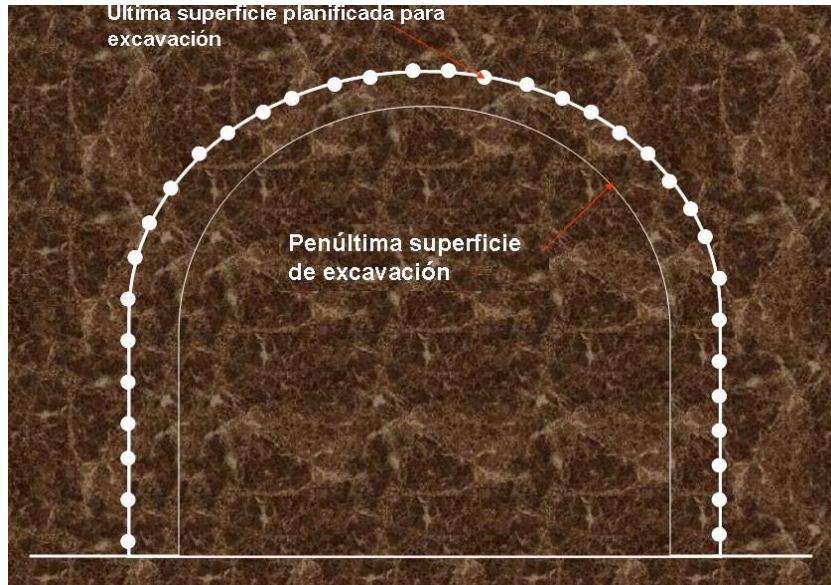


Figura 1. Voladura lisa.

Nota: (EL BROCAL, JRC Ingeniería y Construcción., 2020)

2.2.2 Fragmentación

Generalidades

Se dice que la fragmentación es el acto y el resultado de fragmentar, es decir, hacer que algo se divida en fragmentos (partes, trozos). En minería se entiende a la reducción del tamaño de un bloque grueso a otros pequeños, usando principalmente los explosivos.

La fragmentación de la masa rocosa en la mina, es el inicio de un largo proceso para la recuperación del mineral que se encuentra en las rocas. Al fragmentar la roca, esta adquiere un tamaño que permite realizar su transporte.

En la actualidad en las minas a cielo abierto y en las minas subterráneas, se usan explosivos para arrancar la roca, para posteriormente luego del carguío mediante equipos de carga pueden ser transportadas hasta la planta de tratamiento para la recuperación del mineral.

Para el arranque de la masa rocosa se puede usar ANFO, dinamitas, emulsiones y Anfos pesados, principalmente.

Para fragmentar la masa rocosa dura, se utiliza explosivos de mayor poder rompedor o brisance tal como las emulsiones.

Una clave para lograr un apropiado uso de las mezclas explosivas y lograr los tamaños de roca que requieren las otras etapas del procesamiento del mineral, es un buen diseño de ingeniería. Si la fragmentación es muy gruesa, hay una dificultad en el carguío de las palas y los camiones transportan menos tonelaje por ciclo, lo que se envía a la planta

tiene que tener una mezcla de material fino y grueso de acuerdo con el requerimiento del tratamiento.

Todas las actividades mineras buscan maximizar la productividad del ciclo de minado, por lo que el tamaño de los fragmentos como resultado de la voladura afectará para bien o para mal en el resultado del transporte.

En minería subterránea, el explosivo se usa para construir túneles; lo que se pretende es ejecutar un buen corte en el túnel y que después el equipo de carguío pueda limpiar rápidamente el material fragmentado por la voladura.

Se debe tener en cuenta que la fragmentación de la roca es la primera operación unitaria de la mina. "Y tiene consecuencias en el costo desde el arranque hasta la molienda. Si se hace mal, es difícil de arreglarlo. Es 12% del costo mina afectando el carguío, transporte, chancado, molienda, e impacta en el otro 60% de los costos" (Castro, 2017, p.01).

Predicción de la fragmentación

Los modelos matemáticos de predicción de la granulometría, son utilizados para anticipar el tamaño de los fragmentos antes de realizar la voladura de rocas, por lo que se presenta los más importantes.

Modelo de Bond

Bond en el año 1952, al postular la tercera teoría de la Conminución inicia un nuevo enfoque en la fragmentación de rocas. Su teoría está basada en tres principios: El primero, expresa que el nivel de energía de los productos es mayor que la energía de entrada o alimentación en una cantidad igual a la energía entregada por la Conminución. El segundo, establece que la energía específica requerida es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del diámetro de la partícula. Esto se puede expresar como:

$$W = K[(1/\sqrt{P}) - (1/\sqrt{F})]$$

Dónde:

W = Energía necesaria para reducir un material de tamaño F a tamaño P (kw/h).

K = Constante de proporcionalidad.

P = Tamaño de la partícula producto (pulgadas).

F = Tamaño de la partícula de entrada o alimentación (pulgada).

Según el tercer principio establece que para reducir de un tamaño infinito hasta P igual a 100 micrones, se requiere una energía en kw/h/TM; a esta energía se denomina Work Index (Wi).

$$W_i = (K/\sqrt{100}) - (K/\sqrt{\infty})$$

$$\therefore W = 10W_i[(1/\sqrt{P}) - (1/\sqrt{F})]$$

Como el tamaño no es uniforme, Bond usa la distribución de Gates- Gauding-Schumman (G-G-S) que es como sigue:

$$F(x) = 100. (x/x_0)^\alpha$$

Donde:

$F(x)$ = Porcentaje acumulado pasante en peso.

x = Tamaño de la partícula.

x_0 = Tamaño máximo de una distribución.

α = Constante

$u = x_0. (\alpha/\alpha + 1)$ Tamaño medio.

Modelo de Larsson

Larsson, en 1973, propone un modelo matemático para determinar la abertura de la malla cuadrática por la cual pasa el 50% en peso del material disparado, K50, esto es:

$$K_{50} = V. e^{[0,58 \ln B - 0,145 \ln (S/B) - 1,18 \ln (CE/C) - 0,82]}$$

Donde:

B = Burden (m).

S/B = Relación espaciamento/burden.

CE = Consumo específico de energía (kg/m³).

C = Constante de roca. Equivale al consumo específico de explosivo gelatinoso necesario para fragmentar 1 m³ de roca. Varía entre 0,3 - 0,5 kg/m³.

V = Constante de volabilidad. En este factor se tiene en cuenta la heterogeneidad y la frecuencia de estas en el macizo rocoso.

Modelo SVEDEFO

El modelo desarrollado por la SVEDEFO, relaciona el tamaño promedio k50 con el burden y el factor de carga, más no toma en cuenta efectos secundarios como sobre rotura y dilución. la fórmula utilizada es la siguiente:

$$K_{50} = (B^2. (1,25B / S)^{0.5}) / (5,9. (q/c)^{1.18})$$

Dónde:

K_{50} = Tamaño promedio de los fragmentos de roca volada.

B = Burden (m).

S = Espaciamiento (m).

q = Factor de carga (kg/m³).

c = Constante de roca ($\approx 0,5$).

La distribución de tamaños está dada por la relación siguiente:

$$F(x) = 1 - e^{-(0,76x/K_{50})^{1,35}}$$

Donde:

$F(x)$ = Porcentaje de roca por tonelada con una granulometría menor que (m).

x = Tamaño de los fragmentos (m).

Modelo KUZ-RAM

El modelo de predicción de la fragmentación denominada Kuz- Ram, es una combinación de la ecuación postulada por Kuznetzov y la distribución granulométrica establecida por Rosin-Rammler. Este modelo de distribución de los fragmentos se adapta excelentemente para los fragmentos de roca resultantes de una voladura de producción. La ecuación tiene la forma siguiente:

$$F(x) = 100[1 - e^{-(x/x_0)^a}]$$

Donde:

$F(x)$ = Porcentaje en peso pasante en la malla de abertura x .

x = Abertura de la malla (cm).

x_0 = Tamaño característico de la distribución (cm).

a = Índice de uniformidad.

Por otro lado, la ecuación de Kuznetzov permite estimar el tamaño medio de los fragmentos producidos por una voladura de rocas con diseño geométrico y con una mezcla dada:

$$x = [fr. (qe^{-0,8}) (qb^{1/6}) . ((115/PRP)^{(19/30)})]$$

Donde:

x = Tamaño medio de los fragmentos de la voladura (cm).

qe = Consumo específico de energía (kg/m³).

Qb = Carga explosiva por taladro. PRP = Potencia relativa por peso.

fr = Factor de roca.

Protodyakonov propuso ciertos valores para los factores de roca, se muestran en la tabla 2:

Tabla 2.

Índice de Protodyakonov.

Tipo de roca	Factor de roca (fr)	Índice de Protodyakonov
Rocas muy blandas	3	3-5
Rocas blandas	5	5-8
Rocas medias	7	8-10
Rocas duras fisuradas	10	10-14
Rocas duras homogéneas	13	14-16

Fuente: Elaboración Propia

Haciendo la correspondencia del tamaño medio formulada por Kuznetzov con el 50% en la ecuación de Rosin-Rammler, se tiene como resultado la relación siguiente:

$$x_0 = \bar{x} / ((0,693)^{(1/\alpha)})$$

Cunningham (1987) desarrolló una expresión para determinar el índice de uniformidad "a":

$$a = (2,2 - 14B/\emptyset) \cdot ((1 + S/B)/2)^{0,5} \cdot (1 - ep/B) \cdot ((|lc - lf|/l + 0,1)^{0,1}) \cdot (1/h)$$

Donde:

B = Burden (m).

\emptyset = Diámetro del taladro (mm).

S = Espaciamiento (m).

ep = Desviación típica del error de perforación.

l = Longitud total de carga.

lf = Longitud de carga de fondo.

lc = Longitud de carga de columna.

h = Altura de banco.

2.2.3 Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

Aspectos Generales

Sociedad Minera El Brocal S.A.A. (El Brocal), viene explotando minerales de cobre en el yacimiento de Marcapunta Norte, mediante minado subterráneo, en el cual se proyecta la excavación de un túnel que unirá las dos minas subterráneas Marcapunta Norte y Marcapunta Sur, el cual servirá además para facilitar el traslado del mineral explotado hacia la planta concentradora.

Mediante la Resolución Directoral N° 533-2014-EM/DGAAM, se aprueba el Estudio de Impacto Ambiental de la Mina Marcapunta Zona Norte y Sur, donde se indica la explotación de mina zona Norte de 12,000 TMD a 13,000 TMD, mediante el uso de método convencional de “cámaras y pilares corridos” y “tajeos por subniveles con taladros largos” y la construcción de una galería subterránea de 1,113 m de longitud, así como la construcción de tres (3) nuevas chimeneas.

La geología del yacimiento Marcapunta, constituye una extensión del depósito de Colquijirca y está compuesto por la presencia de enargita y zonas polimetálicas que principalmente contienen calcopirita, tenantita, esfalerita y galena. Marcapunta se caracteriza por haber experimentado un proceso de enriquecimiento supérgeno que ha generado cuerpos de calcosita que se han superpuesto a la zona de enargita y en menor grado a la polimetálica, conformando un sector del depósito que presenta una relativa complejidad mineralógica en términos de intercrecimiento.

El Brocal realiza sus operaciones mineras en la Unidad Minera de Colquijirca, ubicada en el distrito de Tinyahuarco, provincia y región Pasco, a 25 km al Norte del lago Junín, a una altitud promedio de 4,300 msnm. Específicamente, el área de estudio ocupa una extensión aproximada de 70 ha. y está enfocada al área de las minas Marcapunta Norte y Sur.

En la actualidad SMEB también explota - mediante una operación a tajo abierto - un yacimiento polimetálico que contiene minerales de zinc, plomo y plata, la mena que se extrae de la mina, es tratada mediante un proceso de flotación convencional en la Planta Concentradora de Huaraucaca.



Figura 2. Distrito minero de Colquijirca.

Nota: (Sociedad Minera El Brocal S.A., 2019)

Ubicación y accesibilidad

La unidad minera Colquijirca de SMEB, se ubica en el distrito de Tinyahuarco, provincia y departamento de Pasco. Hidrográficamente, el proyecto se ubica en la cuenca del río San Juan, afluente al río Mantaro perteneciente a la vertiente del Atlántico.

El acceso desde Lima se realiza a través de la Carretera Central hasta la ciudad de La Oroya, desde donde se toma la carretera que va hacia la ciudad de Cerro de Pasco. Ambas carreteras se encuentran asfaltadas en su totalidad. El campamento de Colquijirca, se ubica a 15,8 km de la ciudad de Cerro de Pasco. El recorrido desde Lima hasta el campamento de Colquijirca es de aproximadamente 288 km.

Clima

El clima es frío, glacial y con grandes precipitaciones en zonas de cordillera alta donde se encuentran las cumbres nevadas. La temperatura varía entre los -8 °C hasta los 10°C, con una temperatura media anual de 0°C a 7°C.; y llueve de octubre a abril. La humedad relativa, o cantidad de vapor de agua contenida en el aire, oscila entre los promedios anuales de 60% y 84.1%.

Mina Marcapunta- Zonas Norte y Sur

La Mina Marcapunta se encuentra localizada en el distrito minero de Colquijirca, entre los yacimientos de Colquijirca y San Gregorio.

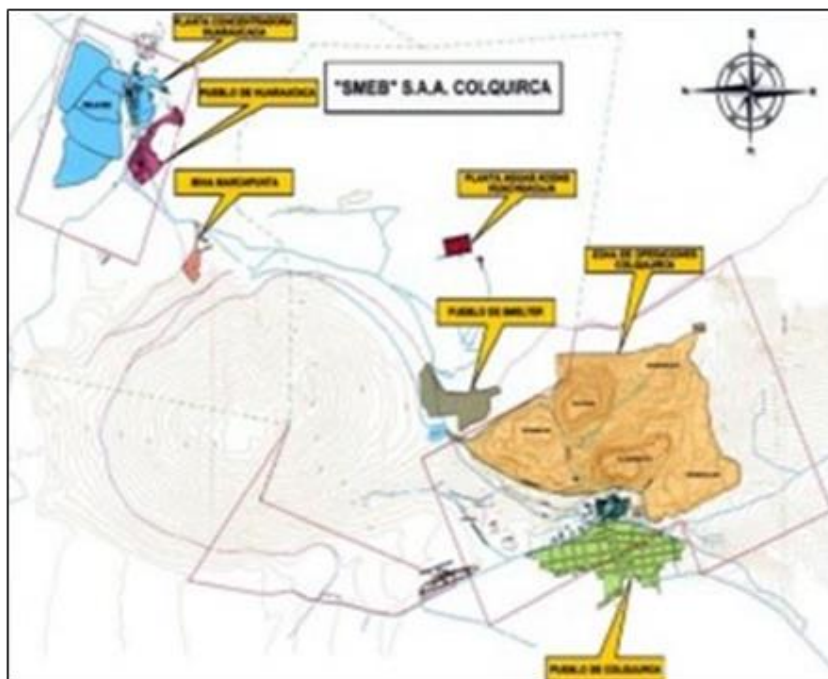


Figura 3. Mapa de ubicación de la Mina Marcapunta Norte.
Nota: (Sociedad Minera El Brocal S.A., 2019)

El sector denominado Marcapunta Norte, localizado inmediatamente al sur del Tajo Norte, constituye la extensión del depósito de Colquijirca. Este sector está compuesto por las dos zonas internas: una conformada por enargita y otra de carácter polimetálico, es decir, de calcopirita, tenantita, esfalerita y galena.

