UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y METALURGIA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS:

"DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE VOLADURA CONTROLADA PARA REDUCIR LA SOBREROTURA EN LA CORTADA CARLOS DE LA MINA SAN ROQUE FM - 2021"

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR:

Bach. CALLUPE CARRERA, Teofanes Luis

ASESOR:

MBA. Ing. CASTILLEJO MELGAREJO, Ricardo Cayo

HUARAZ - PERÚ

2022

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: CALLLUPE CARRERA TEOFANES LUIS

Código de alumno: 061.0608.085 Teléfono: 943857029

E-mail: luiscallupecarrera@gmail.com D.N.I. n°: 42543583

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

2. Tipo de trabajo de investigación:

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

3. Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

4. Título del trabajo de investigación:

"DETERMINACION DE PARAMETROS DE VOLADURA CONTROLADA PARA REDUCIR LA SOBREROTURA EN LA CORTADA CARLOS DE LA MINA SAN ROQUE FM - 2021"

5. Facultad de: Ingeniería de Minas, Geología y Metalúrgia

6. Escuela o Carrera: Ingeniería de Minas

7. Línea de Investigación(*): INNOVACION TECNOLOGICA

8. Sub-línea de Investigación(*): GESTION Y EXPLOTACION MINERA

(*)Según resolución de aprobación del proyecto de tesis

9. Asesor:

Apellidos y nombres MBA Ing. CASTILLEJO MELGAREJO RICARDO CAYO D.N.I n°: 31660457

E-mail: rcastillejo77@gmail.com ID ORCID: 0000-0002-9683-3626

10. Referencia bibliográfica: Tesis en formato APA

11. 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:

12. 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

13. 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".

……

14. Para ser verificado por la Dirección del Repositorio Institucional

Seleccione la
Fecha de Acto de sustentación:

Huaraz, 21/03/2022

Firma: _____

Varillas Wiliam 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 INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y METALURGIA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En la ciudad de Huaraz, siendo las Doce horas con cero minutos de la mañana (12:00 m) del día Veintiuno de Marzo del Dos mil Veintidos (21/03/2022), se reunieron los miembros del jurado Evaluador nominados según Resolución Nro. 045-2022-FIMGM/D, de fecha 08 de Marzo del 2022, integrado por los siguientes Docentes: **Dr. Ing. JAVIER ENRRIQUE SOTELO MONTES, como Presidente; Dr. Ing. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA, como Secretario y el Ing. ANTONIO MARIANO DOMINGUEZ FLORES, como Vocal;** para la sustentación de la tesis Titulado: **"DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE VOLADURA CONTROLADA PARA REDUCIR LA SOBREROTURA EN LA CORTADA CARLOS DE LA MINA SAN ROQUE FM – 2021"** **presentado por el Bachiller TEOFANES LUIS CALLUPE CARRERA,** 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° 045-2022-FIMGM/D de fecha 08 DE Marzo del 2022. 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 Auditórium 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: **DIECISEIS (16)***. Siendo las Trece horas y Cero minutos (13:00 p.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.*

Dr. Ing. JAVIER ENRRIQUE SOTELO MONTES **Presidente**	**Dr. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUEERTA** **Secretario**
Ing. ANTONIO MARIANO DOMINGUEZ FLORES **Vocal**	**MBA Ing. RICARDO CAYO CASTILLEJO MELGAREJO** **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 INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y METALURGIA

ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los Miembros del Jurado, luego de evaluar la tesis titulada: **"DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE VOLADURA CONTROLADA PARA REDUCIR LA SOBREROTURA EN LA CORTADA CARLOS DE LA MINA SAN ROQUE FM – 2021"** presentado por el Bachiller **TEOFANES LUIS CALLUPE CARRERA** y sustentada el día Veintiuno de Marzo del 2022, por Resolución Decanatural Nº 045-2022-FIMGM/D, la declaramos CONFORME.

En consecuencia queda en condiciones de ser publicada.

Huaraz, 21 de Marzo del 2022

Dr. Ing. JAVIER ENRRIQUE SOTELO MONTES
Presidente

Dr. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUEERTA
Secretario

Ing. ANTONIO MARIANO DOMINGUEZ FLORES
Vocal

MBA Ing. RICARDO CAYO CASTILLEJO MELGAREJO
Asesor

DEDICATORIA

A mi Familia y a mi compañera intelectual, por brindarme su apoyo incondicional con el único fin de verme superando día a día profesionalmente.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos a todas aquellas personas que de un modo u otro han contribuido a que este trabajo sea una realidad, con especial mención a mis Padres.

A mis docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia, por la enseñanza impartida dejando una mezcla de experiencias y profesionalismo.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

RESUMEN

El presente trajo de investigación titulado: "Determinación de parámetros de voladura controlada para reducir la Sobrerotura en la Cortada Carlos de la mina San Roque FM - 2021", tiene como objetivo general el de determinar los parámetros de voladura controlada para reducir la sobrerotura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021. Se justicia porque, usando el diseño de voladura controlada según Calvin J. Kenya, se tendrá secciones uniformes y se disminuya la sobre rotura trayendo consigo un gran ahorro en la construcción de la cortada Carlos en la mina San Roque FM. La metodología. Tiene como Hipótesis General: La determinación de parámetros de voladura controlada reducirá la sobrerotura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021. El método empleado es el método científico y es de carácter cuantitativo. El resultado más importante fue que en el diseño de perforaciones y voladuras, las propiedades mecánicas, físicas y químicas y la estratigrafía y las características estructurales de la masa rocosa desempeñan un papel importante, por lo tanto, el principio de los haces de sonido se basa en un buen diseño de la red y la supervisión del proceso de perforación. La conclusión mas importante fue que se determinó los parámetros de voladura controlada logrando reducir en 15.21 % la sobre rotura en la construcción de la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021.

