



UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y METALURGIA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS:

**DISEÑO DE LA MALLA DE PERFORACIÓN PARA
MEJORAR LA FRAGMENTACIÓN EN LA U.P. EL
POTRERO DE MINERA JIMENA S.A. - 2019.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS**

PRESENTADO POR:

Bach. OBREGON CASTILLO, Hugo Angel

ASESOR:

Dr. Ing. QUIÑONES POMA, Juan Roger

HUARAZ - PERÚ

2021

FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, CONDUCENTES A OPTAR TÍTULOS PROFESIONALES Y GRADOS ACADÉMICOS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

1. Datos del autor:Apellidos y Nombres: OBREGON CASTILLO HUGO ANGELCódigo de alumno: 082.0503.066 Teléfono: 985526361E-mail: peruelfuturo@gmail.com D.N.I. n°: 46620278

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Tipo de trabajo de investigación:

- Tesis
 Trabajo de Suficiencia Profesional
 Trabajo Académico
 Trabajo de Investigación
 Tesinas (presentadas antes de la publicación de la Nueva Ley Universitaria 30220 – 2014)

3. Título Profesional o Grado obtenido:INGENIERO DE MINAS**4. Título del trabajo de investigación:**"DISEÑO DE LA MALLA DE PERFORACION PARA MEJORAR LA FRAGMENTACION EN EL U.P. EL POTRERO DE MINERA JIMENA S.A. - 2019"5. Facultad de: Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia6. Escuela, Carrera o Programa: INGENIERÍA DE MINAS**7. Asesor:**Apellidos y nombres Dr. Ing. QUIÑONES POMA JUAN ROGER D.N.I n°: 32642091E-mail: jroquipoma62@gmail.com ID ORCID: _____8. Estilo de Citas: APA**9. Tipo de acceso al Documento:**

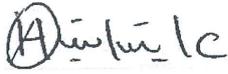
- Acceso público* al contenido completo. Acceso
 restringido** al contenido completo

Si el autor eligió el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo una licencia no exclusiva, para que se pueda hacer arreglos de forma en la obra y difundirlo en el Repositorio Institucional, respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso de que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

10. Originalidad del archivo digital

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.



Firma del autor

11. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para las investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica.



El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Recolector Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

12. Para ser llenado por la Dirección del Repositorio Institucional

Fecha de recepción del documento por el Repositorio Institucional:

Huaraz, 09/07/2021

Firma:



Varillas William Eduardo

Asistente en Informática y Sistemas

- UNASAM -

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.



UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

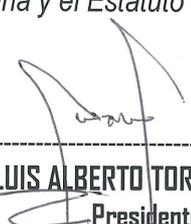
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,
GEOLOGÍA Y METALURGIA



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En la ciudad de Huaraz, siendo las Diez horas con Diez minutos de la mañana (10:10 a.m.) del día 25 de Junio del Dos mil Veintiuno (25/06/21), se reunieron los miembros del jurado calificador nominados según Resolución Nro. 066-2021-FIMGM/CF, de fecha 26 de Mayo del 2021, integrado por los siguientes Docentes: **M.Sc. Ing. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI, como Presidente; M.Sc. Ing. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA, como Secretario y el Ing. ANTONIO MARIANO DOMINGUEZ FLORES, como Vocal;** para la sustentación de la tesis Titulada: **"DISEÑO DE LA MALLA DE PERFORACION PARA MEJORAR LA FRAGMENTACION EN LA U.P. EL POTRERO DE MINERA JIMENA S.A. - 2019"** presentado por el Bachiller **HUGO ANGEL OBREGON CASTILLO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", se procedió con el acto de sustentación bajo las siguientes consideraciones, el Presidente del Jurado calificador, invitó a los docentes, alumnos y público en general a participar en este acto; luego invitó al Secretario del Jurado calificador a dar lectura de la Resolución N° 066-2021-FIMGM/CF de fecha 26 de Mayo del 2021. Acto seguido invitó al sustentante a la defensa de su tesis por un lapso de veinte minutos (20), concluida con la misma, se procedió con el rol de preguntas de parte de los miembros del Jurado Calificador, finalmente se invitó al público en general a hacer abandono del Auditorium de la FIMGM por un lapso de diez (10) minutos con el propósito de deliberar la nota del sustentante, **ACORDANDO: APROBAR CON EL CALIFICATIVO (*)de: DIECISIETE (17) Aprobado con distinción.** Siendo las Once horas y cinco minutos (11:05 a.m) del mismo día, se dio por concluida el acto de sustentación.

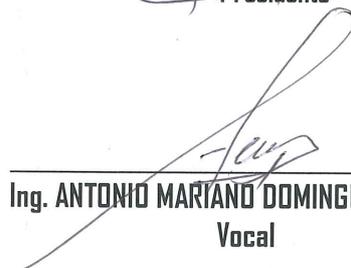
En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** por el Consejo de Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de **INGENIERO DE MINAS** de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la UNASAM.



M.Sc. Ing. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI
Presidente



M.Sc. Ing. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA
Secretario



Ing. ANTONIO MARIANO DOMINGUEZ FLORES
Vocal



Dr. Ing. JUAN ROGER QUINONES POMA
Asesor

(*) De acuerdo con el Artículo 84º Reglamento de Grados y Títulos de la UNASAM, están deben ser calificadas con términos de: **APROBADO CON EXCELENCIA (19-20)**, **APROBADO CON DISTINCIÓN (17-18)**, **APROBADO (14-16)**, **DESAPROBADO (00-13)**.



UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,
GEOLOGÍA Y METALURGIA**



ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los Miembros del Jurado, luego de evaluar la tesis titulada: **"DISEÑO DE LA MALLA DE PERFORACION PARA MEJORAR LA FRAGMENTACION EN LA U.P. EL POTRERO DE MINERA JIMENA S.A. - 2019"** presentado por el Bachiller HUGO ANGEL OBREGON CASTILLO y sustentada el día 25 de Junio del 2021, por Resolución de Consejo de Facultad N° 066-2021-FIMGM-/CF, la declaramos CONFORME.

En consecuencia queda en condiciones de ser publicada.

Huaraz, 25 de Junio del 2021



M.Sc. Ing. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI

Presidente



M.Sc. Ing. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA

Secretario



Ing. ANTONIO MARIANO DOMINGUEZ FLORES

Vocal



Dr. Ing. JUAN ROGER QUIÑONES POMA

Asesor

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional y creer siempre en mi; a mi hija y toda la familia, me dieron la fortaleza para culminar la carrera de Ingenieria de Minas.

AGRADECIMIENTO

A Dios todopoderoso, en él todo es posible, a la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia de la Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”, mi alma mater, por haberme acogido y haberme formado en sus aulas como estudiante de Ingeniería de Minas.

A mis compañeros de aula y amigos, por haberme apoyado y compartido nuestro quehacer diario como estudiante universitario.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas Geología y Metalurgia quienes me transfirieron sus conocimientos durante mi permanencia como estudiante universitario.

A los Ingenieros y colaboradores de la Empresa Minera Jimena S.A. por aportarme su información y experiencias.

A mis padres y demás familiares quienes con su esfuerzo y valor me apoyaron incondicionalmente para mi formación como Ingeniero de Minas.

Finalmente Agradezco a mi asesor Dr. Ing. Juan Quiñones Poma por haberme dado las pautas necesarias para el seguimiento y la correcta realización de la presente tesis.

RESUMEN

El proceso de perforación y voladura constituye una etapa fundamental dentro de la operación minera, en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A. – 2019; es un elemento importante ya que permite cumplir con los programas de producción.

En la U.P. El Potrero existe el proceso de conminución – fragmentación de la roca que empieza en la fase u operación minera unitaria de perforación y voladura; tal es así que se debe realizar una buena voladura para fragmentar la roca y que dependerá que en el proceso de chancado se reducirá costos muy importantes.

Se definió que en la presente tesis se enfocara el monitoreo de la perforación y voladura para mejorar la fragmentación, a través de la caracterización del macizo rocoso, en la zona de la estructura mineralizada para un buen diseño de la malla de perforación y la obtención de una buena voladura.

Se tendrá en consideración aspectos técnicos como: El diseño de malla de perforación; burden, espaciamiento, longitud y taco; así como también el diseño de la voladura; la mezcla adecuada de explosivo, detonadores, iniciadores, cordones detonantes para la voladura.

PALABRAS CLAVES

Malla de Perforación – Fragmentación.

ABSTRACT

The drilling and blasting process constitutes a fundamental stage within the mining operation, in the U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A. - 2019; it is an important element since it allows to fulfill the production programs.

In the U.P. El Potrero exists the process of comminution - fragmentation of the rock that begins in the phase or unit mining operation of drilling and blasting; so much so that a good blasting must be carried out to fragment the rock and that will depend on the fact that the crushing process will reduce very important costs.

It was defined that in the present thesis the monitoring of drilling and blasting should be focused to improve fragmentation, through the characterization of the rock mass, in the area of the mineralized structure for a good design of the drilling mesh and the obtaining of a good blasting.

Technical aspects such as: The perforation mesh design will be taken into consideration; burden, spacing, length and wad; as well as the blast design; the right mix of explosive, detonators, initiators, detonating cords for blasting.

KEYWORDS

Perforation Mesh - Fragmentation.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad en la U.P El Potrero de Minera Jimena S.A., existe el problema como conseguir mejorar la fragmentación de la roca, esto debido a la falta de monitoreo del proceso de perforación y voladura lo cual es completamente improductivo e ineficiente que genera pérdidas en los procesos dentro de los ciclos de minado; y por ende genera pérdidas a la Unidad minera, para tal caso la presente tesis tiene como objetivo.

Objetivo General

Determinar el diseño de la malla de perforación para mejorar la fragmentación en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A. - 2019.

Objetivos Específicos

- ✚ Determinar la caracterización del macizo rocoso para el diseño de la malla de perforación en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A.
- ✚ Determinar los procedimientos para el diseño de la malla de perforación.

La tesis tiene la siguiente estructura de:

La dedicatoria; el agradecimiento, el resumen, el abstract, índice general; de tablas, de figuras y la introducción.

Capítulo I: Incluye las generalidades, referentes al entorno físico: como la ubicación, accesibilidad, topografía, fisiografía, clima, flora, fauna y el entorno geológico; geología local, geología regional y geología estructural.

El Capítulo II: Trata sobre la fundamentación, relacionado al marco teórico; antecedentes de la investigación, fundamentación teórica; perforación de rocas, voladura de rocas y definición de términos.

El Capítulo III: Trata de la Metodología; el problema, descripción de la realidad problemática, planteamiento y formulación del problema, objetivos de la investigación, justificación, importancia, delimitaciones, limitaciones, alcances, hipótesis, variables, diseño de la investigación; tipo de investigación, nivel de investigación y característica de la investigación; método, población, muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, metodología de recolección de datos.

El Capítulo IV: se toma en cuenta los criterios para valorar los parámetros del RMR, la condición de las discontinuidades, la resistencia compresiva de la roca, la condición de juntas, estado del terreno – presencia de agua, la corrección por orientación, ajuste de valores por orientación de las juntas, determinación de la clase del macizo rocoso, significado de las clases del macizo rocoso, datos del levantamiento litológico en la U.P. El Potrero, cálculo del RMRb, corrección por orientación, RMR corregido, interpretación de resultados, significado de las clases del macizo rocoso, prueba de la hipótesis, discusión de los resultados, como conclusión tenemos lo siguiente.

Conclusión.

Según la evaluación geomecánica realizada en la labor minera subterránea, teniendo como roca encajante predominante el hornfels, se determinó una calidad del macizo rocoso de 64 cuya clase es II – B, roca buena, como también la estructura mineralizada que nos permite diseñar aberturas en los tajeos con un ancho de hasta 1.80 m y un alto de 2,20 m.

En razón de las características geomecánicas, nos permite realizar los procedimientos para el diseño de la malla de perforación en un promedio de 38 taladros, cuyo resultado nos permite tener una buena fragmentación de la roca.

Para finalizar la presente tesis se tiene en cuenta las recomendaciones, las referencias bibliográficas y los anex

	Pág.
CARATULA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN	vi

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1.- Entorno Físico	04
1.1.1.- Ubicación política y geográfica.....	04
1.1.2.- Accesibilidad.....	05
1.1.3.- Topografía y fisiografía.....	05
1.1.4.- Clima	06
1.1.5.- Flora	06
1.1.6.- Fauna	07
1.2.- Entorno geológico	07
1.2.1.- Geología local	07
1.2.2.- Geología regional	13
1.2.3.- Geología estructural	20

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACION

2.1.- Marco teórico	22
---------------------------	----

2.1.1.- Antecedentes de la investigación	22
2.1.2.- Fundamentación teórica	28
2.1.2.1.- Perforación de rocas	28
2.1.2.2.- Voladura de rocas.....	35
2.2.- Definición de términos	48

CAPÍTULO III
METODOLOGIA

3.1.- El problema	52
3.1.1.- Descripción de la realidad problemática	52
3.1.2.- Planteamiento y formulación del problema	53
3.2.- Objetivos de la investigación... ..	53
3.3.- Justificación.....	54
3.4.- Importancia.....	54
3.5.- Delimitaciones.....	55
3.6.- Limitaciones.....	55
3.7.- Alcances	55
3.8.- Hipótesis	56
3.9.- Variables.....	56
3.10 Diseño de la investigación... ..	56
3.10.1.- Tipo de investigación	56
3.10.2.- Nivel de la investigación.....	56
3.10.3.- Característica de la investigación... ..	57
3.11.- Método.	57
3.12.- Población y muestra	57
3.13.- Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	57

3.14.- Metodología de recolección de datos.....	58
---	----

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1.- Criterios para valorar los parámetros del RMR	59
4.1.1.- Condición de discontinuidades.....	59
4.1.2.- Resistencia compresiva de las rocas.....	60
4.1.3.- Condición de juntas.....	61
4.1.4.- Estado del terreno – presencia de agua	62
4.1.5.- Corrección por orientación.....	62
4.1.6.- Ajuste de valores por orientación de juntas	63
4.1.7.- Determinación de las clases del macizo rocoso.....	63
4.1.8.- Significado de las clases del macizo rocoso.....	63
4.1.9.- Datos del levantamiento litológico en la U.P. El Potrero.. ..	64
4.1.10.- Calculo del RMR básico - RMRb.....	65
4.1.11.- Corrección por orientación.....	66
4.1.12.- RMR corregido.....	67
4.1.13.- Interpretación de resultados.....	67
4.1.14.- Significado de las clases de macizos rocoso	67
4.2.- Prueba de hipótesis.....	67
4.3.- Discusión de resultados.....	69

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANEXOS

CAPITULO I
GENERALIDADES

1.1 ENTORNO FÍSICO

1.1.1. UBICACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA

El área de estudio se encuentra ubicada en el distrito de Cusca, provincia de Corongo y departamento de Ancash, en la quebrada denominada Llullayacu. El Prospecto Potrero se sitúa al SW del poblado de Tarica hacia el flanco Este de la cordillera Blanca en la parte norte del departamento de Ancash, el área de estudio se encuentra ubicado en una zona de relieves abruptos con altitudes variables que van de los 3300 m.s.n.m. hasta los 3800 m.s.n.m. ubicada dentro de las siguientes coordenadas UTM.

