

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



T E S I S

**Rediseño de la malla de perforación y voladura para optimizar los
parámetros de avance del Túnel de Integración Animón Islay de la
Minera Chungar**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Anderson Emer ALANIA HUARICAPCHA

Asesor:

Ing. Julio César SANTIAGO RIVERA

Cerro de Pasco – Perú - 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE MINAS



T E S I S

**Rediseño de la malla de perforación y voladura para optimizar los
parámetros de avance del Túnel de Integración Animón Islay de la
Minera Chungar**

Sustentada y aprobada antes los miembros del jurado:

Mg. Floro Pagel ZENTENO GOMEZ

PRESIDENTE

Mg. Edgar ALCANTARA TRUJILLO

MIEMBRO

Mg. Luis Alfonso UGARTE GUILLERMO

MIEMBRO

DEDICATORIA

A Dios y a mis queridos padres por su apoyo incondicional en mi formación personal y profesional. A todos mis queridos familiares que siempre confiaron en mi persona. A los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por transmitir sus conocimientos y experiencias para mi crecimiento profesional.

AGRADECIMIENTO

Siempre estaré agradecido con Dios, por brindarme toda esta oportunidad de vivir esta hermosa experiencia al lado de mis queridos padres y hermanos.

A la empresa Chungar y Famesa Explosivos S.A.C. por permitirme plasmar esta investigación y a todos los profesionales que participaron y apoyaron en el presente estudio

RESUMEN

El presente trabajo de investigación “**Rediseño de la Malla de Perforación y Voladura para Optimizar los Parámetros de Avance del Túnel de Integración Animón Islay de la Minera Chungar**”. Se ha realizado por la necesidad de continuar con la optimización del proceso de perforación y voladura del túnel de integración de la minera Chungar.

En el proceso de perforación y voladura del túnel de integración se utiliza una malla de perforación determinada y una carga explosiva con cierta densidad, las voladuras resultantes con estos modelos de malla de perforación y carga explosiva han sido tomados como línea base para realizar la comparación de los resultados.

El trabajo de investigación propone la aplicación de un rediseño de la malla de perforación y carga explosiva para optimizar la fragmentación, el factor de potencia, el avance lineal y el perfil de la labor del túnel de integración de la minera Chungar.

Los resultados de las voladuras con el rediseño en mención se vieron reflejado en el resultado de la fragmentación, factor de potencia, avance lineal y el perfil del túnel, con el cual se obtuvo un control más homogéneo en la fragmentación, un factor de potencia menor, un avance lineal por disparo con mayor eficiencia y el perfil de la labor más uniforme.

Optimizando todos estos parámetros de la perforación y voladura nos permite en mejorar los costos de este proceso; así mismo también la disminución de gases nocivos que genera la voladura que no es materia de estudio de esta investigación.

PALABRAS CLAVE: Voladura, Factor de Potencia, Fragmentación, Avance lineal.

ABSTRACT

The present research work "**Redesign of the Drilling and Blasting Mesh to Optimize the Advance Parameters of the Animon Islay Integration Tunnel of the Chungar Mining Company**". It was carried out due to the need to continue optimizing the drilling and blasting process of the Chungar mining integration tunnel.

In the process of drilling and blasting the integration tunnel, a specific perforation mesh and an explosive charge with a certain density are used, the resulting blasts with these models of perforation mesh and explosive charge have been taken as a baseline to make the comparison of the results.

The research work proposes the application of a redesign of the drilling mesh and explosive charge to optimize the fragmentation, the power factor, the linear advance and the profile of the work of the Chungar mining integration tunnel.

The results of the blasting with the redesign in question were reflected in the result of fragmentation, power factor, linear advance and the profile of the tunnel, with which a more homogeneous control in fragmentation was obtained, a lower power factor, a linear advance per shot with greater efficiency and a more uniform work profile.

Optimizing all these drilling and blasting parameters implies improving the costs of this process; likewise, also the reduction of harmful gases generated by the blasting that is not the subject of study of this investigation.

KEY WORDS: Blasting, Power Factor, Fragmentation, Linear Advance.

INTRODUCCIÓN

La finalidad del trabajo de investigación: “Rediseño de la Malla de Perforación y Voladura para Optimizar los Parámetros de Avance del Túnel de Integración Animón Islay de la Minera Chungar”, es rediseñar los parámetros de la malla de perforación y voladura del proyecto del túnel de integración de la minera Chungar y demostrar las características técnicas de la nueva malla de perforación y voladura.

En el primer capítulo se hace mención del planteamiento del problema, delimitación de la investigación, objetivos de la investigación, justificación y limitaciones de investigación,

En el segundo capítulo se detalla el marco teórico describiendo todo lo referente a la malla de perforación, modelos las características y propiedades de los explosivos, este capítulo es importante para tener el conocimiento para el desarrollo del trabajo de investigación.

En el tercer capítulo se describe la metodología de investigación.

En el cuarto capítulo se describe los resultados de campo aplicando el rediseño de la malla de perforación y voladura resaltando los parámetros y condiciones de las voladuras; a continuación, se realiza el análisis y discusión de resultados, comparando los rendimientos e indicadores observados y obtenidos en los resultados de campo con la base de datos.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación	2
1.2.1.	Minera Chungar	2
1.2.1.1.	Ubicación Geográfica	2
1.2.1.2.	Accesibilidad	3
1.2.1.3.	Geología regional.....	5
1.2.1.4.	Geología local.....	6
1.2.1.5.	Geología estructural.....	7
1.2.1.6.	Geología económica.....	7
1.2.1.7.	Estratigrafía.....	8
1.2.1.8.	Reservas minerales.....	10
1.3.	Formulación del problema	12
1.3.1.	Problema general.....	12
1.3.2.	Problemas específicos.....	12
1.4.	Formulación de Objetivos	12
1.4.1.	Objetivo General	12

1.4.2. Objetivos específicos.....	12
1.5. Justificación de la Investigación.....	13
1.6. Limitaciones de la investigación.....	13

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	14
2.1.1. Antecedentes nacionales.....	14
2.1.2. Antecedentes internacionales	15
2.2. Bases teóricas - científicas.....	15
2.2.1. Diseño de malla de perforación y voladura.....	15
2.2.2. Explosivos.....	21
2.3. Definición de términos básicos	27
2.4. Formulación de Hipótesis	28
2.4.1. Hipótesis general.....	28
2.4.2. Hipótesis específicas	28
2.5. Identificación de variables.....	29
2.6. Definición operacional de variables e indicadores	29

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación	31
3.2. Nivel de investigación.....	31
3.3. Métodos de Investigación.....	31
3.4. Diseño de Investigación.....	32
3.5. Población y muestra	32
3.5.1. Población	32

3.5.2. Muestra.....	32
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	32
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	33
3.8. Tratamiento estadístico.....	33
3.9. Orientación ética filosófica y epistémica.	33

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo.....	34
4.1.1. Datos de la perforación y voladura.....	34
4.1.2. Resultados de la voladura convencional.....	35
4.1.3. Promedio de resultados de las muestras.....	38
4.1.4. Rediseño de la malla de perforación y voladura.	40
4.1.5. Aplicación del modelo matemático	40
4.1.6. Aplicación de la voladura controlada	41
4.1.7. Parámetros del rediseño de la malla de perforación y voladura	43
4.1.8. Selección de los detonadores.....	44
4.1.9. Resultados de la perforación y voladura con la malla rediseñada...46	
4.1.10. Promedio de resultados con el rediseño de la malla de perforación y voladura.....	49
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	49
4.2.1. Presentación de resultados	49
4.2.2. Análisis e interpretación de resultados.....	50
4.3. Prueba de Hipótesis	53
4.3.1. Prueba de Hipótesis General	53
4.3.2. Prueba de Hipótesis Especificas	54
4.4. Discusión de resultados	59

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA

ANEXO

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Plano de ubicación de la minera Chungar.....	3
Figura 2: Plano de acceso a la mina Chungar	5
Figura 3: Plano de la geología regional	6
Figura 4: Estratigrafía de la minera Chungar.....	10
Figura 5: Estructura del ANFO Pesado	25
Figura 6: Malla de la perforación convencional	39
Figura 7: Análisis de la resistencia a la compresión de la roca.....	40
Figura 8: Malla de perforación rediseñada.	43
Figura 9: Análisis granulométrico	45
Figura 10: Perforación efectiva.....	50
Figura 11: Avance lineal	51
Figura 12: Metros cubico fragmentados	51
Figura 13: Kilogramos de explosivo utilizados por voladura.	52
Figura 14: Factor de carga	52
Figura 15: Granulometría de la fragmentación	53
Figura 16: Prueba de la 1ra. Hipótesis específica	55
Figura 17: Prueba de la 2da Hipótesis específica	56
Figura 18: Prueba de la 3ra. Hipótesis específica	58
Figura 19: Diseño de malla de perforación y voladura.	65
Figura 20: Registro de parámetros de perforación y voladura.....	65
Figura 21: Registro de base de datos de perforación y voladura	66
Figura 22: Unidad de medida.....	66
Figura 23: Ficha técnica de la dinamita	67
Figura 24: Ficha técnica de la emulsión	67
Figura 25: Fotografía del resultado del perfil de la voladura convencional	71
Figura 26: Fotografía del resultado del perfil de la voladura con rediseño	71

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cotizaciones aplicadas a la estimación de reservas.	11
Tabla 2: Evolución de las reservas minerales totales.	11
Tabla 3: Clasificación de los Explosivos Industriales.	22
Tabla 4: Clasificación de gases nocivos post voladura.	24
Tabla 5: Densidades de diferentes tipos de explosivo.	24
Tabla 6: Tamaño de partículas de los explosivos.	26
Tabla 7: Operacionalización de las variables.	30
Tabla 8: Parámetros de perforación y voladura convencional.	34
Tabla 9: Cálculo de la malla de perforación.	41
Tabla 10: Parámetros de la malla rediseñada.	43
Tabla 11: Serie de retardos.	44
Tabla 12: Selección de retardos.	45
Tabla 13: Parámetros de comparación de las mallas de perforación y voladura.	49
Tabla 14: Costos de perforación y voladura de la malla convencional.	68
Tabla 15: Costos de perforación y voladura de la malla rediseñada.	69

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

Mina Islay, anexo de Compañía Minera Chungar SAC produce 1,500 toneladas por día de mineral, con leyes de 0.70% de plomo, 1.60% de zinc, 0.05% de cobre y 7.23 onzas por tonelada de plata el mismo que es tratado en las plantas concentradoras de Animón.

Las concesiones donde están centralizadas las operaciones y sesionadas a CMCH son:

- ✓ Concesión Islay en esta se encuentra ubicada la Rampa Islay acceso principal a la mina,
- ✓ Concesión Gastón de propiedad de Tiburón Quiruvilquino, concesión ubicada al sur este de Mina Islay concentrando el 90% de la producción, limita con la Concesión Islay 4 recién adquirida y hacia donde se proyecta la continuidad de la mineralización.

La infraestructura de la mina en superficie tales como bocamina, campamentos, posta médica, talleres de mantenimiento, oficinas y otros se ubican en el área de

trece hectáreas de servidumbre sesionadas por la comunidad campesina de San Agustín de Huaychao.

El transporte de mineral se ejecuta a través de la empresa especializada Ecosem Huaychao (Empresa comunal), registrando en esta operación unitaria la distancia de 21 kilómetros en la ruta Islay – Huaychao – Animón.

Es importante mencionar que actualmente el relleno de los tajos de producción se ejecuta con material detrítico producto de las labores de avances (volumen que es insuficiente para cubrir el requerimiento de la operación) y trasladando desmonte desde Animón.

Por lo que se ha proyectado ejecutar un túnel de integración Animón – Islay con una longitud de 3.1 Km., con una sección de 4m. x 4m.; Para su ejecución se está considerando optimizar la perforación y voladura del frente. Por qué en la actualidad se tiene problemas en cuanto a la fragmentación, al perfil de la sección, consumo de explosivos y un avance óptimo por disparo. En la actualidad no existe un método práctico para diseñar una malla de perforación y voladura subterránea, en galerías, rampas, túneles, etc.

Hay solamente teorías o métodos con modelos matemáticos que enseñan a diseñar mallas de perforación en voladura subterránea y que tienen limitaciones para su aplicación.

1.2. Delimitación de la investigación

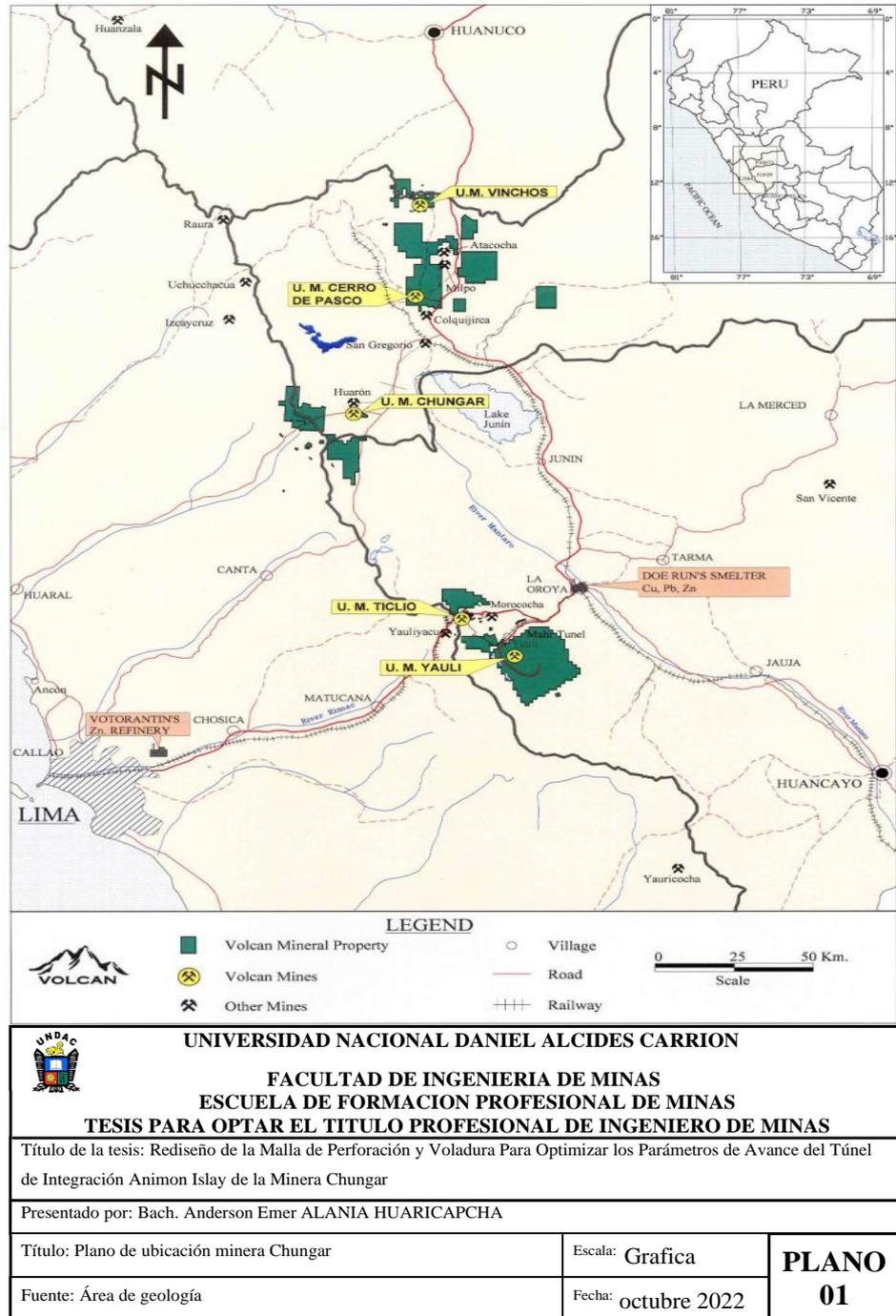
1.2.1. Minera Chungar

1.2.1.1. Ubicación Geográfica

La Empresa Administradora Chungar S.A.C. (EACH), unidad minera Animon, está ubicada en el lugar denominado Cuchimachay – La Cruzada, en el Distrito de Huayllay, Provincia y Departamento de Pasco

Región Andrés A. Cáceres, a una altitud de 4 610 msnm, y a: 76°25'19" de longitud 11°01' 35" de latitud. Con coordenadas UTM: N 8 780 500 y E 345 000. En la hoja 23-K-Ondores.