Palabras claves: Determinación de parámetros de voladura controlada, reducir la Sobrerotura, Cortada Carlos, mina San Roque FM – 2021.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

ABSTRACT

The present research report entitled: "Determination of controlled blasting parameters to reduce overbreaking in the Carlos Cut of the San Roque FM mine - 2021", has the general objective of determining the controlled blasting parameters to reduce overbreaking in the mine. Carlos cut of the San Roque FM mine – 2021. It is fair because, using the controlled blasting design according to Calvin J. Kenya, there will be uniform sections and overbreaking will be reduced, bringing with it great savings in the construction of the Carlos cut in the San Roque FM mine. The methodology. Its General Hypothesis is: The determination of controlled blasting parameters will reduce overbreaking in the Carlos cut of the San Roque FM mine - 2021. The method used is the scientific method and is quantitative in nature. The most important result was that in the design of drilling and blasting, the mechanical, physical and chemical properties and the stratigraphy and structural characteristics of the rock mass play an important role, therefore the principle of sound beams is based on in a good design of the network and the supervision of the drilling process. The most important conclusion was that the controlled blasting parameters were determined, achieving a 15.21% reduction in overbreak in the construction of the Carlos cut of the San Roque FM mine - 2021.

Keywords: Determination of controlled blasting parameters, reduce overbreaking, Carlos Cut, San Roque FM mine - 2021.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA ii

AGRADECIMIENTO iii

RESUMEN iv

ÍNDICE GENERAL vi

ÍNDICE DE FIGURAS x

ÍNDICE DE TABLAS xi

INTRODUCCIÓN xii

CAPITULO I 1

GENERALIDADES 1

1.1. Entorno Físico 1

1.1.1. Ubicación y acceso 1

1.1.1. Topografía 1

1.1.2. Clima 2

1.2. Entorno Geológico 2

1.2.1. Geología regional 2

1.2.2. Geología local 6

1.2.3. Geología estructural 7

1.2.4. Geología económica 8

CAPITULO II 10

FUNDAMENTACIÓN 10

2.1. Marco Teórico 10

2.1. Antecedentes de la investigación 10

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

2.2. Fundamentación teórica 17

2.2.1. Perforación de rocas 17

2.2.2. Variables controlables de la voladura 18

2.2.3. Voladura controlada 28

2.2.4. Diferencias de la voladura convencional y la voladura controlada..... 31

2.2.5. Voladura de precorte 35

2.2.6. Voladura de recorte 37

2.2.7. Voladura amortiguada 38

2.2.8. Voladura amortiguada con cargas de baja densidad 39

2.2.9. Voladura controlada en trabajos subterráneos 40

2.2.10. Condiciones necesarias para la voladura controlada en minería subterránea 42

2.2.11. Mallas de voladura en túneles 48

2.1.1. Diseño de voladura controlada según Calvin J. Kenya 48

2.1.2. Selección de explosivos para desarrollo horizontal 51

2.1.3. Sobrerotura 53

2.3. Definición de Términos. 55

CAPITULO III 59

METODOLOGÍA 59

3.1. El Problema 59

3.1.1. Descripción de la realidad problemática 60

3.1.2. Formulación del Problema 60

3.1.2.1. Formulación del problema General 60

3.1.2.2. Formulación de problemas específicos 60

3.1.3. Objetivos de la investigación 61

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

3.1.3.1. Objetivo General 61

3.1.3.2. Objetivos Específicos 61

3.1.4. Justificación e importancia 61

3.1.5. Alcances 62

3.1.6. Delimitación De La Investigación 62

3.2. Hipótesis 62

3.3. Variables 63

3.3.1. Operacionalización de variables 63

3.4. Diseño de la investigación 64

3.4.1. Tipo de investigación 64

3.4.2. Nivel de la investigación 64

3.4.3. Método 65

3.4.4. Población y muestra 65

3.4.5. Técnicas y procedimientos de recolección de datos 65

3.4.6. Tratamiento de los datos 66

CAPITULO IV 67

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN 67

4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos 67

4.1.1. Voladura controlada de Precorte 68

4.2. Parámetros de voladura controlada de la cortada Carlos de la mina San Roque FM 69

4.3. Factor de carga y el factor de potencia, en la cortada Carlos de la mina San Roque FM 72

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

4.4. Sobre sobrerotura de la voladura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM 72

4.1 Discusión de resultados 73

CONCLUSIONES. 75

RECOMENDACIONES 76

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 77

ANEXOS 80

ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIAS 81

ANEXO N° 02: ABREVIATURAS 82

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la mina San Roque FM. 2

Figura 2. Sistema de iniciación de plasma..... 31

Figura 3. Efectos del diaclasamiento de la roca en la voladura convencional 41

Figura 4. Efectos de la voladura, el impacto sobre la corona o periferia de un túnel..... 44

Figura 5. Tipos de voladura controlada; precorte y recorte. 46

Figura 6. Esquema de voladura controlada (recorte) 47

Figura 7. Taladros de voladura controlada perimétrico cargado con desacoplamiento. 52

Figura 8. Influencia de la voladura en el perímetro con taladros cargados con desacoplamiento..... 53

Figura 9. Esquema de la forma en la que se presenta la sobrerotura..... 54

Figura 10. Parámetros y eficiencias en perforación y voladura en la cortada Carlos - mina San Roque FM antes de la determinación. 70

Figura 11. Parámetros y eficiencias en perforación y voladura en la cortada Carlos - mina San Roque FM después de la determinación..... 71

Figura 12. Sobrerotura. 73

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Acceso a la mina San Roque FM, desde la ciudad de Huaraz. 1

Tabla 2. Estimación de reservas de la mina San Roque FM. 9

Tabla 3. Categorías de Humos..... 28

Tabla 4. Valores propuestos para voladura controlada..... 47

Tabla 5. Valores comparativos entre voladura convencional y controlada, amplitud del daño a la roca 48

Tabla 6. Operacionalización de variables..... 63

Tabla 7. Resultados del porcentaje de sobrerotura, usando tubos de PVC ensamblados..... 73

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

INTRODUCCIÓN

En la construcción de la cortada Carlos de la mina San Roque FM, las operaciones unitarias de perforación y voladura de rocas son esenciales y necesitan del diseño de mallas de perforación y voladura de rocas, de tal manera que no se afecte demasiado el macizo rocoso y que en la mina causa efectos de inestabilidad, ocasiona grandes gastos por el incremento de costos de sostenimiento, la cortada Carlos será una labor principal que servirá para el transporte y acarreo de carbón de piedra tipo antracita también permitirá el acceso del personal a las labores inferiores y superiores, para la determinación de parámetros importantes para el diseño de voladura controlada, estos parámetros son: tipo de roca, geometría de la excavación, diámetro del taladro, longitud del taladro, tipo de arranque, diámetro del taladro de alivio, tipo de explosivo, etc.): también la necesidad de minimizar la sobre rotura que tiende a crear inestabilidad y elevar los costos de construcción de la cortada Carlos, por el mayor volumen de acarreo de desmonte, del sostenimiento, el incremento de horas/hombre en el desatado de la cortada, la cortada Carlos esta a una altitud de 2,888 m.s.n.m. y tiene una sección de 2.4 metros de ancho por 2.10 metros de altura.