Cuadro N° 01: Vértices de la U.P El Potrero (PSAD56).

COORDENADAS UTM			
VERTICE	NORTE	ESTE	ZONA
1	9 047 250	194 750	18S
2	9 047 250	194 750	
3	9 046 000	194 750	
4	9 046 000	194 750	

En el aspecto geológico se encuentra dentro del cuadrángulo de Corongo (18-H), influenciado por el batolito de la cordillera Blanca, siguiendo la dirección de fallas NW-SE del sistema andino y plegamientos típicos, con afloramientos de rocas sedimentarias estratificadas que buzcan al SW de la formación Chicama.

Regionalmente se tiene la cordillera occidental (cordillera Blanca, cordillera Negra), cordillera oriental y el valle del Marañón, económicamente se tiene los depósitos de minerales tipo pórfido (Santa Rosa, Pucapampa y el Águila).

1.1.2. ACCESIBILIDAD

Cuadro N° 2: Accesibilidad y Tiempo Estimado

VIAS DE ACCESO			
TRAMO	TIPO DE VIA	DISTANCIA	TIEMPO (Hrs.)
Lima - Trujillo	Asfaltada	570 Km.	9:00
Trujillo – Santa - Chuquicara	Asfaltada	190 Km.	2:30
Chuquicara - Tarica	Afirmada	95 Km.	3:00
Tarica - Prospecto	Carrozable	3 Km.	0:15
Total		828 Km.	14:45

1.1.3. TOPOGRAFÍA Y FISIOGRAFÍA

La configuración topográfica del área de estudio es accidentada muy variada típicamente compuesta por laderas de empinadas, con cerros escarpados de relieve abrupto cuyas pendientes sobrepasan generalmente 40°.

La zona de estudio abarca contrastes típicamente cordilleranos, presentando pendientes abruptas que van desde los 3400m.s.n.m en el poblado de Tarica, hasta los 4500 m.s.n.m en el Prospecto. Las partes altas del área están constituidas por areniscas-limolitas, areniscas cuarzosas y/o rocas intrusivas,

las cuales han sido afectadas por el intemperismo, esto aunado con la naturaleza intrínseca de la roca expuesta provocan la formación de relieves topográficos característicos, cubiertos por material coluvial y suelo.

Las glaciaciones ocurridas durante el cenozoico y los eventos de glaciación reciente han provocado la formación de depósitos fluvioglaciares, morrenas, entre otras.

1.1.4. CLIMA

El Prospecto se ubica en una zona de clima frío debido a la altitud, existiendo una marcada diferencia térmica entre la exposición al sol y a la sombra, evidentemente existe gran diferencia térmica entre el día y la noche, en un día soleado puede llegar hasta los 15°C y por las noches por debajo de 0°C.

Presenta un clima lluvioso a fines de primavera y todo el verano, por lo general durante los meses de diciembre a marzo. De acuerdo al mapa climático del SENAMHI se trata de un clima templado a semitropical, este clima es característico de una amplia zona de la cordillera peruana.

1.1.5. FLORA

La vegetación del área de estudio comprende plantas silvestres como el ichu, pastos naturales, etc. Cabe destacar que el ichu y los pastos naturales cubren gran parte de la extensión del terreno y que sirve como alimento para algunos animales silvestres y como pastoreo de animales domésticos.

También existe la vegetación cultivada por el hombre como son papa, olluco, eucalipto, cipres, molle, pino, etc. Cabe mencionar que la agricultura es la primera actividad productiva económica más importante de la zona y el sustento de muchas familias, se tiene cultivos principalmente en la parte baja

del área de estudio debido a la cercanía a la población, además que se tiene un relieve plano y pendientes suaves a comparación del relieve abrupto que se tiene en la zona de interés por las partes altas.

1.1.6. FAUNA

En cuanto a la fauna silvestre observada en la zona y según la versión de los pobladores podemos mencionar los siguientes:

Entre los mamíferos tenemos: zorro, zorrillo, venado, vizcacha, puma, ratón, etc. y entre las aves podemos citar al cóndor, águila, halcón, gavilán, cernícalo, perdiz, picaflor, etc. mientras que entre las especies domésticas mamíferos tenemos, la vaca, el caballo, el burro, la oveja, la cabra, el cerdo, el perro, el gato, el cui, etc. y entre las aves de corral están la gallina, el pato y el pavo.

Destacamos que la ganadería es la segunda actividad económica más importante de la zona, después de la agricultura, que está conformado principalmente por el ganado vacuno y ovino que producen carne, leche y lana según sea el caso y además es una de las bases para el sustento de las familias.

Existen pequeñas industrias donde fabrican queso a partir de la leche de vaca, preferentemente en los caseríos de Hualcallanca y Urcón; por otra parte, también crían ganado vacuno de especie brava (Salvaje) las cuales son utilizados en las corridas de toros en festividades locales.

1.2 ENTORNO GEOLÓGICO

1.2.1. GEOLOGÍA LOCAL

De acuerdo a las características físicas observadas de la litología y el cartografiado en la zona de estudio; estos afloramientos litológicos corresponden a la secuencia sedimentaria de la formación Chicama, dichos afloramientos se encuentran plegados y fallados a causa de diferentes procesos de deformación originados principalmente por procesos compresivos de la orogenia andina en su fase quechua II.

La U.P. El Potrero se encuentra en parte de la franja denominada “cinturón metalogenético del Mioceno del centro y norte del Perú” (Noble y McKee, 2005), que consiste en una franja de dirección N30°W con depósitos minerales asociados a intrusiones miocénicas; en esta franja se encuentran alineados los prospectos Magistral, Pucapampa, Santa Rosa, El Águila, Pucajirca y Racaycocha, pórfidos de Cu más conocidos dentro de la región.

Estas secuencias sedimentarias del Chicama se encuentran intruídas por stocks porfídicos granodiorítico y diorítico, de las cuales el pórfido granodiorítico fue causante de la mineralización.

FORMACIÓN CHICAMA (1000m – Titoniano) (Js-Ch)

La U.P. El Potrero se encuentra hospedado en su totalidad en secuencias de rocas sedimentarias del Chicama, las cuales están constituidos por intercalaciones de lutitas carbonosas gris oscuras, areniscas grises y areniscas cuarzosas blanquecinas hacia la parte superior.

Presenta una fauna pelágica bien desarrollada y no hay presencia de especies bentónicas, la cual sugeriría que se ha depositado en una cuenca reductora.

Se describe cada una de las secuencias sedimentarias observadas localmente en esta formación:

Lutitas

Son secuencias de lutitas fisibles de color beige con intercalación de lutitas carbonosas, las cuales le dan la coloración de grises oscuras, en ciertas zonas presentan nódulos ferruginosos y en algunos casos con py; estas lutitas se encuentran hacia la base de la formación Chicama en la zona de estudio y corresponden a estadios de baja velocidad de aporte de sedimentos en ambientes anóxicos.

Areniscas Limosas Grises, Limolitas

Son intercalaciones de areniscas grises de grano medio a fino con limolitas de color grises oscuras de estratificación delgada, en ciertas zonas esta secuencia se encuentra parcialmente silicificadas relacionadas a vetas e intrusivos.

Areniscas Cuarzosas Blanquecinas

Esta secuencia de areniscas blanquecinas son más frecuentes en la zona de estudio y se encuentran hacia la parte superior, esta secuencia corresponde a areniscas limpias cuarzosas bien compactadas que son de grano medio bien seleccionadas, presentan intercalación de algunos niveles de areniscas grises y limolitas-lutitas con estratificación delgada.

DEPÓSITOS CUATERNARIOS (Qh-Co)

Hacia la parte baja de la zona de estudio se encuentra cubierta por potentes bancos de depósitos coluviales constituidos por gravas, arenas y limos poco consolidados, son fragmentos subangulosos a subredondeados de roca

sedimentaria e intrusiva, hacia la parte superior por los bordes de circos glaciares se puede apreciar remanentes de material morrénico conformado por los mismos detritos descritos.

Mientras que, hacia las partes más bajas, en los bordes de los ríos, se observan depósitos fluvioaluviales formando pequeñas terrazas aluviales, las que son utilizadas como terrenos de cultivo por los pobladores.

ROCAS INTRUSIVAS

En la U.P. El Potrero, se han identificado dos tipos de intrusivos ambos con textura porfirítica, que corresponden a intrusivos miocénicos que cortan rocas sedimentarias clásticas de mesozoico, ya que el Prospecto Potrero se ubica en el cinturón metalogénico del Mioceno de centro y norte de Perú (Noble y McKee, 2010).

Estas rocas ígneas del Prospecto Potrero ocurren como diques y sills en forma elongada siguiendo el rumbo NW-SE, emplazadas según las características estructurales que controlan a zona de estudio. El primer intrusivo tiene una composición granodiorítica con textura porfirítica y el otro de composición diorítica, a continuación, describiremos cada una de ellos:

Intrusivo Granodiorítico (N-Gd)

Este intrusivo se caracteriza por tener textura porfirítica con ojos de cuarzo, según el mapeo ocupa un área de 5ha en afloramiento, extendiéndose hacia la zona SE; se encuentra emplazada en forma elongada en dirección NW-SE con xenolitos de hornfels, arenisca cuarzosa, limolitas hacia los contactos.

En la zona de estudio se puede apreciar un fuerte plegamiento formando anticlinales, sinclinales y fallamientos siguiendo el rumbo andino NW-SE,

este dique de intrusivo Granodiorítica es el primer evento del prospecto Potrero, donde su emplazamiento probablemente sea contemporáneo a esfuerzos transpresivos asociado a fallas inversas y de rumbo, que fue el causante del plegamiento y posterior fallamiento. La extensión de la estructura (dique) se encuentra emplazado en uno de los flancos del sistema de plegamiento.

Según la descripción física del intrusivo, presenta una coloración gris clara con textura porfirítica y fenocristales (<10mm) de grano medio a grueso. Está compuesta principalmente por fenocristales euhedrales a subhedrales de plagioclasas con porcentajes de 30% a 40%; ortosa de 5% hasta 10%, cuarzo de 25 % a 30%, y cantidades variables de elementos accesorios y secundarios como biotita, hornblenda, entre otros y todos ellos englobados en una matriz silícea.

Intrusivo Diorítico (N-Dio)

En la zona de estudio se puede apreciar otro evento de intrusivo emplazado como sills, a la cual se le denomina como Diorita por su composición petrológica y la notable ausencia de cuarzo, probablemente este intrusivo sea un segundo evento tardío y esté relacionado más a sistemas distensivos por relajación del sistema compresivo.

El afloramiento de este intrusivo es muy pequeño ubicado al Norte del intrusivo granodiorítico aprovechando niveles de estratificación en forma de sills. Según la descripción física de este intrusivo, presenta una coloración gris, con textura porfirítica y fenocristales (<7mm) de grano medio a fino.

Sus constituyentes mineralógicos macroscópicamente están compuestos por: fenocristales subhedrales a euhedrales de plagioclasas con porcentajes de 30% a 35% y como minerales accesorios presenta cristales anhedrales a subhedrales de (hornblendas y biotitas) en porcentaje estimado de 15% a 20%, todas ellas englobados en una matriz silíceas.

ROCAS METAMÓRFICAS

El proceso metamórfico se realiza en estado sólido, es decir las transformaciones se producen sin que la roca llegue a fundirse. La mayoría de las rocas metamórficas se caracterizan por un aplastamiento general de sus minerales que hace que se presenten alineados.

En la U.P. El Potrero apreciamos 2 tipos de roca metamórfica (hornfels y cuarcitas), formándose por metamorfismo de contacto, las cuales se presentan principalmente en los bordes de los intrusivos o cercanos a estos.

Hornfels

Los hornfels en la zona de estudio se aprecia hacia los contactos con el pórfido granodiorítico y en menor grado hacia el contacto con el intrusivo diorítico formada por metamorfismo de contacto, la composición de los hornfels depende directamente de la composición de la roca original la cual deriva de la formación Chicama que corresponde a secuencias.

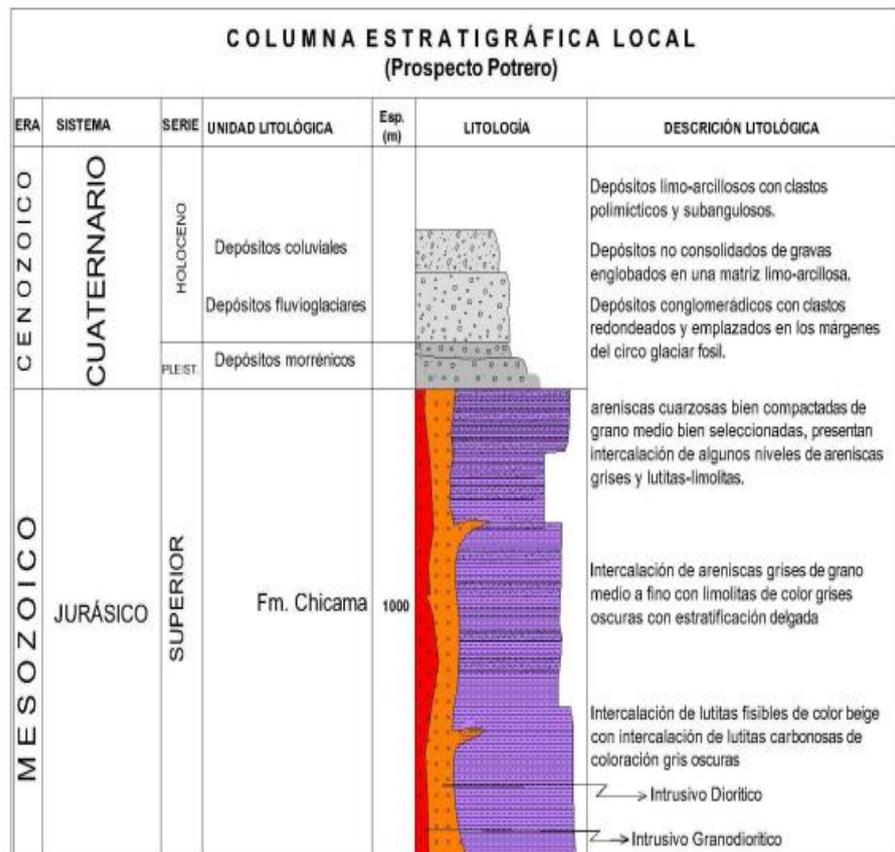
Esta roca presenta una coloración gris a gris oscura de textura granoblástica, este tipo de roca se compone de diversos granos minerales equidimensionales.

Cuarcitas

Las cuarcitas se caracterizan por tener más de 95% de cuarzo dentro de su composición, los granos de cuarzo se encuentran recristalizados producto del metamorfismo causadas por altas presiones y temperaturas. Están constituidas por cristales de cuarzo íntimamente soldados a menudo entrelazados.