Figura 1: Plano de ubicación de la minera Chungar



Fuente: Área de geología

1.2.1.2. Accesibilidad

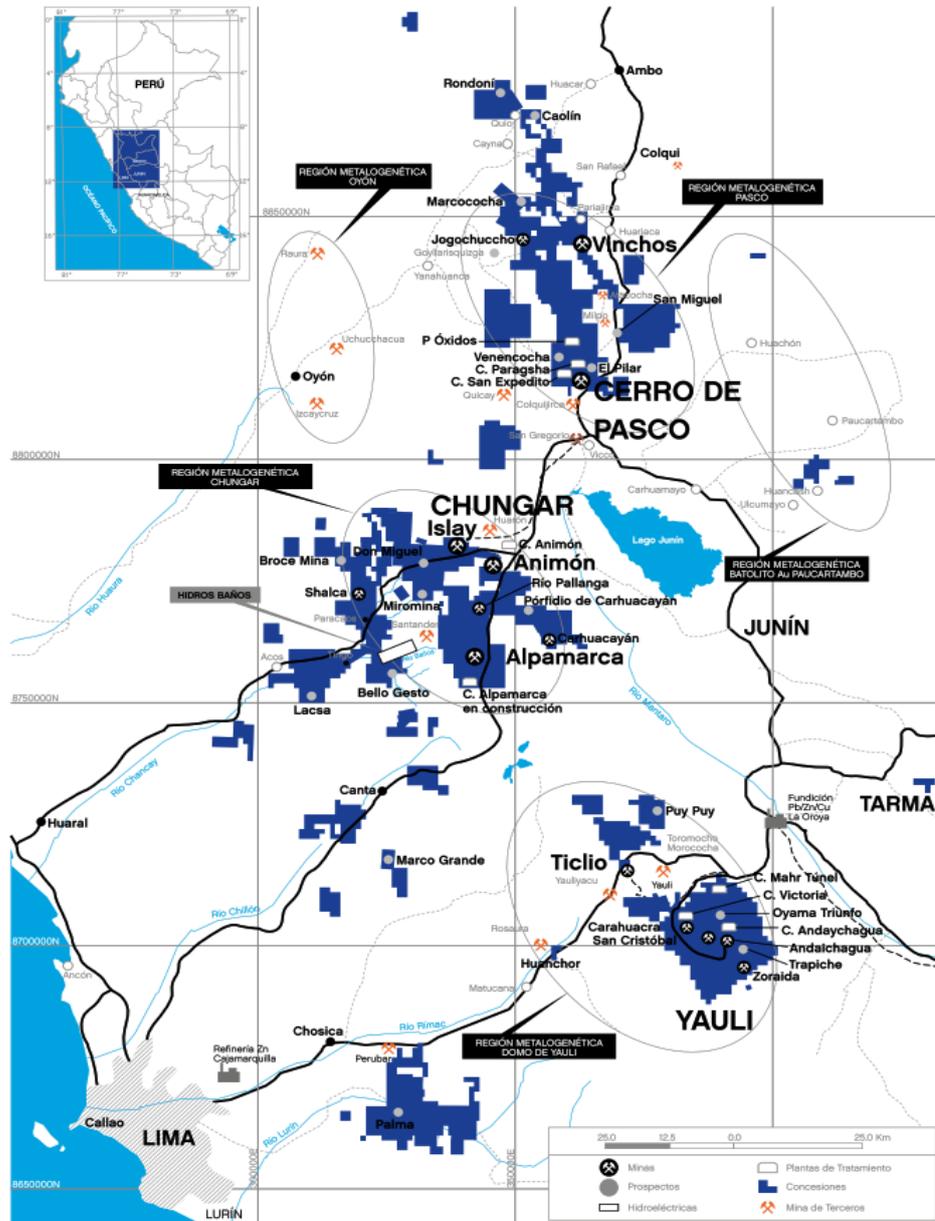
La Unidad Minera Chungar, es accesible desde la ciudad de Lima

por la carretera central hasta el paraje Villa de Pasco con 301 Km. de carretera asfaltada, desde este paraje se tiene una carretera afirmada que se dirige al Distrito de Huayllay, y la carretera que se dirige a la mina Animon, también se tiene la carretera Lima – Canta – Animón con 320 Km. de carretera afirmada, cabe mencionar que la mina Animón se ubica a 50 Km. Al sur – oeste de la ciudad de Cerro de Pasco y a 7 Km. al oeste del Distrito de Huayllay.

El yacimiento minero de Chungar se encuentra ubicado en el paraje del mismo nombre, políticamente pertenece al Distrito de Pallanchacra, Provincia y Departamento de Pasco; a 27 km al norte de la ciudad de Cerro de Pasco.

Es accesible desde la ciudad de Lima por la Carretera Central asfaltada, siguiendo la ruta Lima – La Oroya – Cerro de Pasco con una distancia de 320 Km.; en el siguiente gráfico se puede visualizar la accesibilidad.

Figura 2: Plano de acceso a la mina Chungar



 UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE MINAS TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS		
Título de la tesis: Rediseño de la Malla de Perforación y Voladura Para Optimizar los Parámetros de Avance del Túnel de Integración Animon Islay de la Minera Chungar		
Presentado por: Bach. Anderson Emer ALANIA HUARICAPCHA		
Título: Plano de acceso minera Chungar	Escala: Grafica	PLANO 02
Fuente: Área de geología	Fecha: octubre 2022	

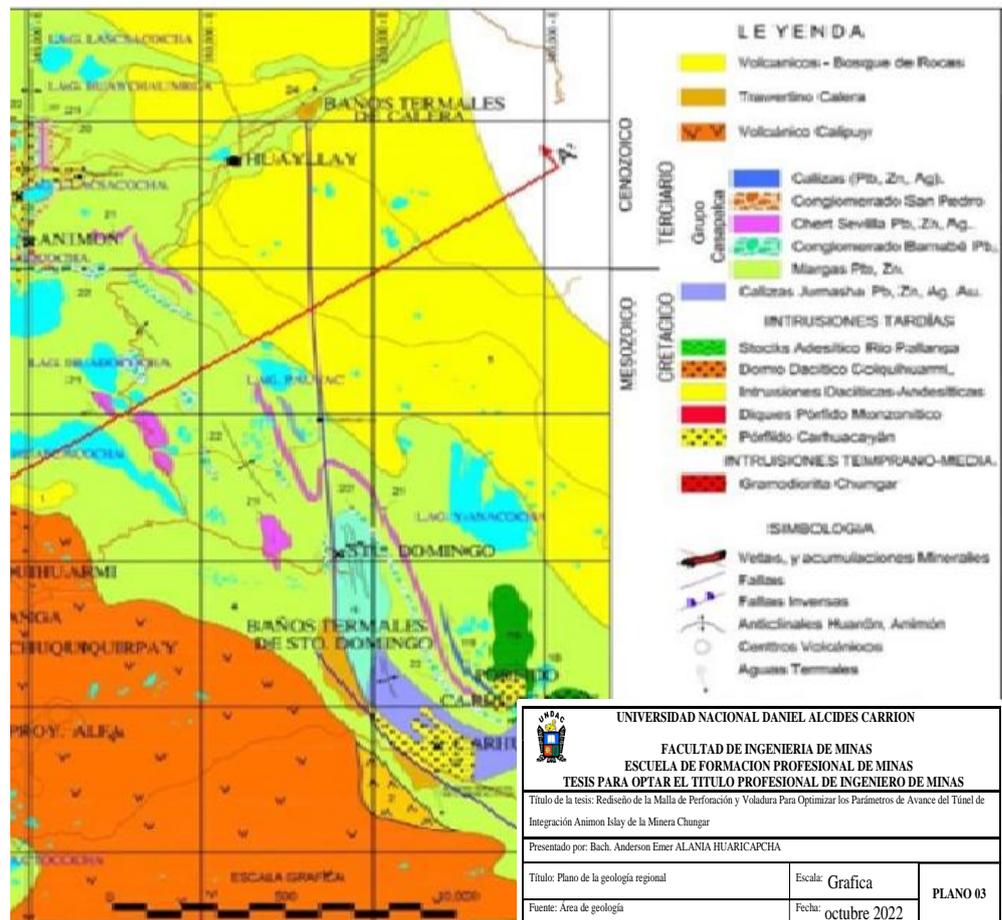
Fuente: Área de geología.

1.2.1.3. Geología regional

Geológicamente Chungar se forma en un yacimiento en una

formación estructural donde cronológicamente se puede citar tres lineamientos; el lineamiento estructural E-W de Chungar, el lineamiento del dique intrusivo NW-SE y el lineamiento de la falla Llacsacocha NE-SW. Este conjunto estructural que desde la orogenia andina habría ocurrido en el Terciario y se habría desarrollado toda la mineralización a partir de dos focos sub paralelos, el foco más conspicuo de Harón y el otro foco mucho menor ubicado en el lineamiento EW de Chungar. (Silvestre Gallardo, 2018)

Figura 3: Plano de la geología regional



Fuente: Área de geología

1.2.1.4. Geología local

El yacimiento de Chungar litológicamente está conformado por rocas sedimentarias que reflejan un periodo de emersión y una intensa

denudación. Las “Capas Rojas” del Grupo Casapalca presentan dos ciclos de sedimentación: El ciclo más antiguo es el más potente con 1,400 a 1,500 metros de grosor y el ciclo más joven tiene una potencia de 800 a 900 metros. Cada ciclo en su parte inferior se caracteriza por la abundancia de conglomerados y areniscas, en su parte superior contienen horizontes de conglomerados y vulcano - clásticos. La gradación de los clastos y su orientación indican que los materiales han venido del Este, probablemente de la zona actualmente ocupada por la Cordillera Oriental de los Andes. (Silvestre Gallardo, 2018)

1.2.1.5. Geología estructural

El dominio estructural está definido por el anticlinal Animón - Huarón, con eje de rumbo N 30° W (orientación andina). En el flanco occidental los estratos buzcan en promedio entre 30° a 40° al NW, la estructura tiene una longitud de 5Km. próximo al tajo Quimacocha (500m al NE de la Laguna Quimacocha, se ha podido reconocer una falla (relacionada a la mineralización) de rumbo N 70° W, y buzamiento 80°- 85° SW, presenta un lineamiento continuo hasta la mina Islay (hacia el Oeste) y al lado Este de la Laguna Naticocha. La Veta Principal de la mina Animón es una falla importante, tiene un rumbo promedio de N 75°- 80° W, y buzamiento de 80° – 85° NE. (Alvarez Carhuaricra, 2019).

1.2.1.6. Geología económica

La veta más importante de Mina Animón es veta Principal, de rumbo E-W y buzamiento de 65 a 75 grados al norte, con casi 2 km de largo, 600 m reconocidos de profundización actual y potencia que va desde 0.50 m hasta 12 metros de ancho, presenta clavos subsecuentes de

excelente relleno mineral que también varía en su longitud presentando en la parte central y profunda el sector más desarrollado de mineral masivo de esfalerita y en el sector, este dominio de mineralización en carbonatos con valores interesantes de Pb-Ag.

La segunda veta más importante de Mina Animón es veta Janeth, de rumbo E-W y buzamiento de 65 grados al sur, con casi 900m de largo, y 400 m de profundización actual y potencia que va desde 0.50 m hasta 7 metros de ancho, presenta relleno mineral de esfalerita galena, ganga de carbonatos pirita y algo de cuarzo. (Cajaleon Ambrosio, 2018)

1.2.1.7. Estratigrafía

a. Formación Pariatambo

Esta formación está constituida de calizas y margas bituminosas de color negro con intercalaciones de calizas oscuras tabulares que se rompen a manera de lascas.

b. Formación Jumasha

Esta formación consiste de calizas gris a gris parduzcas masivas, en bancos medios a gruesos, muy resistentes a la erosión. Morfológicamente, presenta picos agrestes, escarpados y conspicuos. Sus mejores afloramientos se encuentran en la hoja de Ondores con un espesor aproximado de 400 m, ocupando las altas cumbres como las Cordilleras Puagjancha y La Viuda, así como los Nevados Alcay, Lashual. (Días Valdiviezo & Ramírez Carrión, 2009)

c. Formación Celendín

En el cuadrángulo de Ondores próximo a la Cordillera de Puagjancha, se ha determinado un delgado afloramiento, constituido por margas

grises a pardo amarillentas que intemperizan a color amarillo crema con delgadas intercalaciones de caliza gris en capas delgadas. Presenta morfología suave, ondulada y tiende a erosionarse rápidamente.

d. Grupo Calipuy

El Grupo Volcánico Calipuy descansa en discordancia sobre la Formación Casapalca; fue depositado después del período de plegamiento, erosión y levantamiento que afectaron a la Formación Casapalca y que culminaron con una amplia superficie de erosión.

e. Formación Casapalca

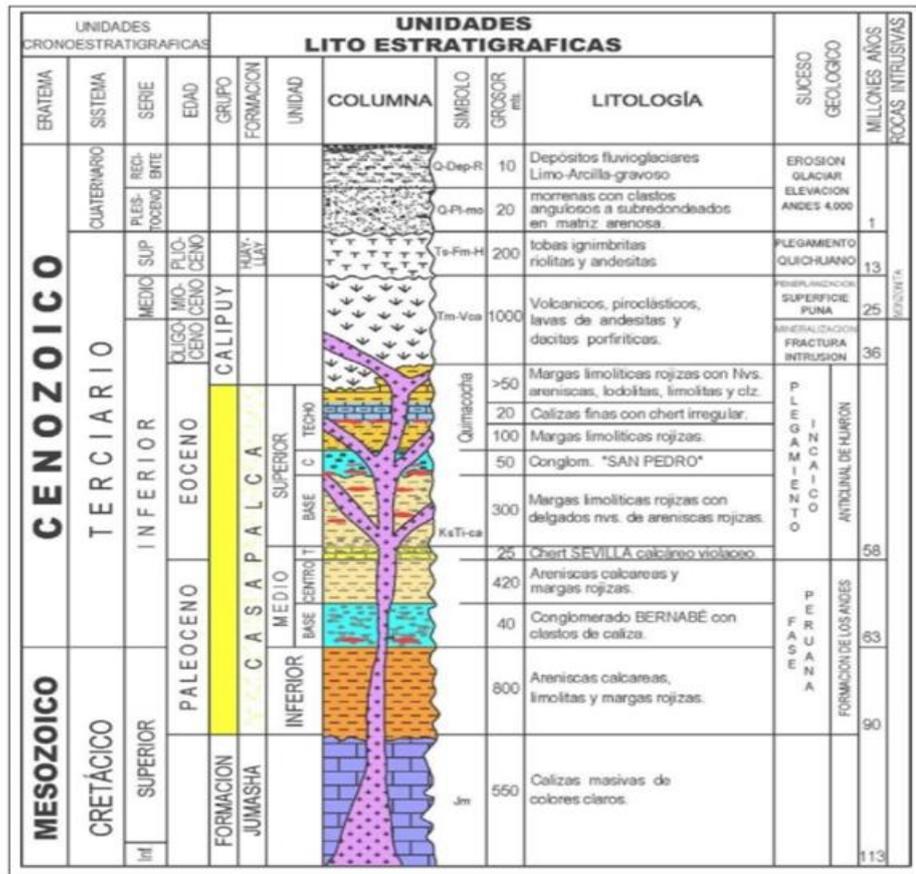
Esta unidad aflora extensamente sobre el geoanticlinal del Marañón con varios cientos de metros de potencia. Por lo general, la serie de capas rojas consiste íntegramente de sedimentos, constituida por lutitas, limolitas, areniscas de colores rojo ladrillo, hacia la base presenta niveles de conglomerados con clastos de calizas, areniscas rojas e intrusivos, hacia el tope se observa predominancia de calizas blanquecinas con intercalaciones de areniscas conglomeráticas rojizas.

f. Formación Huayllay

Después de la última Fase Tectónica andina hubo una actividad volcánica con ignimbritas que rellenaron las superficies de erosión bajo la forma de efusiones lávicas andesíticas intercaladas con piroclastos. Así, el afloramiento más notable se observa en los alrededores de Huayllay, teniendo buena extensión hacia el cuadrángulo de Ondores y Cerro de Pasco (Hacienda Conoc), formando una extensa meseta alargada de dirección andina.

g. Formación yantac

Constituida por rocas clásticas y piroclásticas, variando a conglomerados, areniscas gris parduzcas, caliza arenosa, limolitas y lutitas de colores abigarrados (verde a marrón, púrpura, rosado, gris, blanco y pardo). Sus mejores afloramientos se observan hacia el lado sur occidental de Santa Bárbara de Carhuacayán (Ondores).



Fuente: Área de geología

1.2.1.8. Reservas minerales

La producción de Volcán durante el 2018 fue de 241,000 TMF de zinc, 17 millones de onzas de plata y 47,000 TMF de plomo, es decir disminuciones de 5.5%, 1.7% y 7.9%, respectivamente, comparados con el 2017. Esto principalmente explicado por las paralizaciones de las operaciones en las unidades de Chungar, por más de tres semanas, y Yauli,

por dos semanas, con la finalidad de asegurar el cumplimiento de los altos estándares.

Tabla 1: Cotizaciones aplicadas a la estimación de reservas.

Precios	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Zinc (USD/TM)	1,800	1,800	1,900	2,200	2,200	2,300	2,450	2,440	2,450
Plomo (USD/TM)	1,800	1,800	2,000	2,000	2,000	2,100	2,100	2,030	1,910
Cobre (USD/TM)	6,500	6,500	6,500	6,500	6,500	5,800	6,400	6,500	6,460
Plata (USD/oz)	15	15	20	18	18	18	18.5	16	17
Oro (USD/oz)	1,000	1,000	1,200	1,200	1,200	1,200	1,250	1,250	1,250

Fuente: Área de geología.