A diferencia de sectores ubicados más al sur, el sector de Marcapunta Norte se caracteriza por haber experimentado un proceso de enriquecimiento supérgeno. Este proceso ha generado cuerpos de calcosita, los cuales se han superpuesto a la zona de enargita y en menor grado a aquella polimetálica compuesta por calcopirita, tenantita, esfalerita y galena, conformando un sector de relativa complejidad mineralógica en términos sobre todo de intercrecimientos (Olivera, 2015).

La estructura mineralizada del Manto Superior Central, está alojada en rocas carbonatadas del Miembro Medio de la Formación Calera y configura una geometría estratiforme subhorizontal de rumbo Norte 160o y buzamiento de 6o Norte. La estructura tiene una longitud aproximada de 520 m por un ancho de 270 m. y una potencia promedio de 21 m. La ocurrencia de estructuras secantes a la estratificación como cuerpos de brechas y vetas es menos común.

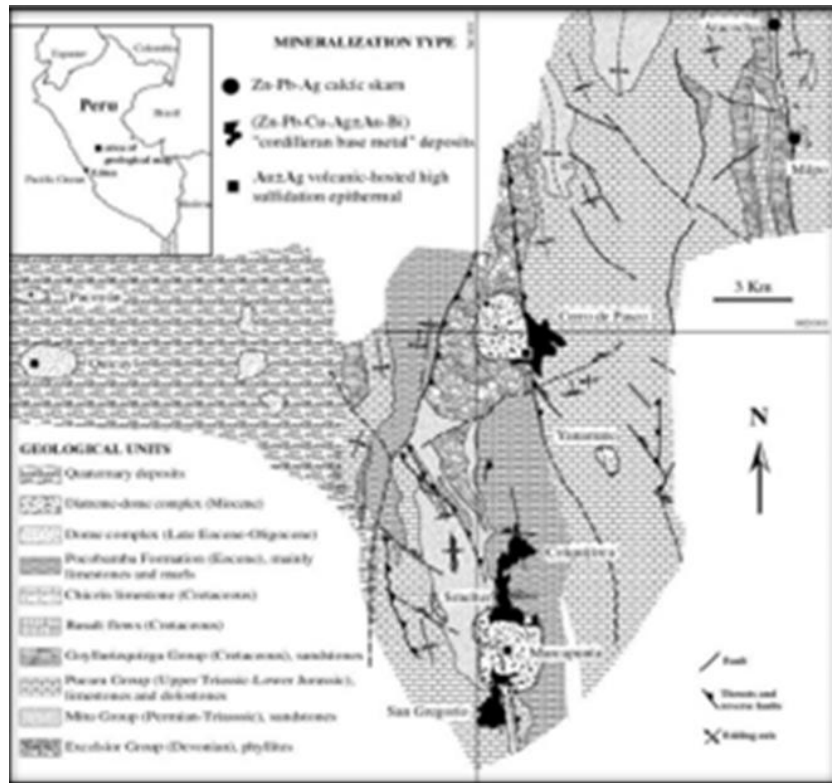


Figura 4. Mapa geológico de la mina Marcapunta Norte.
Nota: (Sociedad Minera El Brocal S.A., 2019)

Mineralógicamente el Manto Superior Central consiste esencialmente de enargita, acompañada de cantidades variables de pirita. Fases menos importantes incluyen luzonita, colusita y aún de menor presencia calcocita, tenantita, ferberita y bismutinita. El Manto Superior Central contiene enargita-luzonita (Cu_3AsS_4) con leyes que varían entre 1 y 3% de Cu y 0.3 y 1% de As. Los contenidos de Ag varían entre 15 y 30 g/t.

Algunos sectores internos del Manto Superior Central presentan valores de oro entre 0.3 y 0.7 gr/t. Los minerales de ganga incluyen cuarzo, alunita, zuniyita y arcillas principalmente caolinita, dickita, illita y esmectita .

Geomorfología

En lo que respecta a la morfología de la mina Marcapunta, resulta de efectos degradatorios ocasionados por los agentes de meteorización que han tenido efecto sobre las rocas existentes, donde las temperaturas han ocasionado un efecto preponderante en el modelo actual, al igual que las precipitaciones y las aguas de escorrentía, tanto superficiales como subterráneas (Sociedad Minera El Brocal S.A., 2019).

Se reconoce una superficie denominada Superficie Puna, siendo en el área de Cerro de Pasco más madura, con una morfología moderadamente plana y ondulada, pero

sin lograr una peneplanización completa, esta superficie se estableció truncando los pliegues de la tectónica Incaica que afectó a los estratos Paleozoico y Mesozoico.

Geología regional

Entre el Mesozoico-Cenozoico, se desarrolló el ciclo Andino comenzando con una depresión geosinclinal y terminando con un gran levantamiento, que elevó las rocas deformadas del geosinclinal a su posición actual. El intervalo entre estos eventos limita dos períodos mayores, uno de relleno del geosinclinal y otro de deformación posterior, los mismos que muestran una considerable superposición de eventos sedimentarios y tectónicos.

El primer período se caracterizó por una sedimentación marina, continental y vulcano-sedimentario. El segundo periodo, dio como resultado la formación de la Cordillera Andina.

En la región existen niveles conglomerádicos y discordancias menores dentro de las Capas Rojas, los mismos que reflejan un activo levantamiento en el área de aporte durante la deposición y evidencia la actividad tectónica dentro de la cuenca en algunos lugares. (INGEMMET, 1995)

El Miembro Shuco de la Formación Pocobamba en Cerro de Pasco y Colquijirca, indica movimientos a lo largo de una gran estructura de dirección N-S denominada Falla Longitudinal durante este intervalo. Este periodo que es más corto, comprende desde el Cretácico Superior hasta la época actual. (Sociedad Minera El Brocal S.A., 2019)

Geología estructural

Los estratos sedimentarios, se encuentran poderosamente plegados en el área de Colquijirca, lo que origina la presencia de diversos anticlinales y sinclinales. Los ejes de los pliegues poseen un rumbo NNW con una proporción alrededor de 35 km. desde Goyllarisquizga hasta Colquijirca por SSE, y un buzamiento suave del eje hacia el sur.

Hidrogeología

El yacimiento de Marcapunta Norte se ubica por debajo del límite norte de Cerro Marcapunta, el mismo que constituye un elemento topográfico prominente que se extiende aproximadamente 320 m. por encima de una gran llanura aluvial que yace al sur y al suroeste.

El río San Juan, principal curso de agua de la zona, se encuentra situado a cuatro kilómetros aproximadamente al sur-suroeste de la zona la minera subterránea, y a una

altitud de 4195 msnm. La base del Tajo Principal de la mina Colquijirca se ubica a 1 km. al Este, a una altitud de aproximadamente 4230 msnm.

La Mina Marcapunta Norte se ubica entre varias instalaciones mineras que existen actualmente en Colquijirca, siendo estas:

- El Tajo Norte, con su base ubicada aproximadamente 1,600 m. al norte-noreste del límite norte de las labores de Marcapunta Norte.
- El Botadero Sur, con un pique ubicado aproximadamente 550 m. al nor-oreste del límite norte.
- Las labores subterráneas antiguas, ubicadas al norte y al este del yacimiento Marcapunta Norte, las mismas que incluyen un túnel que se ubica aproximadamente a 4250 msnm. y que se extiende debajo del yacimiento.
- El socavón Marcapunta Oeste, ubicado aproximadamente a 1,650 m. sursuroeste del límite sur de las labores de Marcapunta Norte. Actualmente, la Galería Principal y el Nivel 310, labores ubicadas ambas por debajo del yacimiento Marcapunta Norte, drenan hacia el Socavón Smelter, cuyo piso se ubica en la cota 4250 msnm. La descarga de agua a través del Socavón Smelter ha variado a lo largo de los últimos 15 años entre 3 y 15 L/s, con un valor promedio de 5.4 L/s (Villegas, 2018).

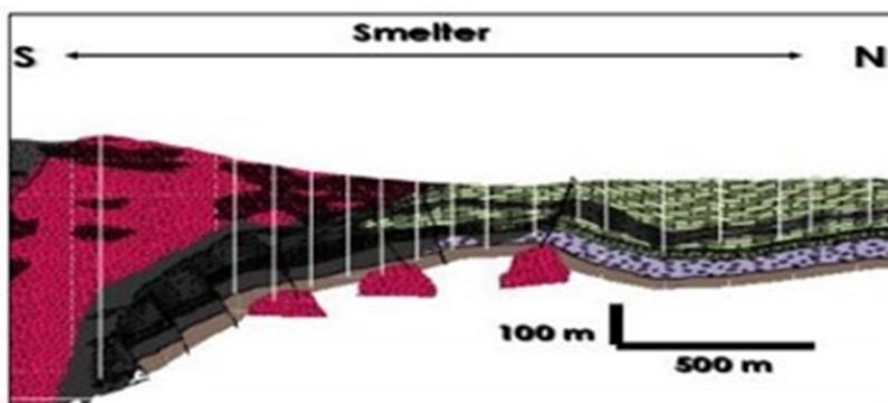


Figura 5. Complejo volcánico Marcapunta-Smelter (Subterráneo Marcapunta).
Nota: (EL BROCAL, JRC Ingeniería y Construcción., 2020)

En la zona de explotación minera de Colquijirca, se encuentran ciertas estructuras geológicas como un anticlinal volcado asimétrico, de rumbo N20W/60NE; las cuales han sido impactadas por dos fallas normales principales, una con orientación N30W/75NE y otra con dirección N55W/80NE. (Hinostroza Sanchez, 2019)

Además, en toda la extensión de Colquijirca se evidencian tres fallas longitudinales: Huachuacaja (con desplazamiento aparente de rumbo), Cerro Pasco con rumbo N-S (falla

inversa) y la última, que continúa al plano axial del anticlinal Mercedes-Chocáyoc, con desplazamiento aparente del bloque, con dirección hacia el sur (falla dextral).

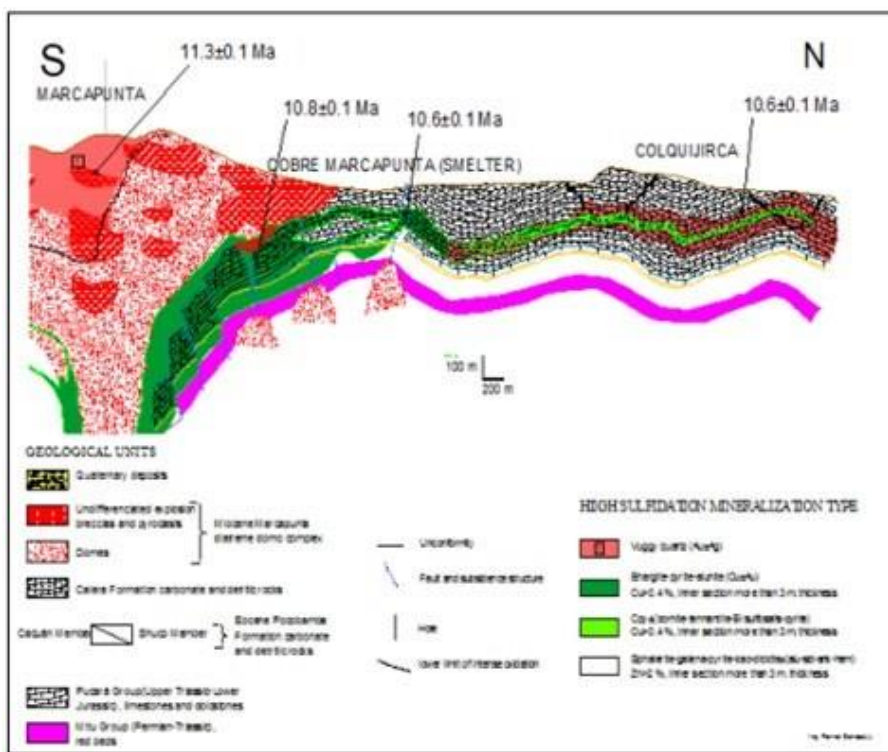


Figura 6. Tipos de rocas e identificación, descripción y correlación de las unidades estratificadas de rocas.

Nota: (Hinostroza Sanchez, 2019).