El diseño de la voladura controlada que consiste en perforar una fila de taladros de diámetro pequeño, los cuales son cargados con mezclas explosivas desacopladas y espaciadas, lo que ayuda a obtener resultados como son: una sección uniforme minimizando el daño del macizo rocos, el consumo óptimo de material explosivo, menores costos de trasporte de materiales estériles, y menos empleo de madera para sostenimiento.

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

Capítulo I: Generalidades, donde se trata sobre el entorno físico y el entorno geológico de la mina san Roque FM.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

Capítulo II: Fundamentación, Trata sobre los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y la definición de términos.

Capítulo III: Metodología, Trata sobre la pregunta de investigación, los objetivos, la justificación e importancia. Redacción de la hipótesis, las variables, metodología incluyendo a la población y muestra del estudio.

Capítulo I: Resultados de la investigación, Se presentan los resultados obtenidos en la investigación.

Finalmente se presentan las conclusiones, las recomendaciones, las referencias bibliográficas y los anexos

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. Entorno Físico

1.1.1. Ubicación y acceso

Ubicación Política ver plano de Ubicación; la Concesión minera carbonífera Fernando Antonio F de la CIA minera SAN ROQUE FM, se encuentra ubicada en el flanco occidental de la cordillera Blanca, en el paraje denominado Cerro Cancán - Apachico, del Distrito de Mancos Provincia de Yungay, Departamento de Ancash, Región Ancash, y se encuentra a una altitud de 2,985 m.s.n.m. (Narváez, 2018).

Acceso:

Tabla 1. Acceso a la mina San Roque FM, desde la ciudad de Huaraz.

Vía de acceso	Distancia (km)	Tiempo (Hr)
Huaraz - Manco	40.00	1:00
Mancos – Mina San Roque FM	3.50	0.25
Total	**43.50**	**1.25**

Fuente: Elaboración propia, 2020.

1.1.1. Topografía

La topografía en el área del proyecto inicia un relieve casi plano con una pendiente moderada, en las partes bajas, es notable la presencia de pequeñas quebradas relativamente cortas, y se caracteriza por ser una ladera moderadamente empinada. (Narváez, 2018).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Figura 1. Ubicación de la mina San Roque FM.

Fuente: Google maps, 2021.

1.1.2. Clima

El clima es propio de la Región Yunga, con temperaturas que varían durante el día de 8°C a 28°C y durante la noche 8°C 14°C. (Rivera, 2018).

1.2. Entorno Geológico

1.2.1. Geología regional

La columna estratigráfica del área de estudio comprende una secuencia de rocas sedimentarias, tales unidades litoestratigráficas pertenecen a la era Mesozoica, periodo cretáceo, época inferior, grupo goyllarisquizga, formación chimú. Dentro del estudio también se ha identificado depósitos

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

cuaternarios tales como: depósitos coluviales y depósitos fluvioglaciares. En razón de la orientación del presente estudio, cuyos fines son eminentemente ingenieriles, es conveniente hacer una descripción litológica detallado a fin de facilitar la interpretación física/mecánica de las diferentes columnas emplazados en la zona de estudio.

A continuación, describimos las características de las unidades lito estratigráficas:

- **Grupo Goyllarisquizga. -** Se encuentra en el cuadrángulo de Carhuaz es una secuencia de 650 m. de grosor, constituida por estratos macizos de 20 a 80 cm. De grosor de areniscas cuarzosas bien clasificadas de grano medio a grueso, algunas capas son conglomerados con guijarros pequeños de cuarzo. Presentan una coloración gris clara a blanca ligeramente amarillenta que por meteorización toman colores amarillentos, rojizos debidos al material ferruginoso que contiene, en la edad y correlación se ha encontrado restos de plantas del cretáceo inferior.

- **Formación Chimú (Ki-chim). -** Las rocas más antiguas de la región pertenecen a la formación Goyllarizga del cretáceo inferior. Sobre estas capas yacen, concordantemente, sedimentos cretáceos que corresponden a la Formación Chimú, portadora de los mantos de carbón, las Formaciones indivisas Santa-Carhuaz, Esta formación está constituida por una secuencia de cuarcitas recristalizadas en bancos medianos y de grano fino presentando como base una secuencia abigarrada compuesta por Areniscas, cuarcitas, lutitas y niveles de

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

carbón principalmente cuarcitas en la parte superior. Litológicamente la formación consiste en una secuencia de orto cuarcitas blancas de grano medio la cual ha sido recristalizada presentando un aspecto general de cuarcitas metamórficas. Dentro de las capas de Lutitas, aparecen restos de plantas, siendo más abundantes en la base de la formación donde se observan algunos mantos de carbón. Presenta características geotécnicas definidas por la presencia de las orto cuarcitas en bancos que por su naturaleza petrográfica son muy competentes por la elevada resistencia mecánica de las rocas las Lutitas carbonosas y las cuarcitas graníticas se encuentran intercaladas entre las orto cuarcitas, intensamente fracturadas.

Depósitos Cuaternarios Recientes

- **Depósitos Coluviales (Q- co). -** Son acumulaciones constituidas por materiales de diverso tamaño, pero de litología homogénea, englobados en una matriz arenosa que se distribuye irregularmente en las vertientes del territorio montañoso, habiéndose formado por alteración y desintegración in situ de las rocas ubicadas en las laderas superiores adyacentes y la acción de la gravedad. Los depósitos coluviales se pueden originar por: Formaciones en la base de laderas y Transportados por la gravedad. - Movimiento de material suelto, erosión y transporte por agua no canalizada los cuales pueden ser clasificados según. Estos depósitos están asociados a la formación de escombreras y relacionados con los afloramientos rocosos que se

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

presentan en laderas escarpadas con fracturas subverticales siendo afectados por los desprendimientos de rocas, litológicamente, los depósitos coluviales consisten en grandes bloques y fragmentos angulosos con muy poca matriz de material fino.