Las cuarcitas en el área de estudio se formaron al igual que los hornfels por metamorfismo de contacto estando cercanas a los intrusivos. En el prospecto este tipo de roca se encuentra en un horizonte de estratificación, siendo la roca original una arenisca cuarzosa de la formación Chicama.

Figura N° 01: Columna estratigráfica local de la U.P. El Potrero.



Fuente: Modificado de “Memoria explicativa del mapa geológico del Perú” Boletín N° 136-INGEMMET- marzo 2010).

1.2.2. GEOLOGÍA REGIONAL

Regionalmente en la U.P El Potrero se encuentra en afloramientos de rocas clásticas del Mesozoico. Las rocas más antiguas ocupan gran parte del área y presentan una alternancia de lutitas, limolitas y areniscas que corresponden a la formación Chicama, le suprayace concordantemente rocas silicoclásticas el grupo Goyllarizquizga y a este grupo le suprayace la formación Pariahuanca constituida por calizas, con intercalaciones de lutitas margosas y calizas arenosas, inmediatamente después se presenta la formación Chulec con calizas, margas y limolitas calcáreas con abundancia en variedad de fauna fósil, hacia la parte superior suprayaciendo a la formación Chulec se tiene la formación Pariatambo que presenta una alternancia de margas, lutitas bituminosas y calizas.

Las rocas intrusivas del área de estudio están representadas por granodioritas y tonalitas de grano medio a grueso que corresponderían como parte del Batolito de la cordillera Blanca, además se tiene diques y sills de pórfidos feldespáticos de composición dacítica, dioritas y andesitas en el contexto regional.

FORMACIÓN CHICAMA (Js-Ch)

La formación Chicama presenta predominancia de lutitas Laminares, y piritosas de color gris a gris oscuro con presencia de nódulos ferruginosos que se intercalan con areniscas finas de color gris, que presenta una estratificación laminar milimétrica a centimétrica, con presencia de horizontes de areniscas carbonosas en los niveles superiores; Contienen abundantes nódulos negros, piritosos, algunas veces con fósiles algo

piritizados, es común observar manchas blancas amarillentas. Las rocas de la formación Chicama son blandas, debido a la cantidad de material limo arcilloso que han favorecido el desarrollo de una topografía suave.

Como en otras partes, en la zona de estudio, no se ha visto la base de la formación Chicama, se supone que descansa discordantemente sobre las calizas del grupo Pucará. Su contacto superior es generalmente de aparente conformidad con la formación Chimú, siendo más probable una concordancia.

Por el sector oriental, el intenso disturbamiento sufrido por estas rocas dificulta la exacta estimación de sus grosores sin embargo, en el sector occidental, los estratos están menos deformados excepto donde se presentan algunas intrusiones pequeñas y medianas que distorsionan los estratos, a pesar de lo cual puede estimarse un grosor de 1,000m.

La litología y el alto contenido de pirita en los sedimentos de la formación Chicama, sugieren que el material se deposita en una cuenca anaeróbica, en donde prevalecía un ambiente de reducción. Los sectores donde la formación muestra una coloración rojiza con mayor contenido de areniscas, pueden presentar el borde de esta cuenca, ya que se tiene la seguridad de que los sedimentos Titonianos no se depositaron hacia el este del flanco occidental del Geoanticlinal del Marañón. Por tal razón, los sobreescurrecimientos son menos intensos a medida que se avanza hacia el este del supuesto límite oriental.

Edad y ambiente de sedimentación, En esta formación se encontraron Anmonites Perisphinctes, Berriasella, Aspidoceras, las cuales indicarían una

edad Titoniana La formación Chicama es correlacionable con las formaciones, Puente Piedra de la zona de Lima, y con la parte inferior del Grupo Yura en Arequipa (INGEMMET, 2015).

FORMACIÓN CHIMÚ (Ki-Chi)

Esta formación se emplaza como una unidad que cubre grandes áreas del río Chicama, forma farallones en la margen de los ríos. Litológicamente está constituido por cuarcitas, areniscas y limolitas-lutitas con bancos de niveles antracíticos hacia la base El espesor varía de 150 a 490m. y básicamente comprende dos miembros; el miembro inferior que consiste de areniscas cuarzosas gris claras intercaladas con limolitas de color beige y presenta horizontes de lutitas gris oscuras carbonosas de naturaleza antracítica, mientras que el miembro superior consiste de paquetes gruesos y macizos de cuarcitas gris blanquecinas con escasa intercalación de limolitas; que básicamente está distribuido en la zona Noreste y Sureste de la zona de estudio, en forma elongada en dirección NWSE formando generalmente el núcleo de los anticlinales regionales, que constituyen las áreas más prominentes de la zona (en forma de crestas rocosas) debido a su alta resistencia a la erosión por estar constituido de altos porcentajes de cuarzo.

Edad y ambiente de sedimentación, Esta formación suprayace a la formación Chicama (Titoniano) e infrayace a la formación Santa (Valanginiano Superior), por tanto, se le asignaría una edad Valanginiano inferior a medio; se han observado la presencia de estratificaciones cruzadas en facies de canales en trenza a la base y ligeramente meandriformes hacia el nivel superior, las cuales indicarían un ambiente de deposición deltaico (INGEMMET, 2015).

FORMACIÓN SANTA (Ki-Sa)

Esta formación, hacia la base consiste de calizas grises con nódulos de chert y hacia parte superior hay una alternancia de areniscas y limolitas calcáreas de color gris marrón con cierta silicificación.

El espesor varía entre 100 y 140 m. esta formación suprayace a la formación Chimú e infrayace a la formación Carhuáz, ambos contactos con discordancia paralela; esta formación ha sido cartografiada como Santa-Carhuáz debido a su espesor restringido y en muchos casos a su litología similar; en el área de estudio, según el mapa geológico regional está distribuido en la zonas Noreste y Sureste formando los núcleos de los anticlinales y sinclinales regionales.

Edad y ambiente de sedimentación, en esta formación de han encontrado especies de Buchotrigonias, Paraglauconia Strumbiformes Schloteim, pero estas no diagnostican una edad precisa, sin embargo, se le atribuye una edad Valanginiana en base a los fósiles diagnósticos de la formación Carhuáz. (INGEMMET, 2015).

FORMACIÓN CARHUÁZ (Ki-Ca)

Regionalmente, esta formación suprayace a la formación Santa e infrayace a la formación Farrat, pero en la zona de estudio no se ha reportado afloramientos de la formación Farrat, sin embargo, se supone que infrayace en forma discordante a la formación Pariahuanca.

Litológicamente consiste de una alternancia de areniscas cuarzosas finas marrón rojizas en capas delgadas con limolitas y lutitas de colores marrón rojizo, gris y beige; su espesor promedio es aproximadamente de 500m; según

el mapa geológico regional se le representa como Santa-Carhuaz y con espesores mucho menores ($\leq 140\text{m.}$) y está distribuido en las zonas Noreste y Sureste del área, con forma elongada en dirección NW-SE, formando el núcleo de los anticlinales y sinclinales regionales.

Edad y ambiente de sedimentación, (Benavides, 1956) encontró restos de *Valanginitis brogii*, que es un fósil característico del Valanginiano superior, en la base de la formación Carhuáz, en el Callejón de Huaylas; y además en los niveles superiores a esta formación en la región de Uchucchacua se ha reportado un *Parahoplites* lo que señala una edad del Albiano inferior. Por tanto, la formación Carhuáz correspondería al Valanginiano superior a Aptiano.

La presencia de escasos niveles carbonatados, de pelecípodos y raros bivalvos con abundante bioturbación por anélidos nos ubicaría en un paisaje de costas pantanosas cortado por escasos canales meandriiformes. (INGEMMET, 2015).

FORMACIÓN PARIAHUANCA (Ki-P)

Esta formación hacia la base está constituida por calizas de color marrón con alternancia de lutitas margosas y calizas arenosas con niveles de laminación ondulada que corresponden a la estructura sedimentaria tipo flaser bedding.

Teóricamente suprayace a la formación Farrat, pero en la zona de estudio no se han observado afloramientos de la formación Farrat, debido a ello se supone que suprayace en forma discordante a la Formación Carhuáz e infrayace a las calizas margosas de la formación Chulec. El espesor en la zona de estudio varía entre 65 y 100 m. aproximadamente.

Edad y ambiente de sedimentación, (Benavides, 2016) encontró un fragmento de Parahoplites, género que caracteriza a la edad Albiana-Aptiana, además se le correlaciona con la formación Inca del Albiano inferior y por lo tanto se le considera de la misma edad.

Las estructuras sedimentarias presentes tales como flaser bedding y lenticular bedding asociado a ondulaciones de corrientes indicarían facies de borde de plataforma en ambiente tidal.

FORMACIÓN CHULEC (Ki-Ch)

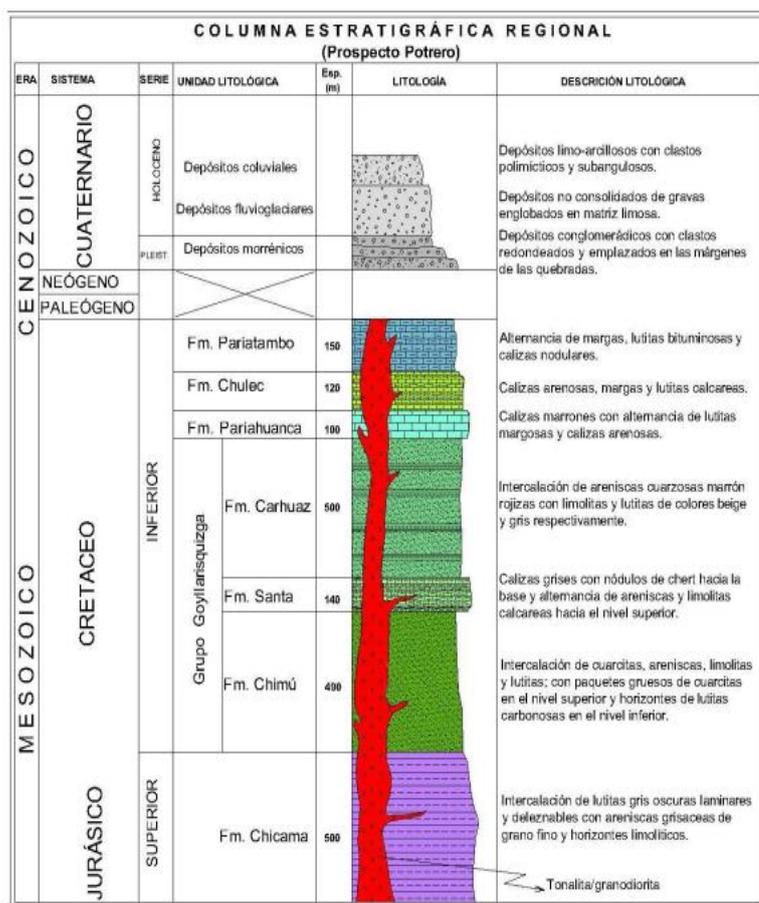
Esta formación en la zona de estudio, teóricamente suprayace a la formación Pariahuanca e infrayace a la formación Pariatambo en forma concordante.

Litológicamente está constituido por paquetes medianas a delgadas de calizas, margas y limolitas calcáreas con abundancia de fauna fósil. El espesor de esta Formación aproximadamente varía entre los 50 a 120m.

Edad y ambiente de sedimentación, por la presencia de Parahoplites en la parte basal de la Formación y por otro lado la abundancia de especies como los ammonites Knemiceras, Parengonoceras y Douvilleiceras, indicarían una edad Albiano medio. (INGEMMET, 2015).

En cuanto al ambiente de sedimentación, la abundancia de horizontes margosos indicaría una zona distal de una plataforma carbonatada.

Figura N° 02: Columna estratigráfica regional de la U.P El Potrero



Fuente: (Modificado de “Memoria explicativa del mapa geológico del Perú” Boletín N° 136 - INGEMMET- marzo 2010).

1.2.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La U.P. El Potrero ha sido afectado por varios eventos tectónicos principalmente compresivos, originados por la orogenia Andina en sus diferentes fases anteriormente mencionadas (principalmente fase quechua); estos procesos de deformación compresivos originaron plegamientos y diferentes tipos de fallas (principalmente inversas), algunas de las cuales fueron reactivadas con los posteriores eventos de deformación extensivos relacionados al emplazamiento de la cordillera blanca.

Para la formación de estructuras y cuerpos mineralizados en el prospecto Potrero, se tienen controles estructurales bien definidos, que corresponden a un corredor estructural conformado por plegamientos y fallas con rumbo andino, preferencialmente (N50°W), a consecuencia de estos plegamiento y posteriores fallamientos en la zona de estudio, se formaron condiciones favorables para albergar mineralización ya sea en cuerpos y/o estructuras.

Para un mejor entendimiento del aspecto estructural comenzaremos definiendo los lineamientos regionales de la zona, ya que interactuaron dos eventos de deformación que permitieron la mineralización en la U.P El Potrero.

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En el marco teórico de la presente tesis se tiene como antecedentes relacionados a la investigación los siguientes:

(PALACIOS, 2019), **DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN - VOLADURA Y EXTRACCIÓN DE ROCAS PARA ESCOLLERAS – CANTERA CRISTOPHER – CARABAYLLO**. El autor en su tesis tiene como resumen lo siguiente.

RESUMEN

La investigación de perforación y voladura en canteras en nuestro país es muy limitada. Pero, en estos lugares también se realizan esas actividades unitarias tal como se hace en la minería a cielo abierto, pero a menor escala. Tal es fundamento por el cual se propuso mejorar los procedimientos en perforación y voladura en una cantera para suministrar escolleras; por lo tanto, se planteó el problema señalando ¿De qué manera influye el diseño de la malla de

perforación y voladura en la mejora de la extracción de rocas para escolleras en la Cantera Cristopher de Carabayllo - 2019? A partir de esta interrogante se trazó como objetivo determinar de qué manera influye el diseño de la malla de perforación y voladura en la mejora de la extracción de rocas para escolleras en la Cantera Cristopher. En el desarrollo del trabajo de investigación se usó el método científico. La población se consideró a las zonas de extracción de rocas para escollera 4D y 4I de la cantera Cristopher de Carabayllo y como muestra zona 4D. Para lograr la fragmentación requerida se realizó un primer diseño de malla y carga como referencia 0, a partir de esta línea base se desarrollaron diseños más puntuales de acuerdo a la configuración de la roca, 8 filas de taladros, de 7 taladros por fila en donde se diseñó en paquetes simultáneos de 3 para lograr uniformidad de corte y movilización de la roca para evitar el amarrado de la roca y sea difícil su extracción. El factor de carga fue de 0.16 kg/m³ y el 95% de las rocas para escolleras o coraza tuvieron las dimensiones requeridas. Palabras clave: Canteras, escolleras, perforación, voladura.

(CHANCASANAMPA, 2019), **DISEÑO DE LA MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DE TAJEOS EN LA COMPAÑÍA MINERA GREAT PANTHER CORICANCHA S.A.**, El autor en su tesis tiene como resumen lo siguiente.