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Alteración: Es un proceso (hidratación, oxidación, etc.) generalmente tardío y superficial, que transforma un mineral en otro (u otros) (Poma Fernández, 2012)

Burden: Distancia más corta al punto de alivio en el momento que un taladro detona. (Lara Baltazar, 2013)

Carguío: Una vez realizada la voladura de un material, y establecidas las características de dicho material en el polígono correspondiente, el polígono queda dispuesto para su minado en correspondencia con el plan de corto plazo. (ITG, 2004)

Conminución: Es la reducción de tamaños de rocas grandes en fragmentos pequeños de tamaños específicos. Con este proceso, la energía cinética mecánica de una máquina u objeto es transferida a un material produciendo en él, fricciones internas y calor que originan su ruptura. (Marcañupa Curo, 2008)

Control Sense System: Es un software que integra a la perfección todos los aspectos de las operaciones mineras, lo que permite la configuración, gestión, control y

optimización de toda la flota en la operación. Todo esto es posible gracias a las tecnologías GPS, sucesiones de algoritmos de optimización de procesos matemáticos, etc. Esta aplicación provee información importante y precisa tales como las posiciones de las palas en los frentes de minado, seguimiento al acarreo y los puntos de descarga, estados de los equipos en la operación y las productividades de los mismos, tipos de material y sus características mineralógicas y metalúrgicas, registro de los ciclos (tiempos), etc. Cabe recalcar que el optimizador depende de varios parámetros, que el controlador deberá ingresar a manera de estrategia, para que el optimizador llegue a la mejor respuesta. (Vidal, 2005)

Delay: Este estado nos muestra que existe una dilación, retraso o demora operativa, que pueden ser ocasionados por diversas razones, es decir, los equipos se encuentran con el motor en funcionamiento, pero sin realizar una actividad, puesto que se trata de una demora habitual de la operación. (Mine Sense, 2017)

Diámetro de taladro: Diámetro del hoyo perforado. (Mine Sense, 2017)

Espaciamiento: Distancia entre taladros en una misma fila. (Mine Sense, 2017)

Estados de los equipos de campo: Los equipos pueden estar en diversos estados, esto dependerá del desarrollo de labores dentro del campo de operaciones, para ello, en el Control Sense System se han considerado cinco estados que se podrán visualizar a lo largo de las actividades que desarrollan los equipos en campo; entre las actividades tenemos. (ITG, 2004)

Factor de carga & factor de potencia: Describe la cantidad de explosivo usado para romper un peso unitario de roca. El Factor de Carga tiene como unidades dimensionales al kg/m^3 (comúnmente usado en minería subterránea), mientras que el factor de potencia tiene como unidades dimensionales al kg/ton (comúnmente usado en minería superficial). (ITG, 2004)

Fragmentación: “El proceso de fragmentación por voladura busca generar una adecuada distribución de tamaños de roca los cuales pueden ser luego eficientemente cargados, transportados y chancados. En general, una mala fragmentación generará sobrecostos en cada una de las restantes etapas del proceso minero” (Orellana Espinoza, 2017).

Ganga: Material que se descarta al extraer la mena de un yacimiento de mineral, por carecer de valor económico. Generalmente está constituida por especies principalmente cuarzo, mineralógicas terrosas o pétreas, o ciertos minerales metálicos sin valor comercial como pirita (FeS_2), etc. y otros que son perjudiciales como arsenopirita

(FeAsS), rejalgá (AsS), oropimente (As₂S₃), estibina (SbH₃), etc. (Poma Fernández, 2012)

Ignition: Es un software basado en lenguajes de programación y sistemas de generación como servidores web, bases de datos y OPC-UA. Este software permite visualizar datos en tiempo real, ver alarmas, diagnosticar problemas y controlar los procesos de la Planta de producción (Vidal, 2005).

Ley: Concentración de un elemento, metal o mineral en una roca o en una mena, expresada en porcentaje en peso (salvo algunas excepciones). Ley de cut off: Manejada o comandada por el sistema de tratamiento. Ley más baja con la cual un yacimiento puede ser explotado de una manera rentable con respecto a un mineral dado. Ley de cabeza: ley que presenta el material que sale del tajo o, lo que es lo mismo, con la que el material llega a la planta de tratamiento. (ITG, 2004)

Litología: Conjunto de caracteres petrográficos de una masa de rocas que se caracterizan por formaciones, estratos y otros. (ITG, 2004)

Mena: Es la asociación de minerales de los que se puede obtener uno o varios; los cuales a la vez darán un valor económico rentable. La mena está constituida por dos partes: el mineral es la parte relativamente abundante del metal que se desea extraer y que muestra una composición química bien definida y la ganga, la cual se considera como desperdicio o mineral estéril. (Poma Fernández, 2012)

Minerales: Sustancias inorgánicas naturales que poseen una composición y estructura química definida. (Poma Fernández, 2012)

Mineralización: Proceso por el cual se concentran minerales de mena en las rocas, puesto que en la generalidad de los casos los minerales de mena se concentran posteriormente a la formación de la roca. (Poma Fernández, 2012)

Mine Sight: Software especializado en minería, utilizado en la optimización de pit, diseño de mina, Planeamiento a largo plazo (LTP), planeamiento a mediano plazo (MTP), planeamiento a corto plazo (STP) y requerimiento de flota. (Vidal, 2005)

Maint: Nos muestra que el equipo se encuentra en mantenimiento, esto quiere decir, que el equipo se encuentra en el taller con los técnicos de mantenimiento o en el área de mantenimiento. (ITG, 2004)

Outofplan: No se considera al equipo para la optimización y realización del trabajo operativo, debido a diversas causas, por ejemplo, ya sea que un camión nuevo que está por ensamblar y armar o ya sea uno que está desarmado y no podrá ser considerado dentro del plan operativo. Este estado nos muestra que un equipo sale de los cuatro estándares y por lo general no se encuentra considerado en el plan de operaciones. (ITG, 2004)

Ready: El presente estado indica que el equipo se encuentra realizando alguna actividad asignada por el centro de control. En este estado pueden ocurrir todos los cambios de actividad de los equipos de acarreo y carguío. Asimismo, si fuera necesario un cambio de operador del equipo de carguío, obligatoriamente tendrán que realizarse en un estado diferente a ready. Como ya lo mencionamos anteriormente, ready no se podrá visualizar en la zona de estados descrita, ya que los equipos que se encuentran en este estado generalmente se encuentran realizando una actividad propia del ciclo de trabajo. En conclusión, es el tiempo que el equipo se encuentra funcionando con regularidad. (Mine Sense, 2017)

Standby: En este estado sucede algo similar al estado delay, ya que la demora es de carácter operativo. Sin embargo, la diferencia radica en que el equipo se encuentra con el motor apagado, debido a que se trata de una demora que no está relacionada directamente al ciclo regular de la operación. (Mine Sense, 2017)

Voladura: Una vez culminada la perforación, el área de geología realiza el muestreo de los conos generados como producto de la perforación, con la finalidad de enviar las muestras al laboratorio y usar dicha información en la generación de los polígonos de minado. Paso seguido, se inicia el proceso de carguío de taladros siguiendo estrictos protocolos de seguridad y cumplimiento del diseño de carga establecido. Asimismo, las voladuras se llevan a cabo generalmente al medio día. El informe de una voladura contiene información relevante tales como los resultados del monitoreo de vibraciones, presión sonora y detalles particulares de cada disparo. El resultado de cada voladura de mineral es analizado al detalle, debido a su relevancia en las siguientes etapas del proceso. (ITG, 2004)

Voladura controlada: Es la descripción, análisis y discusión de una serie de técnicas que sirven para mejorar la competencia del macizo rocoso en la parte perimetral de una labor y/o excavación cualquiera. (Mine Sense, 2017)

Yacimiento: Proviene de procesos geológicos que llevan a la concentración anómala, sea en volumen de explotación de minerales de interés económico. Los yacimientos de cobre porfídico se caracterizan por la presencia de vetillas mineralizadas y no mineralizadas que constituyen parte en su evolución. (ITG, 2004)

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 MÉTODO, Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Método de investigación.

El método utilizado para la investigación es el científico con todos sus procedimientos y como método específico el descriptivo, el que nos ha ayudado a buscar la información de los hechos o fenómenos de la realidad, recopilando los datos sobre las variables investigadas mediante técnicas e instrumentos adecuados.

La descriptiva "comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de los fenómenos". El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes, o sobre una persona, grupo o cosa, se conduce o funciona en el presente.

Los estudios descriptivos miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar. Desde el punto de vista científico describir es medir. En el estudio descriptivo seleccionamos una serie de cuestiones y se evalúa cada una de ellas independientemente, en este caso para el control de granulometría en función de la voladura controlada considerándose como pre experimental.

3.1.2 Alcance de la investigación.

Involucra las operaciones de voladura realizadas en el Tajo 1784N.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 Tipo de investigación.

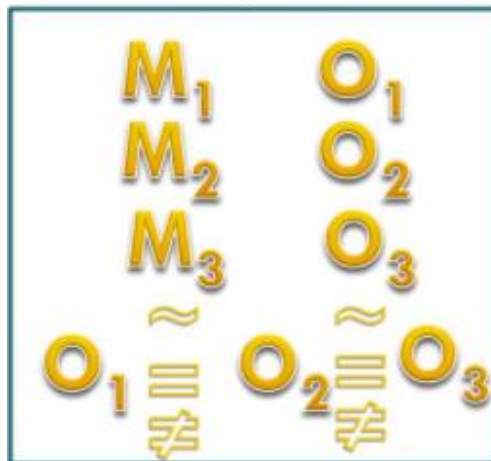
El tipo de investigación es aplicada, ya que tiene como objetivo crear nueva tecnología a partir de conocimientos adquiridos a través de la investigación básica, para determinar si estos pueden ser útilmente aplicados para propósitos definidos.

3.2.2 Nivel de investigación.

El nivel de investigación es el descriptivo-explicativo, porque determina características del fenómeno y establece relación entre algunas variables; señalando formas de conducta y estableciendo comportamientos concretos; permite ver la causa y el efecto.

3.2.3 Diseño de la investigación.

Para la investigación hemos utilizado el diseño de la investigación descriptiva comparativa que tiene el siguiente esquema:



Donde:

M = Muestra

O = Observación de las muestras

Figura 7. Diseño de la investigación

Nota: Elaboración Propia

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 Población

La población o universo de investigación, está conformado por el conjunto de galerías con que cuenta la Galería 8942E – Nivel 3932 de la Unidad Operativa Marcapunta Norte, Sociedad Minera El Brocal.

3.3.2 Muestra

La muestra de investigación es el Tajo 1784N, que es prioridad de acuerdo con el plan mensual y también denominado como labor crítica.

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1 Descripción de las técnicas empleadas

- Búsqueda de información bibliográfica. - Se utilizó esta técnica de revisión bibliográfica para tener una mejor información y comprensión acerca del diseño de malla de perforación y voladura subterránea, así mismo, del modelo de Holmberg para la elaboración del diseño.
- Observación directa. - Se realizó observaciones directas a través de visitas periódicas al área en estudio, durante la estancia en la mina Huancapeti, donde se pudo observar que la fragmentación del material volado no era homogénea.
- Entrevistas no estructuradas. - La entrevista no estructurada o informal, se realizó por medio de conversaciones y preguntas sencillas e informales al operador de turno, en el área de estudio, con la finalidad de buscar opiniones y obtener más información acerca del diseño de malla empleado.

3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos.

Herramientas

Observaciones.

Hojas de registro (Check list) Entrevistas..

Medición de la malla de perforación y voladura Programación y orden de trabajo.

Equipos

Cámara fotográfica.

Software

Microsoft Office (Word, Excel) Split Desktop.
WIP FRAG.

Locales o lugares

Campamento minero (oficinas).
Labores mineras.

3.4.3 Forma de tratamiento de los datos

El procesamiento de datos fue informático, empleando el programa Microsoft Excel para el tratamiento de datos estadísticamente. El análisis descriptivo, se realizó mediante la clasificación y sistematización de información en cuadros y gráficos. Para validar los resultados obtenidos a partir de la simulación descrita en la sección anterior, se realizará la primera voladura con los nuevos parámetros de perforación y voladura. El análisis de la fragmentación, será realizado con el software WIP FRAG (Wipe ware), Se realizará comparaciones de resultados antes y después de aplicar los cambios en perforación y voladura. En cuanto al procesamiento estadístico, se elaborarán cuadros comparativos, obteniendo media y promedio de los resultados operativos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

4.1.1 Análisis geomecánico – Tajo 1784N

Para el cumplimiento adecuado del trabajo de investigación se ha realizado la evaluación geomecánica del Tajo 1784N, esto nos permitirá rediseñar las mallas de perforación y voladura, y aplicar la voladura controlada de acuerdo con la calidad de la roca.

A continuación, se evaluará la estabilidad del Tajo 1784N con las siguientes dimensiones de minado:

Tabla 3.

Datos para el tratamiento geomecánico.

Primer Tramo	Segundo Tramo
Altura total: 40 m	Altura total: 23 m
Longitud de minado: 37.75 m.	Longitud de minado: 7.76 m.
Ancho de minado: 8m.	Ancho de minado: 8m

Fuente: Departamento de geomecánica.

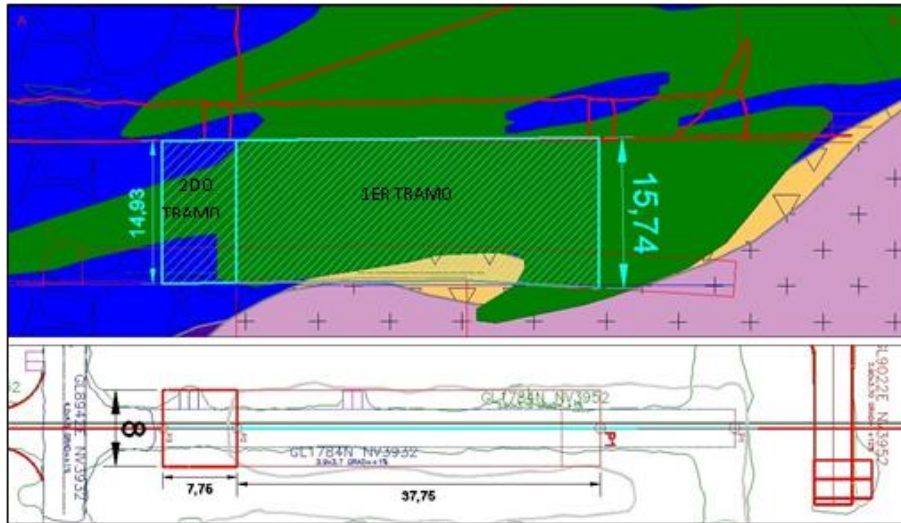


Figura 8. Proyecto Tj 1784N.
Nota: (Sociedad Minera El Brocal S.A., 2019)

En la figura 8, se puede apreciar la geología y la litoestructura en la cual se desarrollará el proyecto del tajo Tj 1784N.

Condición actual

Tipo de roca: El tajo 1784N se encuentra emplazado en un depósito de brechas y vulcanoclastos de regular calidad geomecánica, esta ha sido determinada de ser de calidad Regular IIIB (según Bieniawski 1989) a una profundidad de 310 metros.

El dominio estructural predominante en la zona donde se emplazará el Tj 1784N, cuenta con 03 familias de estructuras principales: J1: 35°/140°, J2: 75°/300° y J3: 25°/280°. El sistema de estructuras crítico para la estabilidad del Tj 1784N será el sistema de fracturamiento J1, ya que se encuentra dispuesta de forma perpendicular a la labor y con un bajo ángulo de buzamiento de 35°.