Las reservas de mineral son la parte económicamente minable de un recurso mineral medido o indicado. Las reservas incluyen la dilución de material y contingencias por pérdidas que pueden ocurrir durante su minado. Las reservas son categorizadas como probadas o probables

Tabla 2: Evolución de las reservas minerales totales.

Evolución de reservas minerales	Miles de TM	Leyes				Finos		
		Zn	Pb	Cu	Ag	Zn	Pb	Ag
		%	%	%	oz/TM	Miles de TM	Miles de TM	Millones de oz
2010	148,429	3.9	1.2	0.1	3.1	5,715	1,707	453
2011	135,691	3.9	1.1	0.1	3.2	5,238	1,520	438
2012	109,673	3.7	1.0	0.1	3.2	4,112	1,147	355
2013	69,417	3.9	1.0	0.1	4.0	2,728	676	276
2014	73,699	2.5	0.7	0.1	1.8	1,864	486	133
2015	76,891	3.7	0.9	0.1	3.5	2,840	701	267
2016	65,242	3.9	0.9	0.1	3.3	2,536	614	215
2017	50,296	4.1	0.9	0.2	3.6	2,039	465	179
2018	34,300	4.0	0.9	0.1	2.4	1,388	306	81
2019	32,700	4.8	1.1	0.2	3.0	1,565	371	99

Fuente: Área de geología

Las reservas de la Compañía al 31 de diciembre de 2021 tuvieron una pequeña disminución en su tonelaje de 5% con respecto al año anterior. La calidad del mineral de reservas tuvo una sustancial mejora en las leyes de Zn de +20%, Pb de +22% y Ag de +25% con respecto al año anterior. (Volcan Compañía Minera, 2021).

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Es posible optimizar los parámetros de avance del túnel de integración Animón Islay con el rediseño de la malla de perforación y voladura en la minera Chungar?.

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿El rediseño de la malla de perforación y voladura permite optimizar la eficiencia lineal del avance del túnel de integración Animón Islay en la minera Chungar?.
- b) ¿El rediseño de la malla de perforación y voladura permite optimizar el factor de potencia del avance del túnel de integración Animón Islay en la minera Chungar?.
- c) ¿El rediseño de la malla de perforación y voladura permite optimizar la fragmentación de la roca del avance del túnel de integración Animón Islay en la minera Chungar?.

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Rediseñar la malla de perforación y voladura para optimizar los parámetros de avance del túnel de integración Animón Islay en la minera Chungar.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Rediseñar la malla de perforación y voladura para optimizar la eficiencia lineal en el avance del túnel de integración Animón Islay en la minera Chungar.
- b) Rediseñar la malla de perforación y voladura para optimizar el factor de potencia en el avance del túnel de integración Animón Islay en la minera Chungar.

- c) Rediseñar la malla de perforación y voladura para optimizar la fragmentación de la roca en el avance del túnel de integración Animón Islay en la minera Chungar.

1.5. Justificación de la Investigación

La productividad de los procesos mineros ha llevado a la minería a innovar, aplicar e implementar nuevas tecnologías que optimicen el proceso de perforación y voladura de rocas en términos de eficiencia lineal, factor de potencia y fragmentación, Esto es posible gracias a los controles permanentes y constantes supervisiones para evaluar resultados y poder rediseñar nueva malla de perforación y voladura que puedan garantizar el cumplimiento del proyecto.

La investigación tiene el objetivo de evaluar técnicamente los resultados de las voladuras del túnel de integración Animón Islay de la minera Chungar y se pueda tener una nueva opción que permita optimizar los parámetros de avance. Así mismo que sirva de modelo para el empleo de otras empresas mineras, como otras investigaciones.

1.6. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones de la investigación, es el acceso limitado a la información de rendimientos de eficiencia lineal, factor de potencia y fragmentación anteriores al proceso de pruebas que buscan determinar rediseños de mallas de perforación y voladura; no se tuvo otra limitación ya que la empresa dio la autorización para tomar los datos de campo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes nacionales

- **Macedo, R. (2017).** De la Universidad Nacional del Altiplano – Puno. en su tesis Diseño de Perforación y Voladura y su Incidencia en las Labores de Desarrollo en el Balcón III de la Corporación Minera Ananea S. A., Como conclusión define que el nuevo diseño de malla al disminuir el número de taladros mejora las eficiencias de todos los factores y se tuvo un incremento bastante significativo llegando a lograr los índices programados; en cuanto a la voladura también mejora se logró mejores resultados. Después de la investigación realizada se observa que con un cambio de diseño de malla mejora los parámetros de la galería 325 de la minera Ananea.
- **Chipana, E. (2018).** De la Universidad Nacional del Altiplano - Puno. En su tesis; “Diseño de perforación y voladura para reducir el consumo en explosivos de la galería progreso de la contrata minera Cayilquis minera

MARSA”. Concluye que al determinar una nueva malla en perforación y cambio en la carga explosiva se tuvo una reducción del consumo de explosivos, mejorando notablemente el factor de carga de 1.58 kg/ m³ se redujo 1.25 Kg/m³; asimismo una reducción de costos total de 294.9 US\$ a 235.64 \$.

2.1.2. Antecedentes internacionales

- **Sánchez V. (2017.)** De la Universidad Central de Caracas - Venezuela. Presenta su tesis “Optimización del proceso de perforación y voladura en el avance de la rampa en la mina Bethzabeth”, llega a la conclusión que al analizar la malla de perforación que se está aplicando en el desarrollo de la rampa de acceso a la veta tres diablos y sucre no es la correcta en la cantidad de taladros, kilogramos de explosivo utilizado, velocidad en la detonación, el avance lineal del frente y los tiempos programados para la perforación y carga explosiva, finalmente influyendo en altos costos en este proceso.
- **Salazar, R. (2018).** De la Universidad de Guayaquil – Ecuador. En su tesis Remoción de rocas con explosivos, para la construcción de caminos, menciona que, dadas las actuales necesidades de producción y rapidez versus productividad, los equipos de perforación hidráulicos cumplen en mejor forma los requerimientos de trabajo que los equipos neumáticos, en lo que respecta a perforación de taladros paralelos, longitud de taladros con una misma longitud, obteniendo mejor performance en las remociones de acuerdo a la malla de perforación, por lo tanto se mejora las eficiencias de las operaciones de perforación y voladura.

2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Diseño de malla de perforación y voladura

a. Características de la roca

La roca presenta diferentes características, entre ellas se considera las propiedades físicas como el grado de alteración, la porosidad, la tenacidad, dureza, densidad; sus propiedades de resistencia a la compresión, cohesión, fricción interna y tensión; las condiciones geológicas como el grado de fisuramiento, presencia de agua, tipo de estructura.

b. Propiedades del explosivo

La propiedad del explosivo es variable, en la actualidad se controla con software aplicados para este fin asimismo los fabricantes de este insumo brindan la ficha técnica respectiva con toda la información de cada tipo de explosivo. Todo explosivo posee propiedades físicas y químicas entre ellos es muy importante considerar la velocidad de detonación, densidad, resistencia al agua, categoría de humos, simpatía, sensibilidad a la iniciación, energía del explosivo, categoría de humos, volumen y calidad de generación de gases.

c. Control de Carga

Son también variables controlables para el diseño de la malla de perforación y voladura se considera el diámetro del taladro, longitud del talado, confinamiento, acoplamiento, densidad de carga, longitud de carga, tipo y ubicación del cebo, distribución de energía, intervalos de iniciación de carga, variables de perforación). (EXSA S.A., 2015)

d. Clases de Arranques o Cortes

Se tiene varios métodos de corte, que toman diferentes nombres, por la forma, los tipos de corte podemos agruparlos en:

Cortes angulares

Cortes paralelos

- **Cortes Angulares**

Son aquellos taladros que hacen un ángulo con el frente donde se perfora, con el fin de que al momento de la explosión formen un cono de base obteniendo la cara libre amplia y de profundidad moderada dependiendo del tipo de terreno.

- **Corte paralelo**

El corte paralelo se realiza con la barrenación de taladros en forma horizontal todos ellos deben estar paralelos al eje de la galería y entre sí; cuando la roca es altamente dura se deben perforar a menor distancia y burden con un mayor diámetro y mayor cantidad. En el conjunto de los taladros del arranque uno o más taladros se dejan vacíos no se carga explosivo para generar la cara libre con el objeto de facilitar la fragmentación de los otros taladros cargados; dentro de los tipos de arranque o cortes en paralelo contamos con 3 tipos de cortes. (EXSA S.A., 2015)

El corte quemado

El corte cilíndrico con taladros de alivio

El corte escalonado.

El corte quemado el barrenado de los taladros se efectúan de manera paralela con un mismo diámetro; de todo el grupo de taladros cierta cantidad se cargan con explosivos y otros se dejan vacíos para la cara libre, es importante considerar el número de taladros vacíos para asegurar la expansión de la roca triturada, los taladros del arranque deben ser más profundos que el resto de los taladros del trazo. (EXSA S.A.,2015)

Las ventajas del corte quemado, es ideal para terrenos muy duros, permite un buen avance. La desventaja del corte es el inconveniente de que es difícil

perforar los taladros tan cerca uno de otros y paralelos.

El corte cilíndrico, mantiene similares distribuciones que el corte quemado, con la diferencia que uno o más taladros centrales van vacíos de mayor diámetro que el resto ello facilita la creación de la cara libre central; proporciona mayor avance que el corte quemado, en el arranque es importante el burden entre el taladro grande vacío y el más próximo cargado, se puede estimar con relación: $B = 0,7 \times \text{diámetro del taladro central}$, una regla práctica indica que la distancia entre taladros debe ser de 2,5 diámetros. (EXSA S.A., 2015)

La ventaja del corte es para el uso en terrenos muy duros, permite un buen avance. La desventaja es que requiere de mayor tiempo de perforación, si no se utiliza el juego de barras se tiene un desgaste prematuro de partes de máquina perforadora.

e. Distribución y Denominación de Taladros

Todos los taladros se distribuyen alrededor del arranque desde el área central del frente su denominación es la siguiente:

- **Taladros de Alivio**

Conforman el conjunto de taladros vacíos todos ellos sin carga explosiva su objetivo es de generar la cara libre cuando se produce la voladura.

(EXSA S.A., 2015)

- **Taladros de arranque o corte**

Forman todos los taladros cargados ubicados en la parte central, son aquellos que explotan en primer plano para generar el orificio inicial, todos estos taladros la densidad de carga es de 1.3 a 1.5 mayor que el resto de los taladros.

(EXSA S.A., 2015)

- **Taladros de ayuda del arranque**

Estos taladros son los consecuentes del trazo del arranque son los que rodean a la barrenación del arranque que detonan después de la explosión del arranque, son las primeras ayudas de la malla, le sigue la segunda y tercera ayuda son taladros de destrozo o franqueo que salen en segundo término.

(EXSA S.A., 2015)

- **Cuadradores.**

Estos taladros se ubican en las cajas laterales o hastiales que forman los flancos del túnel.

- **Alzas.**

Estos taladros se ubican en el techo o bóveda del frente, también se denominan taladros de la corona; en una voladura de recorte se detonan juntos las alzas y cuadradores, en el mismo tiempo y al final de toda la ronda, en general se denominan taladros periféricos. (EXSA S.A., 2018)

- **Arrastre o zapatera.**

Estos taladros corresponden al piso frente, se detonan al final de toda la ronda limitan la excavación del piso y mueven el material fragmentado con el objetivo de facilitar el carguío. (EXSA S.A., 2018)

f. Dimensiones del Corte

En todos los tipos de corte se emplea un esquema básico, es muy importante el burden o distancia entre el taladro grande vacío y el más próximo; también la geometría convexa del taladro de expansión, la profundidad de los taladros de expansión alcanza igual al resto de los taladros; sin embargo, se puede lograr claras ventajas cuando los taladros de expansión se perforan de 15 cm a 30 cm más profundos que los cargados.

g. Diámetro del taladro

El modelo matemático para determinar el diámetro del taladro es equivalente a un taladro de alivio, el que se debe considerar el volumen del grupo de taladros de alivio, se considera el siguiente modelo:

$$\varnothing_e = \varnothing_t \cdot \sqrt[n]{n}$$

Donde:

\varnothing_e : diámetro equivalente.

\varnothing_t : diámetro de alivio o vacío.

n: número de taladros de alivio

h. Numero de taladros

La cantidad de taladros que se evalúa para una voladura subterránea está en función a la calidad de roca a fragmentar, diámetro de las brocas, tamaño de la granulometría que se requiere, sección del frente a mayor sección menor confinamiento, Otro factor a considerar el que va determinar aumentar o disminuir el número de taladros es la clase de explosivo que se va utilizar y el método de iniciación para emplear. Se calcula el número de taladros en forma aproximada con la siguiente fórmula empírica. (EXSA S.A., 2018)

$$N^{\circ} \text{ tal} = 10 \times \sqrt{(A \times H)}$$

Donde:

A: ancho de sección

H: altura de sección

o se puede utilizar la siguiente formula

$$N^{\circ} \text{ tal} = (P/dt) + (C \times S)$$

Donde:

P: perímetro de la sección (m).

dt: distancia entre taladros (m).

C: constante de roca (m).

S: área de la sección (m²).

El perímetro es la suma de todos los lados de la sección.

$$P= 4\sqrt{(A)}$$

i. Longitud de taladro

La longitud del taladro se estima a partir del ancho de la sección del frente útil de acuerdo al corte que se va utilizar, como también se considera las características del equipo de perforación. Cuando se procede al corte quemado se puede realizar una profundidad de 2 a 3 metros y se va utilizar el corte en V se llega a una profundidad de 1 a 2 metros como máximo en un túnel de pequeña sección; para el cálculo de la longitud de los taladros de corte en V, cuña o pirámide se emplea la siguiente relación. (EXSA S.A., 2018).

$$L= Lb \times Ep$$

Donde:

Lb: longitud de barra (m)

Ep: eficiencia de perforación %

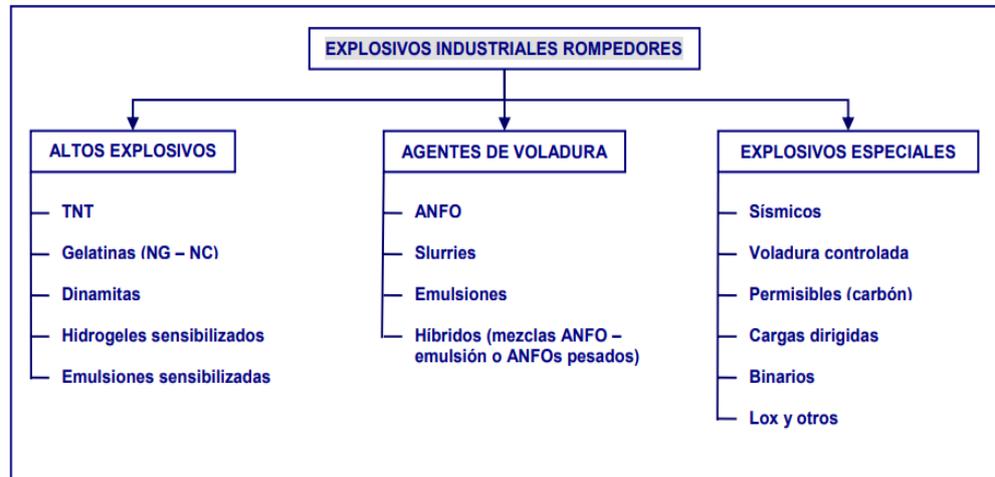
2.2.2. Explosivos

a. Explosivos comerciales

Los explosivos comerciales son compuestos o mezclas de sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso que por medio de reacciones químicas de óxido-reducción, son capaces de transformarse en un tiempo muy breve, del orden de una fracción de microsegundo, en productos gaseosos y condensados, cuyo volumen inicial se convierte en una masa gaseosa que llega

a alcanzar muy altas temperaturas y en consecuencia muy elevadas presiones.
(Manual de Voladura Exsa, 2018, p. 11)

Tabla 3: Clasificación de los Explosivos Industriales.



Fuente: Manual de Voladura Exsa. (2018, p.31)

b. Características de los explosivos industriales

- **Potencia relativa**

Es la capacidad cuántica de energía de un explosivo y el trabajo que puede desarrollar efectos mecánicos. En la actualidad no hay un criterio de medición para los fabricantes, se tiene muchos métodos como la prueba balística de mortero, caracterización, método de potencia sísmica, prueba de trauzl.

Se considera como una potencia absoluta por volumen (ABS) y potencia absoluta por peso (AWS); Así mismo se puede indicar en comparación de la energía referente al ANFO, donde se toma como el 100%, obteniendo la potencia relativa en peso o potencia relativa en volumen, entonces es un valor relativo el propósito es comparar los explosivos entre ellos. (Manual de Voladura Exsa, 2018, p. 36)

- **Poder rompedor o Brisance**

Es el efecto demoledor que posee un explosivo sobre la roca para producir su rompimiento; el factor dinámico del trabajo es resultado de la onda de choque

y se encuentra vinculado con la densidad y la velocidad de detonación que frecuentemente se utiliza como base de comparación.