RESUMEN

El presente estudio “Diseño de malla de perforación y voladura para incrementar la productividad de tajeos en la compañía Minera Great Panther Coricancha S.A.”. En la unidad minera se tenía un déficit de aporte de mineral

de 80TM mensuales por tajeo, Por tal este estudio tiene como objetivo exponer la factibilidad de incrementar la productividad de tajeos mediante la aplicación de un diseño de malla de perforación y voladura asegurando así el éxito del ciclo de minado. La Hipótesis del estudio es el diseño de la malla de perforación y voladura influye en el incremento de la productividad de tajeos en la Compañía Minera Great Panther Coricancha S.A. La metodología aplicada fue un análisis -comparativo de la productividad de tajeos antes y después de experimentar el Diseño de malla de perforación y voladura propuesto. El desarrollo de este trabajo expone inicialmente una caracterización geomecánica del macizo rocoso, para después realizar un diseño de malla de perforación y voladura tomando en cuenta las tres variables importantes en un diseño de un disparo primario las cuales son macizo rocoso, explosivo, parámetros de perforación. Posteriormente se realiza el seguimiento y control de las actividades del ciclo de minado en el tajeo para poder cuantificar la productividad. La aplicación de este diseño de malla de perforación y voladura en el tajeo 068, nos permitió reducir daño a las paredes 0.03m, etc. lográndose incrementar la productividad del tajeo 068 a 4.5 TM/Hombre - guardia, reducir el tiempo del ciclo de minado a 11.2 días por corte y reducir la Sobredilucion a 4.87 %. Palabras clave: productividad de tajeo, diseño de perforación, Voladura.

(OVIEDO, 2017), DISEÑO DE MALLAS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA HACIENDO USO DEL SOFTWARE DRILL AND BLAST VULCAN 8.0 PARA OBTENER UNA ÓPTIMA FRAGMENTACIÓN EN E.E. AJANI UNIDAD MINERA ANABI, El autor en su tesis tiene como resumen lo siguiente.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación trata de la aplicación del software de diseño y modelamiento Vulcan 8.0 con el uso de las herramientas drill and blast, así con una librería de explosivos comerciales como anfo, emulsión y anfo pesado, accesorios de voladura como los booster y retardadores, herramientas de diseño de mallas de perforación y voladura de taladros de producción, taladros de línea buffer, taladros de pre-corte y el análisis de la carga del taladro, cantidad de retardadores, iniciadores, noneles y taco, con el siguiente diseño de parámetros de voladura burden y espaciamiento. Se hizo un análisis de resultados sobre el tamaño de partícula se analizaron todos los procesos operativos de la mina que intervienen en la obtención del material fragmentado revisando bibliografía existente de la empresa, acerca de problemas similares en otras mineras, se pudo observar que una de las causas recurrentes es la fragmentación del material volado (específicamente por temas de perforación y voladura), así que se tuvo un especial cuidado en el análisis de este proceso. La metodología para el análisis del proceso operativo se pudo determinar que la roca existe en el Tajo (donde provenía el 80% de material para el pàd) era de una roca tipo sílice masiva de alta dureza (UCS mayor a 150 MPa) y que el P80 obtenido era de 14.6 cm. Se trabajó en la mejora de la fragmentación del material volado aplicando teorías de voladura en incremento del Powder Factor, Selección de tiempos de detonación y Relación de Impedancia (velocidad de onda de la roca y su densidad vs velocidad de detonación y densidad del explosivo). La aplicación de estas teorías permitió la mejora del P80 a 6.5 cm, con lo que se demuestra una optimización en la fragmentación del material volado, lo cual nos va a reducir

los costos de carguío y acarreo y conminación (procesamiento metalúrgico), con un ligero incremento de los costos de perforación y voladura Finalmente se hizo un análisis de optimización de la fragmentación a través de cuadros comparativos en relación a resultados anteriores y resultados propuestos. Palabras claves (diseño, malla, fragmentación, taladro software vulcan).

(CHIPANA, 2015), **DISEÑO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA REDUCCIÓN DE COSTOS EN EL FRENTE DE LA GALERIA PROGRESO DE LA CONTRATA MINERA CAVILQUIS - CORPORACIÓN MINERA ANANEA S.A**, El autor en su tesis tiene como resumen lo siguiente.

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación titulado “Diseño de perforación y voladura para reducción de costos en el frente de la Galería Progreso de la Contrata Minera Cavilquis - Corporación Minera Ananea S.A.”. Tiene como objetivo determinar el diseño de malla de perforación y la carga explosiva adecuada para reducir los costos en la ejecución de la Galería Progreso de la Contrata Minera Cavilquis Corporación Minera Ananea S.A. El desarrollo de esta tesis expone inicialmente todas las deficiencias de perforación y voladura que incurrieron a los altos costos a la contrata minera entre los efectos mencionamos resultados de avance lineal, inadecuado diseño de malla de perforación, demasiado número de taladros con inadecuado burden, espaciamiento y demasiada distribución de carga explosiva por disparo. Estos efectos de perforación y voladura han causado a la suma de altos costos en

perforación a US\$ 98,48 por disparo, con una distribución de explosivo de 28,35 kg, el costo de los accesorios de voladura y dinamitas sumaban a US\$ 196,42 en voladura sumados los costos de perforación y voladura son US\$ 294,90. Con el diseño de malla adecuado de perforación se ha reducido los costos de perforación a US\$ 87,25 y determinando la carga explosiva adecuada se ha reducido los costos de voladura a US\$ 148,39, si sumamos los costos de perforación y voladura se redujeron a US\$ 235,64 por disparo haciendo una diferencia de US\$ 59,26. La metodología de esta actividad consistió en la evaluación de las operaciones de perforación y voladura de la Galería Progreso y la ejecución de su etapa inicial y posteriormente se seleccionó un nuevo diseño de malla de perforación y selección de carga explosiva utilizada, finalmente estos resultados se han comparado para encontrar la reducción de costos de perforación y voladura en la Galería Progreso de la Contrata Minera Cavilquis-Corporación Minera Ananea S.A.

(MONTROYA-VILCHEZ, 2019), **DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN UTILIZANDO MODELO MATEMÁTICO HOLMBERG PARA MEJORAR FRAGMENTACIÓN DE LA VOLADURA - MINA SANTA CLOTILDE 7 – CHONGOYAPE**, Los autores en su tesis tienen como resumen lo siguiente.

RESUMEN

El presente informe de investigación tuvo por finalidad diseñar malla de perforación utilizando el modelo matemático Holmberg para mejorar la fragmentación de la voladura mina Santa Clotilde 7. La investigación surgió de la observación de un problema vinculado a la deficiente granulometría producto de la voladura para luego ser acarreado y transportado, para dicha

investigación se buscó trabajar con una muestra que constituida por la galería 322 de la mina Santa Clotilde 7 utilizando como tipo cuantitativo y diseño no experimental con investigación descriptiva propositiva. Asimismo, para el recojo de información se utilizaron métodos como es sistemático y analítico y técnicas de campo como la observación directa conjunto con los instrumentos empleados como guía de observación geológica y análisis de laboratorio, además se utilizó el software Geotable y pirkaUp que son de uso libre. Toda esta metodología le da a este informe de investigación el respaldo, sustento y seriedad respectiva. Finalmente, se obtuvo como resultados la descripción de la geología dentro de la mina, la determinación de la resistencia de la roca, la adecuada distribución de los taladros de acuerdo al Burden y espaciamiento y un P80 óptimo para las actividades de acarreo y transporte, todos estos resultados se presentan por medio de tablas y gráficos enumeradas, cada una con sus respectivos análisis que contribuyeron a comprobar la hipótesis que si se aplica el modelo matemático Roger Holmberg para el diseño de la malla de perforación entonces se mejorará la fragmentación de la voladura en la Mina santa Clotilde 7 – Chongoyape, todo este trabajo permitió concluir que el diseño de malla que se realizó utilizando el modelo matemático R. Holmberg permite mejorar el tamaño de fragmentación optimizando las actividades siguientes siendo el acarreo y carguío del material. Palabras claves: malla, perforación, modelo matemático R. Holmberg, explosivo.

2.1.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.2.1. PERFORACIÓN DE ROCAS

Una de las fases u operaciones unitarias de minado es la perforación, es la primera operación que se realiza y tiene como finalidad abrir huecos, con la distribución y geometría adecuada dentro de los macizos, donde alojar las cargas de explosivo y sus accesorios iniciadores.

Se basa en principios mecánicos de percusión y rotación, cuyos efectos de golpe y fricción, producen el astillamiento y trituración de la roca, en un área equivalentemente al diámetro de la broca, hasta una profundidad dada por la longitud del barreno utilizado. La eficiencia en perforación, consiste en lograr la máxima penetración al menor costo. En perforación, tiene gran importancia, la resistencia al corte o resistencia compresiva de la roca (que influye en la facilidad y velocidad de penetración) y la abrasividad.

Esta última influye en el desgaste de la broca, y por ende, en el diámetro final de los taladros, cuando ésta se adelgaza (brocas chupadas).

CONDICIONES DE PERFORACIÓN

Para conseguir una voladura eficiente, la perforación es tan importante como la selección del explosivo, por lo que este trabajo, debe efectuarse con buen criterio y cuidado. Lamentablemente, la supervisión de la correcta operación de perforación, aun, no es adecuadamente realizada en muchas minas, lo que permiten, que ocurran deficiencias en la calidad del trabajo (taladros desviados, más espaciados, de longitud irregular, entre otros), que determinan pérdidas de eficiencia de la energía explosiva disponible.

Normalmente la calidad de los taladros está determinada por cuatro condiciones: diámetro, estabilidad, longitud y rectitud.

✚ **Diámetro:** depende del tipo de aplicación en que el taladro será utilizado. Como regla general, el de menor diámetro factible, será el más adecuado y económico de realizar.

✚ **Longitud:** influye mucho en la elección de la capacidad de los equipos perforados, y naturalmente, en el avance del disparo (profundidad del taladro).

✚ **Rectitud:** varía con el tipo de roca, método de perforación y características del equipo perforador. Deben tener la mayor rectitud y alineamiento, para que el explosivo sea adecuadamente distribuido.

En la mayoría de trazos de perforación, el paralelismo entre taladros es de vital importancia, para la interacción de las cargas explosivas en toda la voladura.

✚ **Estabilidad:** los taladros deben mantenerse abiertos hasta el momento de su empleo. En terrenos sueltos, tienden a desmoronarse, por lo que, puede ser necesario revestirlos interiormente con tubos especiales para poderlos cargar o hacer otro taladro adyacente al obturado.

Es fundamental que los operadores perforistas, conozcan a fondo el manejo de su máquina, sus posibilidades y limitaciones, su mantenimiento básico y capten claramente los diseños del trazo o malla de perforación, entendiendo claramente el propósito o finalidad de la voladura a realizar.

FALLAS DE PERFORACIÓN

Los errores son significativos, especialmente, si afectan al arranque del disparo. Entre ellos tenemos:

- ✚ **En arranques:** insuficiente diámetro o número de taladros de alivio.
- ✚ **Desviaciones en el paralelismo:** en este caso el burden, no se mantiene uniforme, resulta mayor al fondo lo que afecta la facturación y avance. Este problema es determinante en los arranques y periferia (techos) de túneles y galerías.
- ✚ **Espaciamientos irregulares entre taladros:** Propician fragmentación gruesa o soplo del explosivo.
- ✚ **La irregular longitud de taladros:** influye en el avance (especialmente, si el de alivio es muy corto), y también determina una nueva cara muy irregular.
- ✚ **Intercepción de taladros:** Afecta a la distribución de la carga explosiva en el cuerpo de la roca a romper.
- ✚ **Mayor número de taladros que los necesarios o diámetros muy grandes:** pueden determinar sobrecarga, que golpeará a la roca circundante.

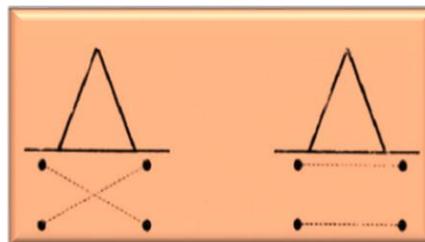
CORTES

La parte inicial y más crítica de un frente de voladura es el corte. Aunque hay muchos tipos específicos de cortes, y la terminología puede ser confusa, todos los cortes pueden ser clasificados en: cortes en ángulo y cortes con taladros paralelos.

CORTES EN ÁNGULO

Los cortes en ángulo pueden ser el corte en V, el corte pirámide, el corte en cuña de arrastre, entre otros., arranca una cuña de roca para crear una abertura al cual los taladros restantes pueden desplazar sus burdenes. Los cortes en ángulo son difíciles de perforar exactamente. Los extremos de cada par de taladros del corte deberían estar lo más cercano posible. Si ellos se cruzan, la profundidad del disparo será menor que el diseñado. Si los extremos están apartados más de un pie o demasiado alejados, el disparo no podría alcanzar la profundidad apropiada. Los ángulos entre los taladros del corte deberían ser 60° o más, para minimizar embotellamientos. La selección del tipo específico de los cortes en ángulo es una función del tipo de roca, el tipo del equipo de perforación, la filosofía de la administración de la mina, y el perforista. En aberturas pequeñas es imposible posicionar apropiadamente a la perforadora para perforar un corte en ángulo. En este caso es un corte con taladros en paralelo debe ser usado. (ver Figura N° 03)

Figura N° 03: Corte en Angulo



CORTES CON TALADROS PARALELOS

Los cortes con taladros paralelos, los cuales también pueden ser llamados cortes Michigan, cortes Cornish, cortes quemados, cortes Coromant, entre otros, son básicamente una serie de taladros

espaciados muy cercanamente, algunos cargados y otros no cargados, los cuales cuando son iniciados pulverizan y expulsan un cilindro de roca para crear una abertura a los burdenes de los taladros restantes pueden ser arrancados. Debido a que ellos requieren altos factores de potencia y más perforación por volumen de roca volada, el uso de los cortes con taladros paralelos está restringido usualmente a aberturas angostas, donde no hay suficiente espacio para perforar un corte en ángulo.

Los cortes en paralelo involucran más perforación que los cortes en ángulo debido a que los taladros espaciados muy cercanamente rompen pequeños volúmenes de roca. Sin embargo, ellos son muy fáciles para perforar porque los taladros son paralelos. Al igual que los cortes en ángulo, los cortes con taladros paralelos exactamente perforados son indispensables si la tanda de taladros debe romper la roca apropiadamente. Actualmente las perforadoras tipo jumbo tienen controles automáticos para asegurar que los taladros son perforados paralelamente. Unidades de este tipo son una buena inversión para minas que rutinariamente perforan cortes con taladros paralelos (ver Figura N° 04).

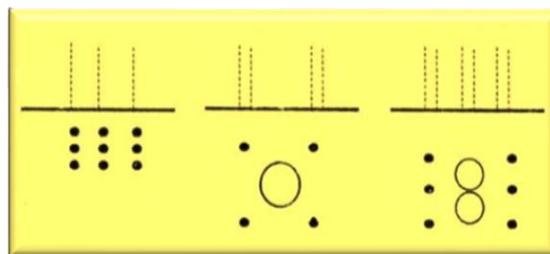
La selección del tipo de corte con taladros paralelos depende de la roca, el tipo del equipo de perforación, la filosofía de la administración de la mina, y el perforista.