- **Depósitos Fluvioglaciares (Q- fg). -** Se denomina depósito fluvioglaciar al material transportado por las aguas de fusión. En comparación con el material de las morrenas, los sedimentos glacifluviales están mejor ordenados y estratificados. Sin embargo, los componentes de estos sedimentos están menos redondeados que el material netamente fluvial. Con el adjetivo fluvioglaciar se designan a los depósitos, formas de relieve y fenómenos cuya causa reside en las aguas corrientes procedentes de la fusión de glaciares. En la zona que marca la transición del glaciar al río existe un complejo fluvioglaciar que consta de una depresión terminal del glaciar, un arco de morrenas constituidos por los materiales más gruesos abandonados por la lengua del glaciar, un cono de transición que prolonga la morrena aguas abajo pero cuyo origen es puramente fluvial y, por último, unas terrazas aluviales constituidas por los sedimentos más finos que han ido sobreponiéndose en forma de depósitos estratificados.

  - **Placas de grava. -** En la zona de la morrena terminal no afectada por el glaciar se extienden áreas de grava, denominadas cono de transición en las altas cordilleras. La mayoría de ellas están compuestas por grava gruesa. Valle abajo estas formaciones se

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

transforman en terrazas fluviales. En las regiones de glaciares continentales donde no hay cordilleras en el fondo, el material depositado es más fino y se compone de arena y guijarro.

- **Esker u oesar. -** Se denomina esker a una colina de guijarro estrecha cuya altura oscila entre 5 y 30 metros.

- **Kames, terraza de kame. -** Tal como los esker, los kames son de origen fluvioglaciar. En las zonas marginales de los glaciares se forman colinas redondas estratificadas de guijarro y arena. Estas unidades topográficas surgidas de aguas de fusión desarrollan en los márgenes de los valles - escalones aterrazados, denominados en conjunto terrazas de kames. (Rivera, 2018).

1.2.2. Geología local

Los mantos de carbón se Ubican en la Formación Chimú, el cual según los estudios del INGEMMET, alberga 06. Siendo de interés económico solo son dos:

- **Manto San Roque I**

  - Caja Techo : Cuarcitas Blancas.
  - Caja Piso : Lutitas Pizarrosas.
  - Potencia : 6 m.
  - Dirección : N 103° E.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- Buzamiento: 35°/ SW

- **Manto San Roque II**

  - Caja Techo : Cuarcitas Blancas.
  - Caja Piso : Pizarras.
  - Potencia : 3 m.
  - Dirección : N 103º E.
  - Buzamiento: 35º/ SW. (Narváez, 2018).

1.2.3. Geología estructural

La geología estructural de la región es muy similar a la del cuadrángulo de Pataz (Wilson y Reyes, 1964). El mapeo de una zona más extensa nos ha permitido definir con mayor precisión las provincias estructurales y, hasta cierto punto, especular sobre sus orígenes. En base al estudio actual se dividido la región en tres unidades tectónicas:

- **Provincia de pliegues y sobre escurrimientos. -** Esta unidad está caracterizada por pliegues largos, estrechos y sobre escurrimientos grandes desarrollados en las facies de cuenca del Jurásico Superior y Cretáceo.

- **Provincia imbricada. -** Consiste mayormente en placas de calizas del Albiano y cretáceo superior, buzando hacia el suroeste, separadas por sobre escurrimientos que generalmente yacen dentro de la

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

estratificación. También se observan pliegues, en su mayoría. subsidiarios a los sobre escurrimientos.

- **Provincia de bloques fallados. -** Es más joven que las unidades mencionadas y se extiende por toda la Región en discusión; está caracterizada por movimientos verticales a lo largo de grandes fallas de basamento.

- **Movimientos tardíos. -** El desarrollo de las estructuras anteriormente descritas, fue seguido por un intervalo largo de peniplanización que produjo la superficie puna. Los movimientos tardíos ocasionaron el levantamiento general de los Andes que llevó la superficie puna a una altura aproximada de 4200 m.s.n.m. aunque el levantamiento fue uniforme sobre grandes regiones, algunas fajas se elevaron más que las áreas vecinas, así la Cordillera Blanca y probablemente la Cordillera Negra sufrieron más levantamiento que el promedio. (Narváez, 2018).

1.2.4. Geología económica

En la mina san roque FM se explota el carbón tipo Antrasitico cuyas características son:

- **Manto San Roque I:**

  - Potencia : 6.0 m

  - Calidad : Antracita

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- **Manto San Roque II:**

Reconocido por los cateos en superficie, en este manto todavía no se tiene trabajos de exploración y menos de preparación y desarrollo.

- Potencia : 6.0 m
- Calidad : Antracita

Tabla 2. Estimación de reservas de la mina San Roque FM.

Tipo de reserva		TMH	C.F (%)	P.C (Kcal/Kgr)	C (%)	V (%)	H (%)
Probada	NV 2888 – NV 2800	52,800	88	6400	7	6	2.3
Probable	NV 2888 – NV 2800	52,800	88	6400	7	6	2.3

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

Antecedentes Internacionales

Rebolledo (2018) en la tesis titulada *"Desarrollo de metodología de diseño y planificación de tronadura controlada para administrar y controlar riesgos geotécnicos".* El estudio plantea el desarrollo de una metodología de diseño y planificación de tronadura controlada, para administrar y controlar riesgos geotécnicos durante la construcción de taludes, teniendo como principal foco de atención el control del daño a escala de banco. La metodología propuesta se soporta en dos pasos: el primer paso consistió en una investigación exhaustiva de factores claves de diseño de tronadura (clasificación del macizo rocoso, distribución de tamaño de bloque in-situ, factor de carga, vibraciones, fragmentación, diseño de tronadura controlada, mecanismo de fragmentación del macizo rocoso y concepción de daño); el segundo paso consistió en una revisión de casos de estudio (caso base), considerando 3 faenas mineras con datos de: modelos geotécnicos, clasificación del macizo rocoso, flujograma de actividades de perforación y tronadura y resultados de tronaduras ejecutados. De la revisión de los casos de estudio se tiene el siguiente diagnóstico, que sirve como base para el desarrollo de la metodología:

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

a) Los resultados de tronadura, se sustentan fuertemente en la metodología de prueba y error.

b) No existe una incorporación detallada de la información del modelo geotécnico en la cadena de procesos de perforación y tronadura.

c) Existen deficiencias en la definición y funcionamiento de los sistemas QA/QC durante la implementación de diseños de perforación y tronadura.

d) Escaza coordinación entre las áreas involucradas en la implementación de los diseños de tronadura controlada.

e) No son ampliamente utilizadas metodologías que permitan correlacionar el daño en la pared del talud con los diseños de tronadura.