- **Velocidad de detonación**

Todo explosivo posee una onda de detonación que se propaga a través de la columna del explosivo, en consecuencia, este parámetro define la capacidad de liberación de energía. (Manual de Voladura Exsa. 2018, pág. 40).

- **Resistencia al agua**

Es una capacidad del explosivo definido por un tiempo que puede resistir a una prolongada exposición al agua y no pierda sus características, es decir su capacidad para rechazar la penetración del agua. La unidad empleada es la de “horas”. (Manual de Voladura Exsa, 2018, p. 44).

- **Categoría de humos**

La explosión de un explosivo industrial genera polvo, óxidos de nitrógeno (NO-NO_2), óxidos de carbono (CO-CO_2), vapor de agua (H_2O) y eventualmente gases sulfurosos (H_2S , SO_3 y AlO_2), si tiene como componente azufre o aluminio. Los gases inocuos producidos tienen siempre un porcentaje de productos letales o tóxicos irritantes llamados en conjunto gases o humos, como el bióxido de nitrógeno, monóxido de carbono y por la proporción contenida de estos gases tóxicos se establece escalas donde se clasifica por grado de toxicidad para considerar el tiempo de exposición del personal trabajador después del disparo. (Manual de Voladura Exsa, 2018, pág. 45).

Tabla 4: Clasificación de gases nocivos post voladura

Categoría	Volumen de gases nocivos (CO, NO₂)
1 ^{ra}	de 0 a 0,16 pie ³
2 ^{da}	de 0,16 a 0,33 pie ³
3 ^{ra}	de 0,33 a 0,67 pie ³

Fuente: Manual de Voladura Exsa. (2018).

- **Densidad**

Esta propiedad en la mayoría de los explosivos varía entre 0.8 y 1.6 g/cm³ (Ver Tabla 4). A mayor densidad un explosivo, se obtiene mayor efecto brisance o impacto.

Tabla 5: Densidades de diferentes tipos de explosivo

	Densidad (g/cm³)
Emulsión a granel	1.10 - 1.60
Anfo cargado neumáticamente	0.80 - 1.00
Anfo vaciado	0.80 - 0.90
Anfo encartuchado	1.10 - 1.20
Anfo pesado	1.10 - 1.40
Dinamitas	1.05 - 1.50
Hidrogeles	1.15 - 1.30

Fuente: Konya & Albarrán

c. **Agentes de voladura**

Los agentes de voladura son aquellos explosivos no sensibles al fulminante N°8, por lo que necesitan un cebo reforzado o primer-booster para iniciar su detonación. (López Jimeno, 2003)

- **ANFO**

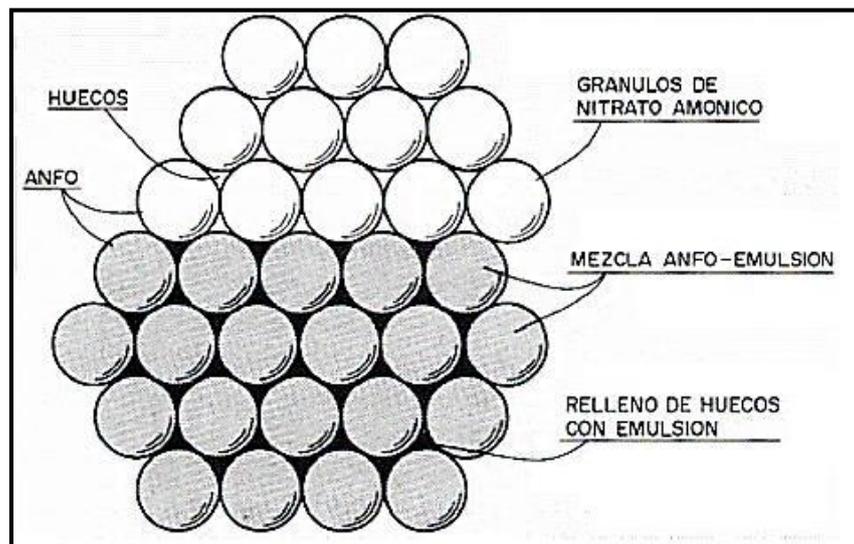
El ANFO es una mezcla explosiva industrial, su composición es de 94% de nitrato de amonio y 6% combustible. El nitrato de amonio es la sal inorgánica,

no explosiva, frecuentemente se usa en la minería es el que se fabrica con partículas esféricas o prills porosos. La principal desventaja del ANFO es su nula resistencia al agua. (López Jimeno, 2003)

- **ANFO pesado**

El ANFO Pesado es la mezcla de dos agentes de explosivos, el ANFO y la emulsión matriz en diferentes proporciones, donde la emulsión envuelve los prills de ANFO (Ver Figura 3), formando una matriz energética con propiedades específicas. (López Jimeno, 2003).

Figura 5: Estructura del ANFO Pesado



Fuente: Du Pont, 1986.

- **Emulsión**

Las emulsiones explosivas son agentes de voladura del tipo denominado “agua en aceite” en las que la fase acuosa está compuesta por sales inorgánicas oxidantes disueltas en agua y la fase aceitosa por un combustible líquido inmiscible con el agua del tipo hidrocarbonado, comúnmente diésel 2. (López Jimeno, 2003).

Su tamaño de sus componentes (de esta mezcla oxidante y combustible) tiene una influencia directa con la velocidad de detonación y en forma general en

la característica del explosivo.

Una emulsión pura no es un explosivo que pueda detonar, debido a que no es sensible ni siquiera al booster porque su densidad es muy alta. Para sensibilizarla, se puede utilizar un mecanismo físico como la generación de burbujas de gas, las cuales al ser comprimidas adiabáticamente se comportan como puntos calientes o hot spots, favoreciendo tanto la iniciación como la propagación de la detonación. Estos agentes gasificantes pueden ser poliestireno expandido o microesferas de vidrio. A la vez, se puede aplicar la sensibilización química a través de una solución gasificante como es el nitrito de sodio. (López Jimeno, 2003).

Tabla 6: *Tamaño de partículas de los explosivos*

	Tamaño (mm)	Estado	VOD (km/s)
ANFO	2	Sólido	3.2
Dinamita	0.2	Sólido	4.0
Hidrogel	0.2	Sólido/líquido	3.3
Emulsión	0.001	Líquido	5.0 - 6.0

Fuente: López Jimeno

d. Variables en el proceso de voladura

- Variables controlables.
- Variables geométricas:
 - Burden (B)
 - Diámetro de taladro (BHF)
 - Espaciamiento (S)
 - Longitud de carga (BHL)
 - Sobre perforación (S/D)
 - Taco (ST), Altura de banco (BH)

- Profundidad de taladro (BHD), etc.
- Variables fisicoquímicas:
 - Tipo de mezcla explosiva
 - Densidad de mezcla explosiva
 - Parámetro de explosivo.
- Variables de tiempo: Tipos y tiempos de retardo, tipos y secuencias de salida, etc.
- Variables operativas: Fragmentación requerida.
 - **Variables no controlables**

Se considera a las propiedades fisicoquímicas del macizo rocoso.

- Resistencia a la compresión (S_c)
- Resistencia a la tensión (S_t)
- Hidrología y condiciones climáticas
- Geología estructural, local y regional
- Los contactos, discontinuidades, fallas, la caracterización geomecánica como (RQD, RMR, Q, ETC)
- Del macizo rocoso se considera las constantes elásticas: relación de Poisson (μ), el módulo de rigidez (G), la constante de Lamé (λ), módulo de elasticidad de Young (E).

2.3. Definición de términos básicos

- **Taladro:** Orificio cilíndrico de variable longitud y diámetro, se ejecuta con fines de fragmentación de la roca.
- **Malla:** Es la geometría de la distribución de taladros en un frente que se ha diseñado para triturar una sección determinada de un macizo rocoso.
- **Burden:** Es la distancia entre el taladro y la cara libre y se considera la

perpendicular a la dirección de la línea del frente que se encuentra dentro de una fila.

- **Espaciamiento:** Distancia entre taladros de una misma fila que se disparan con un mínimo retardo o con retardos diferentes.
- **Acoplamiento:** Es el confinamiento de contacto del explosivo en un taladro con la roca que lo rodea. Si el diámetro del explosivo es menor que el del taladro, se considera que es una carga desacoplada.
- **Voladura:** Es la detonación de una carga explosiva que se genera mediante un proceso tridimensional, donde las presiones generadas por la carga confinada dentro del taladro poseen una zona de alta concentración de energía que genera dos efectos dinámicos la fragmentación y desplazamiento.
- **Diámetro crítico:** Es cuando la carga explosiva puede detonar en un diámetro mínimo. Al agregar gas finamente disperso se puede reducir el diámetro crítico de un explosivo.
- **Factor de carga:** El término describe la cantidad de explosivo usado para romper un volumen o peso unitario de roca, se indica mediante unidades de kg/m^3 .
- **Carga lineal:** Es la concentración de explosivo, medida en kg/m , a lo largo de la longitud de un taladro considerando el diámetro respectivo.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El rediseño de la malla de perforación y voladura permite optimizar los parámetros de avance del túnel de integración Animón Islay en la minera Chungar.

2.4.2. Hipótesis específicas

a) Al rediseñar la malla de perforación y voladura, la eficiencia lineal se optimiza

en el avance del túnel de integración Animón Islay de la minera Chungar.

- b) Al rediseñar la malla de perforación y voladura, el factor de potencia se optimiza en el avance del túnel de integración Animón Islay de la minera Chungar.
- c) Al rediseñar la malla de perforación y voladura, la fragmentación de la roca se optimiza en el avance del túnel de integración Animón Islay de la minera Chungar.

2.5. Identificación de variables

- Variable Independiente

X: Rediseño de la malla de perforación y voladura del avance del túnel de integración Animón Islay de la minera Chungar

- Variables Dependiente

Y: Optimización de los parámetros de avance del túnel de integración Animón Islay de la minera Chungar.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	
VARIABLE INDEPENDIENTE	X: Rediseño de la malla de perforación y voladura del avance del túnel de integración Animón Islay de la	El rediseño de una malla de perforación y voladura permite optimizar los parámetros del avance de un frente, en la malla de perforación se reajusta el número, la longitud de taladros, el burden el espaciamiento y en cuanto al uso del explosivo se reajusta la cantidad de explosivo a utilizar, se cambia la densidad y velocidad de detonación para obtener mejores resultados.	Malla de Perforación	Densidad de roca	gr./c m ³
				Longitud del taladro	m.
				Burden	m.
				Espaciamiento	m.
			Explosivo	Densidad del explosivo	gr./c m ³
				Velocidad de detonación	m/s
				Longitud de carga explosiva	m.
				Tipo de explosivo	adimensional
VARIABLE DEPENDIENTE	Y: Optimización de los parámetros de avance del túnel de integración Animón Islay de la minera Chungar	Cuando se realizan perforaciones y voladuras en el avance de rampas de algún nivel muchas veces el avance lineal es deficiente, el factor de potencia es alta y la fragmentación es inadecuada y todos estos parámetros no son bien controladas por lo que se requiere el uso de rediseños de la malla de perforación y voladura para optimizar estos parámetros.	Parámetros de la voladura	Avance lineal	m.
				Factor de potencia	Kg./ m ³
				Fragmentación	Pulgadas

Tabla 7: Operacionalización de las variables

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

La investigación se desarrollará de acuerdo a los objetivos planteados considerando el carácter experimental-aplicativo, como también la investigación es de un nivel con profundización descriptiva, correlacional y explicativa.

3.2. Nivel de investigación

Para la investigación se ha considerado el nivel descriptivo, en el desarrollo se describe los parámetros de avance de la perforación y voladura en la ejecución del túnel de integración Animón Islay, luego se relaciona con el rediseño de la malla de perforación y voladura para demostrar la optimización en la minera Chungar. Su finalidad es describir y estimar parámetros.

3.3. Métodos de Investigación

Para el desarrollo de la investigación se utilizará el método de investigación lógica donde se desarrolla mediante el análisis, la deducción y síntesis. Así mismo se obtiene todos los resultados mediante la observación que afectan al objeto del

estudio.

3.4. Diseño de Investigación

MEI desarrollo de la investigación está centrado de manera cuantitativa, descriptiva y correlacional, se acumula una data base que describe los resultados al rediseñar la malla de perforación y voladura. Después de realizar las pruebas también se ejecuta un diseño descriptivo con los resultados obtenidos con un análisis de comparación entre las mallas de perforación y voladura.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Proyecto de ejecución del túnel de integración Animón Islay de la minera Chungar.

3.5.2. Muestra

Ejecución del túnel de integración Animón Islay de un tramo de 200 metros de avance lineal de la minera Chungar.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

a. Descripción de las técnicas empleadas

- **Búsqueda de datos**

Se buscó informaciones anteriores de proyectos de mallas de perforación y voladura

- **Observación in situ**

Se realizó observaciones directas en los resultados de la perforación y voladura con la malla de perforación y voladura diseñada

- **Información bibliográfica**

Se utilizó la técnica de revisión de tesis e información virtual para tener una mejor comprensión acerca de la malla de perforación y voladura

b. Instrumentos de recolección de datos

- **Materiales**

- ✓ Diseños de malla de perforación y voladura
- ✓ Formatos de reporte de resultados de la perforación y voladura
- ✓ Unidad de medida
- ✓ Ficha técnica de explosivos

- **Equipos**

- ✓ Laptop
- ✓ Tablet
- ✓ Equipo fotográfico
- ✓ Multitester
- ✓ Vibracord (Sismógrafo)
- ✓ Excel

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

El proceso y análisis de los datos se realizará en el Microsoft Excel, agrupando las variables y resultados en tablas y gráficos dinámicos.

3.8. Tratamiento estadístico.

Para el análisis de la investigación se hará uso de gráficos estadísticos en Microsoft Excel como barras, histogramas y otros gráficos estadísticos, para la descripción del análisis se usará el Microsoft Word.

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica.

El presente trabajo se desarrolla dentro de los principios de la ética personal y profesional, considerando los valores, principios que una investigación debe tener. Es muy importante resaltar que el documento es el resultado de las experiencias y de los trabajos que he realizado en la minera Chungar.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Datos de la perforación y voladura

Se ha tomado las diez primeras muestras de la perforación y voladura del túnel de integración para analizar su eficiencia de perforación y voladura, evaluar los resultados de la voladura para luego reajustar o reconsiderar la malla de perforación y el consumo de explosivos por cada voladura.

De esta manera mejorar la eficiencia de perforación y voladura durante la ejecución del túnel de integración. Es como sigue en la tabla 8:

Tabla 8: Parámetros de perforación y voladura convencional

Diseño:	Malla convencional
Lugar:	Mina Chungar
Ancho de la labor:	4:00 m.
Alto de la Labor:	4:00 m.
DATOS DE CAMPO	
Parámetros de perforación	

Número de taladros	39
Diámetro del Taladro	45 mm.
Longitud del barreno	12 pies (3.65 m.)
Eficiencia de perforación	91 %
Eficiencia de voladura	83 %
PARAMETRO DE EXPLOSIVO	Dinamita gelatina 80%
Densidad	1.16 gr/cm ³
Velocidad de detonación	4500 m/sg.
Diámetro de explosivo	1 pulgada
Longitud de explosivo	7 pulgadas
N° de cartuchos por taladro	11 cartuchos
% de acoplamiento	67%
PARÁMETRO DE ROCA	Caliza Silisificada
Densidad	3.0 kg/m ³
Resistencia a la compresión	103.84 Mpa.

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Resultados de la voladura convencional

Muestra 1

Longitud de perforación efectiva; 3.30 m.

Longitud de avance; 2.75 m.

Metros cúbicos rotos; 44 m³

Explosivo Utilizado; 59.84kg

Factor de Carga 1.36; Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 1.5” en promedio

Perfil del túnel Irregular; sobre excavación techo cajas

Muestra 2

Longitud de perforación efectiva 3.30 m.

Longitud de avance: 2.80 m.

Metros cúbicos rotos 44.80 m³

Explosivo Utilizado 59.84 kg.

Factor de Carga 1.34 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 2.0” en promedio

Perfil del túnel Irregular; sobre excavación techo cajas

Muestra 3

Longitud de perforación efectiva 3.30 m.

Longitud de avance: 2.70 m.

Metros cúbicos rotos 43.20 m³

Explosivo Utilizado 59.84 kg. (407 cartuchos)

Factor de Carga 1.39 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 1.2” en promedio

Perfil del túnel Irregular; sobre excavación techo cajas

Muestra 4

Longitud de perforación efectiva 3.30 m.

Longitud de avance: 2.85 m.

Metros cúbicos rotos 45.60 m³

Explosivo Utilizado 59.84 kg.

Factor de Carga 1.31 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 2.0” en promedio

Perfil del túnel Irregular; sobre excavación techo cajas

Muestra 5

Longitud de perforación efectiva 3.30 m.

Longitud de avance: 2.75 m.

Metros cúbicos rotos 44.00 m³

Explosivo Utilizado 59.84 kg.