Para todos los tipos de cortes es importante que el corte arranque a la profundidad planeada, porque los taladros restantes del disparo no arrancarán más profundamente que el corte. En la voladura con

cortes quemados se debe tener cuidado para no sobrecargar los taladros quemados porque esto puede causar que el corte se congele o no arranque apropiadamente. La carga apropiada del corte depende del diseño del corte y el tipo de roca a ser volada y frecuentemente debe ser determinado por ensayo y error. El espaciamiento entre los taladros varía generalmente de 15 a 25 cm.

También se puede realizar cortes quemados con uno o más taladros centrales más grandes que los otros del frente. La ventaja del taladro grande es que este proporciona un espacio más seguro hacia el cual los taladros subsiguientes pueden romper la roca. Esto asegura un arranque más seguro y más profundo del disparo. Las desventajas del taladro central grande son el requerimiento de una pieza adicional y mayor tiempo para la perforación

Figura N° 04: Cortes con taladros paralelos



DISTANCIA ENTRE TALADROS

Se determinan como consecuencia del número de taladros y del área del frente de voladura, normalmente varían de:

- ✚ 15 a 30 cm entre los arranques
- ✚ 60 a 90 cm en los de ayuda
- ✚ 50 a 70 cm entre los cuadradores

Como regla práctica se estima una distancia de 2 pies (60 cm) por cada pulgada de diámetro de la broca. Los taladros periféricos (alzas

y cuadradores) se deben perforar a unos 20 a 30 cm del límite de las paredes de la excavación minera subterránea, para facilitar la perforación y evitar la sobrerotura. Normalmente se perforan ligeramente divergentes del eje del túnel para que sus topes permitan mantener la misma amplitud de sección en la nueva cara libre a formar.

LONGITUD DE TALADROS

Se calcula teniendo en cuenta el ancho de la sección, el tipo de corte y las características del equipo de perforación a utilizar.

2.1.2.2. VOLADURA DE ROCAS

El objetivo esencial de la utilización de un explosivo en el arranque de rocas, consiste en disponer de una energía concentrada químicamente, situada en el lugar apropiado y en cantidad suficiente, de forma que:

- ✚ Liberada, de un modo controlado en tiempo y espacio, pueda lograr la fragmentación del material rocoso.
- ✚ La explosión es, según Berthelot, **«la repentina expansión de los gases en un volumen mucho más grande que el inicial, acompañada de ruidos y efectos mecánicos violentos».**
- ✚ Los tipos de explosión son los siguientes: mecánicos, eléctricos, nucleares y químicos. Estos últimos, son los que desde el punto de vista de este manual tienen interés.
- ✚ Los explosivos comerciales, no son otra cosa que, una mezcla de sustancias, unas combustibles y otras oxidantes,

que iniciadas debidamente, dan lugar a una reacción exotérmica muy rápida, que genera una serie de productos gaseosos a alta temperatura, químicamente más estables, y que ocupan un mayor volumen.

✚ Para tener una idea del poder de un explosivo, puede efectuarse una comparación con otras fuentes de energía. Consideremos para ello, una central térmica de 550 MW de potencia instalada. Sabiendo que 1 kw es igual a 0,238 kcal/s, la potencia instalada equivale a 130.900 kcal/s. Un kilogramo de explosivo gelatinoso de 1.000 kcal/kg dispuesto en una columna de 1 m de longitud y con una velocidad de detonación de 4,000 m/s, desarrolla una potencia de $1.200 \text{ kcal} / 1 \text{ m} / 4,0000 \text{ m/s} = 48 \times 10^5 \text{ kcal/s}$, que es 37 veces superior a la de la central térmica.

✚ El factor tiempo de explosión, es tan importante, que aún, teniendo los explosivos comerciales de poder calorífico pequeño (la trilita 1,120 kcal/kg), comparado con otras sustancias combustibles (Antracita, por ejemplo 7,000 kcal/kg); donde, la velocidad de reacción del explosivo, es tal que, al detonar sobre una plancha de metal, puede producir un orificio en ella, pues, no da tiempo, a que la energía desarrollada, se distribuya hacia los lados o hacia arriba, donde se opondrá la resistencia del aire.¹

¹ Instituto Tecnológico GeoMinero de España. "Manual de Perforación y Voladura de Rocas". 2da Edición. Editorial Cartografía Madrid S.A. Madrid. 1994. Pág. 15.

La Voladura de Rocas de acuerdo a los criterios de la mecánica de rotura, la voladura es un proceso tridimensional, en el cual las presiones generadas por explosivos confinados dentro de los taladros perforados en la roca, originan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos: fragmentación y desplazamiento. El primero se refiere al tamaño de los fragmentos producidos, a su distribución y porcentajes por tamaños mientras que el segundo se refiere al movimiento de la masa de roca triturada.

Una adecuada fragmentación es importante, para facilitar la remoción y transporte del material volado, y está en relación directa con el uso al que se destinará este material, lo que calificará a la mejor fragmentación. Así en la explotación de minerales, se busca preferentemente, fragmentación menuda, que facilita los procesos posteriores de conminación en las plantas metalúrgicas; mientras que en rocas, algunas veces, se requiere, que sea en grandes bloques, como los que se emplean, para la construcción de atarjes o rompeolas. El desplazamiento y la forma de acumulación del material volado, se proyecta de la manera más conveniente para el paleo y acarreo, de acuerdo al tipo y dimensiones de las palas y vehículos disponibles.

Teniendo en cuenta los diversos criterios que involucra un trabajo de voladura , como el propósito o uso final del lugar a excavar o el del material a obtener (volumen a ser excavado), el grado de fragmentación promedio requerido, si la roca excavada se queda in situ o será transportada a otro lugar, el tipo y la dimensión del equipo

de remoción y acarreo disponible, la proximidad a instalaciones importantes, que puedan ser afectadas por vibraciones o proyecciones; además de otros, es pues, necesaria una planificación cuidadosa de la voladura, considerando todos los detalles, que pueden influir en sus resultados.

Existe una serie de factores o variables que intervienen directa o indirectamente en la voladura, que son mutuamente dependientes o que están relacionados uno al otro; unos son controlables y otros no. Son controlables, por ejemplo, las variables de diseño, de perforación o del explosivo a emplear; mientras que, no podemos modificar la geología o las características de la roca.

PARÁMETROS DE LA ROCA

Son determinantes, debiendo los explosivos y sus métodos de aplicación, adecuarse a las condiciones de la roca. Entre ellos tenemos a:

Propiedades físicas:

- ✚ Resistencia
- ✚ Densidad
- ✚ Peso Específico Aparente
- ✚ Porosidad Aparente
- ✚ Absorción en peso
- ✚ Grado de alteración

Propiedades elásticas o de resistencia dinámica de las rocas:

- ✚ Frecuencia sísmica o velocidad de propagación de las ondas sísmicas y de sonido

- + Resistencia mecánica
- + Fricción interna
- + Módulo de Young
- + Relación de Poisson
- + Impedancia

Condiciones geológicas:

- + Estructuras
- + Grado de fisuramiento
- + Presencia de agua

Parámetros Controlables. - Parámetros del explosivo

Propiedades físico – químicas

- + Densidad
- + Velocidad de detonación VOD
- + Transmisión y simpatía
- + Resistencia al agua
- + Energía del explosivo, en calorías / gramo o (J / g)
- + Sensibilidad a la iniciación
- + Volumen normal de gases
- + Presión de taladro
- + Categoría de humos

Condiciones de carga

- + Diámetro de la carga
- + Geometría de la carga
- + Grado de acoplamiento
- + Grado de confinamiento

- ✚ Densidad de carguío (Dc)
- ✚ Distribución de la carga en el taladro
- ✚ Tipo y ubicación del cebo
- ✚ Distribución de energía, en calorías / tonelada de roca
- ✚ Intervalos de iniciación de las cargas (timing)
- ✚ Variables de perforación:
 - ❖ La profundidad del taladro
 - ❖ La malla de perforación
 - ❖ Diámetro del taladro
 - ❖ Inclinación del taladro.

Condiciones generales para el trabajo eficiente de los explosivos:

- ✚ Deben contar con cara libre para facilitar la salida del material fragmentado
- ✚ Deben estar confinados, para aumentar su densidad de carga (atacado con vara de madera en subsuelo, compactación con aire comprimido, en carguío a granel en subterráneo y por gravedad en superficie). Sellado del taladro con taco inerte.
- ✚ Deben ser cuidadosamente cebados
- ✚ Deben ser disparados manteniendo una secuencia ordenada de salidas (temporización).
- ✚ El espaciamiento entre taladros, deben ser el adecuado, para permitir la interacción de las grietas radiales entre ellos, de lo contrario, habrá mala fragmentación, incluso hasta pueden soplarse sin efecto rompedor.

EVALUACIÓN DE LA VOLADURA

Una voladura, se evalúa por los resultados obtenidos. Para calificarla, se consideran los siguientes aspectos: volumen del material movido, avance del disparo, pisos, fragmentación, forma de acumulación de los detritos, costo total del disparo. Dentro de estos tenemos:

- + Volumen o tonelaje del material movido.
- + Avance del frente disparado.
- + Nivel del piso en bancos.
- + Grado de fragmentación del material disparado.
- + Sobre rotura (over break).
- + Desplazamiento y acumulación del material volado.
- + Falta de desplazamiento.
- + Dispersión de fragmentos a distancia.
- + Costo de voladura.

VOLADURA CONTROLADA

El objetivo de la voladura controlada, es evitar el rompimiento de la roca fuera de límites previamente establecidos, es decir, evitar la sobre rotura.

Es un método especial, que permite obtener superficies de corte lisas y bien definidas, al mismo tiempo, evita el agrietamiento excesivo de la roca remanente, con lo que contribuye, a mejorar su estabilidad, aspecto muy importante en trabajos subterráneos de orden permanente, para la prevención del desplome de techos y otros riesgos; y en superficie, para la estabilidad de taludes en cortes de laderas.

Consiste, en el empleo de cargas explosivas lineares de baja energía colocadas en taladros muy cercanos entre sí, que se disparen en forma simultánea, para crear y controlar la formación de una grieta o plano de rotura continuo, que limite la superficie final de un corte o excavación.

En términos generales, si el disparo para este corte es anterior a la voladura principal, se le denomina precorte o pre-splitting, y si es posterior, se le conoce como recorte, voladura de contorno o voladura suave (smooth blasting); en el caso de túneles también suele denominarse voladura periférica. En la práctica el método de voladura controlada, requiere de ciertas condiciones, que la diferencian del método convencional, como se muestra a continuación:

A diferencia de los taladros de voladura normal, los de voladura controlada, deben de espaciarse de tal modo que, las fracturas creadas se dirijan a los puntos de menor resistencia, es decir, de taladro a taladro, alineándose para formar un plano de corte, con lo que se disminuye o elimina la formación de fracturas radiales. Entre sus condiciones fundamentales tenemos:

- ✚ Relación de espaciamiento a burden, inversa a la normal, es decir menor espaciamiento que el burden, usualmente $E = 0.5$ a $0.8 B$.
- ✚ Explosivo de mucho menor diámetro que el taladro, parte de la relación de desacoplamiento, de tal manera que, sea mayor que la convencional de 2.1 a 1.0.

- ✚ Carga explosiva lineal, distribuida a todo lo largo del taladro; preferentemente, con taladros acoplables, o en ciertos casos amortiguada con espaciadores.
- ✚ Taco inerte solamente para mantener el explosivo dentro del taladro, no para confinarlo.
- ✚ Empleo de explosivos de baja potencia y velocidad, brisance.
- ✚ Disparo simultaneo de todos los taladros de la línea de corte, sin retardos entre sí, y solo, después de la voladura principal. Es conveniente un intervalo mínimo de 60 a 100 milisegundos entre el último taladro de la voladura principal y los taladros de la línea de corte periféricos.
- ✚ Mantener el alineamiento y paralelismo de los taladros, de acuerdo al diseño del corte a realizar, de lo contrario, no hay buen resultado.

VENTAJAS DE LA VOLADURA CONTROLADA

- ✚ Produce superficies de rocas lisas y estables.
- ✚ Contribuye a reducir la vibración de la voladura principal y la sobre excavación, con lo que se reduce también la proyección de fragmentos y los efectos de agrietamiento en construcciones e instalaciones cercanas a la voladura. También facilita el transporte de los detritos de voladura, por su menor tamaño.
- ✚ Produce menor agrietamiento en la roca remanente. Es importante tener en cuenta que la voladura convencional, según la carga y el tipo de roca puede afectar a las cajas techos a profundidades hasta 1.50 y 2.00 m debilitando la estructura en

general, mientras que la voladura controlada solo la afecta entre 0.20 y 0.50 m, contribuyendo a mejorar el autosostenimiento de las excavaciones.

- ✚ En minería puede ser una alternativa para la explotación de estructuras débiles e inestables.

DESVENTAJAS DE LA VOLADURA CONTROLADA

- ✚ Mayor costo que la voladura convencional por requerir más perforación y empleo de explosivos especiales o acondicionados a propósito.
- ✚ Mayor demora en la obra, por el incremento del trabajo de perforación.
- ✚ En algunos tipos de terreno no llega a dar los resultados esperados, como por ejemplo en material detrítico incompetente o deleznable. Mejores resultados por lo general se obtienen en rocas homogéneas y competentes.

Son varias las técnicas para voladura controlada desarrollada en los últimos años, muchas veces específicamente para un problema particular, pero las más aplicadas son:

- ✚ Voladuras de precorte.
- ✚ Voladuras de recorte.
- ✚ Voladuras amortiguadas.

PRECORTE

Consiste en crear en el cuerpo de roca una discontinuidad o plano de fractura (grieta continua) antes de disparar la voladura principal o de

producción, mediante una fila de taladros generalmente de pequeño diámetro, muy cercanos, con cargas explosivas desacopladas y disparos instantánea.

El disparo de los taladros de pre corte también puede hacerse simultáneamente con los de producción, pero adelantándose una fracción de tiempo de 90 a 120 ms, el disparo es pues en dos etapas. El factor de carga por pie de taladro que no cause daño a la roca, pero que produzca suficiente presión como para crear la acción de corte se puede estimar por:

$$Q = D^2 / 28$$

Dónde:

Q = carga de explosivo por pie de taladro (lb / pie)

D = diámetro de los taladros vacíos, en pulgadas.

Si se aplica este factor de carga, el espaciamiento entre los taladros de pre corte será determinado por la ecuación:

$$E = 10 \times D$$

Dónde:

E = espaciamiento, en pulgadas.

D = diámetro de los taladros vacíos, en pulgadas.

La constante 10 se aplica para asegurar que la distancia no sea excesiva y que el corte ocurra, pero según experiencia puede llevarse a 12 o 14.