Parameter		Range of values									
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	For this low range-uniaxial compressive test is preferred				
		Uniaxial comp. strength	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa		
		Rating	15	12	7	4	2	1	0		
2	Drill core Quality RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%				
	Rating		20	17	13	8	3				
3	Spacing of discontinuities		>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm				
	Rating		20	15	10	8	5				
4	Condition of discontinuities (See E)		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Couge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation >5 mm Continuous				
	Rating		30	25	20	10	0				
5	Ground water	Inflow per 10 m tunnel length (l/m)	None	< 10	10-25	25-125	> 125				
		(Joint water press)/(Mayor principal σ)	0	< 0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5				
		General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing				
	Rating		15	10	7	4	0				
STRIKE PERPENDICULAR TO TUNNEL AXIS							Strike parallel to Tunnel Axis		Irrespective of Strike Dip 0°-20°		
Drive with dip		Drive against dip									
Dip 45-90	Dip 20-45	Dip 45-90	Dip 20-45	Dip 45-90	Dip 20-45						
Very favorable	Favorable	Medium	Unfavorable	Very unfavorable	Medium	Medium					
0		-2		-5		-10		-12		-5	

Figura 9. Clasificación geomecánica RMR

Nota: (Bieniawski, 1989)

En la figura 9, se tiene el resumen de los parámetros que se tienen en cuenta en la clasificación de la masa rocosa, según Bieniawski. A partir de ellos se determina el índice de calidad RMR, resumen se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 4.

Resumen de la clasificación geomecánica según Bieniawski.

Clase Macizo Rocoso	Descripción	RMR
I	Macizo rocoso de excelente calidad	81-100
II	Macizo rocoso de buena calidad	61-80
III	Macizo rocoso regular	41-60
IV	Macizo rocoso de mala calidad	21-40
V	Macizo rocoso de muy mala calidad	0-20

Fuente: (Bieniawski, 1989)

EL BROCAL
Sociedad Minera El Brocal S.A.

RESISTENCIA AL REBOTE CON EL MARTILLO DE SCHMIDT TIPO L

FECHA: 17/07/2019
ZONA: Tj 1784N - NV 3972
REALIZADO POR: ALEX CHAMBE

LABOR	NIVEL	COORDENADAS UTM		NUMERO DE REBOTE								PROMEDIO (rc [MPa])			
Tj 1784N	3972	361784.5	8808956.5	40	32	40	42	46	32	34	32	34	42	37	74

N° de Celda	COORDENADAS UTM				VALORACION DEL MINERO ACCORDO (R, N, R)
	N	E	N	E	
1	361784.5	8808956.5	361784.5	8808956.5	1

PARÁMETROS		RANGO DE VALORES																								
CONDICIÓN DE ÁMBITO	RESISTENCIA	1-25	26-50	51-75	76-100	101-125	126-150	151-175	176-200	201-225	226-250	251-275	276-300	301-325	326-350	351-375	376-400	401-425	426-450	451-475	476-500	501-525	526-550	551-575	576-600	
	ESTRUCTURAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	ALTERACION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	DESPACHAMIENTOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	VALOR TOTAL	VALOR TOTAL																								

INDICE DE RESISTENCIA IDENTIFICACION DE CAMPO

1. Sin rebote con golpe fuerte con el punto de martillo de golpe se desmorona con un golpe fuerte

2. Sin rebote con golpes con unido sin rebote. Nunca por debajo de la raya con golpe fuerte de martillo de punto

3. No se golpea o desmorona por unido. La muestra se rompe con golpe fuerte del martillo.

4. La muestra se rompe con golpe de un golpe de martillo.

5. Se resaca entre golpe de martillo con golpe fuerte.

6. Toda la muestra se rompe de la muestra con el martillo.

INDICE DE ALTERACION DESCRIPCION

1. Sin: Ningun signo de alteracion en el material tested. Cuando la descomposicion sobre cualquier de los constituyentes principales.

2. PO: La descomposicion solo alteracion de trozos sencillos y superf de las. El material tested desmoronarse completamente al haber sido golpeado con el martillo de punto.

3. M: Tanto de la masa del test. Hacia una descomposicion por desmenuzamiento en un estado de trozos sencillos o desmoronarse en pedruzcos sencillos de trozos sencillos o como trozos sencillos.

4. M M M: Más de la mitad de la masa del test. Hacia una descomposicion por desmenuzamiento en un estado de trozos sencillos o desmoronarse en pedruzcos sencillos o como trozos sencillos.

5. M M M M M: Toda el material tested descomposicion por desmenuzamiento en un estado de trozos sencillos o desmoronarse en pedruzcos sencillos o como trozos sencillos.

Figura 10. Resistencia al rebote con martillo Schmidt.
Fuente: (Sociedad Minera El Brocal S.A., 2019)

La figura 10, muestra los resultados obtenidos con el uso del martillo Schmidt, para la medición de la resistencia a compresión de la roca.

Análisis de sondajes

Se efectuó el análisis de los sondajes diamantinos con códigos:

- OC-518-18 (NEGATIVO)

La ubicación de los sondajes diamantinos.

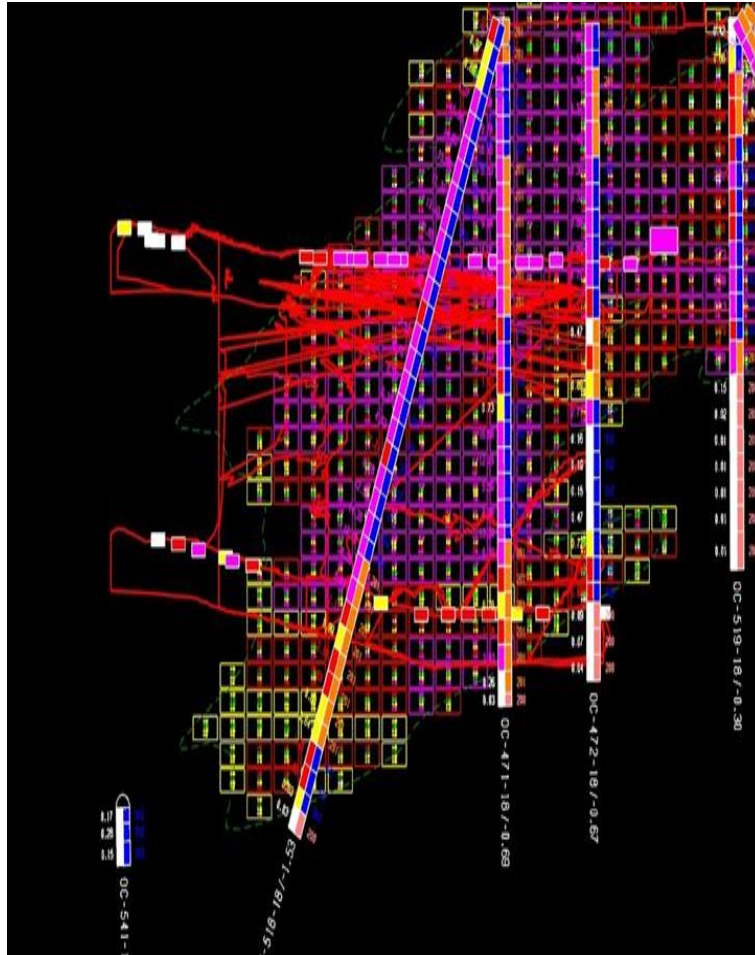


Figura 11. Ubicación de sondajes.

Nota: Elaboración Propia

La figura 11, indica los lugares en los que se ha realizado los diferentes sondajes diamantinos.

- OC-518-18 (NEGATIVO)

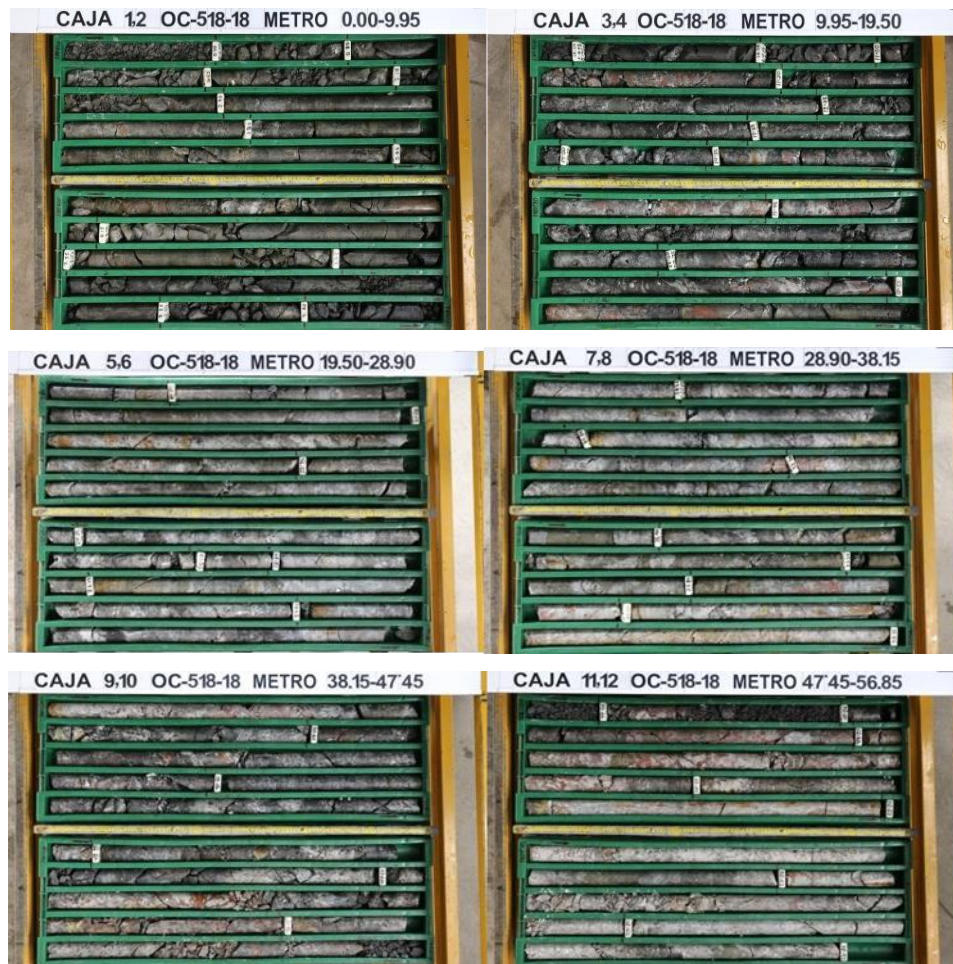


Figura 12. Cortes de las perforaciones diamantinas.
Nota: Elaboración Propia

La figura 12, muestra de qué manera se realiza la colocación de los testigos de las perforaciones diamantinas para su posterior análisis.

Según los cortes diamantinas el macizo rocoso presente en el hastial derecho de la GL 1784N – NV 3932 es de mala calidad geomecánica IVA-IVB (según Bieniawski RMR 89')

Evaluación Geomecánica

- A través del método empírico y gráfico de Lunder & Pakalnis, se va a determinar la longitud mínima de pilar entre la GL 8942E y el TJ 1784N.

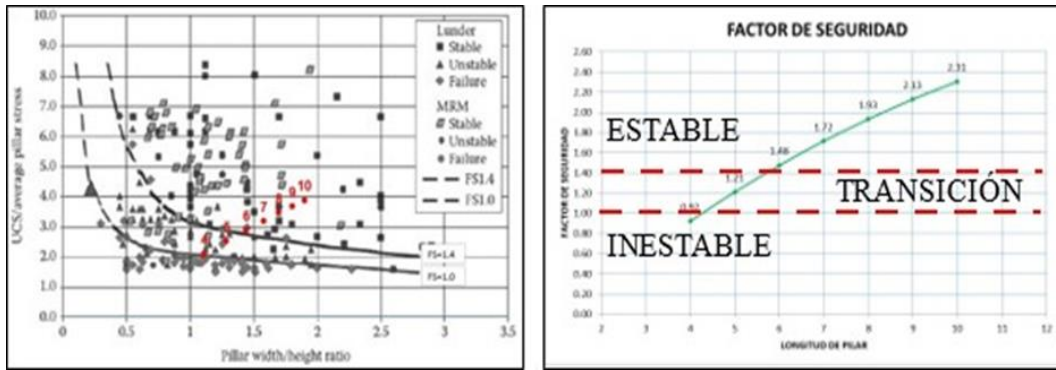


Figura 13. Método gráfico y empírico Lunder & Pakalnis.

Nota: Elaboración propia.

De acuerdo con la figura 13, se ha determinado que la longitud del pilar mínima entre la GL 8942E y el TJ 1784N es 6 metros con un factor de seguridad de 1.48.

- b. Calcularemos la estabilidad del minado del TJ 1784N, primer tramo mediante el método gráfico de estabilidad, considerando las siguientes dimensiones:
- Altura total: 40 m.
 - Longitud de minado: 37.75 m.
 - Ancho de minado: 8m.

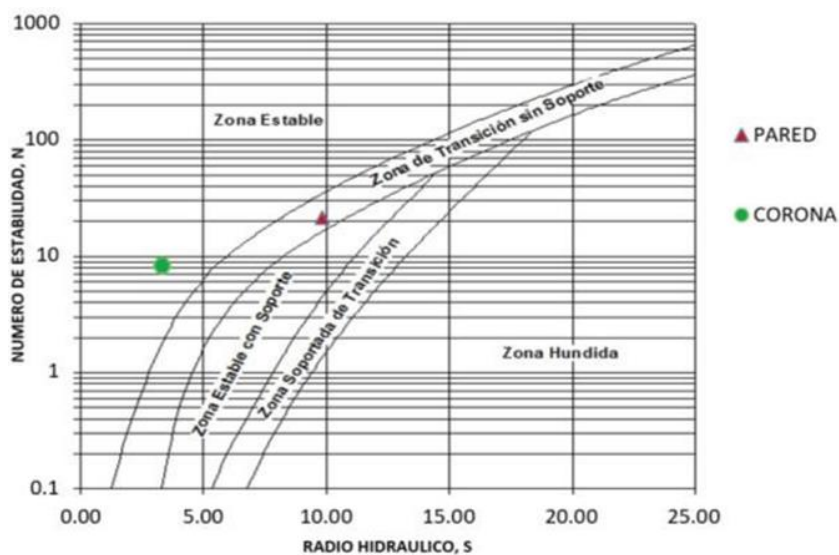


Figura 14. Método gráfico de estabilidad. TJ 1784N, primer tramo.

Nota: Elaboración propia.

Con la figura 14, se puede determinar de manera gráfica la estabilidad del Tj 1784N, en su primer tramo.

Según el gráfico de estabilidad, la corona se mantendrá en condiciones estables, mientras que las paredes presentarán inestabilidades con una probabilidad de falla de 24% (riesgo moderado).

Para mantener en condiciones estables el minado del TJ 1784N, se tiene que disminuir la longitud de minado. A través de la probabilidad de falla calcularemos la longitud de minada máxima.