Factor de Carga 1.36 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 1.5” en promedio

Perfil del túnel Irregular; sobre excavación techo cajas

Muestra 6

Longitud de perforación efectiva 3.30 m.

Longitud de avance: 2.70 m.

Metros cúbicos rotos 43.20 m³

Explosivo Utilizado 59.84 kg.

Factor de Carga 1.39 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 1.5” en promedio

Perfil del túnel Irregular; sobre excavación techo cajas

Muestra 7

Longitud de perforación efectiva 3.30 m.

Longitud de avance: 2.85 m.

Metros cúbicos rotos 45.60 m³

Explosivo Utilizado 59.84 kg.

Factor de Carga 1.31 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 2.5” en promedio

Perfil del túnel Irregular; sobre excavación techo cajas

Muestra 8

Longitud de perforación efectiva 3.30 m.

Longitud de avance: 2.65 m.

Metros cúbicos rotos 42.40 m³

Explosivo Utilizado 59.84 kg.

Factor de Carga 1.41 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 1.5” en promedio

Perfil del túnel Irregular; sobre excavación techo cajas

Muestra 9

Longitud de perforación efectiva 3.30 m.

Longitud de avance: 2.70 m.

Metros cúbicos rotos 43.20 m³

Explosivo Utilizado 59.84 kg.

Factor de Carga 1.39 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 1.5” en promedio

Perfil del túnel Irregular; sobre excavación techo cajas

Muestra 10

Longitud de perforación efectiva; 3.30 m.

Longitud de avance; 2.75 m.

Metros cúbicos rotos; 44.00 m³

Explosivo Utilizado; 59.84 kg.

Factor de Carga; 1.36 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 1.5” en promedio

Perfil del túnel Irregular; sobre excavación techo cajas

4.1.3. Promedio de resultados de las muestras

Longitud de perforación; 3.30 m. (91 %)

Longitud de avance; 2.75 m. (91.6 %)

Metros cúbicos rotos; 44.00 m³

Explosivo Utilizado; 59.84 kg. (407 cartuchos)

Factor de Carga; 1.36 Kg/m³

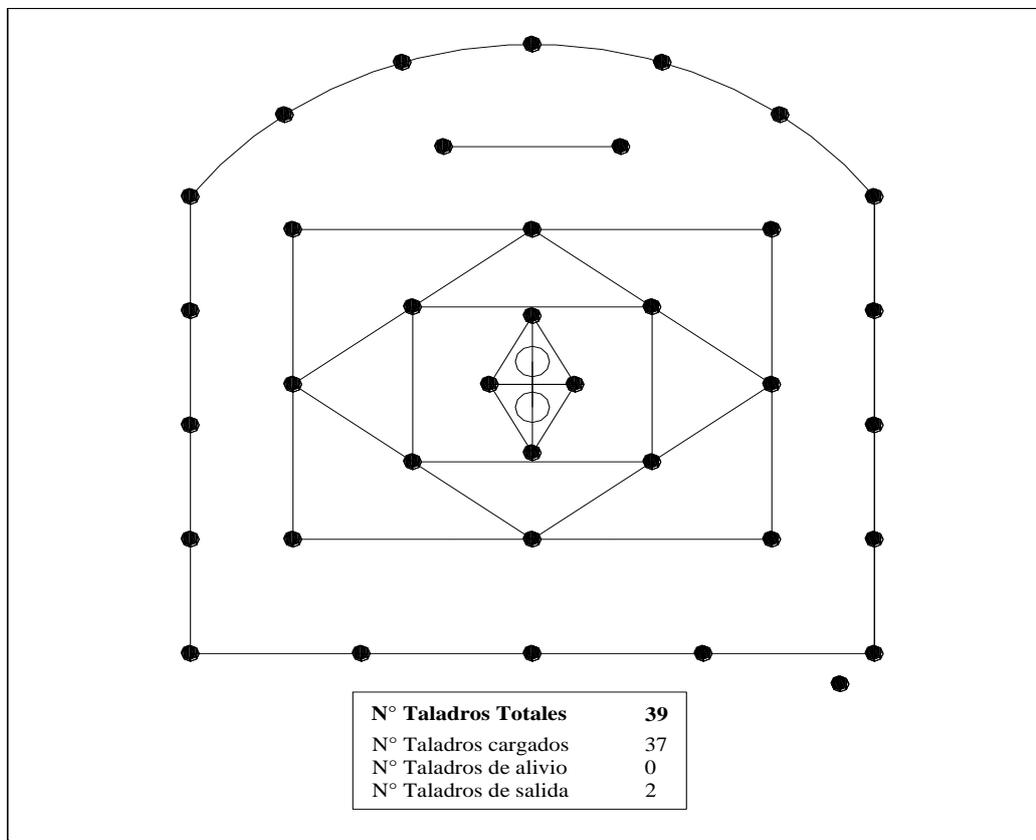
Granulometría de la fragmentación; 1.5” en promedio

Perfil del túnel Irregular; sobre excavación techo cajas.

De acuerdo con las muestras tomadas se puede observar un avance efectivo del

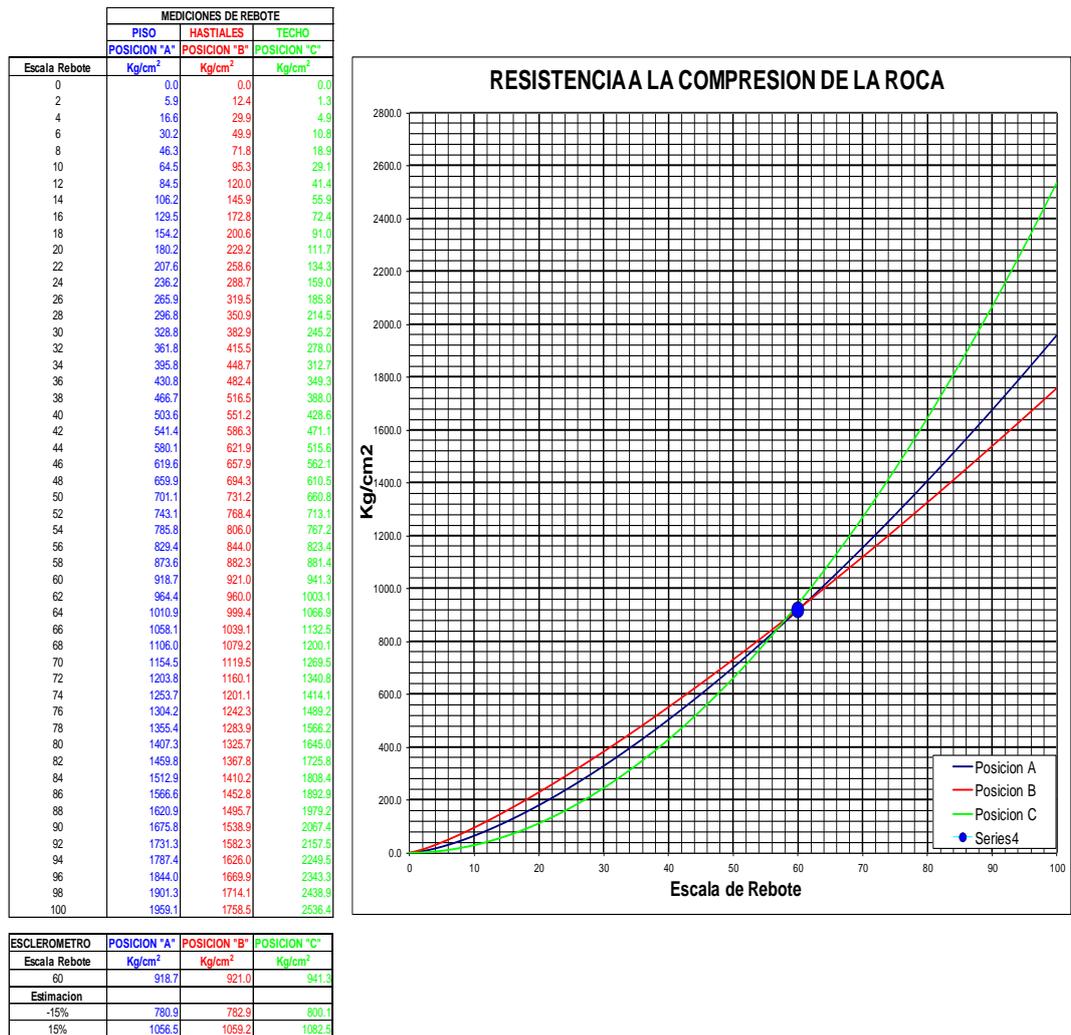
91.6 % con respecto a la longitud efectiva de perforación que representa una eficiencia relativamente baja, el factor de carga de 1.36 Kg/m³, relativamente alta para una roca de dureza intermedia; La granulometría de la fragmentación muy fina de 1.5” para un scoop de 5 yardas cúbicas y finalmente el perfil de la sección del túnel totalmente irregular con sobre excavación. Por tanto, es necesario realizar un rediseño de la malla de perforación y voladura para mejorar la eficiencia de la ejecución del túnel.

Figura 6: Malla de la perforación convencional



Fuente: Elaboración propia

Figura 7: Análisis de la resistencia a la compresión de la roca



Fuente: Área de geología de la minera Chungar.

4.1.4. Rediseño de la malla de perforación y voladura.

Para el rediseño de la malla de perforación y voladura, se utiliza el modelo matemático, considerando la voladura controlada en el techo y cajas de la sección del túnel. Consideramos la resistencia a la compresión a la roca 103.84 Mpa.

4.1.5. Aplicación del modelo matemático

Se procede a calcular, para diseñar la malla perforación, en el siguiente cuadro se muestra los datos de campo, se obtiene 37 taladros de producción y dos taladros de alivio.

Tabla 9: Cálculo de la malla de perforación

DISEÑO DE MALLAS DE PERFORACION Y VOLADURA

DISEÑO:	Cx 595 / Nv 260
LUGAR:	Mina Vinchos
Ancho de la labor:	4,00 m.
Alto de la labor:	4,00 m.
Distancia a una zona crítica:	100,00 m.

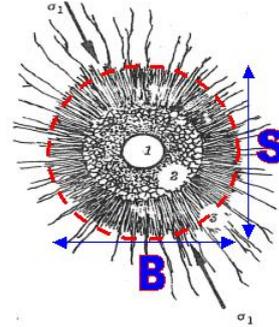
$$B_n = \phi * \left(\frac{P_o D_{tal}}{F_s * \sigma_r * RQD} + 1 \right)$$

Datos de campo:

PARAMETRO DE PERFORACION	
Diametro del taladro:	1,75 pulgadas
Longitud del barreno:	14,00 pies
Eficiencia de perforacion:	92,00 %
Eficiencia de voladura:	95,00 %
Tipo de barreno:	barra (Barra, Estabilizador, DTH)

$$B_n = S_n$$

PARAMETRO DE EXPLOSIVO	
Carga de fondo	
Tipo:	Emulnor 5000
Densidad del explosivo C.F.:	1,16 g/cc
Presion de detonacion de C.F.:	88,00 Kbar
Diametro del explosivo C.F.:	38,00 mm
Longitud del explosivo C.F.:	407,00 mm
Nº de cartuchos/tal C.F.:	1,00 cartuchos/tal
% de Acoplamiento C.F.:	86,00 %
% de Acoplamiento minimo:	85,49 %
Carga de columna	
Tipo:	Emulnor 5000
Densidad del explosivo C.C.:	1,16 g/cc
Presion de detonacion de C.C.:	88,00 Kbar
Diametro del explosivo de C.C.:	38,00 mm
Longitud del explosivo de C.C.:	407,00 mm
Nº de cartuchos/tal de C.C.:	8,00 cartuchos/tal
% de Acoplamiento de C.C.:	87,00 %
% de Acoplamiento minimo:	85,49 %



PARAMETRO DE ROCA Y/O MINERAL	
Tipo:	Caliza silificada
Densidad de la roca	3,00 TM/m³
Resistencia a la Compresion:	1059,15 kg/cm²
RQD:	98,50 %

RESULTADOS:	
Nº de taladros con carga:	4,00 ¡Según el diseño grafico de la malla!
Presion de detonacion en el taladro:	60,01 Kbar
Longitud del taladro:	3,93 m.
Longitud de CC confinado:	3,14 m.
Longitud de CF confinado:	0,40 m.
longitud de carga:	3,55 m. Lc/Ltal: 0,90
Avance/displ:	3,73 m. A _{v pro} 4,00
Volumen roto	3,62 m³
TM rotas	10,86 TM
Peso de explosivo/tal	4,819 kg
Total de explosivo	19,28 kg
Factor de carga	1,77 kg/TM
Factor de carga	5,32 Kg/m³
Desviacion con Barra/Tal:	0,07 m.
Distancia Escalada:	22,78 m/Kg ^{1/2} Dist. Equi. Min: 22.7 m/Kg ^{1/2} por retardo
Velocidad de Particula:	4,81 mm/s Vel. Part. Max: 4.83 mm/s por retardo

Burden	F _s	Burden B _n (m.)	B _i (m.)	S _i (m.)	Taco "T _{min} " (m.)
Ayuda	5	0,57	0,49	0,49	0,26

Fuente: Área de desarrollo minera Chungar

4.1.6. Aplicación de la voladura controlada

Cálculo del número de taladros del contorno de la galería y el espaciamiento entre los taladros para la voladura controlada aplicamos las ecuaciones de Blasting, Análisis Internacional Inc.

- **Cálculo de la presión de taladro**

$$P_t = 10^{-3} \times d \times VOD^2 / (\sqrt{c} \times r_e / r_t)^{2.6}$$

P_t: presión de taladro (Mpa.).

d: densidad del explosivo (g/cc).

VOD: velocidad de detonación del explosivo (m/s).

c: proporción longitudinal de la masa explosiva en el taladro
(1.0 longitud total del taladro).

r_e: radio del explosivo. (cm.)

r_t: radio del taladro. (cm.)

Reemplazando valores se obtiene la presión de taladro a 109 Mpa.

Que es similar a la resistencia de la roca de 103.84 Mpa.

- **Cálculo del espaciamiento entre taladros**

$$E \leq 16 \times V_t \times (P_t + T) \times 10^{-2} / T = 15 \text{ cm.}$$

E = Espaciamiento entre taladros (cm.)

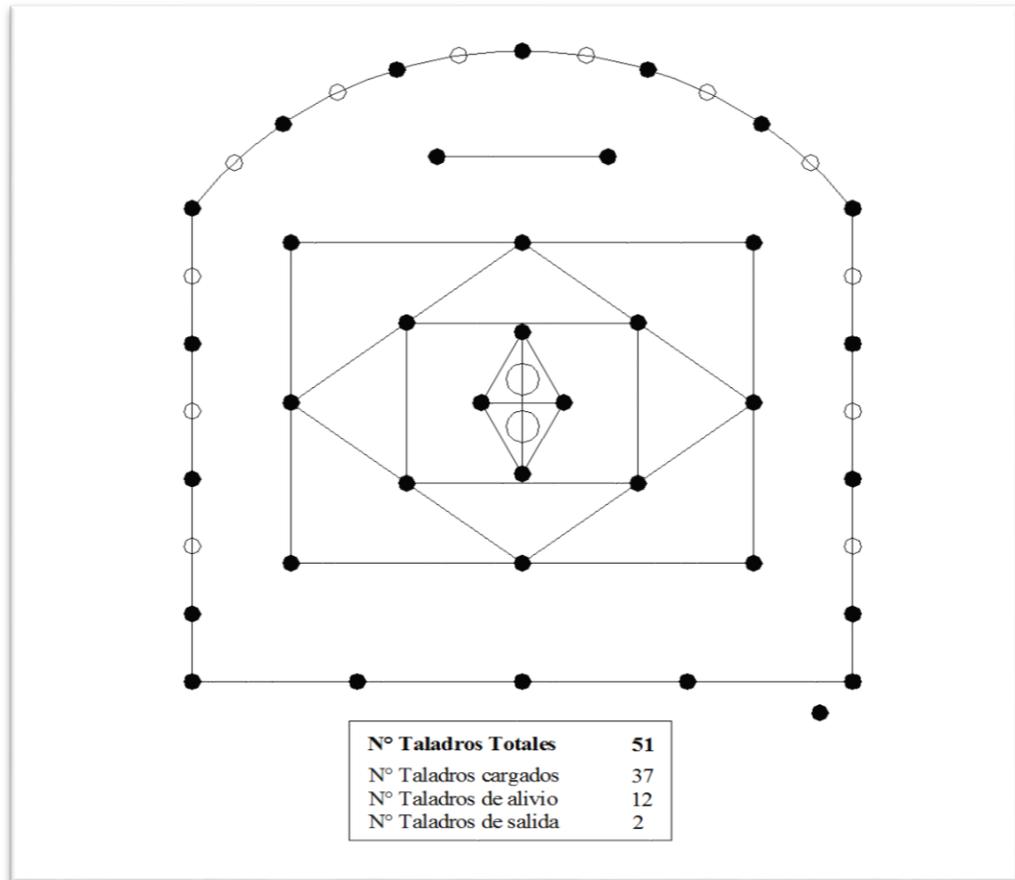
V_t = Radio del taladro en mm.