Estos valores por norma deben darse en el equivalente métrico. En la mayoría de aplicaciones de pre corte no se estila sobre perforación. En algunos casos se aplica una carga concentrada de 2 a 3 veces al

fondo del taladro, en otros toda la columna es desacoplada, es decir de baja energía y de menor diámetro que el del taladro. Existen diferentes criterios respecto a la necesidad de taquear o no los taladros, sobre la longitud del taco teniendo en cuenta la necesidad de mantener retenidos los gases de explosión en los taladros. Usualmente las rocas competentes no requieren taco mientras que si son necesarios en las rocas fisuradas e incompetentes.

RECORTE

Consiste en la voladura de una fila de taladros cercanos, con cargas desacopladas, pero después de la voladura principal o de producción. El factor de carga se determina de igual forma que para los taladros de precorte, pero como esta técnica implica el arranque de roca hacia un frente libre, el espaciamiento normalmente es mayor que en el precorte, pudiendo ser determinado por la ecuación:

$$E = 16 X D$$

Dónde:

E= espaciamiento.

D= diámetro del taladro vacío.

Por lo que resulta de un menor costo que la anterior. El disparo es también en dos etapas, primero los taladros de producción y después, con una diferencia de unos 100 ms los de recorte.

Las condiciones de ambas son diferentes, en el recorte mientras no sale la voladura principal el burden es el infinito, en tanto que en el recorte el burden tiene una distancia definida y razonable, después de haber salido la voladura principal, de modo que puede ser

estimado en el diseño de voladura. El burden debe ser mayor que el espaciado para asegurar que las facturas se encandecen apropiadamente entre los taladros antes que el bloque de burden se desplace, pudiendo estimar con la ecuación:

$$B = 1.3 E$$

Dónde:

B = burden o línea de menor resistencia.

E = espaciamientos entre taladros.

Cuando los taladros de recorte tienen el mismo diámetro que los de producción la técnica se conoce como trim blasting.

VOLADURA AMORTIGUADA

Es prácticamente una voladura convencional, pero en la que se ha modificado el diseño de la última fila, tanto en su esquema geométrico que es más reducido, como en las cargas de explosivo que deben ser menores y desacoplados. El disparo es normalmente en una sola etapa.

Parámetros importantes para voladuras controladas:

Presión del taladro

Es la presión ejercida por la expansión de gases de detonación en las paredes del taladro. Cuando menor sea esta presión menor será el daño a la pared final de la voladura, esta presión es aproximadamente el 50 % de la presión de detonación del explosivo. Para lograr el efecto de corte en las voladuras controladas es necesario reducir la presión dentro del taladro desacoplado y/o espaciando cargas explosivas dentro del mismo.

Relación de espaciamento E y burden B

El espaciamento entre taladros en una voladura controlada depende del tipo de roca y diámetro de perforación. En estas voladuras por lo general se recomienda una relación burden / espaciamento (B/E) de 1.5 a 1.0.

Precisión en la perforación

La precisión en la perforación es uno de los factores más importantes para el éxito de esta técnica, los taladros según diseño, deben perforarse paralelos y encontrarse en un mismo plano de corte.

Carga lineal

Es la carga explosiva por metro lineal dentro del taladro de perforación.

2.2.- DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

✚ Yacimiento mineral

Son masas geológicas, que pueden ser explotadas, para extraer de ellas uno o más minerales y/o metales. Sitio donde se halla naturalmente una roca, minerales o fósiles.

✚ Inventarios minerales

Es el volumen total de minerales existentes en un yacimiento.

✚ Reservas minerales

En la presente investigación, se denominará, al volumen de minerales con valor económico.

✚ Burden

Es la distancia del taladro hacia la cara libre.

+ Espaciamiento

Es la distancia entre dos taladros de la misma fila.

+ Bolones

Son fragmentos de roca de gran diámetro, que no pueden pasar por las parrillas de los echaderos, productos de una mala perforación y voladura.

+ Tiros cortados y soplados

Se producen cuando la voladura en fallada, porque algunos taladros cargados no explotaron.

+ Rendimientos de perforación

La perforación es el inicio de las operaciones unitarias y de la cual depende el éxito de las demás operaciones unitarias. Se refiere a cuántos taladros son perforados por guardia.

+ Malla de Perforación

Diseño inicial para la perforación, con el objetivo de lograr una distribución uniforme de la energía.

+ Corte quemado

Es un tipo de arranque, que, consiste en perforar 3 o más taladros paralelos entre sí y paralelos al eje de la galería. Este tipo de arranque se usa generalmente en terreno duro, dejando uno o algunos taladros vacíos con la finalidad que se constituyan en cara libre, a fin de que la roca triturada se expanda hacia el espacio libre, logrando su expulsión. Los taladros del corte deben ser los más profundos.

+ La Distribución de la carga explosiva

Es la cantidad de explosivo y accesorios de voladura, que se reparten del polvorín a las diferentes labores de trabajo, previo una generación del vale de salida de explosivos.

+ Perforación (desarrollo minero)

Acción o proceso de elaborar un orificio circular con un taladro (perforadora) manual o mecánico (eléctrico o hidráulico).

Apertura de galerías o cámaras de explotación con el uso de cualquier clase de equipo (neumático o mecánico).

+ Perforación (prospección y exploración)

Es la operación de abrir huecos en el terreno, utilizados para exploración o para la extracción de petróleo, gas, agua o energía hidrotermal.

Es la realización o la elaboración de huecos en el subsuelo, mediante equipos adecuados y brocas, utilizados en labores técnicas de prospección o exploración.

La perforación se puede realizar por métodos de percusión, rotación o combinación de ambos.

+ Perforación con soplete

Método de perforación de barrenos usado en rocas duras como la taconita (mineral natural que contiene un porcentaje de hierro inferior a 30%) y para cortar canales en granitos y canteras, que usa un soplete con llamas a alta velocidad. El equipo utiliza la combustión de oxígeno y ACPM (fuel oil) bajo altas presiones a través de una boquilla, que genera llamas con temperaturas por

encima de los 2.600 °C, conjuntamente se inyecta agua a presión, la roca se desintegra y saca los fragmentos de la misma.

Perforadora

Equipo manual o mecánico operado por una fuente de poder o hidráulico, utilizado para perforar agujeros o barrenos destinados a la detonación o a la instalación de pernos de anclaje para la roca. La perforadora manual, por su peso ligero, puede utilizarse en multitud de aplicaciones, para pequeñas voladuras en la preparación de bancos, para pequeños canales, para caminos con aquellos cortes que sean de poca altura. La barrenación usualmente es de 25 a 42 mm, y la profundidad de la perforación no es mayor de 6 m.

Perforadora rotatoria

Máquina que perfora pozos con la rotación de una sarta rígida, cilíndrica, de varillas de perforación, a la cual está conectada una broca; usualmente es utilizada para perforar barrenos de diámetro grande en las minas a cielo abierto.

Voladura

Ignición de una carga masiva de explosivos. El proceso de voladura comprende el cargue de los huecos hechos en la perforación, con una sustancia explosiva, que al entrar en acción origina una onda de choque y, mediante una reacción, libera gases a una alta presión y temperatura de una forma substancialmente

instantánea, para arrancar, fracturar o remover una cantidad de material según los parámetros de diseño de la voladura misma.

Voladura controlada

Patrones y secuencias de voladura diseñados para mejorar un objetivo particular.

Voladura en la cual cada hoyo es detonado en una secuencia progresiva para reducir las vibraciones y la dirección de proyección.

Voladura donde los hoyos son cargados a la vez, pero son detonados en sucesivas voladuras en días separados.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1.- EL PROBLEMA

3.1.1.- DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En la U.P. el Potrero ubicado en el distrito de Cusca, Provincia de Corongo y Región de Ancash; existen pequeñas labores mineras que se realizaron artesanalmente siguiendo vetas de 20 a 30 cm de potencia, estas vetas constan de cuarzo lechoso con minerales de Fe, Cu, como son (arsenopirita – pirita – calcopirita), esta última como mineral de mena.

La fase u operación minera unitaria de perforación de rocas en la U.P. El Potrero presenta deficiencias los cuales deben de ser corregidas y mejoradas para obtener una buena fragmentación para minimizar los costos de producción y elevar la rentabilidad de la mina.

Esta primera etapa in - situ permite detectar deficiencias en la fase u operación minera de perforación, siendo los errores en perforación significativos, especialmente cuando afectan el arranque del disparo. En perforación se observan una serie de deficiencias debido a las desviaciones en el paralelismo (por ausencia de guidores durante la perforación como una medida de control) teniéndose que el burden no se mantiene uniforme y resulta mayor al fondo del taladro, lo que afectará al fracturamiento y al avance esperado; teniendo un resultado mala fragmentación.

La otra deficiencia es que no se toma en cuenta la calidad de la roca parámetro importante que nos determinara la vida útil del barreno. Y por ende el diseño de la malla de perforación y la reducción de costos en esta fase u operación minera. Y esta fase está relacionado directamente a la fase de voladura, para la fragmentación de las rocas.

3.1.2.- PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA

ROBERTO HERNANDEZ SAMPIERI. “Metodología de la Investigación (2006:46)”. Plantea:

“Una vez que se ha concebido la idea de investigación y el científico, estudiante, o experto ha profundizado en el tema en cuestión y elegido el enfoque cuantitativo, se encuentra en condiciones de plantear el problema de investigación”.

El problema es la interacción del diseño de la malla de perforación para mejorar la fragmentación en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A. - 2019.

Problema general

¿El diseño de la malla de perforación mejora la fragmentación en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A. – 2019?

Problemas específicos

- ✚ ¿La caracterización del macizo rocoso incide en el diseño de la malla de perforación en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A.?
- ✚ ¿Los procedimientos para el diseño de la malla de perforación es el adecuado?

3.2.- OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Determinar el diseño de la malla de perforación para mejorar la fragmentación en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A. - 2019.

Objetivos Específicos

- ✚ Determinar la caracterización del macizo rocoso para el diseño de la malla de perforación en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A.
- ✚ Determinar los procedimientos para el diseño de la malla de perforación.

3.3.- JUSTIFICACIÓN

Se justifica porque mediante el diseño de la malla de perforación en la roca predominante del Hornfels, se podrá reducir los costos en la operación minera y así obtener mejores ganancias económicas.

La Investigación será una valiosa fuente de información que ampliará el conocimiento de todas las personas involucradas en el quehacer minero subterráneo. Así mismo

servirá como base teórica o referente bibliográfico para futuros trabajos de investigación

Es conveniente para los alumnos y docentes de la FIMGM - UNASAM, porque coadyuvara al mejoramiento de la ejecución de trabajos de investigación.

Servirá al suscrito para obtener su título profesional de ingeniero de Minas de la FIMGM - UNASAM.

3.4.- IMPORTANCIA

La importancia de este trabajo de investigación a la luz de los resultados permitirá la extracción en forma estandarizada y optima de los minerales en U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A.

3.5.- DELIMITACIONES

DELIMITACIÓN ESPACIAL

El área de estudio se encuentra ubicada en el distrito de Cusca, provincia de Corongo y departamento de Ancash, en la quebrada denominada Llullayacu.

La U.P El Potrero se sitúa al SW del poblado de Tarica hacia el flanco Este de la cordillera Blanca en la parte norte de la Región de Ancash, el área de estudio se encuentra ubicado en una zona de relieves abruptos con altitudes variables que van de los 3300 m.s.n.m. hasta los 3800 m.s.n.m.

DELIMITACIÓN TEMPORAL:

El periodo en el cual se realizará esta investigación comprende el año 2020.

DELIMITACIÓN SOCIAL:

Se encuentra dirigido a: Gerente de operación, Superintendente de mina, Supervisor y trabajadores de la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A., así como también a estudiantes de las Escuelas Profesionales de Minas de las Universidades del Perú.

3.6.- LIMITACIONES

En el trabajo de investigación se ha notado una serie de limitaciones que a continuación se da mención: Acceso a la información técnica por parte de la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A, falta de bibliografía técnica relacionado a la elaboración de la tesis, criterios técnicos de los profesionales involucrados en esta materia.

3.7.- ALCANCES

El presente trabajo de investigación tendrá un alcance teórico – práctico, para todos aquellos estudiantes de pre-grado de la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia, para profesionales de la rama de ingeniería y de suma importancia para el conocimiento del diseño de la malla de perforación para mejorar la fragmentación en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A.

3.8.- HIPÓTESIS

HIPÓTESIS GENERAL:

El diseño de la malla de perforación mejoraría la fragmentación en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A. – 2019.

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:

- ✚ La caracterización del macizo rocoso incidiría en el diseño de la malla de perforación en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A.

- ✚ Los procedimientos para el diseño de la malla de perforación serían los adecuados.

3.9.- VARIABLES

Variable Independiente (x):

Diseño de la malla de perforación.

Variable dependiente (y):

Mejora de la fragmentación en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A.

3.10.- DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.10.1.- Tipo de investigación

Es del tipo: cuantitativa, no experimental y por la forma de muestreo es transversal.

3.10.2.- Nivel de la investigación

Conforme a los propósitos del estudio la investigación se centra en confrontar la teoría con la realidad, es decir prueba o invalida la hipótesis.

3.10.3.- Característica de la investigación

La investigación es no experimental.

3.11.- Método

En el presente trabajo de investigación utilizamos el método de Análisis – Síntesis, es decir, las características, los fenómenos que originan las deficiencias en la fase minera unitaria de perforación; conforme se desarrolla el trabajo.

3.12.- POBLACIÓN Y MUESTRA

Población

La población estará constituida por los frentes de las labores mineras subterráneas del U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A.

Muestra

Como se trata del estudio de la perforación de rocas en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A., las muestras serán obtenidas mediante la aplicación de mallas de perforación conocidas, con una determinada profundidad y diámetro de los taladros a perforar, sobre roca encajante del hornfels.

3.13.- TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TECNICAS

Las técnicas de investigación se determinan mediante el análisis de los procedimientos para el diseño de la malla de perforación en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A.

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se tomarán en cuenta lo siguiente:

Reportes de las diferentes mallas de perforación diseñadas en las labores de desarrollo
- labores mineras subterráneas mencionadas en el estudio.

3.14.- METODOLOGÍA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para procesar los datos se usarán las siguientes técnicas:

Mediante la consistencia

Esto consiste en depurar los datos innecesarios.

Clasificación de la información

Esta técnica es como su propio nombre menciona que es la clasificación de toda la información obtenida, ya sea bibliográfica, del internet, folletos, revistas con la finalidad de dar jerarquía a la información.

Tabulación de datos

Se hará mediante el uso del programa Excel ya que este nos facilita para obtener los resultados con mayor rapidez.

Forma de análisis de las informaciones

Para este punto se utilizará la siguiente técnica:

Estadística descriptiva para cada variable

Esto nos permitirá obtener una distribución de los datos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.- CRITERIOS PARA VALORAR PARÁMETROS DEL RMR

Ya se ha indicado que en la actualización del RMR se han mantenido tres parámetros del RMR₈₉: Resistencia a la Compresión Uniaxial, Efecto del agua y Condición de discontinuidades (no siendo considerado la Apertura) que se han unificado el RQD y el Espaciamiento de Discontinuidades; factores que son englobados por el Número de discontinuidades por metro.

Estos tres factores se evalúan con los mismos criterios utilizados en el RMR₈₉; de modo que, para calcular el nuevo RMR, sólo hay que establecer los criterios para valorar la Condición de Discontinuidades y la Alterabilidad de la matriz rocosa.