Dado el diagnóstico obtenido, se propone una metodología de planificación y diseño de tronadura controlada, la cual busca dar solución a los problemas planteados anteriormente. Esta metodología se divide en 5 pasos:

a. Clasificación del macizo rocoso para tronadura.

b. Zonificación de la mina según unidades geotécnicas para tronadura.

c. Diseño base de malla de perforación por unidad geotécnica de tronadura.

d. Planificación de tronadura controlada.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

e. Implementación de diseños de perforación y tronadura (QA/QC y evaluación de resultados).

La metodología propuesta cumple con los 5 puntos planteados en el diagnóstico. Se recomienda en gran medida depurar cada uno de los pasos planteados, ajustar los índices de tronabilidad para las condiciones de cada faena, establecer una estrategia para lograr coordinar las áreas involucradas con un lenguaje común y diseñar en base al factor de potencia recomendado.

Díaz, Guarín y Jiménez (2012) En este artículo se presenta el análisis y el diseño de la operación de perforación y voladuras en minería de superficie empleando el enfoque de la programación estructurada. El propósito de este trabajo es crear una interfaz, por medio de la cual se ingresan la densidad del explosivo, diámetro e inclinación de la perforación, resistencia a la compresión de la roca y dimensiones del banco. Luego se obtiene el valor de las variables más importantes que acondicionan el diseño de la operación de perforación y voladuras, tales como: altura del banco, burden, espaciamiento, taco, carga del barreno, numero de barrenos, factor de carga, entre otras. Esta aproximación permite diseñar la operación de perforación y voladuras en menor tiempo y disminuir el error humano que se tiene por el uso repetitivo de las fórmulas para cálculos de los parámetros involucrados en el diseño de la perforación y voladura en minería de superficie.

Antecedentes Nacionales

Parra (2018) en la tesis titulada *"Reducción de la carga explosiva con el uso del explosivo EMULNOR, en la corona de labores de desarrollo para*

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

optimizar los costos de voladura en Cia minera MACDESA". Tiene como objetivo exponer la factibilidad de la reducción de los costos de voladura en labores de avance horizontal en la Unidad Minera Aurífera Cuatro de Enero MACDESA, aplicando para ello estándares óptimos de trabajo en las principales operaciones de carguío de taladros con explosivo emulnor de 500, 1000, 3000 y 5000, asegurando de esta manera el éxito de ahorros por disparo y evitando la sobrerotura en la corona de labores de desarrollo. Éxito que se logra con un sistema de control y estandarización exhaustiva de las aplicaciones de carguío de explosivos y que se sintetizan en la supervisión y capacitación continua en lo concerniente a la aplicación de estándares óptimos de voladura en la operación. En el trabajo se detalla pruebas realizadas in situ en labores de desarrollo obteniendo resultados positivos en la disminución de costos de voladura y sostenimiento ya que con un control de carguío del emulnor se logra evitar la inestabilidad de la corona de la labor. Finalmente se exponen los beneficios que se obtienen con la implementación y el control continuo de los estándares adecuados de trabajo, beneficios reflejados en una reducción de los costos directos operativos y en general de todos los costos de las diversas áreas que integran una mina, acotándose como una de las recomendaciones la vital importancia que representa la capacitación continua al personal en las técnicas de perforación y voladura y sobretodo el rol que juegan estas como el núcleo de todo el sistema, del mismo modo la importancia de la motivación y retroalimentación al personal que ejecutan este núcleo sobre los avances que se obtienen y lo importante de su desempeño.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

Serin (2017) en la tesis titulada *"Reducir el porcentaje de dilución, mediante voladura controlada en los tajos de producción en la mina MARSA – RETAMAS"*, en la compañía minera aurífera Marsa S.A. viene realizando sus operaciones en los yacimientos de la Unidad Minera de Parcoy veta Valeria nivel 3125 con una sección de 1.50 x 1. 80m. La cual viene siendo ejecutada por la contrata especializada Minera Alfa SA., en la explotación de tajos. Las características del yacimiento son irregulares, encontrándose zonas inestables, calificándose como roca MF/P (Terreno muy fracturado pobre), generándose sobrerotura y daños en la corona, además de incrementar el porcentaje de la dilución. La explotación se realiza en forma convencional, habiéndose verificado un exceso de consumo de explosivos lo cual se refleja en el indicador conocido como factor de carga. Otras deficiencias en voladura se refieren a una inadecuada columna explosiva del taladro que en vez de 66% se les cargaba a más del 75%, originando sobre excavaciones y aumento en el costo de perforación y voladura. En perforación se detectaron desviaciones en el paralelismo, por ausencia de guiadores, Ante esta problemática se tenía como consecuencia indicadores desfavorables como por ejemplo: altura de minado, mayor volumen de material roto a lo programado para solucionar dichos problemas se diseñó un esquema de investigación que consideraba la remarcación de la potencia de mineralización, optimización de las mallas de perforación y una voladura, considerando los parámetros de roca y la aplicación de voladura controlada más un sostenimiento adecuado y oportuno para la mantener una buena estabilización del macizo rocoso.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