Tabla 5.

Número de estabilidad y radio hidráulico, primer tramo.

Superficie del tajo	Numero de estabilidad, N							Radio hidráulico		
	Q'	sc (MPa)	s1 (MPa)	A	B	C	N	Área m ²	Perímetro	RH
Corona	7.3	74.0	8.4	0.9	0.6	2.0	8.2	304	92	3.3
Pared	7.3	74.0	1.6	1.0	0.4	8.0	21.1	1558	158	9.9

Fuente: Departamento de Geomecánica.

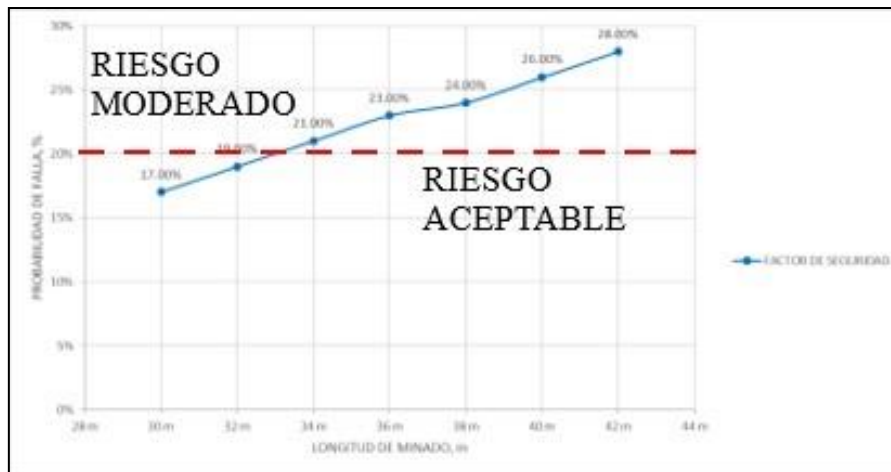


Figura 15. Ancho de minado VS Factor de seguridad

Nota: Elaboración propia

Como se observa en el gráfico de la figura 15, la longitud máxima de minado es 32 metros con una probabilidad de falla de 19% (riesgo aceptable).

- c. Calcularemos la estabilidad del minado del TJ 1784N 2do tramo mediante el método gráfico de estabilidad, considerando las siguientes dimensiones:
 - Altura total: 40 m.
 - Longitud de minado: 32 m. (primer tramo) + 7.76 m. (segundo tramo)

- Ancho de minado: 8m.

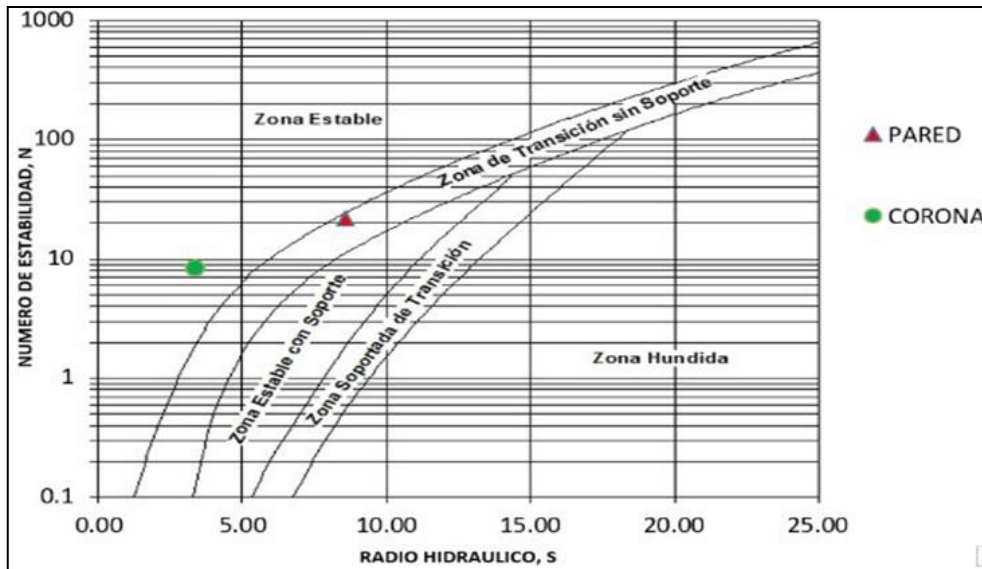


Figura 16. Método gráfico de estabilidad. TJ 1784N primer tramo y segundo tramo.
Nota: Elaboración propia

En la Figura anterior, igual que la figura 16, se puede determinar la estabilidad del Tj 1784N gráficamente en los tramos primero y segundo.

Tabla 6.

Número de estabilidad y radio hidráulico, primer y segundo tramo.

Superficie del tajo	Q'	Numero de estabilidad, N			Radio hidráulico					
		sc (MPa)	s1 (MPa)	A	B	C	N	Área m ²	Perímetro	RH
Corona	7.3	74.0	8.4	0.9	0.6	2.0	8.2	320	96	3.3
Pared	7.3	74.0	1.9	1.0	0.4	8.0	21.1	1200	140	8.6

Fuente: Departamento de geomecánica.

d. Indicaciones Geomecánicas

- Considerar una longitud mínima de 6 metros entre la Galería 8942E y el TJ 1784N.
- Reubicar el SLOT 5 metros hacia el sur.

En la Tabla 6, se tienen las dimensiones de minado del TJ 1784N, con tales dimensiones se mantendrá en condiciones estables.

Tabla 7.*Dimensiones para condiciones estables.*

Primer tramo	Segundo tramo
Altura total: 40 m	Altura total: 23 m
Longitud de minado: 32 m.	Longitud de minado: 7.76 m.
Ancho de minado: 8m.	Ancho de minado: 8m

Fuente: Departamento de Geomecánica.

Con los resultados de la Tabla 7, se tiene que considerar en el diseño de la malla de perforación y voladura un offset de 0.5 m. hacia la pared Este y Oeste del TJ 1784N.

Luego de terminado el minado del TJ 1784N, se tiene que rellenar inmediatamente desde el NV 3922 hasta el 3932, no se puede minar el TJ 1756N (NV 39523972) ni el TJ 1770N hasta que se culmine el relleno del TJ 1784N.

4.1.2 Explosivos

De acuerdo con el estudio geomecánico se ha determinado que el TJ 1784N se encuentra emplazado dentro de brechas y vulcanoclastos de regular calidad geomecánica, es decir, de calidad Regular IIIB (41-50), según la clasificación de Bieniawski 1989 y a una profundidad de 310 metros.

La información anterior es importante porque se va a minar a una roca de calidad Regular IIIB (41-50), por lo que se ha decidido el uso de explosivos emulsiones y que serán elegidos de acuerdo con la necesidad de la voladura.

Tabla 8.*Características de las emulsiones.*

	Kg. X Un.	Kg. X Caja	Un. X Caja
EMULNOR 1000 - 1 1/2x12	0.38	25	66
EMULNOR 1000 - 1 1/4x12	0.25	25	100
EMULNOR 3000 - 1 1/2x12	0.39	25	64
EMULNOR 3000 - 1 1/4x12	0.27	25	94
EMULNOR 5000 - 1 1/4x12	0.27	25	94
EMULNOR 5000 - 1 1/2x12	0.40	25	62

Fuente: FAMESA.

En la Tabla 8, se puede observar las características de las emulsiones encartuchadas de EMULNOR de Famesa.

4.2 PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para la prueba de hipótesis, se inició considerando que en el periodo de un mes, se ha tenido bancos mayores a 1 metro, debiendo tener como resultado establecido que el 80% de los fragmentos de la voladura, deberían ser menores a 8 pulgadas tal como lo solicita la planta de chancado de la planta concentradora.

Para establecer la línea base respecto a los tamaños de los fragmentos, se realizó la toma de fotografías después de cada disparo en los tajos de producción. La presencia de los bancos se puede observar en las siguientes fotografías que fueron tomadas después de los disparos.



Figura 17. Bancos mayores al tamaño requerido. La esfera blanca es el tamaño medio requerido en la planta concentradora (8 pulgadas).

Nota: Elaboración propia

La discusión de la fragmentación antes y después de la implementación del trabajo de investigación se hará más adelante.

Del análisis realizado, se ha determinado que los bancos de gran tamaño son la mala distribución de los taladros y el uso inadecuado de los explosivos. En función de este criterio, se ha determinado realizar un nuevo diseño de la malla de perforación y voladura para tener una buena fragmentación.

En la Figura 17, se tiene plantilla o malla de perforación y voladura diseñada para la explotación del TJ 1784N. Este diseño está considerado para la perforación de los taladros con el uso de las brocas de 64 mm. La perforación será con taladros largos en forma de abanicos.

De otra manera, si es posible se hará perforación de los taladros largos con brocas de 64 mm. y brocas de 89 mm., Las condiciones se ameritan tal como se puede observar en la figura 18.

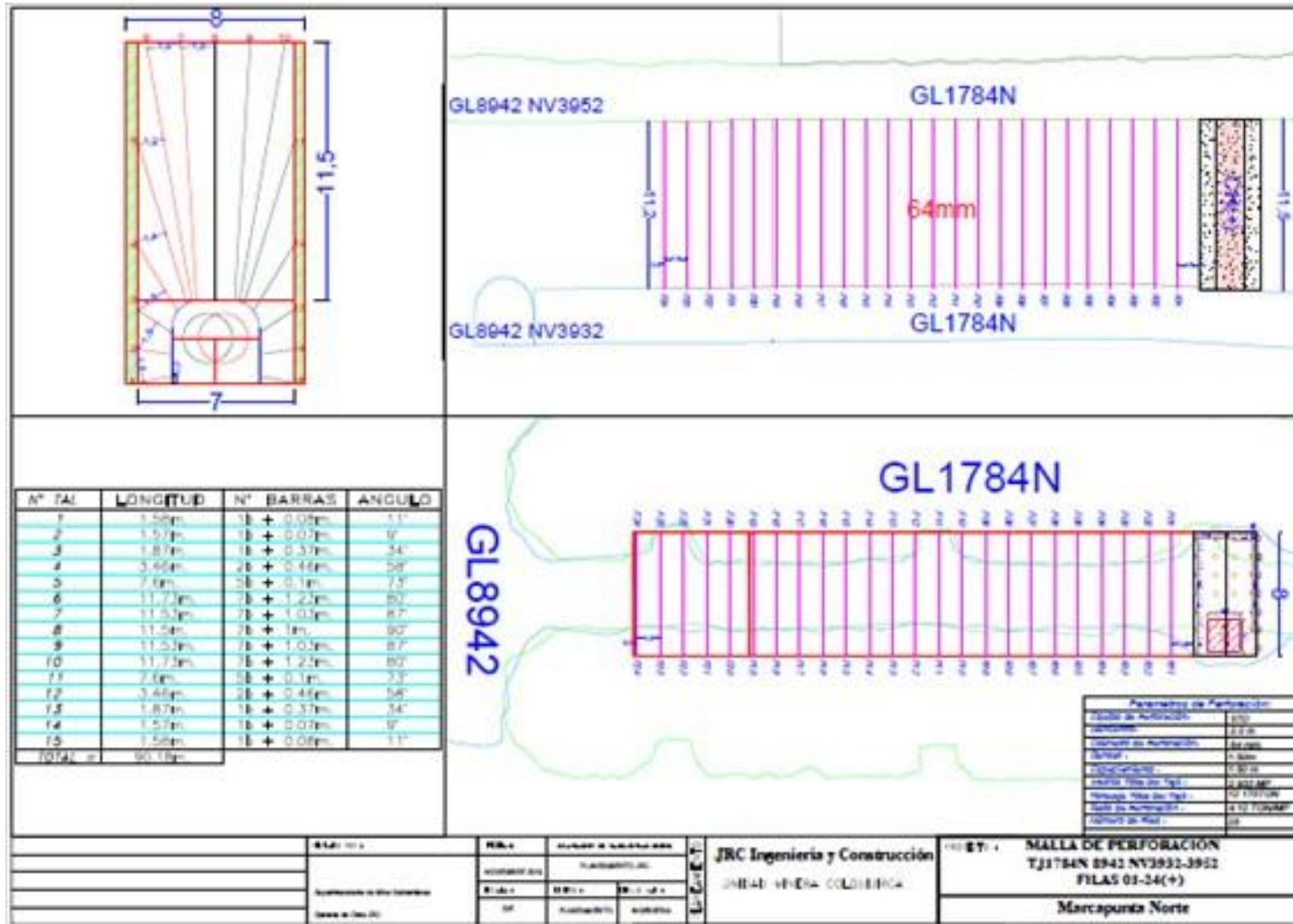


Figura 18. Diseño de la malla de perforación y voladura en el TJ 1784N, con brocas de 64 mm.
Nota: (EL BROCAL, JRC Ingeniería y Construcción., 2020)