4.1.1.- CONDICION DE DISCONTINUIDADES

La Condición de Discontinuidades se valora de acuerdo con los criterios contenidos en la **Tabla N° 01**; que se derivan de la **Guidelines for Classification of Discontinuity Conditions, Bieniawski (1989)**, lo cual supone que la mayor puntuación de este parámetro sea de 20 puntos. (Se aprecia en la **Tabla N° 01**)

Tabla N° 01: Criterios para valorar la Condición de las Discontinuidades.

Persistencia	< 1m	1 - 3m	3 - 10m	> 10m
	5	4	2	0
Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Suave	Sup. De Deslizamiento
	5	3	1	0
Relleno	DURO		SUAVE	
	< 5mm	> 5mm	< 5mm	> 5mm
	5	2	2	0
Alteración	Sin Alteración	Poco Alterado	Muy Alterado	Descompuesto
	5	3	1	0

4.1.2.- RESISTENCIA COMPRESIVA DE LA ROCA.

La Resistencia Compresiva σ_c de una roca intacta o mineral, se puede determinar por tres procedimientos:

PRIMER PROCEDIMIENTO:

Estimación de la Resistencia Compresiva mediante el Martillo Schmidt de Dureza.

SEGUNDO PROCEDIMIENTO

Determinación de la Resistencia Compresiva mediante el Ensayo de Carga Puntual Franklin, Load Point Test (LPT).

TERCER PROCEDIMIENTO

Determinación de la Resistencia Compresiva mediante el Ensayo de Compresión Simple o Uniaxial, ensayo ejecutado en laboratorio.

La Resistencia Compresiva Uniaxial – UCS, se puede predecir fácilmente a partir de pruebas de Índice de Resistencia de Carga Puntual en núcleos de roca y testigos de roca directamente en el sitio de perforación porque los extremos de las muestras de roca no necesitan ser cortados y refrendados. La Resistencia Compresiva Uniaxial también se estima con el Martillo Schmidt de dureza o

esclerómetro. La Organización Internacional de Normalización (ISO) clasifica el material geológico que tiene un UCS inferior a 1.0 MPa como suelo. Deere y Miller (John, 1971) sugirieron otro sistema de clasificación útil basado en la relación del módulo, que se define como la relación entre el módulo elástico y UCS. Físicamente, una relación de módulo indica la inversa de la deformación axial en la falla. Por lo tanto, los materiales frágiles tienen una relación de módulo alta y los materiales plásticos exhiben una relación de módulo baja. (Se aprecia en la **Tabla N° 02**).

Tabla N° 02: Resistencia a la Compresión no Confinada

RANGO PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAxIAL	SIMBOLO	FUERZA (MPa)	RANGOS PARA MATERIALES DE ROCA COMUNES				
			GRANITO BASALTO GNEIS CUARCITA MARMOL	ESQUISTO ARENISCA	CALIZA LIMOLITA	PIZARRA	HORMIGON
EXTREMADAMENTE DEBIL *	ED	< 1		**	**		
MUY DEBIL	MD	1 - 5		**	**	**	**
DEBIL	D	5 - 25		**	**	**	**
POCO RESISTENTE	MR	25 - 50	**		**	**	
RESISTENTE	R	50 - 100	**				
MUY RESISTENTE	MR	100 - 250	**				
EXTREMADAMENTE RESISTENTE	DR	> 250	**				

Fuente: ISO 14689-1, 2003

* Algunas rocas extremadamente débiles se comportan como suelos y deben describirse como suelos.

** Indica el rango de resistencia del material de roca.

4.1.3.- CONDICION DE JUNTAS

En este apartado se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

 Persistencia

 Rugosidad.

 Relleno.

 Alteración.

PERSISTENCIA

El tamaño de las juntas influye en la importancia que el material rocoso y la separación de las juntas tienen en el comportamiento del macizo rocoso.

RUGOSIDAD

En esta clasificación se establecen 4 categorías de rugosidad: muy rugosa, rugosa, ligeramente rugosa, Superficie de deslizamiento.

RELLENO

Se define por su espesor, tipo de material, consistencia y continuidad.

4.1.4.- ESTADO DEL TERRENO - PRESENCIA DE AGUA

El efecto del agua tiene especial importancia en los macizos rocosos diaclasados. Se tendrá en cuenta el flujo de agua en el macizo rocoso. El criterio que se utilizará será el siguiente: completamente seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a presión fuerte.

4.1.5.- CORRECCION POR ORIENTACION

A la hora de considerar los efectos de la Orientación de las Discontinuidades para la clasificación del macizo rocoso, con vistas a la ejecución de una excavación subterránea y una labor minera superficial, es suficiente considerar si las orientaciones del rumbo y del buzamiento son más o menos favorables con relación a la labor minera que se va a ejecutar, propuesto por Bieniawski, (Se aprecia en la **Tabla N° 03**).

Tabla N° 03: Valores de Corrección considerando Rumbo y Buzamiento

RUMBO PERPENDICULAR AL EJE				RUMBO PARALELO AL EJE DEL TUNEL		BUZAMIENTO 0-20° (Independiente del Rumbo)
Dirección según Buzamiento		Dirección contra Buzamiento				
Buzamiento 45-90°	Buzamiento 20-45°	Buzamiento 45-90°	Buzamiento 20-45°	Buzamiento 45-90°	Buzamiento 20-45°	
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular	Desfavorable

Esta clasificación no es aplicable a rocas expansivas fluyentes.

4.1.6.- AJUSTE DE VALORES POR ORIENTACIÓN DE LAS JUNTAS

Tabla N° 04: Valores de corrección para Labores Mineras y Civiles

Orientación de rumbo y buzamiento de las fisuras		Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable
Valores	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

4.1.7.- DETERMINACIÓN DE LA CLASE DEL MACIZO ROCOSO

Tabla N° 05: Valores de las Clases RMR

Valor total del RMR	81-100	61-80	41-60	21-40	<20
Clase Número	I	II	III	IV	V
Descripción	Muy Bueno	Bueno	Medio	Malo	Muy Malo

Tabla N° 06: Clases y Subclases del Macizo Rocoso (OSINERGMIN)

Rock Mass Rating <u>Bieniawski</u>	Clases	Clases	Subclase		Tipo
	I	81 - 100	IA	91 - 100	Muy buena
		IB	81 - 90		
II	61 - 80	IIA	71 - 80	Buena	
		IIB	61 - 70		
III	41 - 60	IIIA	51 - 60	Regular	
		IIIB	41 - 50		
IV	21 - 40	IVA	31 - 40	Mala	
		IVB	21 - 30		
V	0 - 20	VA	11 - 20	Muy Mala	
		VB	0 - 10		

4.1.8.- SIGNIFICADO DE LAS CLASES DE MACIZOS ROCOSOS

Tabla N° 07: Tiempo de Autosporte

Clase Número	I	II	III	IV	V
Tiempo de Autosporte	10 años para 5m.	6 meses para 4 m.	1 semana para 3 m.	5 horas para 1.5 m.	10 minutos para 0.5 m.
Cohesión	> 3 Kg/cm ²	2-3 Kg/cm ²	1.5-2 Kg/cm ²	1-1.5 Kg/cm ²	< 1 Kg/cm ²
Angulo de fricción	> 45°	40°-45°	30°-40°	30°-35°	< 30°

**4.1.9.- DATOS DEL LEVANTAMIENTO LITOLÓGICO EN LA U.P. EL
POTRERO DE MINERA JIMENA S.A. (Programa LTY)**

LEVANTAMIENTO LITOLÓGICO - CALCULO DEL RMR14

Mina: Minera Jimena S.A.

Responsable: Hugo Obregón
Castillo

Nivel: 00

Fecha: 22 diciembre de 2020

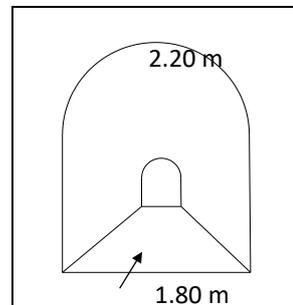
Labor: El Potrero

Hora: 10 horas

Referencia: U.P. El Potrero

Descripción: Cortada

Sección: 1.80 m x 2.20 m.



δ_c (Kg/cm ²)	> 2500	1000 - 2500	500 - 1000	250-500	50-250	10-50	< 10									
RANGO	15	12	7	4	2	1	0									
RMR (2+3) RQD Y ESPACIO DE JUNTAS																
Juntas por metro	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Valoración	40	34	31	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	16	17
Juntas por metro	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Valoración	17	16	15	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	9	9	9
Juntas por metro	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
Valoración	8	8	7	7	7	6	6	6	5	4	3	3	2	2	1.5	1
Juntas por metro	48	49	50													
Valoración	1	0.5	0													
CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES																
Persistencia	< 1 m		1 - 3 m			3 - 10 m		> 10 m								
Valoración	5		4			2		0								
Rugosidad	Muy rugosa		Rugosa			Suave		Sup. de deslizam.								
Valoración	5		3			1		0								
Relleno	DURO				SUAVE											
	< 5 mm		> 5 mm		< 5 mm		> 5 mm									
Valoración	5		2		2		0									
Alteración	Sin alteración		Poco alterado			Muy alterado		Descompuesto								
Valoración	5		3			1		0								
PRESENCIA DE AGUA																
Estado del terreno	Seco		Lig. Humedo		Humedo		Goteando		Flujo de agua							
Valoración	15		10		7		4		0							
ALTERABILIDAD - VALORES DEL ENSAYO DEL SLAKE Id₂ (%)																
> 85	60 - 85		30 - 60			< 30										
10	8		4			0										

4.1.10.- CÁLCULO DEL RMM BÁSICO - RMRb

RMR (2+3) RQD Y ESPACIO DE JUNTAS		
	Valoración	Juntas/metro
	40	0
	34	1
	31	2
	29	3
	28	4
	27	5
	26	6
	25	7
	24	8
	23	9
	22	10
	21	11
	20	12
	19	13
	16	14
	17	15
	17	16
	16	17
x	15	18
	14	19
	14	20
	13	21
	13	22
	12	23
	12	24
	11	25
	11	26
	10	27
	10	28
	9	29
	9	30
	9	31
	8	32
	8	33
	7	34
	7	35
	7	36
	6	37
	6	38
	6	39

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE		
	Valoración	Alterabilidad
	15	> 2500
x	12	1000 - 2500
	7	500 - 1000
	4	250 - 500
	2	50 - 250
	1	10 - 50
	0	< 10

PUNTAJE
12

CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES		
	Valoración	Persistencia
	5	< 1 m
x	4	1 - 3 m
	2	3 - 10 m
	0	> 10 m

PUNTAJE
4

	Valoración	Rugosidad
	5	Muy rugosa
x	3	Rugosa
	1	Suave
	0	Sup. de Desli.

PUNTAJE
3

	Valoración	Relleno
	5	< 5 mm
x	2	> 5 mm
	2	< 5 mm
	0	> 5 mm

PUNTAJE
2

	Valoración	Alteración
	5	Sin alteración
x	3	Poco alterado
	1	Muy alterado
	0	Descompuesto

PUNTAJE
3

	5	40
	4	41
	3	42
	3	43
	2	44
	2	45
	1.5	46
	1	47
	1	48
	0.5	49
	0	50

PUNTAJE	15
----------------	-----------

PRESENCIA DE AGUA		
	Valoración	Estado del terreno
x	15	Seco
	10	Lig. Humedo
	7	Humedo
	4	Goteando
	0	Flujo de agua

PUNTAJE	15
----------------	-----------

ALTERABILIDAD - VALORES DEL ENSAYO DEL SLAKE Id2 (%)		
	Valoración	Alterabilidad
x	10	> 85
	8	60 - 85
	4	30 - 60
	0	< 30

PUNTAJE	10
----------------	-----------

RMR_b

PUNTAJCIÓN	64
-------------------	-----------

4.1.11.- CORRECCION POR ORIENTACION

PERPENDICULAR		PARALELA		INCLINACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES		
AVANCE A FAVOR DE LA INCLINACIÓN		AVANCE EN CONTRA DE LA INCLINACIÓN		INCLINACIÓN (°)		MENOR DE 20°
45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°	
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5

	Valoración	Inclinación de las discontinuidades
x	0	45° - 90°
	-2	20° - 45°
	-5	45° - 90°
	-10	20° - 45°
	-12	45° - 90°
	-5	20° - 45°
	-5	< 20°

F₀

PUNTAJE	0
----------------	----------

4.1.12.- RMR CORREGIDO

Rock Mass Rating <u>Bieniawski</u>	Clases	Subclase		Tipo
	I	81 - 100	IA 91 - 100	IB 81 - 90
II	61 - 80	IIA 71 - 80	IIB 61 - 70	Buena
III	41 - 60	IIIA 51 - 60	IIIB 41 - 50	Regular
IV	21 - 40	IVA 31 - 40	IVB 21 - 30	Mala
V	0 - 20	VA 11 - 20	VB 0 - 10	Muy Mala

RMR	RMR _b + F ₀	64	IIB
			Buena

4.1.13.- INTERPRETACION DE RESULTADOS

Tabla N° 08: Valores de las Clases RMR

Zona o dominio geomecánico	Tipo de roca	RMR	Clase de roca	Calidad de la Masa Rocosa
A	Hornfels	64	II - B	Buena

4.1.14.- SIGNIFICADO DE LAS CLASES DE MACIZOS ROCOSOS

Tabla N° 09: Tiempo de Autoaporte

Clase Número	I	II	III	IV	V
Tiempo de Autoaporte	10 años para 5m.	6 meses para 4 m.	1 semana para 3 m.	5 horas para 1.5 m.	10 minutos para 0.5 m.
Cohesión	> 3 Kg/cm ²	2-3 Kg/cm ²	1.5-2 Kg/cm ²	1-1.5 Kg/cm ²	< 1 Kg/cm ²
Angulo de fricción	> 45°	40°-45°	30°-40°	30°-35°	< 30°

4.2.- PRUEBA DE HIPÓTESIS

la labor minera subterránea de acceso principal a los frentes se consideran labores subterráneas sub-horizontales, que sirve para exploraciones, vía de acceso para extracción, acceso de cubicación de las reservas encontradas. la gradiente es con un promedio de 5 x 1000, cuneta de drenaje en el hastial donde se ubica la proyección de la inclinación de la veta ingresando con una dimensión de 30 x 30 centímetros.

CALCULO DE NUMERO DE TALADROS

Para el número de taladros de acuerdo a la calidad del macizo rocoso, se aplica la formula, la fórmula usada de acuerdo a nuestra realidad es la siguiente:

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

Dónde:

P: Perímetro del frente a perforar.

dt: Distancia entre taladros, en nuestro caso es 0,32.

C: Constante factor de dureza, para el caso nuestro es 2.

S: Sección del frente a perforar.