Antecedente Local

Chinchay (2018) en la tesis titulada *"Diseño de malla de perforación basado en los modelos Geomecánicos para optimizar la voladura en minería subterránea – 2018"*, la tesis se realiza en uno de las operaciones unitarias del ciclo minado, que es la perforación y voladura, pertinente a los frentes de labores de desarrollo de un sistema de minado subterráneo. Donde, se ha visto que se presentan con mucha frecuencia las deficiencias respecto a las voladuras, en forma de una inadecuada fragmentación, inestabilidad de las aberturas generadas, mala proyección del material fragmentado y menor rendimiento en los avances lineales, lo que generan costos operativos elevados, todo aquello se debe al mal diseño de la malla de perforación, que no se ajusta a las características del macizo rocoso. La metodología utilizada se sujeta a un tipo de investigación aplicada-transversal, diseño experimental, nivel correlacional-explicativo, además de eso para obtener los datos de análisis se utilizaron técnicas de observación directa con pruebas de campo y de laboratorio. Los resultados que se obtuvieron de este trabajo de investigación fueron formidables porque se logró, una buena fragmentación, mejor estabilidad de las labores desarrolladas, una buena proyección del material fragmentado y por último un mejor avance lineal. En conclusión, se llegó a qué haciendo el uso de modelos geomecánico modernos para el diseño de la malla de perforación, se obtienen excelentes resultados con respecto a la eficiencia de la voladura. Finalmente, se puede decir que, lo que se pronostica en el gabinete, se debe ajustarse en el campo.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

Chávez (2018) en la tesis titulada *"Mejora de la granulometría mediante el diseño de malla de perforación y voladura aplicando el modelo de H en la Galería 370 de la zona Coturcan en la mina Huancapeti – año 2015"*, la tesis está orientado a la mejora de la granulometría en la Galería 370 de la zona Coturcan en la mina Huancapeti, mediante el diseño de malla de perforación y voladura aplicando el modelo de Holmberg; dicha Galería presenta deficiencia en los resultados de voladura, afectando directamente el ciclo de minado. Para el cálculo del nuevo diseño de malla de perforación y voladura aplicando el modelo de Holmberg, se caracteriza los parámetros físicos – mecánicos del macizo rocoso y el tipo de explosivo a emplear, el cual involucra condiciones geomecánicas y cantidad máxima de ítems de accesorios de voladura. El correcto marcado de malla de perforación y la aplicación de técnicas de voladura controlada son puntos importantes para el desarrollo del presente trabajo; al finalizar los distintos cálculos se espera obtener resultados favorables como, por ejemplo: optimizar el programa de avance lineal, mejorar la voladura (m/disp), reducir el consumo de explosivo (kg/tm), minimizar el porcentaje de sobrerotura, mejorar la granulometría y optimizar el ciclo de minado en general. Se concluye que el nuevo diseño de malla de perforación y voladura aplicando el modelo de Holmberg, es una herramienta con gran aplicabilidad, versatilidad y de empleo sencillo, que supone el punto de inicio para desarrollar e implementar en los distintos frentes de avance de la mina Huancapeti; entrenando y capacitando al personal encargado para su ejecución.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

2.2. Fundamentación teórica

2.2.1. Perforación de rocas

a perforación es la primera operación en la preparación de una voladura. Su propósito es el de abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores, denominados taladros, barrenos, hoyos o blast holes.

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 equivalente al diámetro de la broca y 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 tienen gran importancia la resistencia al corte o dureza 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). La perforación se efectúa por los siguientes medios:

1. Percusión, con efecto de golpe y corte como el de un cincel y martillo. Ejemplo, el proporcionado por los martillos neumáticos pequeños y rompepavimentos.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

2. Percusión/rotación, con efecto de golpe, corte y giro, como el producido por las perforadoras neumáticas comunes, tracdrills, jumbos hidráulicos.

3. Rotación con efecto de corte por fricción y rayado con material muy duro (desgaste de la roca, sin golpe), como el producido por las perforadoras diamantinas para exploración.

4. Fusión (jet piercing) mediante un dardo de llama que funde roca y mineral extremadamente duro como la taconita (hierro), método aplicado en algunos yacimientos de hierro de Norteamérica

5. Determinación de parámetros de voladura controlada para reducir la sobrerotura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021. (EXSA, 2014).

2.2.2. Variables controlables de la voladura

a. Perforación. - La perforación de los taladros se realiza mediante técnicas rotación y rotopercusión, con equipos hidráulicos y eléctricos, debe de ser lo más exacta posible ya que los trabajos posteriores a realizar con este taladro dependerán mucho de su diseño. En gran minería la profundidad de los taladros supera los 15 metros según diseño y el tiempo de perforación depende del tipo de macizo rocoso presente, puede durar 20 minutos como más de 1 hora por taladro. (Pernia, 2011. Citado por Flores, 2019).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

b. Perforación específica. - Se refiere a la cantidad de taladros perforados para obtener una determinada cantidad o volumen de roca, esto está en función de la volabilidad de las rocas. Para obtener la perforación específica si se requiere una cierta cantidad de material, se tiene que llevar a cabo un cálculo la cual se realiza con la siguiente fórmula. (Pernia, 2011. Citado por Flores, 2019).

$$PS = \frac{\left(\frac{hH}{cos_\beta} + J\right)}{\frac{B}{cos_\beta} x\ S\ x\ H} \qquad \text{Ec. ..... 1}$$

Donde:

H = Altura de banco (m)

J = Sobre perforación (m)

B = Roca (m)

S = Espaciamiento (m)

B = Angulo de los barrenos con respecto a la vertical (grados), y si se quiere obtener la perforación específica en l/m3 se aplica la siguiente formula. (Pernia, 2011, Citado por Flores, 2019).

$$PS = \frac{\left(\frac{H}{cos_\beta} + J\right) x\ (250\ x\ \pi\ x\ D^2)}{\frac{B}{cos_\beta} x\ S\ x\ H} \qquad \text{Ec. ..... 2}$$

Donde:

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

D = Diámetro de perforación (m)

c. **Diámetro del taladro. -** Nos permite visualizar el radio de ruptura con respecto al diámetro del taladro realizado según lo diseñado, para los agentes explosivos que se van a utilizar, así como también para la longitud del taladro y el diámetro del mismo (Agreda, 2001. Citado por Flores, 2019).