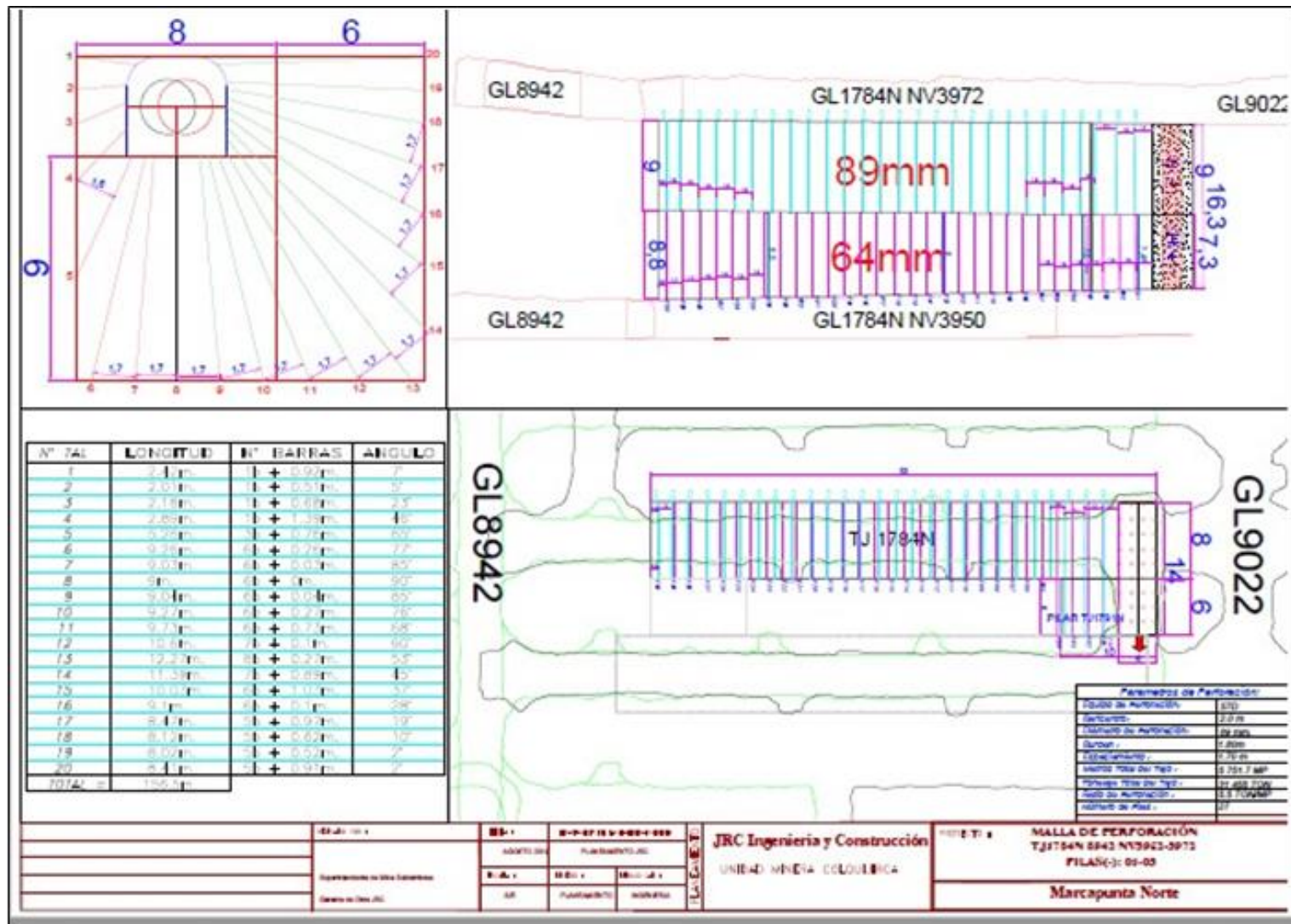


Figura 19. Diseño de la malla de perforación y voladura en el TJ 1784N, con brocas de 64 mm y 89 mm.
Nota: (EL BROCAL, JRC Ingeniería y Construcción., 2020)

Es necesario indicar que los nuevos diseños se basan en el estudio geomecánico realizado en el Tajo TJ 784N; es decir, tener en cuenta que la roca es calidad IIIB, o sea, regular y como también se ha identificado que existe en algunos casos sobre rotura, se realizará voladura controlada en los casos necesarios.

4.2.1 Hipótesis general

a) Antes del trabajo de investigación

Se ha realizado seis disparos para establecer la línea base de la investigación, estos resultados se presentan a continuación:

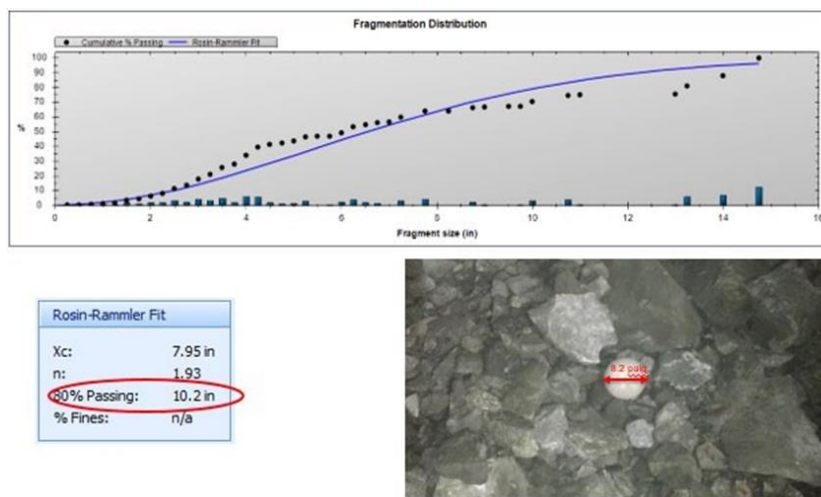


Figura 20. Análisis de fragmentación disparo 1, antes del diseño.
Nota: Elaboración propia.

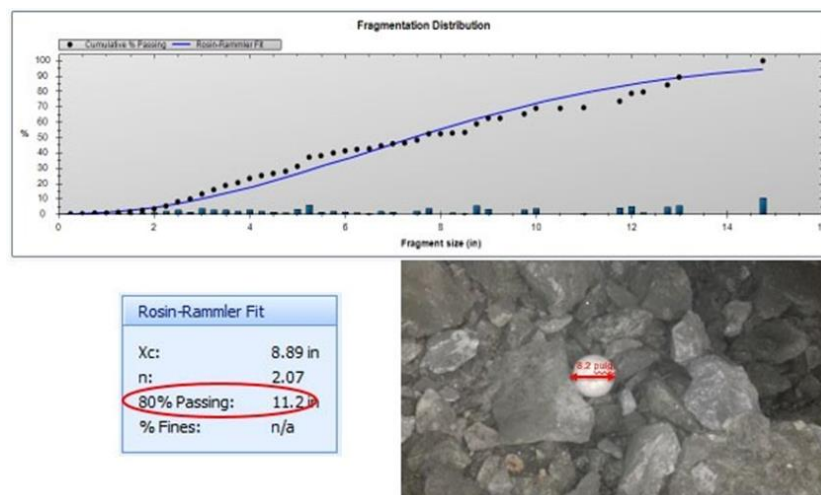


Figura 21. Análisis de fragmentación disparo 2, antes del diseño.
Nota: Elaboración propia.

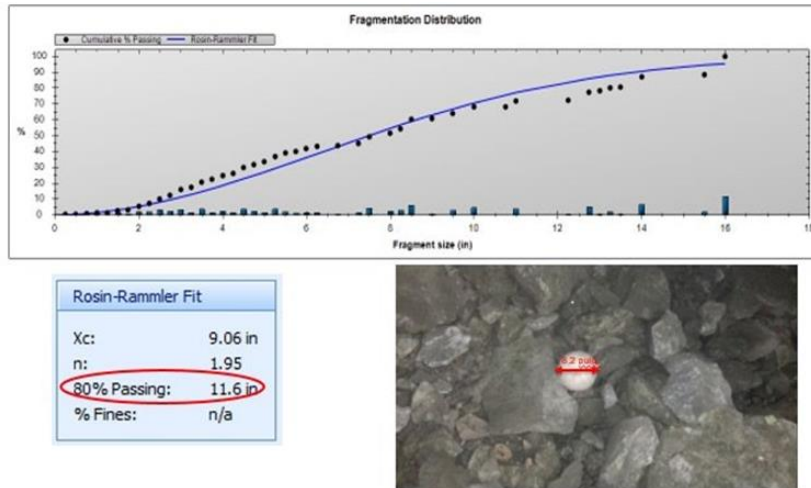


Figura 22. Análisis de fragmentación disparo 3, antes del diseño.
Nota: Elaboración propia.

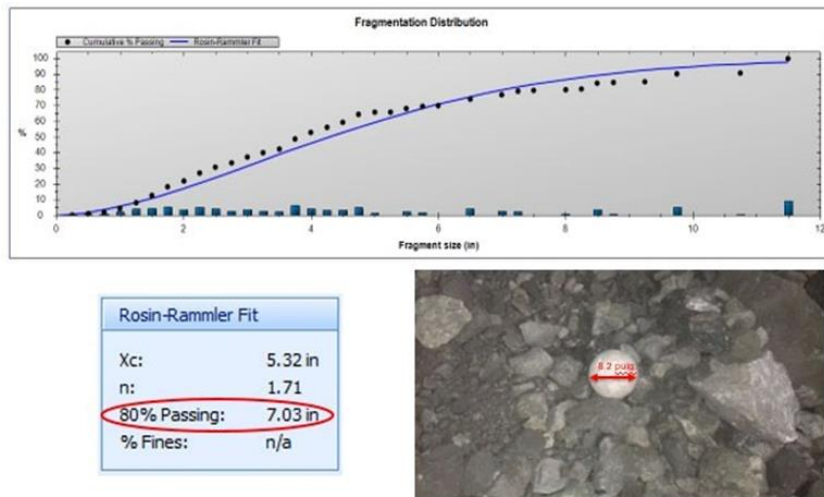


Figura 23. Análisis de fragmentación disparo 4, antes del diseño.
Nota: Elaboración propia.

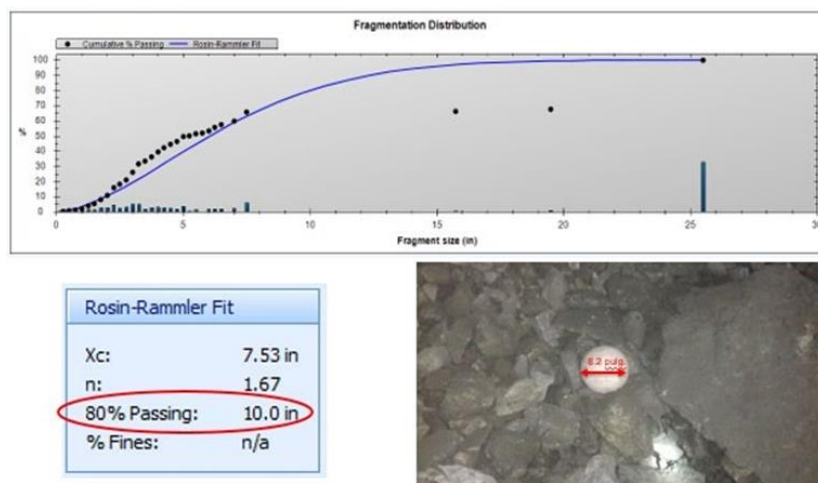


Figura 24. Análisis de fragmentación disparo 5, antes del diseño.
Nota: Elaboración propia.

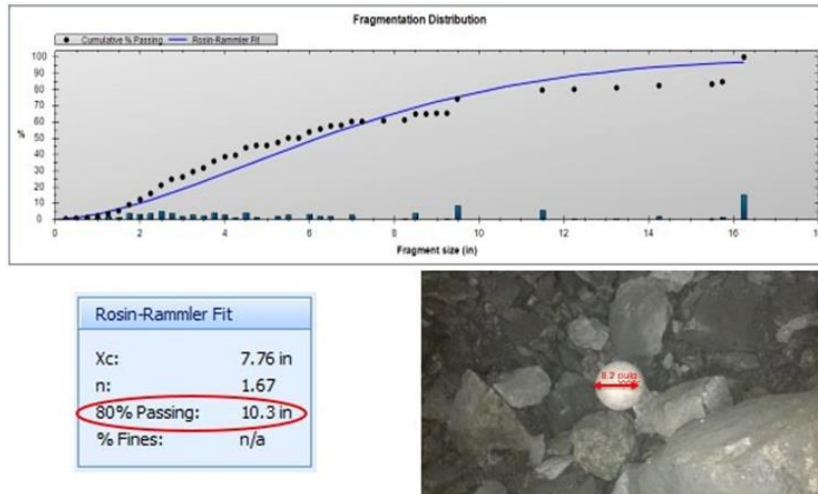


Figura 25. Análisis de fragmentación disparo 6, antes del diseño.
Nota: Elaboración propia.

Los disparos realizados antes de la implementación del trabajo de investigación, sirvieron como línea base para el análisis de la granulometría o tamaño de los fragmentos, después de cada disparo se tomó las fotos y se realizaron los análisis con el software Wip Frag.

b) Después del trabajo de investigación

De igual manera, luego del nuevo diseño de las mallas de perforación y voladura en el que se tiene la voladura controlada, se realizó seis disparos, cuyos resultados son los siguientes:

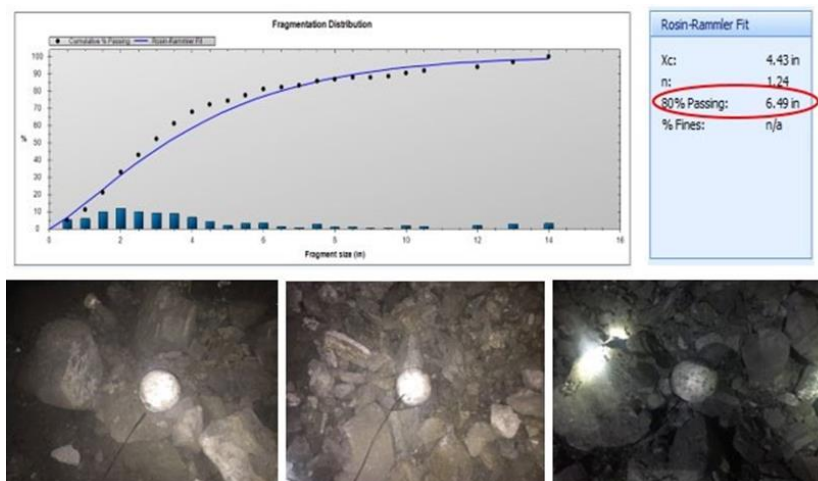


Figura 26. Análisis de fragmentación disparo 1, después del diseño.
Nota: Elaboración propia.

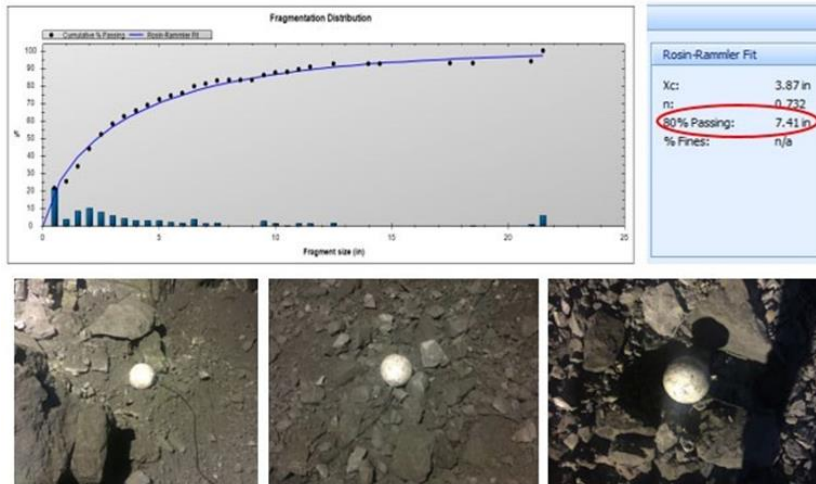


Figura 27. Análisis de fragmentación disparo 2, después del diseño.
Nota: Elaboración propia.