P_t = Presión del taladro en Mpa.

T = Resistencia a la tensión en Mpa.

Reemplazando valores, resulta que se va perforar 12 taladros más en el contorno del túnel.

Figura 8: Malla de perforación rediseñada.



Fuente: Elaboración propia

4.1.7. Parámetros del rediseño de la malla de perforación y voladura

Tabla 10: Parámetros de la malla rediseñada

Diseño:	Malla rediseñada
Lugar:	Mina Chungar
Ancho de la labor:	4:00 m.
Alto de la Labor:	4:00 m.
DATOS DE CAMPO	
Parámetros de perforación	
Número de taladros	51
Diámetro del Tal. de producción	45 mm.
Diámetro del Tal. de salida	100 mm.
Longitud del barreno	14 pies (4.30 m.)
Eficiencia de perforación	92 % (4.00 m.)
Eficiencia de voladura	95 % (3.80 m.)
PARAMETRO DE EXPLOSIVO	Emulnor 5000
Densidad	1.16 gr/cm ³
Velocidad de detonación	5000 m/sg.

Diámetro de explosivo	38 mm.
Longitud de explosivo	203 mm.
N° de cartuchos por taladro	11 cartuchos
N° de cartuchos caja, techo/tal.	7 cartuchos
% de acoplamiento	91 %
PARÁMETRO DE ROCA	Caliza Silisificada
Densidad	3.0 kg/m ³
Resistencia a la compresión	103.84 Mpa.

Fuente: Elaboración propia

Para mejorar el control de la perforación antes de pintar la malla de perforación se realiza el respectivo marcado de gradiente y punto de dirección.

4.1.8. Selección de los detonadores

Para la selección de los exceles que exsa provee a la mina chungar, son las siguientes:

Tabla 11: Serie de retardos

EXSA SERIE UNICA	TIEMPO DE RETARDO	EXSA SERIE UNICA	TIEMPO DE RETARDO
EXEL N° 1	25	EXEL N° 32	800
EXEL N° 2	50	EXEL N° 36	900
EXEL N° 3	75	EXEL N° 40	1000
EXEL N° 4	100	EXEL N° 48	1200
EXEL N° 5	125	EXEL N° 56	1400
EXEL N° 6	150	EXEL N° 72	1800
EXEL N° 7	175	EXEL N° 92	2300
EXEL N° 8	200	EXEL N° 120	3000
EXEL N° 10	250	EXEL N° 140	3500
EXEL N° 12	300	EXEL N° 180	4500
EXEL N° 14	350	EXEL N° 220	5500
EXEL N° 16	400	EXEL N° 240	6000
EXEL N° 18	450	EXEL N° 288	7200
EXEL N° 20	500	EXEL N° 340	8500
EXEL N° 24	600	EXEL N° 368	9200
EXEL N° 28	700	EXEL N° 400	10000

Fuente: Exsa 2018

Para la selección de la serie de exel, se considera la longitud del taladro perforado igual a 3.00 m. para un tipo de roca intermedia y en función de la tabla de voladura subterránea, que está expresado en medio segundos (MS) el tiempo de retardo largo.

Tabla 12: Selección de retardos

Voladura Subterránea

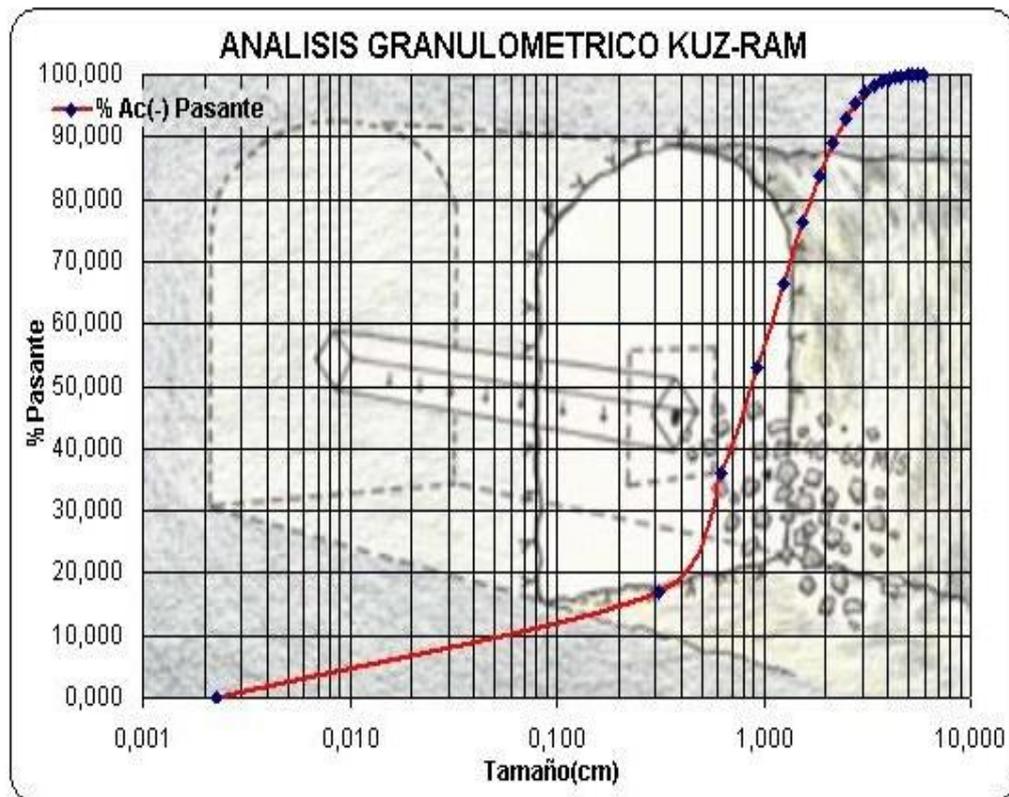
Tipo de Roca	Retardo/Tal/amarre (MS/m)	Periodo	Observaciones	Retardo/Tal (MS)
Dura	60	LP	Frentes de Avance	236
Media	50	LP	Frentes de Avance	196
Suave	40	LP	Frentes de Avance	157

Fuente: Exsa 2018

Para un tipo de roca intermedia el retardo mínimo calculado por cada salida de disparo es igual a 196 medio segundos (MS), pero como no se cuenta con este retardo calculado se elegirá el retardo más próximo a 196 MS. que es 200 MS. por disparo de una fila de taladro de la malla de voladura.

Con los exeles seleccionados se obtendrá una fragmentación de 95% de material roto de 7". (De acuerdo al análisis granulométrico de kuz ram).

Figura 9: Análisis granulométrico



Fuente: Área de geología minera Chungar

4.1.9. Resultados de la perforación y voladura con la malla rediseñada

Muestra 1

Longitud de perforación efectiva; 4.00 m.

Longitud de avance; 3.80 m.

Metros cúbicos rotos; 60.80 m³

Explosivo Utilizado; 60.00 kg. (387 cartuchos)

Factor de Carga; 1.08 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 8" en promedio

Perfil del túnel **Buena; se observa las medias cañas en el perfil**

Muestra 2

Longitud de perforación efectiva; 4.00 m.

Longitud de avance; 3.60 m.

Metros cúbicos rotos; 57.60 m³

Explosivo Utilizado; 60.00 kg.

Factor de Carga; 1.15 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 7" en promedio

Perfil del túnel Buena; se observa las medias cañas en el perfil

Muestra 3

Longitud de perforación efectiva; 4.00 m.

Longitud de avance; 3.70 m.

Metros cúbicos rotos; 59.20 m³

Explosivo Utilizado; 60.00 kg.

Factor de Carga; 1.12 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 7" en promedio

Perfil del túnel Buena; se observa las medias cañas en el perfil

Muestra 4

Longitud de perforación efectiva; 4.00 m.

Longitud de avance; 3.65 m.

Metros cúbicos rotos; 58.40 m³

Explosivo Utilizado; 60.00 kg.

Factor de Carga; 1.13 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 7" en promedio

Perfil del **túnel Buena**; se observa las medias cañas en el perfil

Muestra 5

Longitud de perforación efectiva; 4.00 m.

Longitud de avance; 3.80 m.

Metros cúbicos rotos; 60.80 m³

Explosivo Utilizado; 60.00 kg.

Factor de Carga; 1.08 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 8" en promedio

Perfil del **túnel Buena**; se observa las medias cañas en el perfil

Muestra 6

Longitud de perforación efectiva; 4.00 m.

Longitud de avance; 3.60 m.

Metros cúbicos rotos; 57.60 m³

Explosivo Utilizado; 60.00 kg.

Factor de Carga; 1.15 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 8" en promedio

Perfil del túnel Buena; se observa las medias cañas en el perfil.

Muestra 7

Longitud de perforación efectiva; 4.00 m.

Longitud de avance; 3.70 m.

Metros cúbicos rotos; 59.20 m³

Explosivo Utilizado; 60.00 kg.

Factor de Carga; 1.12 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 8" en promedio

Perfil del túnel Buena; se observa las medias cañas en el perfil.

Muestra 8

Longitud de perforación efectiva; 4.00 m.

Longitud de avance; 3.60 m.

Metros cúbicos rotos; 57.60 m³

Explosivo Utilizado; 60.00 kg.

Factor de Carga; 1.15 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 7" en promedio

Perfil del túnel Buena; se observa las medias cañas en el perfil.

Muestra 9

Longitud de perforación efectiva; 4.00 m.

Longitud de avance; 3.65 m.

Metros cúbicos rotos; 58.40 m³

Explosivo Utilizado; 60.00 kg.

Factor de Carga; 1.13 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 7" en promedio

Perfil del túnel Buena; se observa las medias cañas en el perfil

Muestra 10

Longitud de perforación efectiva; 4.00 m.

Longitud de avance; 3.60 m.

Metros cúbicos rotos; 57.60 m³

Explosivo Utilizado; 60.00 kg.

Factor de Carga; 1.15 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 7” en promedio

Perfil del túnel Buena; se observa las medias cañas en el perfil

4.1.10. Promedio de resultados con el rediseño de la malla de perforación y voladura

Longitud de perforación efectiva; 4.00 m. (93 %)

Longitud de avance; 3.67 m. (91.75 %)

Metros cúbicos rotos; 58.72 m³

Explosivo Utilizado; 60.00 kg. (387 cartuchos)

Factor de Carga; 1.13 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 7.5” en promedio

Perfil del túnel buena; se observa las medias cañas en el perfil

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Presentación de resultados

Tabla 13: Parámetros de comparación de las mallas de perforación y voladura.

Parámetros	Malla convencional	Malla rediseñada
Longitud efectiva de perforación (metros)	3.00 - (91 %)	4.00 - (93 %)
Longitud de avance (metros)	2.75 - (91.6 %)	3.67 - (91.75 %)
Metros cúbicos rotos	44.00	58.72
Explosivo Utilizado (kilogramos)	59.84 (407 cartuchos) dinamita 80%	60.00 - (387 Cartuchos) Emulsión
Factor de potencia (kilogramo/m ³)	1.36	1.13
Granulometría de la fragmentación (pg)	2.0”	7”

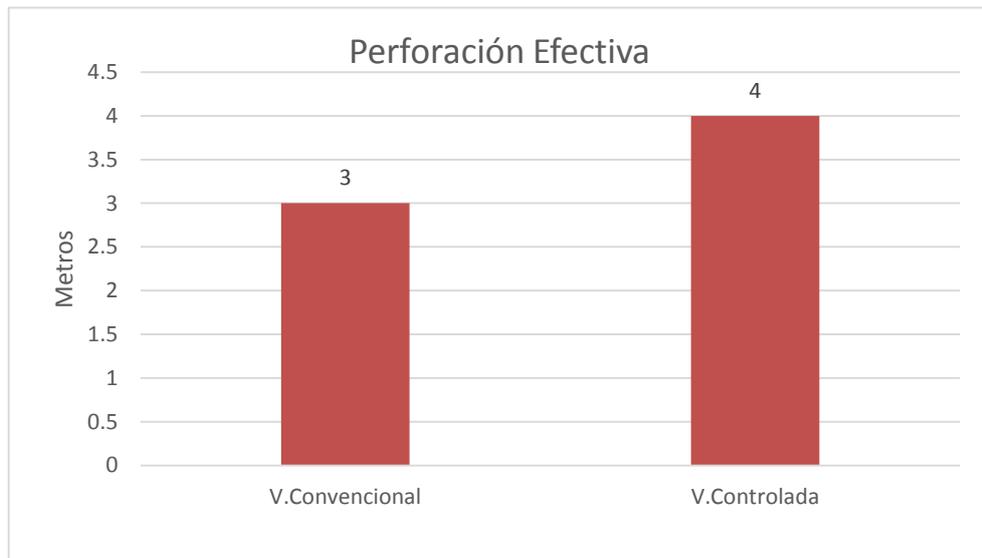
Perfil del túnel	Irregular; sobre excavación techo cajas.	buena; se observa las medias cañas en el perfil de la labor
------------------	---	--

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Análisis e interpretación de resultados

a. Perforación Efectiva

Figura 10: Perforación efectiva

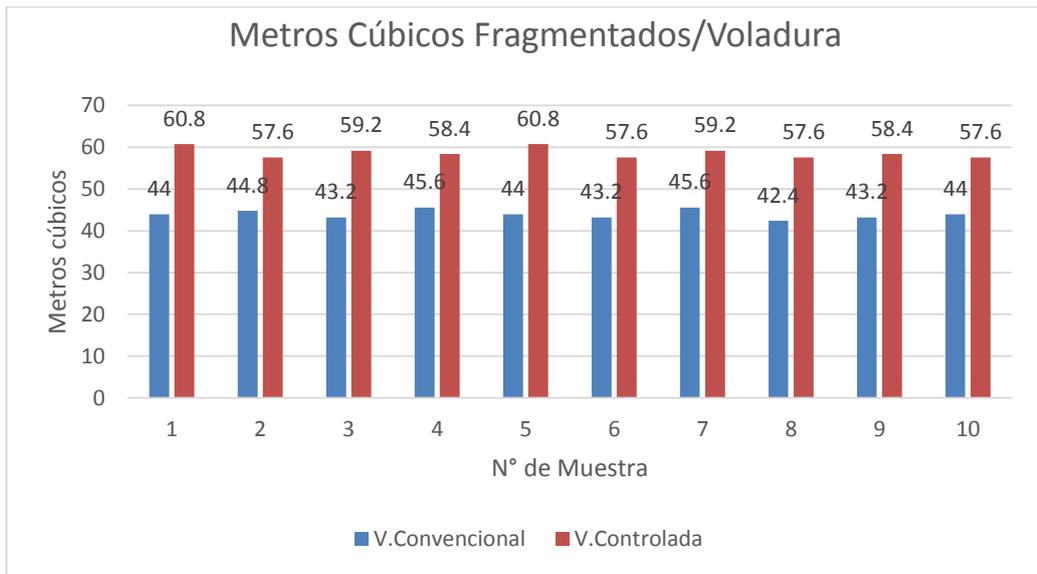


Fuente: Elaboración propia

En el gráfico estadístico se puede observar que la longitud de la perforación efectiva en la voladura convencional es menor que la voladura rediseñada.

b. Avance Lineal por voladura

Figura 11: Avance lineal



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico estadístico se puede observar que el avance lineal en la voladura convencional es menor que la voladura rediseñada.

c. Metros Cúbicos Fragmentados por voladura

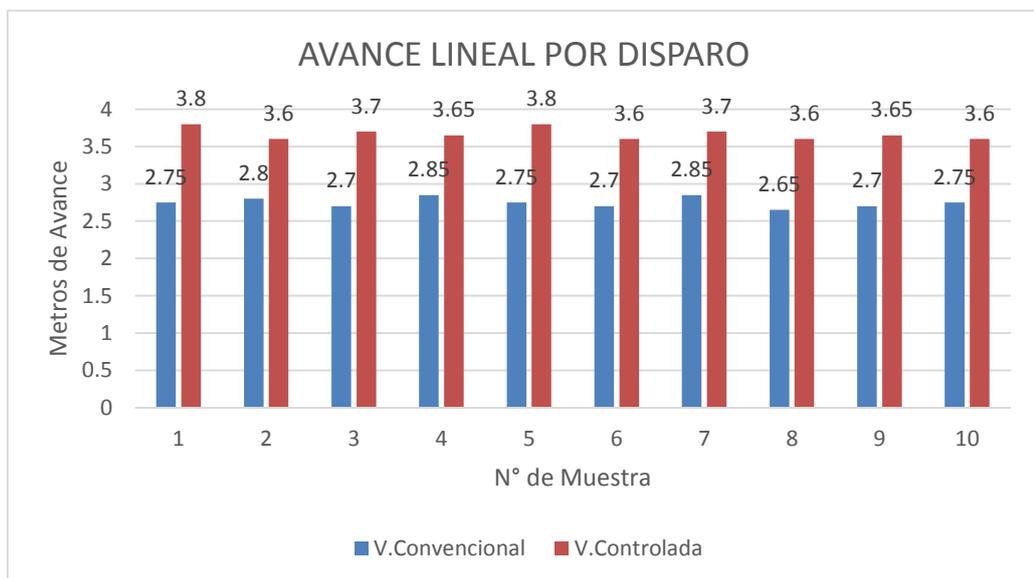


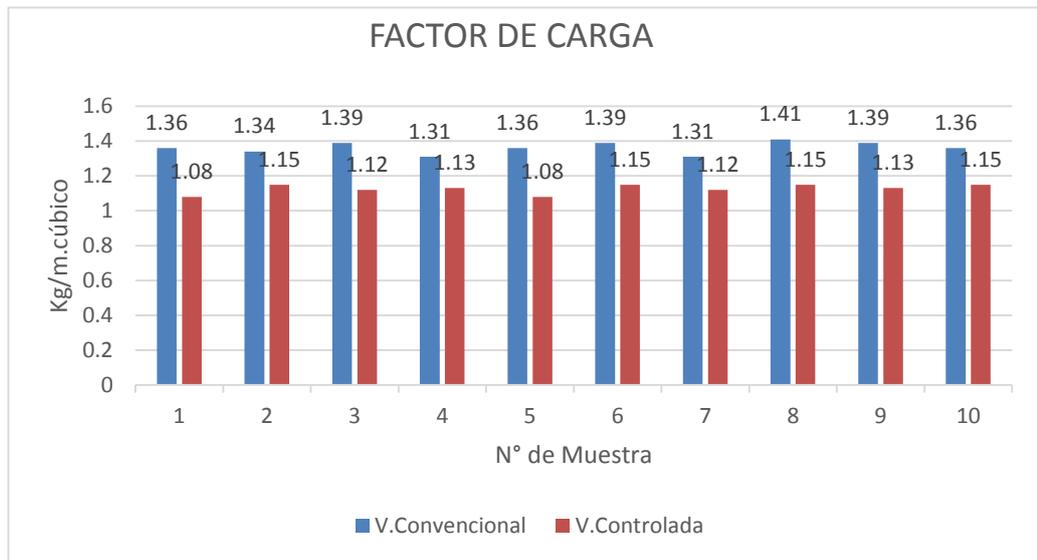
Figura 12: Metros cubico fragmentados

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico estadístico se puede observar que los metros cúbicos fragmentados por cada voladura convencional es menor que la voladura rediseñada.

d. Explosivo Utilizado por voladura

Figura 13: Kilogramos de explosivo utilizados por voladura.