El diámetro del taladro óptimo para el diseño de una malla de voladura depende de las características del macizo rocoso que se va a disparar, el P80 que se quiere obtener al final de la voladura, la altura del banco diseñado y la cantidad de explosivo a cargar en los taladros. Depende también del costo que generará el proceso de la perforación y voladura. El diámetro utilizado por lo general supera las 10'' y esto influye también en el VOD del explosivo, al ser mayor la carga del explosivo, el material volado será mayor sin necesidad de incrementar los metros perforados. (Pernia, 2011. Citado por Flores, 2019).

d. **Altura de banco. -** La altura del banco tiene influencia en los resultados de las voladuras, pero estos van diseñándose mediante se van dando los disparos y construyendo el tajo. Por lo general, los bancos cuentan con una altura de 15 metros ya que a mayor tamaño el desplazamiento y la deformación de la roca en la voladura serán más fáciles (Pernia, 2011. Citado por Flores, 2019).

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

e. **Retacado. -** Es la longitud de la parte superior del taladro que se rellena con un material detrito, inerte como la grava, para confinar y aislar los gases producidos en el disparo y se pueda realizar la fragmentación sin problema alguno. Necesita ser una longitud la cual pueda captar la cantidad de material detrito necesaria para que los gases tóxicos no salgan hacia la atmosfera, si es excesivo, aumentaran las vibraciones y tendremos disminución del esponjamiento, así como también una gran cantidad de bolones en la superficie. Se debe de tener en cuenta el tipo y tamaño del detrito utilizado (SIVE CUAJONE, 2017. Citado por Flores, 2019).

f. **Esquema de perforación. -** Estos esquemas se diseñan de manera que se pueda tener una mayor distribución de la energía del explosivo en la roca. Sus parámetros de diseño llevan medidas que den mayor flexibilidad en el diseño de la secuencia de encendido y detonación del esquema. El esquema se realiza con respecto a la cara libre (Pernia, 2011. Citado por Flores, 2019).

g. **Tamaño y forma de la voladura. -** Se le conoce también como fragmentación (P80), hace referencia al tamaño del material después de haber sido volado, esto indica la eficiencia de los parámetros de diseño, el explosivo y la voladura misma (Chambi, 2016. Citado por Flores, 2019).

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

El tamaño y forma de la voladura debe de ser correcta, ya que de ello depende el tiempo de uso y energía a utilizar de los equipos de perforación y carga. La presencia de bloques o bolones nos obliga a tener que realizar perforaciones secundarias lo que genera mayor gasto y demanda mayor tiempo y porcentaje de utilización y disponibilidad de los equipos, también un mayor tiempo de supervisión y control de las voladuras (TCRCORE, 2013. Citado por Flores, 2019).

Comúnmente, la fragmentación en voladuras de múltiples taladros es mejor que el de una sola fila. Para la determinación del tamaño, es necesario la utilización de softwares que permitan el análisis granulométrico como las vibraciones y el movimiento de esas rocas. (Segarra, 2014. Citado por Flores, 2019).

h. **Volumen de expansión disponible. -** Luego del disparo y al ser fragmentadas las rocas del material, se produce un aumento del volumen del terreno debido a su desplazamiento y la expansión de los mismos fragmentos. Esta expansión, suele ser mayor al 15% del volumen inicial, si sucediese el caso de que sea menor al 15%, podríamos tener unos malos resultados de voladura por la misma fragmentación, por lo que para aumentar el empuje de la roca en próximos disparos con el mismo terreno y la presencia del mismo tipo de rocas, se necesitaría mayor carga en los taladros (Pernia, 2011. Citado por Flores, 2019).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

i. **Iniciadores e Iniciación. -** Existen distintos tipos de iniciadores, los cuales mantendrán conexión con las cargas de los taladros del proyecto que se va a disparar. Muchas veces los iniciadores son proporcionados por la empresa minera, pero la mayoría de veces por empresas contratistas ya que la instalación y la iniciación del disparo con esos iniciadores consta de un procedimiento determinado. Un procedimiento a realizar al haber conectado los iniciadores es la verificación de la conexión. También se utilizan equipos los cuales llevan la data de configuración de tiempos para detonación de cada taladro y el orden de detonación de la malla del proyecto (ORICA, 2017. Citado por Flores, 2019).

j. **Tiempos de retardo y secuencias de encendido. -** Los tiempos de retardo que se programan para la detonación entre taladros y la secuencia de encendido diseñada para la malla, afectan en la vibración y en la cantidad de carga a utilizar para el disparo, ya que debido a ello se pueden disminuir. Dado un buen tiempo y secuencia se puede obtener mayor efectividad en el rompimiento de las rocas y el desplazamiento en el terreno, así también se evitaría una re-perforación de taladros en el diseño de la malla o esquema de perforación. Los retardos permiten una buena detonación de todos los taladros de manera secuencial y homogénea. En el caso del corte de una línea en un taladro, el tiempo a programar para el taladro es de 0 segundos ya que es el que se tiene que visualizar primero para ver si ha detonado

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

antes que toda la malla, a este procedimiento se le conoce como BackUp (ORICA, 2017. Citado por Flores, 2019).

k. **Explosivos. -** Lo importante en la elección de un explosivo para la voladura son sus propiedades y características las cuales van a darnos una buena detonación con respecto a las rocas presentes en el terreno para poder tener una fragmentación homogénea y el P80 deseado en el diseño (Pernia, 2011. Citado por Flores, 2019).

Existen distintos tipos de explosivos, como también mezclas de estos las cuales tienen un mayor poder rompedor y velocidad de detonación la cual producen una gran presión en los taladros, estos son utilizados para terrenos con roca de alta dureza, pero también existen explosivos con baja densidad y baja velocidad de detonación la cual se utilizan en terrenos suaves. Al momento de realizar una mezcla de explosivos se debe de tener en cuenta la energía y fuerza la cual se requiere para romper la roca, pero también la cantidad de gases que se producirían, por lo que se requiere de una buena proporción de esta mezcla, así podremos obtener un buen rendimiento sin presencia de gases tóxicos (Pernia, 2011. Citado por Flores, 2019).

l. **Consumos específicos de los explosivos. -** El consumo del explosivo se define como la cantidad del explosivo a utilizar para poder romper una cantidad determinada de roca, este factor es importante en el diseño de la voladura ya que nos permitirá