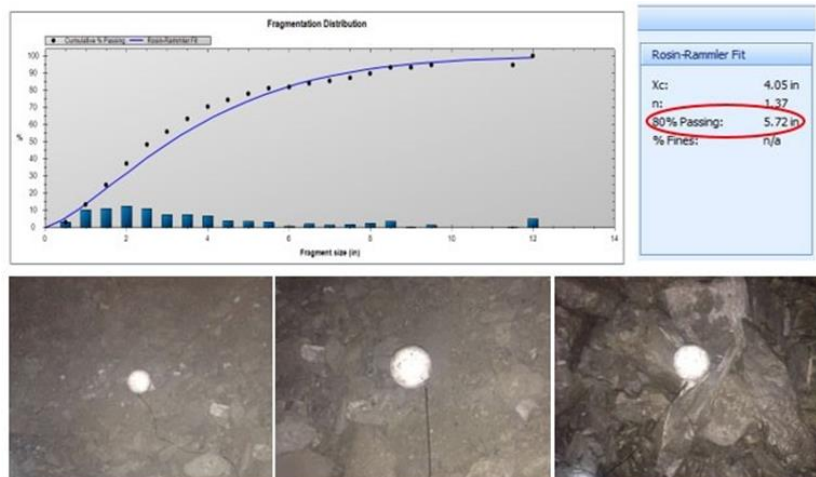


Figura 28. Análisis de fragmentación disparo 3, después del diseño.
Nota: Elaboración propia.

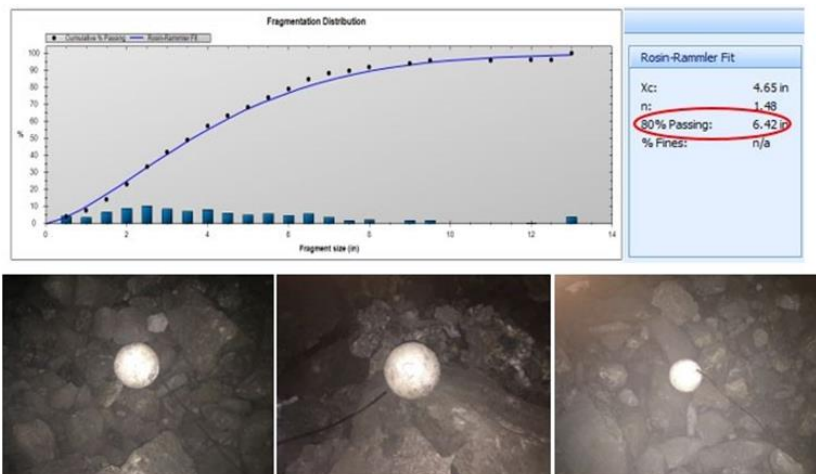


Figura 29. Análisis de fragmentación disparo 4, después del diseño.
Nota: Elaboración propia.

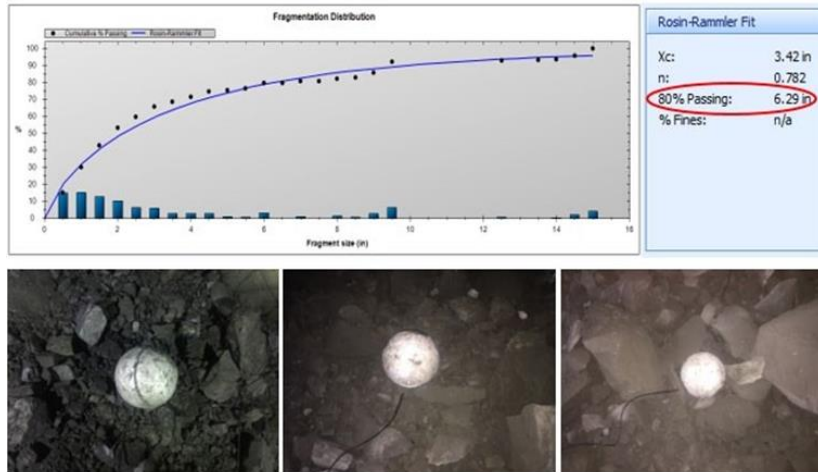


Figura 30. Análisis de fragmentación disparo 5, después del diseño.
Nota: Elaboración propia.

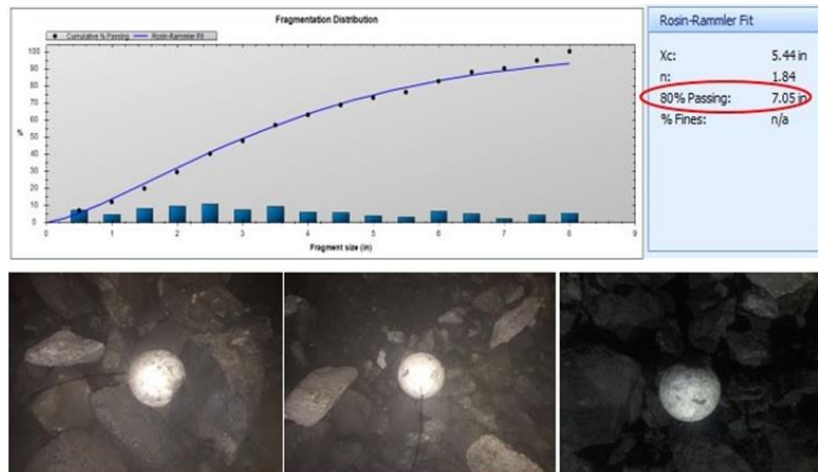


Figura 31. Análisis de fragmentación disparo 6, después del diseño.
Nota: Elaboración propia.

De igual manera que antes del análisis de la granulometría de la roca arrancada, después de la implementación de la nueva malla de perforación y voladura, se realizó la toma de fotografías después de cada disparo y se realizó cada análisis con el Wip Frag.

Para la prueba de la hipótesis general, se realizó un análisis general de la fragmentación obtenida antes de la implementación de las nuevas mallas de perforación y voladura que contemplaba la voladura controlada; los resultados fueron comparados con aquellos alcanzados con los disparos después de la implementación del trabajo de investigación.

Tabla 9.

Análisis de la fragmentación antes del diseño.

Número de disparo	Explosivo	P80 (pulgadas)
1	Emulnor 3000	10,2
2	Emulnor 3000	11,2
3	Emulnor 3000	11,6
4	Emulnor 3000	7,03
5	Emulnor 3000	10,0
6	Emulnor 3000	10,3
Promedio		10,055

Fuente: Elaboración propia.

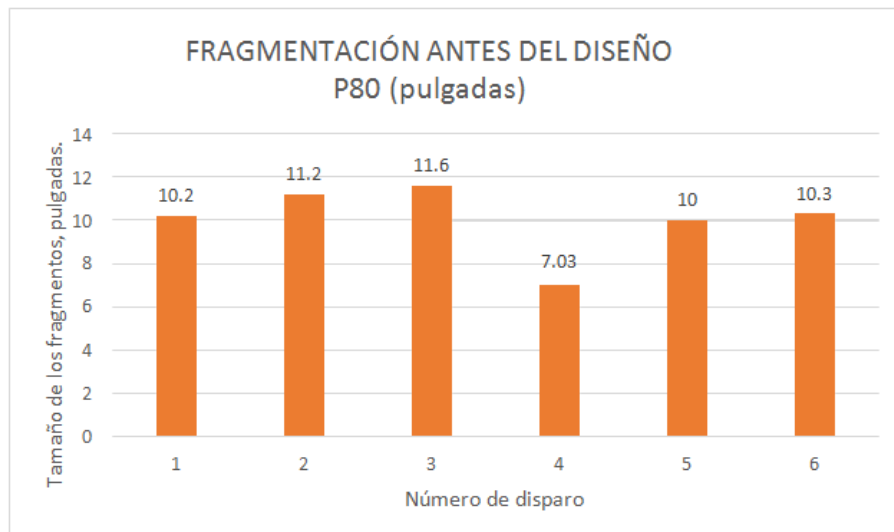


Figura 32. Representación gráfica del tamaño de los fragmentos antes del uso del nuevo diseño.

Nota: Elaboración propia.

Tal como se aprecia en la Tabla 9, el promedio de los fragmentos de los seis disparos que se realizaron antes de la implementación de las nuevas mallas de perforación y voladura es de 10,055 pulgadas, los cuales excedieron en aproximadamente el 20% del tamaño requerido, el cual es de 8 pulgadas.

Tabla 10.

Análisis de la fragmentación después del diseño.

Número de disparo	Explosivo	P80 (pulgadas)
1	Emulnor 3000	6,49
2	Emulnor 3000	7,41
3	Emulnor 3000	5,72
4	Emulnor 3000	6,42
5	Emulnor 3000	6,29
6	Emulnor 3000	7,05
Promedio		6,56

Fuente: Elaboración propia.

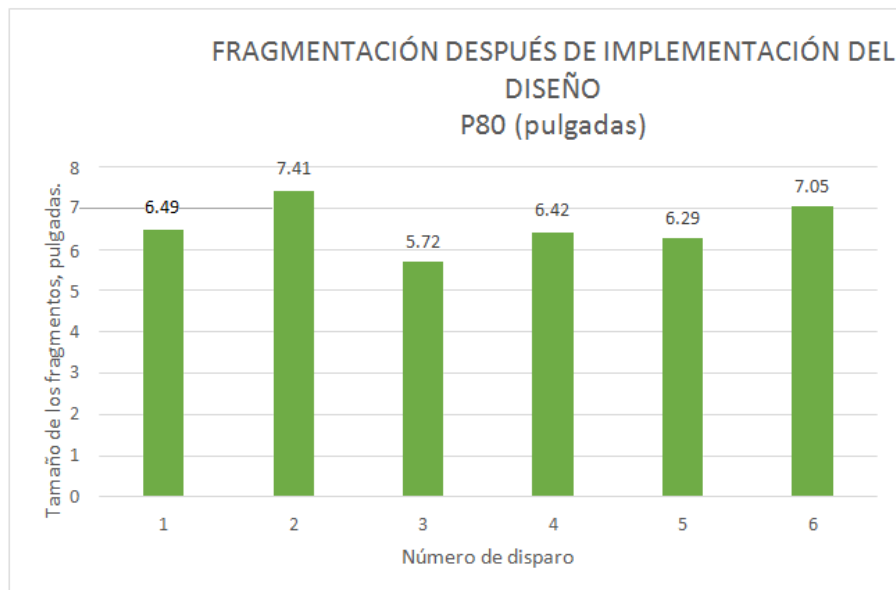


Figura 33. Representación gráfica del tamaño de los fragmentos después del uso del nuevo diseño.

Nota: Elaboración propia.

Respecto a lo observado en la Tabla 10, después de la implementación de los nuevos diseños de malla de perforación y voladura, en la cual también se incluyó la voladura controlada en la parte superior de taladros largos, se ha obtenido un tamaño medio de los fragmentos de 6,56 pulgadas; esto representa un 18% menos de las 8 pulgadas requeridas.

De lo analizado en los párrafos anteriores, se puede decir que se ha cumplido con demostrar la validez de la hipótesis general que planteaba que: la voladura controlada

permite optimizar la granulometría en la Mina Marcapunta Norte, Sociedad Minera El Brocal.

4.2.2 Hipótesis específicas

Con respecto a la hipótesis específica a), se tiene la Tabla siguiente:

Tabla 11.

Consumo de explosivo por disparo y por avance.

Número de disparo	Explosivos kg/disparo	Explosivos Kg/ML	Promedio kg/ML
A1	164.00	54.66	
A2	164.00	54.66	
A3	147.00	49.00	
A4	138.00	46.00	
A5	126.00	42.00	
A6	122.00	40.66	47.83
D1	134.00	44.66	
D2	132.00	44.00	
D3	118.00	39.33	
D4	115.00	38.33	
D5	110.00	36.66	
D6	107.00	35.66	41.71

Fuente: Elaboración propia.

Los disparos desde A1 hasta A6, son antes de la aplicación de la investigación. En ellos no se utilizaba la voladura controlada. Mientras que los disparos desde D1 hasta D6 son después de la aplicación de investigación, de estos resultados se tiene que: antes de la aplicación de la investigación se tuvo un promedio de 47,83 kg/ML. y después de la aplicación tenemos que el promedio es de 41,71 kg/ML., esto significa una reducción del 15% del consumo de explosivo por cada disparo. Esto nos permite afirmar que: la reducción del factor de carga, influye significativamente en la optimización de la granulometría en la Mina Marcapunta Norte, Sociedad Minera El Brocal.

Respecto a la hipótesis b) también podemos tener la tabla siguiente:

Tabla 12.*Consumo de explosivo.*

Número de disparo	Explosivos Kg/disparo	Promedio kg/disparo
A1	164.00	
A2	164.00	
A3	147.00	
A4	138.00	
A5	126.00	
A6	122.00	143.50
D1	134.00	
D2	132.00	
D3	118.00	
D4	115.00	
D5	110.00	
D6	107.00	119.33

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo el mismo criterio de la hipótesis específica b) se puede observar que la cantidad de explosivo consumido en promedio antes de la investigación fue de 143,50 kilogramos por cada disparo; mientras que en la aplicación de la investigación el promedio fue de 119,33 kilogramos por disparo, es decir, 24,17 kilogramos menos. Se debe mencionar que para reducir la vibración se hizo la voladura controlada, por lo que fue necesario realizar la distribución de la carga explosiva para tal cometido. De ahí que podemos afirmar que: la redistribución de la carga explosiva influye significativamente en la optimización de la granulometría en la Mina Marcapunta Norte, Sociedad Minera El Brocal.

4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De los resultados positivos obtenidos podemos decir que, el gran responsable es el nuevo diseño de las mallas de perforación y voladura, incluye el criterio de una voladura controlada con la reducción de la carga explosiva en aquellos taladros que se encuentran cercanos a la pared del disparo. También se puede decir que por el tipo de roca en algunos casos donde el tipo de roca es exclusivamente de calidad IIIB, solo se utiliza taladros de

64 mm., cuando mejora la calidad de la roca a IIIA, se perfora 7,30 m. de taladros de 64 mm., en la parte inferior del Tajo; mientras que en la parte superior del mismo tajo se perfora taladros de 89 mm.

En lo que respecta al tamaño de los fragmentos, cuando se ha realizado el seguimiento de los resultados en disparos antes de la aplicación del nuevo diseño, se ha obtenido como tamaño medio, en el P80 el valor de 10,055 pulgadas, lo cual tenían que ser reducidas en la parrilla de la planta chancadora, porque la abertura es de 8 pulgadas. El tamaño promedio era 20% superior a lo requerido y eso se trasladaba en costos adicionales.