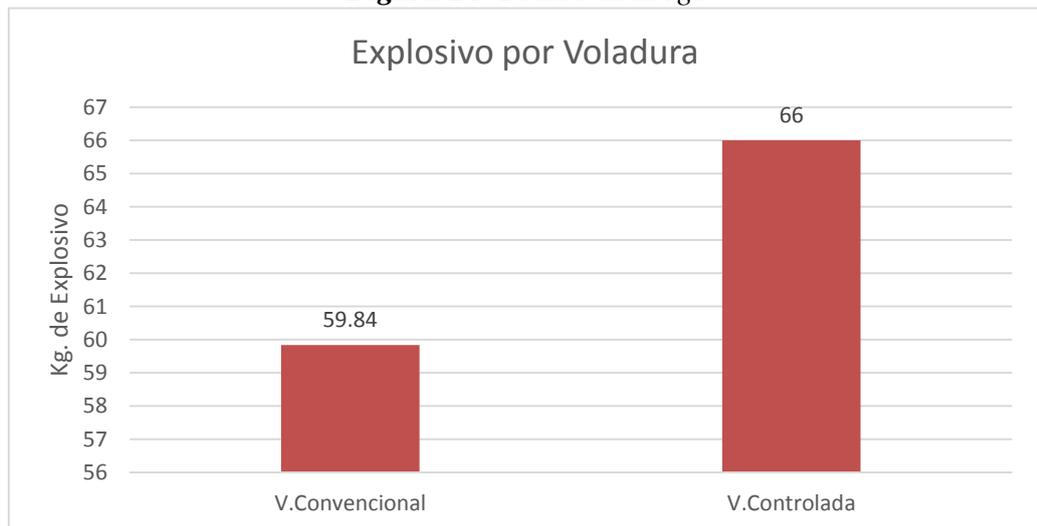


Fuente: Elaboración propia

En el gráfico estadístico se puede observar que los kilogramos utilizados por cada voladura convencional son menores que la voladura rediseñada.

e. Factor de Carga por voladura

Figura 14: Factor de carga

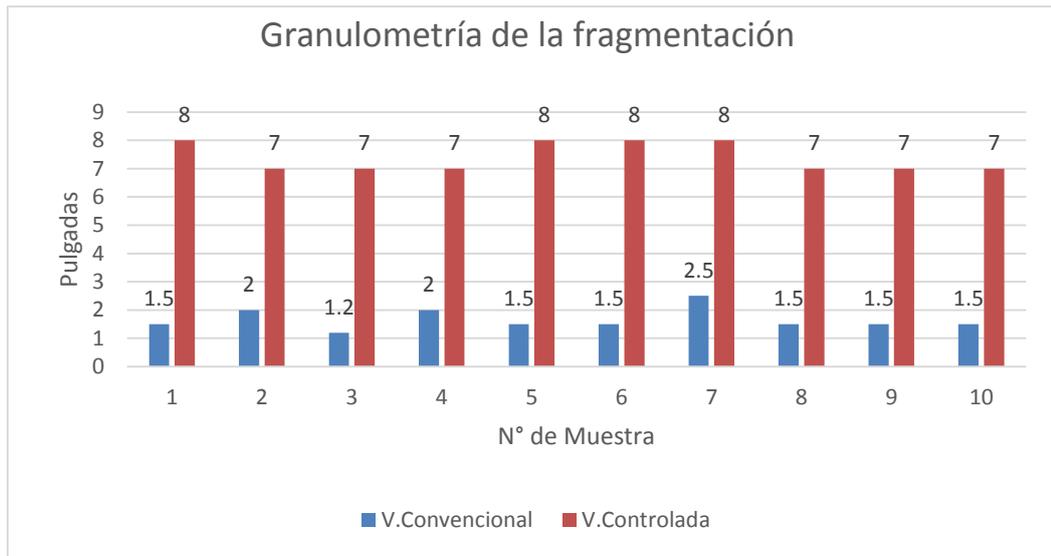


Fuente: Elaboración propia

En el gráfico estadístico se puede observar que el factor de carga por cada voladura convencional es mayor que la voladura rediseñada.

f. Granulometría de la fragmentación

Figura 15: Granulometría de la fragmentación



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico estadístico se puede observar que la granulometría de la fragmentación por cada voladura convencional es mucho menor que la voladura rediseñada.

g. Análisis de costos unitarios

El análisis de los costos unitarios se encuentra en las tablas de los anexos en donde se puede observar que el total de los costos unitarios con la malla convencional se tiene un total de \$ 365.46 dólares; en comparación de los costos unitarios de la malla rediseñada se obtiene un costo total de \$ 287.08 dólares. Se nota que con la aplicación de la malla rediseñada se tiene un costo menor muy significativo en una diferencia de total de \$ 78.38 dólares.

4.3. Prueba de Hipótesis

4.3.1. Prueba de Hipótesis General

Considerando el planteamiento de la hipótesis general “El rediseño de la malla de perforación y voladura permite optimizar los parámetros de avance del túnel de integración Animón Islay en la minera Chungar”.

A partir de todos los cálculos y resultados obtenidos de las muestras tomadas de

la línea base y con el nuevo modelo de la malla de perforación y voladura se observa una variación favorable en los parámetros del avance lineal, el factor de potencia y la fragmentación, es decir, una optimización significativa en el proceso de perforación y voladura. Quedando demostrada la hipótesis planteada.

4.3.2. Prueba de Hipótesis Específicas

a. Prueba de la primera hipótesis específica

Considerando el planteamiento de la primera hipótesis específica “La eficiencia lineal se optimiza con el rediseño de la malla de perforación y voladura del avance del túnel de integración Animón Islay de la minera Chungar”.

A partir de todos los resultados obtenidos se observa una variación favorable en el parámetro del avance lineal, en línea base se tiene de 2.75 m. y con el nuevo diseño se llega a 3.67 m. es decir, se tiene una mejoría significativa en el proceso de perforación y voladura.

o Sostenibilidad Estadística mediante la aplicación del SPSS

Para demostrar esta hipótesis emplearemos la T de Student para datos independientes relacionados, aplicamos por tener muestras menores a 30, con un nivel de significancia de $p < 0.05$. El análisis se realiza con el SPSS de las muestras tomadas en la perforación y voladura convencional y controlada de los avances lineales.

Ho: Con el rediseño de la perforación y voladura no mejora el avance lineal del proyecto.

H1: Con el rediseño de la perforación y voladura si mejora el avance lineal del proyecto; en la siguiente tabla se muestran los resultados:

Figura 16: Prueba de la 1ra. Hipótesis específica

Fuente: elaboración propia

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	avance lineal	2,7500	10	,06667	,02108
	avance lineal	3,6700	10	,07888	,02494

Correlaciones de muestras emparejadas				
		N	Correlación	Sig.
Par 1	avance lineal & avance lineal	10	,158	,662

Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas							
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	avance lineal - avance lineal	-,92000	,09487	,03000	-,98786	-,85214	-30,667	9	,000

A partir de estos resultados se puede interpretar que el avance lineal es significativamente mayor con la aplicación del rediseño de la perforación y voladura el cual se tiene ($M = 2.75$; $SE = 0.2108$), que después del cambio del método de perforación se tiene ($M = 3.67$; $SE = 0.2494$; $t(9) = -30.667$; $p = 0.000 < 0.05$), donde:

M = Media

SE = Error de estándar

t = Prueba T

() = grados de libertad

P = Nivel de significación.

Por estos resultados podemos concluir que la hipótesis nula se rechaza (H_0).

b. Prueba de la segunda hipótesis específica

Considerando el planteamiento de la segunda hipótesis específica “El factor de potencia se optimiza con el rediseño de la malla de perforación y voladura en el avance del túnel de integración Animón Islay de la minera Chungar”.

A partir de todos los resultados obtenidos se observa una variación favorable en el parámetro del factor de potencia, en línea base el factor de potencia es de 1.36 kg. /m³ con el nuevo diseño se tiene 1.13 kg. /m³ es decir se tiene una optimización significativa en el proceso de perforación y voladura.

○ **Sostenibilidad Estadística mediante la aplicación del SPSS**

Para demostrar esta hipótesis emplearemos la T de Student para datos independientes relacionados, aplicamos por tener muestras menores a 30, con un nivel de significancia de $p < 0.05$. El análisis se realiza con el SPSS de las muestras tomadas en la perforación y voladura convencional y controlada en cuanto al factor de potencia.

H₀: Con el rediseño de la perforación y voladura no mejora el factor de potencia del proyecto.

H₁: Con el rediseño de la perforación y voladura controlada si mejora el factor de potencia del proyecto; en la tabla se muestran los resultados:

Figura 17: Prueba de la 2da Hipótesis específica

Fuente: elaboración propia

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	factor de potencia	1,3620	10	,03425	,01083
	factor de potencia	1,1260	10	,02716	,00859

Correlaciones de muestras emparejadas				
		N	Correlación	Sig.
Par 1	factor de potencia & factor de potencia	10	,177	,625

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	factor de potencia - factor de potencia	,23600	,03978	,01258	,20755	,26445	18,762	9	,000

A partir de estos resultados se puede interpretar que el factor de potencia es

significativamente menor con la aplicación del rediseño de la perforación y voladura el cual se tiene ($M = 1.3620$; $SE = 0.01083$), que después del cambio del método de perforación se tiene ($M = 1.1260$; $SE = 0.00859$; $t(9) = 18.762$; $p = 0.000 < 0.05$), donde:

M = Media

SE = Error de estándar

t = Prueba T

() = grados de libertad

P = Nivel de significación.

Por estos resultados podemos concluir que la hipótesis nula se rechaza (H_0).

c. **Prueba de la tercera hipótesis específica**

Considerando el planteamiento de la tercera hipótesis específica “La fragmentación de la roca se optimiza con el rediseño de la malla de perforación y voladura del avance del túnel de integración Animón Islay de la minera Chungar”.

A partir de todos los resultados obtenidos se observa una variación favorable en el parámetro del factor del grado de fragmentación, en línea base la granulometría es de 2” y con el nuevo diseño se tiene 7” es decir, se tiene una optimización significativa en el proceso de perforación y voladura.

○ **Sostenibilidad Estadística mediante la aplicación del SPSS**

Para demostrar esta hipótesis emplearemos la T de Student para datos independientes relacionados, aplicamos por tener muestras menores a 30, con un nivel de significancia de $p < 0.05$. El análisis se realiza con el SPSS de las muestras tomadas en la perforación y voladura convencional

y controlada de la fragmentación en cuanto a la granulometría.

Ho: Con la aplicación del rediseño de la perforación y voladura no mejora la granulometría en la voladura del proyecto.

H₁: Con la aplicación del rediseño de la perforación y voladura se mejora la granulometría en la voladura del proyecto; en la siguiente tabla se muestran los resultados:

Figura 18: Prueba de la 3ra. Hipótesis específica

Fuente: elaboración propia

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Granulometria	1,6700	10	,38020	,12023
	Granulometria	7,4000	10	,51640	,16330

Correlaciones de muestras emparejadas				
		N	Correlación	Sig.
Par 1	Granulometria & Granulometria	10	,181	,617

Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas							
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	Granulometria - Granulometria	-5,73000	,58319	,18442	-6,14719	-5,31281	-31,070	9	,000

A partir de estos resultados se puede interpretar que la granulometría es significativamente optimo con la aplicación del rediseño de la perforación y voladura el cual se tiene (M = 1.67; SE = 0.12023), que después del cambio del método de perforación se tiene (M = 7.4; SE = 0.16330; t (9) = -31.070; p = 0.000 < 0.05), donde:

M = Media

SE = Error de estándar

t = Prueba T

() = grados de libertad

P = Nivel de significación.

Por estos resultados podemos concluir que la hipótesis nula se rechaza (H_0).

4.4. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en la investigación denominado: “El rediseño de la malla de perforación y voladura para optimizar los parámetros de avance del túnel de integración Animón Islay en la minera Chungar”, se obtienen ventajas técnicas respecto a la malla convencional, esto debido a las características del rediseño de malla de la perforación y voladura que hace posible optimizar los parámetros de perforación y voladura.

Considerando precedentes de proyectos de investigación similares, y relacionándolo a proyectos de investigación citados. En el presente proyecto se obtiene una mejora en el avance lineal de 2.75 metros de avance efectivo por disparo, con el rediseño se tiene 3.67 metros de avance efectivo por disparo. Relacionando con la tesis de (Macedo, R. 2017) en su investigación de análisis de la perforación y voladura de la galería 325 de la mina Ananea concluye que al cambiar el diseño de perforación y voladura mejora los parámetros de ejecución. Asimismo, se tiene una mejora en el factor de potencia de 1.36 kilogramos de explosivo por metro cubico de la malla convencional; con el rediseño se mejora a 1.13 kilogramos de explosivo por metro cubico. Relacionando con la tesis de (Chipana, E. 2018) en su investigación del diseño de perforación y voladura para reducir los explosivos concluye que con un buen diseño mejora el factor de potencia de 1.58 Kg. /m³ a 1.25 kg. /m³. En cuanto a la granulometría de 2 pulgadas con el rediseño de la malla de perforación y voladura se mejora a 7”. Relacionando con la tesis de (Sánchez, V. 2017) concluye que con un cambio de malla de

perforación y voladura se mejora el avance lineal, granulometría y demás parámetros de resultados en la voladura. Finalmente, también en cuanto al perfil de la labor se puede observar en la fotografía del anexo que se tiene un perfil bastante homogéneo se nota claramente las medias cañas de los taladros en el perfil; todos estos resultados con el rediseño de la malla de perforación y voladura.

CONCLUSIONES

1. La aplicación del rediseño de la malla de perforación y voladura del túnel de integración Islay Animón en la ejecución del proyecto ha permitido optimizar los parámetros de avance.
2. La aplicación del rediseño de la malla de perforación y voladura del túnel de integración Islay Animón en la ejecución del proyecto ha permitido optimizar el avance lineal por cada voladura, de un valor inicial de 2.75 metros de avance efectivo con el diseño convencional se optimizo a 3.67 metros por cada disparo con la nueva malla de perforación y voladura.
3. La aplicación del rediseño de la malla de perforación y voladura del túnel de integración Islay Animón en la ejecución del proyecto se logra optimizar el factor de potencia por voladura, pasando de 1.36 kilogramos de explosivo por metro cubico con el diseño convencional a 1.13 kilogramos de explosivo por metro cubico por cada disparo con la nueva malla de perforación y voladura.
4. La aplicación del rediseño de la malla de perforación y voladura del túnel de integración Islay Animón en la ejecución del proyecto se logra optimizar la fragmentación por disparo, pasando de 2 pulgadas con el diseño convencional a 7 pulgadas por cada disparo con la nueva malla de perforación y voladura.
5. La aplicación del rediseño de la malla de perforación y voladura del túnel de integración Islay Animón en la ejecución del proyecto también se logra optimizar el perfil del túnel de integración, se obtenía un perfil bastante irregular sobre excavación por cada disparo con la malla convencional; con la nueva malla de perforación se obtiene un perfil más homogéneo se puede observar las medias cañas en el túnel de integración.