Tabla N° 10: Distribución de los taladros

TALADROS	CANTIDAD	CON CARGA	SIN CARGA
Arranque	10	6	4
Ayudas	18	18	0
Cuadradores	6	6	0
Alzas	3	3	0
Arrastres	5	5	0
TOTAL	42	38	4

Figura N° 05 : Pintado de la malla



PROCEDIMIENTO DE PERFORACION

La perforación se realizó mediante equipos de fácil transporte como las perforadoras neumáticas SECO 250, YT27 y PHQ 250, que usan barras de perforación de 4' y 6' con brocas de 38 mm.

La malla de perforación usada en los frentes horizontales es el Corte Quemado con sus variedades. Para la labor minera es con 38 taladros con carga más 4 taladros de alivio.

Después del cebado y cargado de los explosivos, los taladros se taponean con tacos de arcilla para poder obtener una mejor distribución de carga del explosivo y reducir la cantidad de fuga a través del taco.

Realizado los disparos con el diseño de la malla de perforación y voladura del presente trabajo de investigación el avance por disparo es de 1,58 metros en promedio. La Longitud efectiva de perforación es en promedio 1,60 m, por lo que la eficiencia por disparo llega a ser 96.4%

Por lo que podemos afirmar que: “El diseño de las mallas de perforación influye para mejorar la fragmentación en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A.”

4.3.- DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

De los resultados obtenidos podemos decir que el cálculo del número de taladros fue 42, pero al realizar el diseño geométrico en la malla de perforación y voladura se obtuvo 38 taladros cargados. Como se puede apreciar el cálculo del número de taladros con el uso del modelo matemático es aproximadamente del 98% de exactitud, el cual me permite ahorrar tiempo y costos en las pruebas de ensayo y error.

Respecto al tema central que es el avance por cada disparo, se ha podido comprobar que, con una perforación efectiva de 1,60 m, se ha obtenido un avance promedio de 1,53 m, alcanzando una eficiencia de 94%, que es muy cercano a lo propuesto por

Roger Holmberg en su modelo matemático de cuatro secciones con taladros centrales grandes que estipula que el avance por cada disparo debe ser mínimo del 95% de la longitud de perforación efectiva, para obtener una buena fragmentación.

CONCLUSIONES

En la U.P. el Potrero ubicado en el distrito de Cusca, Provincia de Corongo y Región de Ancash; existen pequeñas labores mineras de 1.80 m x 2.20 m, que se explotan artesanalmente, siguiendo vetas de 20 a 30 cm de potencia, estas vetas constan de cuarzo lechoso con minerales de Fe, Cu, como son (arsenopirita – pirita – calcopirita), esta última como mineral de mena, a través del presente estudio se determinó la calidad del macizo rocoso que se aplicó al diseño de la malla de perforación para mejorar la fragmentación de las rocas.

Según la evaluación geomecánica realizada en la labor minera subterránea, teniendo como roca encajante predominante el hornfels, se determinó una calidad del macizo rocoso de 64 cuya clase es II – B, roca buena, como también la estructura mineralizada que nos permite diseñar aberturas en los tajeos con un ancho de hasta 1.80 m y un alto de 2,20 m.

En razón de las características geomecánicas, nos permite realizar los procedimientos para el diseño de la malla de perforación en un promedio de 38 taladros, cuyo resultado nos permite tener una buena fragmentación de la roca.

RECOMENDACIONES

Se recomienda, que para el diseño de la malla de perforación y voladura se debe realizar la misma investigación, teniendo en consideración el otro tipo de roca metamórfica que es la cuarcita y cuyo objetivo es mejorar la fragmentación de la roca, que incrementara la producción y minimizará los costos operativos en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A.

Se sugiere, que para el planeamiento y diseño del método de explotación aplicado en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A., se tome en cuenta los diferentes parámetros geomecánicos asociados al diseño del minado, en particular lo relacionado a los esquemas de minado y sus dimensiones asociadas, y a la secuencia de avance del minado.

Es recomendable priorizar y mejorar los procedimientos para el diseño de la malla de perforación y voladura con la finalidad de obtener una buena fragmentación en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

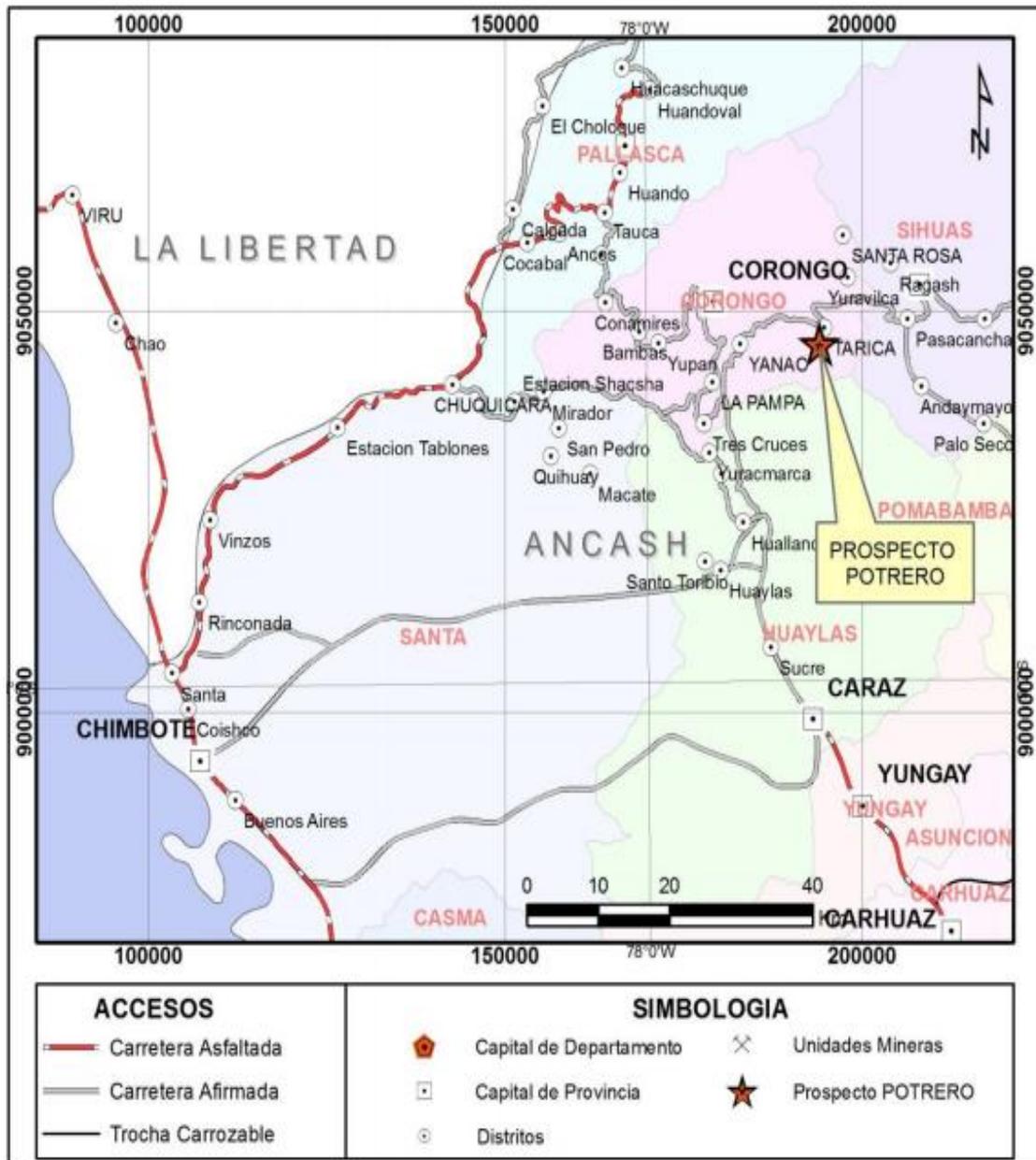
- ✚ CEDRÓN LASSUS, M. (2012). Apuntes del curso de Perforación y Voladura, Pontificia Universidad Católica del Perú – Sección Ingeniería de Minas. Manual Práctico de Voladura, 4ta Edición. EXSA. (2003). Lima: EXSA.
- ✚ GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. (2016). Ingeniería Geológica, 1era Edición. España: Editorial Prentice Hall.
- ✚ INSTITUTO DE INGENIEROS DE MINAS DEL PERÚ (2015). Explotación Subterránea Métodos y Casos prácticos FACULTAD DE MINAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, 1era Edición. Lima: Perú Offset Editores.
- ✚ INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (2016). Manual de Perforación y Voladura de Rocas, 2da Edición. Madrid: Editorial Cartografía Madrid S.A.
- ✚ LANGEFORS, U. y KIHSTROM, B. (2018). The Modern Technique of Rock Blasting, 2nd edition. New York. .
- ✚ UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA (2015). Metodología de Costos de Operación en Minería, 1era Edición. Lima, Perú: Sud América.

PÁGINAS WEB.

- ✚ MINEM. (2018). visitado el 10 de agosto del 2018.
<http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/inicio/resumen/>
- ✚ MINEM. (2018). visitado el 10 de agosto del 2018.
<http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/inicio/resumen/>

ANEXOS

ANEXO N° 01: UBICACIÓN Y ACCESOS DE LA U.P. EL POTRERO DE MINERA JIMENA S.A. (MODIFICADO DE LA RED VIAL ANCASH – MTC).



ANEXO N° 02: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA

			RANGOS PARA MATERIALES DE ROCA COMUNES				
RANGO PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAXIAL	SIMBOLO	FUERZA (MPa)	GRANITO BASALTO GNEIS CUARCITA MARMOL	ESQUISTO ARENISCA	CALIZA LIMOLITA	PIZARRA	HORMIGON
EXTREMADAMENTE DEBIL *	ED	< 1		**	**		
MUY DEBIL	MD	1 - 5		**	**	**	**
DEBIL	D	5 - 25		**	**	**	**
POCO RESISTENTE	MR	25 - 50	**		**	**	
RESISTENTE	R	50 - 100	**				
MUY RESISTENTE	MR	100 - 250	**				
EXTREMADAMENTE RESISTENTE	DR	> 250	**				

Fuente: ISO 14689-1, 2003

* Algunas rocas extremadamente débiles se comportan como suelos y deben describirse como suelos.

** Indica el rango de resistencia del material de roca.

ANEXO N° 03: DETERMINACIÓN DE LA CLASE DEL MACIZO ROCOSO

Valores de las Clases RMR

Valor total del RMR	81-100	61-80	41-60	21-40	<20
Clase Número	I	II	III	IV	V
Descripción	Muy Bueno	Bueno	Medio	Malo	Muy Malo

Clases y Subclases del Macizo Rocoso (OSINERGMIN)

Rock Mass Rating
Bieniawski

Clases	Clases	Subclase		Tipo
I	81 - 100	IA	91 - 100	Muy buena
		IB	81 - 90	
II	61 - 80	IIA	71 - 80	Buena
		IIB	61 - 70	
III	41 - 60	IIIA	51 - 60	Regular
		IIIB	41 - 50	
IV	21 - 40	IVA	31 - 40	Mala
		IVB	21 - 30	
V	0 - 20	VA	11 - 20	Muy Mala
		VB	0 - 10	

ANEXO N° 04: CLASIFICACION GEOMECANICA RMR (Bieniawski,1989)

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (Bieniawski, 1989)

PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN								
1	Resistencia de la Matriz Rocosa	Ensayo de Carga Puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (MPa)	
		Compresión Simple (MPa)	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1
2	RQD		100-90%	90-75%	75-50%	50-25%	<25%	
	Puntuación		20	17	13	6	3	
3	Separación entre diaclasas		> 2m	2-0.6m.	0.6-0.2m.	0.2-0.06m.	< 0.06m.	
	Puntuación		20	15	10	8	5	
4	Estado de las discontinuidades	Persistencia	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m	
		Puntuación	6	4	2	1	0	
		Abertura	Cerrada	<0.1mm	0.1-1mm	1-5mm	>5mm	
		Puntuación	6	5	3	1	0	
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave	
		Puntuación	6	5	3	1	0	
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno suave <5mm	Relleno suave >5mm	
		Puntuación	6	4	2	2	0	
5	Agua Freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min	
		Relación Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5	
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo	
Puntuación		15	10	7	4	0		
ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES EN EL TÚNEL								
Dirección Perpendicular al eje del túnel				Dirección Paralela al eje del túnel		Cualquier Dirección Buzamiento 0°- 20°		
Excavación a favor del Buzamiento		Excavación en contra del buzamiento						
Buz. 45°-90°	Buz. 20°-45°	Buz. 45°-90°	Buz. 20°-45°	Buz. 45°-90°	Buz. 20°-45°			
Muy Favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable		
CORRECCIÓN POR ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES								
Dirección y Buzamiento		Muy Favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy Desfavorable		
Puntuación	Túnel	0	-2	-5	-10	-12		
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25		
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60		
CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN EL RMR								
RMR	100-81		80-61	60-41	40-21	<20		
Clase	I		II	III	IV	V		
Calidad	Muy Buena		Buena	Media	Mala	Muy Mala		
Cohesión	> 4 Kp/cm ²		3 - 4 Kp/cm ²	2 - 3 Kp/cm ²	1 - 2 Kp/cm ²	< 1 Kp/cm ²		
Ángulo de rozamiento	> 45°		35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°		
Tiempo de Autosoporte y longitud sin sostener	10 años		6 meses	1 semana	10 horas	30 minutos		
	15m.		8m.	5m.	2.5m.	1m.		

*Referencia: Ingeniería Geológica. Gonzales de Vallejo, Luis; et. al., 2002. Madrid.

*Digitalizado: Vásquez, Jimmy. 2017. Perú

ANEXO N° 05: MATRIZ DE CONSISTENCIA
DISEÑO DE LA MALLA DE PERFORACION PARA MEJORAR LA FRAGMENTACION EN LA U.P. EL POTRERO DE
MINERA JIMENA S.A. – 2019

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	METODOLOGIA	POBLACION
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Tipo	Población y Muestra
¿El diseño de la malla de perforación mejorara la fragmentación en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A. – 2019?	Determinar el diseño de la malla de perforación para mejorar la fragmentación en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A. – 2019.	El diseño de la malla de perforación mejora la fragmentación en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A. – 2019.	Es del tipo: cuantitativa, no experimental y por la forma de muestreo es transversal.	Como se trata del estudio de la perforación de rocas en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A., las muestras serán obtenidas mediante la aplicación de mallas de perforación conocidas, con una determinada profundidad y diámetro de los taladros a perforar.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicos	Nivel de la investigación	
➤ ¿La caracterización del macizo rocoso incidirá en el diseño de la malla de perforación en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A.?	➤ Determinar la caracterización del macizo rocoso para el diseño de la malla de perforación en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A.	➤ La caracterización del macizo rocoso incide en el diseño de la malla de perforación en la U.P. El Potrero de Minera Jimena S.A..	Conforme a los propósitos del estudio la investigación se centra en confrontar la teoría con la realidad, es decir prueba o invalida la hipótesis. – descriptivo	
➤ ¿Los procedimientos para el diseño de la malla de perforación serán los adecuados?	➤ Determinar los procedimientos para el diseño de la malla de perforación.	➤ Los procedimientos para el diseño de la malla de perforación son los adecuados.		