Una vez puesta en marcha los diseños, de igual manera se ha realizado el análisis de los fragmentos después de cada disparo, del tratamiento estadístico, al calcular el promedio del resultado de los seis disparos en el P80 ha sido de 6,56 pulgadas, este tamaño representa el 18% del tamaño requerido.

Entonces de analizado anteriormente podemos decir que el trabajo de investigación ha alcanzado el objetivo de mejorar el tamaño de los fragmentos de la roca arrancada por ser menor al P80 establecido como 8 pulgadas.

CONCLUSIONES

Primero, se ha determinado que la voladura controlada, mejoró la granulometría en la Mina Marcapunta Norte, Sociedad Minera El Brocal, porque se tiene que antes de la investigación el P80 era 10,055 pulgadas y en la investigación se redujo a 6,56 pulgadas.

Segundo, se ha obtenido la reducción del factor de carga por disparo porque de 47,83 kg/ML. se pasó a 41,71 kg/ML., lo cual significa una reducción del 15% por metro lineal de avance.

Tercero, con la redistribución de la carga explosiva en función de la voladura controlada, permitió la reducción de la cantidad de explosivo de 143,50 kg a 119,33 kilogramos, por disparo; la reducción fue de 24,17 kilogramos.

Cuarto, Se ha realizado dos tipos de mallas en la longitud de minado de acuerdo con el tipo de terreno, en calidad IIIB con taladros de 64 mm. y terreno de calidad IIIA la parte inferior del tajo con taladros de 64 mm., y 7,30 metros de longitud; y en la parte superior con taladros de 89 mm, y 9,00 metros de longitud.

Quinto, El promedio de los fragmentos de los seis disparos antes de la implementación de las nuevas mallas de perforación y voladura fue de 10,055 pulgadas, mayor al 20% del tamaño requerido que es de 8 pulgadas.

Sexto, después de la implementación de los nuevos diseños de malla de perforación y voladura, en la cual también se incluyó la voladura controlada, el tamaño medio de los fragmentos de 6,56 pulgadas; es un 18% menos de las 8 pulgadas requeridas y asegura menores costos en la preparación para su tratamiento en la planta concentradora.

RECOMENDACIONES

En primer lugar, se recomienda a los encargados de la perforación y voladura realizar la supervisión en la perforación para evitar la desviación de los taladros y en momento del carguío de explosivos con la cantidad diseñada.

En segundo lugar, se recomienda a los encargados de las capacitaciones realizar una programación de las charlas sobre perforación y voladura para trabajar en equipo y con el mismo criterio.

En tercer lugar, se recomienda cumplir con los dimensionamientos y la longitud máxima de perforación de 32 metros en los tajos, para mantener la estabilidad de las labores que resulta en una mayor seguridad para los trabajadores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIENIAWSKI, Z. Engineering rock mass classifications: A complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. United States : John Wiley & Sons, 1989. 69pp. ISBN: 0471601721.
- CALDERÓN, M. Optimización de las prácticas de perforación y voladura en el avance y producción de la minería mediana escala [Unidad Minera Macdesa]. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú. 2015, 135 pp. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3182/Calderon%20Navarro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CASTRO, R. Fragmentación de roca: Un proceso clave en la minería, de alta productividad y bajo costo [en línea]. *Revista Técnicos Mineros*, Santiago, Chile. 12 de Mayo de 2017. Disponible en: <https://www.revistatecnicosmineros.com/2017/05/fragmentacion-de-roca-un-proceso-clave-en-la-mineria-de-alta-productividad-y-bajo-cost/>
- CHAVEZ, Y. Mejora De La Granulometría Mediante El Diseño De Malla De Perforación Y Voladura Aplicando El Modelo De Holmberg En La Galería 370 De La Zona Coturcan En La Mina Huancapeti – Año 2015. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antúnez De Mayolo. 2018. 130pp. Disponible en: http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2240/T033_70839229_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- EL BROCAL, JRC INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN. Planeamiento Anual de la Unidad Minera Marcapunta Sur. Cerro de Pasco: El Brocal. 2020. 110pp
- HINOSTROZA, E. Implementación de malla de perforación y voladura de taladros largos para evaluar los costos operativos en el método de explotación sublevel stoping en la mina subterránea Marcapunta Sur-El Brocal. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo Universidad Continental de Ciencias e Ingenierías. 2019. 146pp. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/7021/2/IV_FIN_110_TE_Hinostroza_Sanchez_2019.pdf

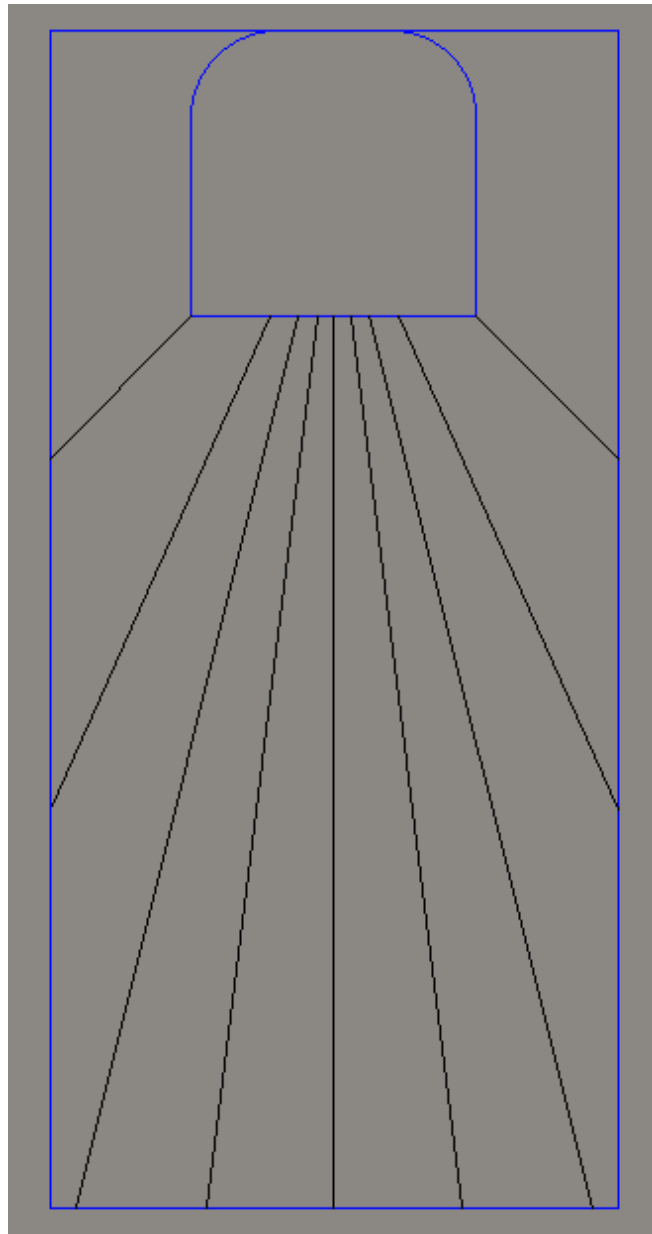
- INGEMMET. Boletín N°55 Serie A: Carta Geológica Nacional. Lima : Instituto Geológico Minero Metalúrgico, 1995. 192pp. Disponible en: <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/176>
- ITG. Manual de perforación y voladura de rocas. Madrid : Instituto Tecnológico Geominero de España, 2004. 464pp. Disponible en: <https://topodata.com/wp-content/uploads/2019/10/Manual-de-Perforacio%CC%81n-y-Voladura-de-Rocas.pdf>
- JÁUREGUI, O. Reducción de los Costos Operativos en Mina, mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2009. 106pp. Disponible en: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/696/JAUREGUI_OSCAR_COSTOS_MINA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- LARA,O. Diseño de malla de perforación para optimizar la voladura en la Unidad Carahuacra de la Compañía Minera Volcan S.A.A. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2013. 109pp. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/2173/Lara%20Baltazar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- MARCAÑAUPA, R. Perforación y voladura basada en el RMR, Compañía de Minera Aurífera Retamas. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2008. 78pp. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3182/Calderon%20Navarro.pdf?sequence=1>
- MINE SENSE. Manual de Operación: Administrador. Primera Edición. Cajamarca : Mine Sense, 2017.186pp.
- MUSIC, A. 2005. Diagnóstico y optimización de disparos en desarrollo horizontal – Mina el Teniente. Tesis (Título de Ingeniero Civil de Minas). Santiago : Universidad de Chile, 2005. 114pp. Disponible en: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104674/music_a.pdf?sequence=3&isAllowed=y

- ORELLANA, L. Productivity of a Continuous Mining System for Block Caving. Santiago : Universidad de Chile, 2017. 7pp. Disponible en: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/168851/Productivity_of_a_continuous.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Poma Fernández, Jose Luís. 2012. Importancia de la fragmentación de la roca en el proceso Gold Mill [Caso minera Yanacocha]. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2012. 84pp. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/1696>
- SÁNCHEZ, Y. Optimización en los procesos de perforación y voladura en el avance de la rampa en la Mina Bethzabeth. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Quito : Universidad Central del Ecuador, 2012. 247pp. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/217>
- SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A. 2019. Plan de Minado. Pasco : Sociedad Minera El Brocal, 2019. 145pp
- VIDAL, E. Apuntes del curso de Ingeniería de Explosivos. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima : PUCP, 2005. 25pp.

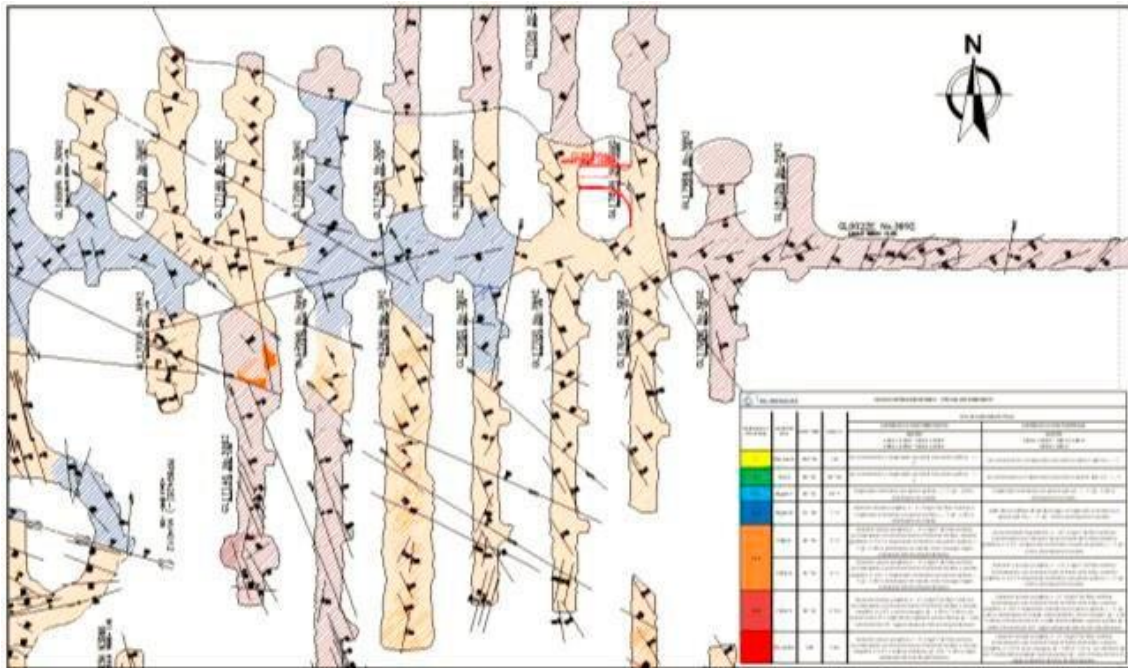
ANEXOS

ANEXO 1.

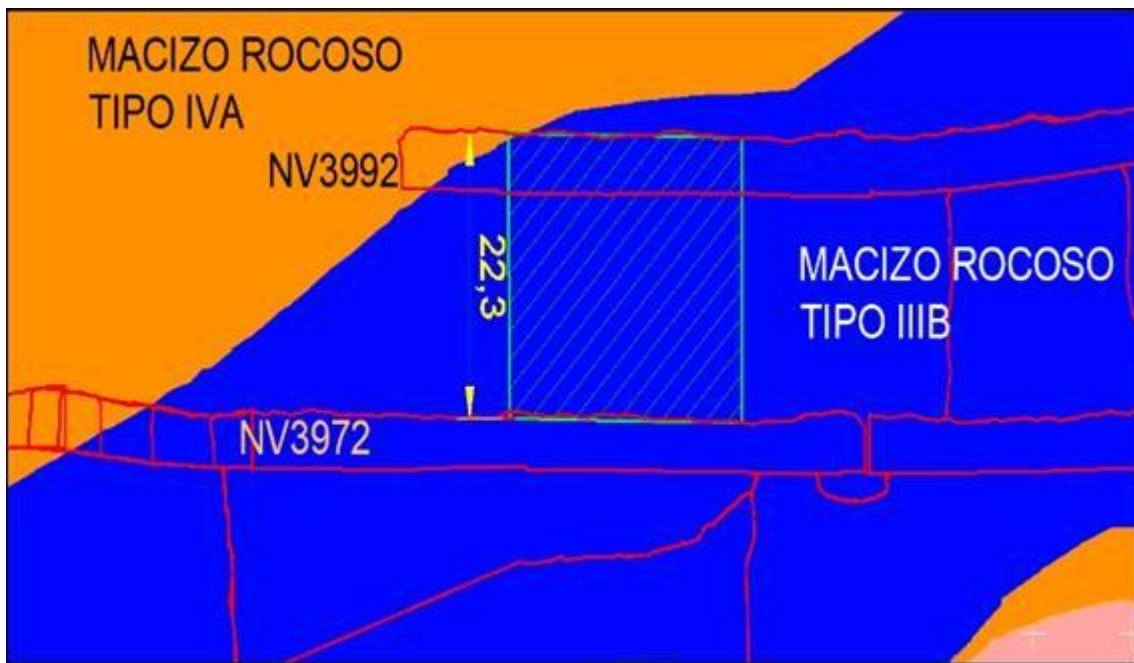
Nivel 3992 del TJ 1784, se debe realizar la malla de perforación en abanico negativos (hombros de 45°).



**ANEXO 2.
PLANOS GEOMECÁNICOS**



Vista de Planta



Vista Longitudinal.