RECOMENDACIONES

1. Continuar con la aplicación del rediseño de la malla de perforación y voladura a fin de consolidar la optimización de los parámetros de esta nueva malla de perforación y voladura.
2. Aplicar el rediseño de la malla de perforación y voladura en otras labores que tengan las propiedades similares del macizo rocoso para mejorar los rendimientos de la ejecución de los proyectos.
3. Considerar un análisis permanente de la nueva malla de perforación y voladura para poder mejorar los rendimientos de los parámetros de voladura y alcanzar mejores eficiencias.
4. Considerar el reemplazo de la malla convencional actual por la nueva malla de perforación y voladura del túnel de integración Animón Islay de la minera Chungar en todas las labores de avance, a fin de cumplir con los estándares de la minera.
5. Realizar cálculos de beneficios y costos al reemplazar la malla convencional con los resultados del rediseño de la malla de perforación y voladura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

1. Álvarez, A. (20 de mayo de 2019). Tesis *Análisis de Estabilidad Geomecánica en Tajeos Veta Sur Nv-320 al 280 Unidad Minera Islay*. Cerro de Pasco, Pasco, Perú: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
2. Cajaleon, M. (15 de octubre de 2018). Tesis *análisis Geo mecánico del túnel Integración Animon - Islay*. Cerro de Pasco, Pasco, Perú: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
3. Chipana, M. (12 de mayo de 2015). Tesis *Diseño de perforación y Voladura para reducción de Costos en el Frente de la Galería Progreso de la Contrata Minera Cavilquis Corporación Minera Ananeas S.A.* Puno, Perú: Universidad del Altiplano.
4. Días, A., & Ramírez, J. (2009). *Compendio de Rocas y Minerales Industriales en el Perú*. Lima: Dirección de Recursos Mineros y energéticos .
5. EACH CHUNGAR, E. (12 de octubre de 2014). *Cartilla de perforación y Voladura*. Lima, Perú.
6. Enaex S.A. (26 de 09 de 2008). *Curso de Manejo de Explosivos*. Santiago, Chile.
7. EXSA S.A., D. (24 de agosto de 2015). *Manual Práctico de Voladura*. Lima, Perú: Departamento Técnico de EXSA S.A.
8. Falconi, A. (10 de 05 de 2012). *Tablas geomecánicas*. Obtenido de Academia: https://www.academia.edu/7733010/TABLAS_GEOMECHANICAS_1
9. Famesa Explosivos SAC. (12 de febrero de 2016). *Famesa Explosivos*. Obtenido de <http://www.famesa.com.pe/productos/altos-explosivos/emulnor/>
10. FAMESA, E. (13 de agosto de 2019). *Manual de perforación y Voladura*. Lima, Perú: Editorial COSAS.
11. López Jimeno, C. (2005). *ingeniería de Túneles*. Madrid, España: Universidad

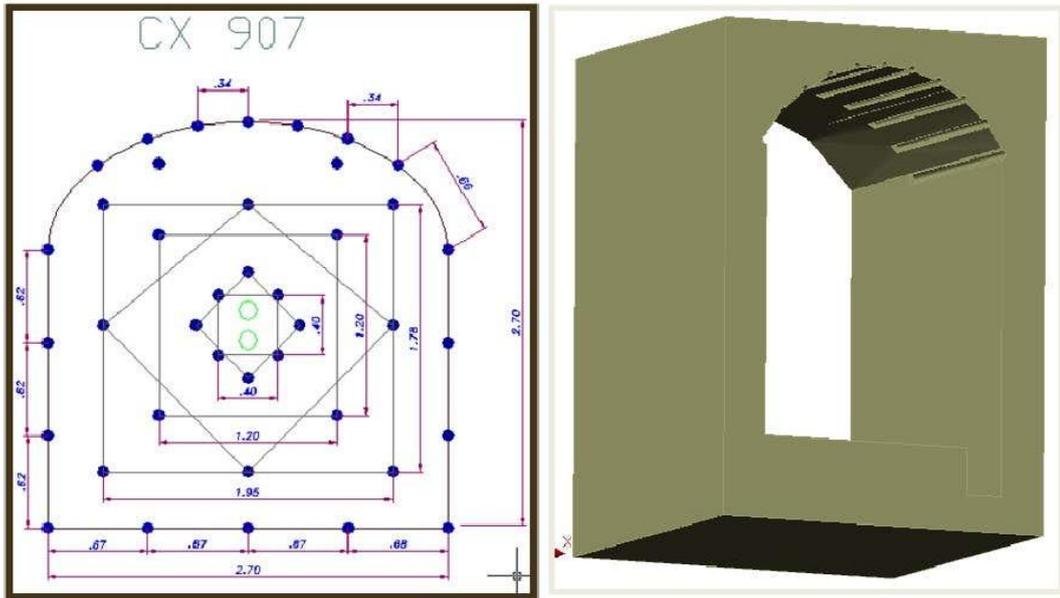
Politécnica de Madrid.

12. López Jimeno, C., López Jimeno, E., & García Bermudez, P. (2012). *Manual de perforación y Voladura de Rocas*. Madrid: Primera edición.
13. Rios Valdivia, D., & Ayala Espinoza, J. (2015). *Informe geológico de Huarón - Alpamarca - Carhuacayan. Cerro de Pasco*: Emp. Minera Chungar.
14. Yparraguirre, V. (2012). *Métodos de excavación de Túneles Perforación y Voladura*. Lima, Perú. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/284323402/Metodos-de-Excavacion-de-Tuneles-Perforacion-y-Voladura-pdf>
15. Volcan, V. (2019). *Memoria Anual Volcan 2019*. Lima - Perú: Volcan Compañía Minera S.A.A.

ANEXO

ANEXO 1: Instrumentos de recolección de datos

Figura 19: Diseño de malla de perforación y voladura.



Fuente: Elaboración propia

Figura 20: Registro de parámetros de perforación y voladura

Diseño:	
Lugar:	
Ancho de la labor:	
Alto de la Labor:	
DATOS DE CAMPO	
Parámetros de perforación	
Número de taladros	
Diámetro del Taladro	
Longitud del barreno	
Eficiencia de perforación	
Eficiencia de voladura	
PARAMETRO DE	
EXPLOSIVO	
Densidad	
Velocidad de detonación	

Diámetro de explosivo	
Longitud de explosivo	
N° de cartuchos por taladro	
% de acoplamiento	
PARÁMETRO DE ROCA	
Densidad	
Resistencia a la compresión	

Fuente: Elaboración propia

Figura 21: Registro de base de datos de perforación y voladura

Muestra	Avance lineal (m.)	Explosivo Utilizado (kg.)	Rotura/Vol. m ³	Granulometría (Pulgadas)	Factor de carga (Kg./m ³)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Fuente: elaboración propia

Figura 22: Unidad de medida



Fuente: Elaboración propia

Figura 23: Ficha técnica de la dinamita

Especificaciones técnicas	Unidades	Semexsa 45	Semexsa 65	Semexsa 80
Densidad	g/cm ³	1.08 ± 3%	1.12 ± 3%	1.18 ± 3%
Velocidad de detonación*	m/s	3,800 ± 200	4,200 ± 200	4,500 ± 200
Presión de detonación	Kbar	87	94	200 125
Energía**	KJ/kg	3,338	3,433	3,747
RWS**	%	89	92	99
RBS**	%	120	127	147
Volumen de gases	l/kg	1,016.	1,015	989
Resistencia al agua	Horas	Buena	Muy buena	Excelente
Categoría de humos	Categoría	1 era.	1 era.	1 era.

Fuente: Página de internet semexsa

Figura 24: Ficha técnica de la emulsión

Especificaciones técnicas	Unidades	Semexsa – E 65
Densidad	g/cm ³	1.12 +/- 3%
Velocidad de detonación*	m/s	5,100 +/- 200
Presión de detonación**	Kbar	84
Energía**	KJ/kg	3,640

RWS**	%	98
RBS**	%	134
Volumen de gases**	L/Kg	986
Resistencia al agua		Excelente
Categoría de humos		1 era

Fuente: Página de internet semexsa.

Tabla 14: Costos de perforación y voladura de la malla convencional

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
Proyecto: Túnel de integración				Sección: 4.00 x 4.00		
Minera: Chungar				Material: Desmonte		
Tipo de roca: Intermedia				Avance efectivo: 2.75 m.		
Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.(US\$)	Parcial	Subtotal	Total
MANO DE OBRA						
Perforista	3.5	Hora	4.54	15.89	5.78	
Ayudante	3.5	Hora	3.29	11.52	4.20	
Maestro cargador	2	Hora	3.71	7.42	2.70	
Ayudante cargador	2	Hora	3.29	6.58	2.39	
Bodeguero	0.5	Hora	3.71	1.85	0.67	
Capataz	2	Hora	5.38	10.76	3.91	
Ing. de guardia	2	Hora	9.41	18.82	6.84	
Inspector de seguridad	1	Hora	3.71	3.71	1.35	27.84
MATERIALES						
Barra de perforación 12'	128.70	m.p.	0.22	28.31	10.30	
Brocas de 45 mm.	128.70	m.p.	0.16	20.50	7.49	
Shank adapter	128.70	m.p.	0.07	9.01	3.28	
Coopling	128.70	m.p.	0.02	2.57	0.94	
Rimadora de 4"	9.89	m.p.	0.85	8.44	3.07	
Adapter piloto	9.89	m.p.	0.76	7.53	2.74	
Aceite de perforación	0.27	galón	8.24	2.25	0.82	
Manguera de 1" (50 m.)	1.00	global	1.33	1.33	0.48	
Manguera de ½" (50 m.)	1.00	global	1.00	1.00	0.36	29.48
EXPLOSIVOS						
Dinamita 80	407	cartuchos	0.48	195.76	71.19	
Detonador	37	pieza	1.66	61.42	22.33	
Cordón detonante	45	m.	0.1162	5.23	1.90	
Mecha rápida	2	m.	0.3035	0.607	0.22	95.61
IMPLEMENTOS						
E.P.P. Seguridad normal	4	Unid.	0.78	3.28	1.19	
E.P.P. Seguridad agua	2	Unid.	0.31	0.63	0.23	1.42
EQUIPO						
Jumbo EH	4	h/m.	80.00	320.00	116.36	116.36
COSTO DIRECTO						270.71
GASTOS GENERALES Y UTILIDAD (35% del costo directo)						94.75
COSTO TOTAL (US \$ / M.L.)						365.46

Fuente: Área de planeamiento

Tabla 15: Costos de perforación y voladura de la malla rediseñada

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
Proyecto: Túnel de integración			Sección: 4.00 x 4.00			
Minera: Chungar			Material: Desmonte			
Tipo de roca: Intermedia			Avance efectivo: 3.67 m.			
Descripción	Cantidad	Unidad	P.U.(US\$)	Parcial	Subtotal	Total
MANO DE OBRA						
Perforista	3.5	Hora	4.54	15.89	4.33	
Ayudante	3.5	Hora	3.29	11.52	3.14	
Maestro cargador	2	Hora	3.71	7.42	2.02	
Ayudante cargador	2	Hora	3.29	6.58	1.79	
Bodeguero	0.5	Hora	3.71	1.85	0.50	
Capataz	2	Hora	5.38	10.76	2.93	
Ing. de guardia	2	Hora	9.41	18.82	5.13	
Inspector de seguridad	1	Hora	3.71	3.71	1.02	20.86
MATERIALES						
Barra de perforación 14'	188.70	m.p.	0.22	41.51	11.31	
Brocas de 45 mm.	188.70	m.p.	0.16	30.19	8.23	
Shank adapter	188.70	m.p.	0.07	13.21	3.60	
Coopling	188.70	m.p.	0.02	3.77	1.03	
Rimadora de 4"	9.97	m.p.	0.85	8.47	2.31	
Adapter piloto	9.97	m.p.	0.76	7.58	2.07	
Aceite de perforación	0.30	galón	8.24	2.47	0.67	
Manguera de 1" (50 m.)	1.00	global	1.33	1.33	1.33	
Manguera de ½" (50 m.)	1.00	global	1.00	1.00	1.00	31.55
EXPLOSIVOS						
Emulsión 5000	387	cartuchos	0.41	158.67	43.23	
Detonador	37	pieza	1.66	61.42	22.33	
Cordón detonante	45	m.	0.1162	5.23	1.90	
Mecha rápida	2	m.	0.3035	0.607	0.22	67.63
IMPLEMENTOS						
E.P.P. Seguridad normal	4	Unid.	0.78	3.28	0.89	
E.P.P. Seguridad agua	2	Unid.	0.31	0.63	0.17	1.06
EQUIPO						
Jumbo EH	4.2	h/m.	80.00	336.00	116.36	91.55
COSTO DIRECTO						212.65
GASTOS GENERALES Y UTILIDAD (35% del costo directo)						74.43
COSTO TOTAL (US \$ / M.L.)						287.08

Fuente: Área de planeamiento

ANEXO 2: Matriz de consistencia

“Rediseño de la malla de perforación y voladura para optimizar los parámetros de avance del túnel de integración de Animón Islay en la minera Chungar”					
Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Método	Población y muestra
<p style="text-align: center;">General</p> <p>¿Es posible optimizar los parámetros de avance del túnel de integración Animón Islay con el rediseño de la malla de perforación y voladura en la minera Chungar?</p> <p style="text-align: center;">Problemas específicos</p> <p>a) ¿El rediseño de la malla de perforación y voladura permite optimizar la eficiencia lineal del avance del túnel de integración Animón Islay en la minera Chungar?</p> <p>b) ¿El rediseño de la malla de perforación y voladura permite optimizar el factor de potencia del avance del túnel de integración Animón Islay en la minera Chungar?</p> <p>c) ¿El rediseño de la malla de perforación y voladura permite optimizar la fragmentación de la roca del avance del túnel de integración Animón Islay en la minera Chungar?</p>	<p style="text-align: center;">General</p> <p>Rediseñar la malla de perforación y voladura para optimizar los parámetros de avance del túnel de integración Animón Islay en la minera Chungar.</p> <p style="text-align: center;">Objetivos específicos</p> <p>a) Rediseñar la malla de perforación y voladura para optimizar la eficiencia lineal en el avance del túnel de integración Animón Islay en la minera Chungar.</p> <p>b) Rediseñar la malla de perforación y voladura para optimizar el factor de potencia en el avance del túnel de integración Animón Islay en la minera Chungar.</p> <p>c) Rediseñar la malla de perforación y voladura para optimizar la fragmentación de la roca en el avance del túnel de integración Animón Islay en la minera Chungar.</p>	<p style="text-align: center;">General</p> <p>El rediseño de la malla de perforación y voladura permite optimizar los parámetros de avance del túnel de integración Animón Islay en la minera Chungar.</p> <p style="text-align: center;">Hipótesis específicas</p> <p>a) Al rediseñar la malla de perforación y voladura, la eficiencia lineal se optimiza en el avance del túnel de integración Animón Islay de la minera Chungar.</p> <p>b) Al rediseñar la malla de perforación y voladura, el factor de potencia se optimiza en el avance del túnel de integración Animón Islay de la minera Chungar.</p> <p>c) Al rediseñar la malla de perforación y voladura, la fragmentación de la roca se optimiza en el avance del túnel de integración Animón Islay de la minera Chungar.</p>	<p style="text-align: center;">Variable independiente</p> <p>X: Rediseño de la malla de perforación y voladura del avance del túnel de integración Animón Islay de la minera Chungar</p> <p style="text-align: center;">Variables Dependientes</p> <p>Y: Optimización de los parámetros de avance del túnel de integración Animón Islay de la minera Chungar</p>	<p style="text-align: center;">Tipo de Investigación</p> <p>La investigación se desarrollará de acuerdo a los objetivos planteados considerando el carácter experimental-aplicativo.</p> <p style="text-align: center;">Nivel de Investigación</p> <p>Para esta investigación se ha considerado el nivel descriptivo.</p> <p style="text-align: center;">Métodos de Investigación</p> <p>Para el desarrollo de la investigación se utilizará el método de investigación lógica donde se desarrolla mediante el análisis, la deducción y síntesis. Así mismo se obtiene todos los resultados mediante la observación que afectan al objeto del estudio.</p>	<p style="text-align: center;">Población</p> <p>Proyecto de ejecución del túnel de integración Animón Islay de la mina Chungar.</p> <p style="text-align: center;">Muestra</p> <p>Ejecución del túnel de integración Animón Islay de un tramo de 200 metros de avance lineal de la minera Chungar.</p>

Figura 25: Fotografía del resultado del perfil de la voladura convencional



Fuente: mina Chungar

Figura 26: Fotografía del resultado del perfil de la voladura con rediseño



Fuente: mina Chungar