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

saber la cantidad de explosivo y en qué proporción utilizaremos para el disparo. El consumo puede incrementarse aumentando el diámetro del taladro dependiendo también de la resistencia del tipo de roca presente en el terreno. También puede aumentarse dependiendo de la fragmentación, el desplazamiento y el esponjamiento que se quiera obtener al finalizar el disparo (Pernia, 2011. Citado por Flores, 2019).

m. Propiedades de los explosivos. - Las mezclas explosivas tienen propiedades y características las cuales permiten el correcto aprovechamiento del producto para la detonación, dependiendo del tipo de voladura que se va a efectuar en distintos tipos de roca y condiciones. Algunas de estas son el VOD, la densidad, la presión de detonación, la potencia y energía, resistencia del explosivo al agua, la sensibilidad del explosivo. Estas características nos facultan el poder estimar cual será la el P80 resultante, el desplazamiento del material y las posibles vibraciones (Pernia, 2011. Citado por Flores, 2019).

n. **Potencia y energía. -** La potencia y energía son la fuerza y el poder con las cuales se rompe una roca, estas propiedades ayudan a la fragmentación de las rocas presentes en un determinado terreno. (Pernia, 2011. Citado por Flores, 2019).

o. **Presión de detonación. -** La presión de detonación es utilizada para que nuestro VOD no disminuya y la roca pueda fragmentarse con mayor facilidad, esta presión está en función

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

a la densidad y al VOD. Esta presión se propaga por todo el taladro por lo que es importante en el diseño. La mayoría de los agentes explosivos manejan una presión de detonación entre los 500 y 1500 MPa. Para realizar una estimación de la presión que pudiese presentarse en el disparo, tenemos la siguiente formula. (Pernia, 2011. Citado por Flores 2019).

$$PD = 432\ x\ 10^{-6}\ x\ \partial e\ x\ (VD^2/1 + 0.8\ x\ \partial e) \quad \text{Ec. ..... 3}$$

Donde:

PD = Presión de detonación (MPa)

∂e = Densidad del explosivo (gr/cm3)

VD = Velocidad de detonación (m/s). Pernia, 2011. Citado por Flores, 2019).

p. **Densidad del explosivo. -** El poder rompedor es el fin para el cual se maneja la densidad del explosivo en un diseño de voladura, la gran mayoría de estos agentes tiene una densidad que oscila entre 0.8 hasta 1.7 gr/cm3. Uno de los puntos más importantes en el manejo de la densidad del explosivo es que a mayor VOD que nos proporciona el explosivo, mayor poder rompedor nos brinda. Otro punto importante con respecto a la densidad del explosivo, es que es de vital importancia para la sensibilidad del explosivo, si es muy baja puede iniciarse antes de empezar el disparo por ser muy sensible, y si fuese muy alta lo contrario, podría llegar a no detonar. Al momento de cargar

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

un taladro con explosivo, la densidad va a servir para calcular la cantidad de carga a utilizar para la voladura. La concentración de la carga "∂1" en un taladro con un determinado diámetro "D" y una densidad "∂e" se calcula con la siguiente formula. (Pernia, 2011. Citado por Flores, 2019).

$$\partial 1 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}}\right) = 7.854\ x\ 10^{-4} x\ \partial \text{e x } D^2 \qquad \text{Ec. ……. 4}$$

Donde:

∂e = Densidad del explosivo (g/cm3)

D = Diámetro de carga (mm)

q. **Sensibilidad. -** La sensibilidad hace referencia al comportamiento que el explosivo toma con respecto a la detonación. Puede ser una acción controlada, si se realiza el disparo con la utilización de un iniciador, es decir, un detonador, o una acción incontrolada, si es detonado por el calor, un impacto o choque. En ambos casos, tuviese que ser iniciada por un factor externo el cual haga reaccionar al explosivo. (Pernia, 2011. Citado por Flores, 2019).

r. **Transmisión de la detonación. -** Un disparo bien realizado consta también de la correcta detonación de todos sus taladros, para ello es muy importante la transmisión de detonación, esto nos garantiza la detonación de todo el proyecto. Se habla de una detonación por simpatía mediante una onda a través de las rocas cuando los taladros cuentan con un determinado espaciamiento

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

o se encuentran cerca a las cargas en el diseño. (Pernia, 2011. Citado por Flores, 2019).

s. **Calidad de los humos. -** La realización del disparo con distintos tipos de explosivo y en distintas proporciones, puede llegar a producir gases tóxicos como el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. Muchas veces puede no visualizarse en el momento, como también suelen presentarse al momento de la tronadura o disparo, se presenta de distintos colores y se categorizan por su volumen de gas nocivo, lo cual ayuda en la exposición a estos después de la voladura (Pernia, 2011. Citado por Flores, 2019).

Tabla 3. Categorías de Humos

Categoría	Volumen de gases nocivos (CO-NO2) dm3
1°	0 - 4,53
2°	4,53 - 9,34
3°	9,34 - 18,96

Fuente: Pernia, 2011. Citado por Flores, 2019.

2.2.3. Voladura controlada

El objetivo de la voladura controlada es evitar el rompimiento de la roca fuera de límites previamente establecidos, es decir evitar la sobrerotura (overbreak). Es un método especial que permite obtener superficies de corte lisas y bien definidas, al mismo tiempo que 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 prevención de desplome de

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

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 disparan en forma simultánea para crear y controlar la formación de una grieta o plano de rotura continuo, que límite 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 presplitting", 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.

Se emplea a menudo para el acabado superficial de túneles de obras hidráulicas o viales, para reducir el consumo de concreto cuando éstos tienen que ser cementados, y en cámaras subterráneas para mejorar el autosostenimiento de techos y paredes.

También se aplica para excavaciones precisas para cimentación de maquinaria, para piques y chimeneas, para límite final de bancos en minería a tajo abierto y para extraer grandes y bien formados bloques de piedra ornamental en canteras de mármol, caliza marmórea y granito, entre otros. (Exsa,2014).

Teoría del método. - Una carga explosiva convencional acoplada, que llena completamente un taladro, al detonar crea una zona adyacente en la que la resistencia dinámica a compresión de la roca es ampliamente superada, triturándola y pulverizándola. Fuera de esa zona de transición, los esfuerzos de tracción asociados a la onda de

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

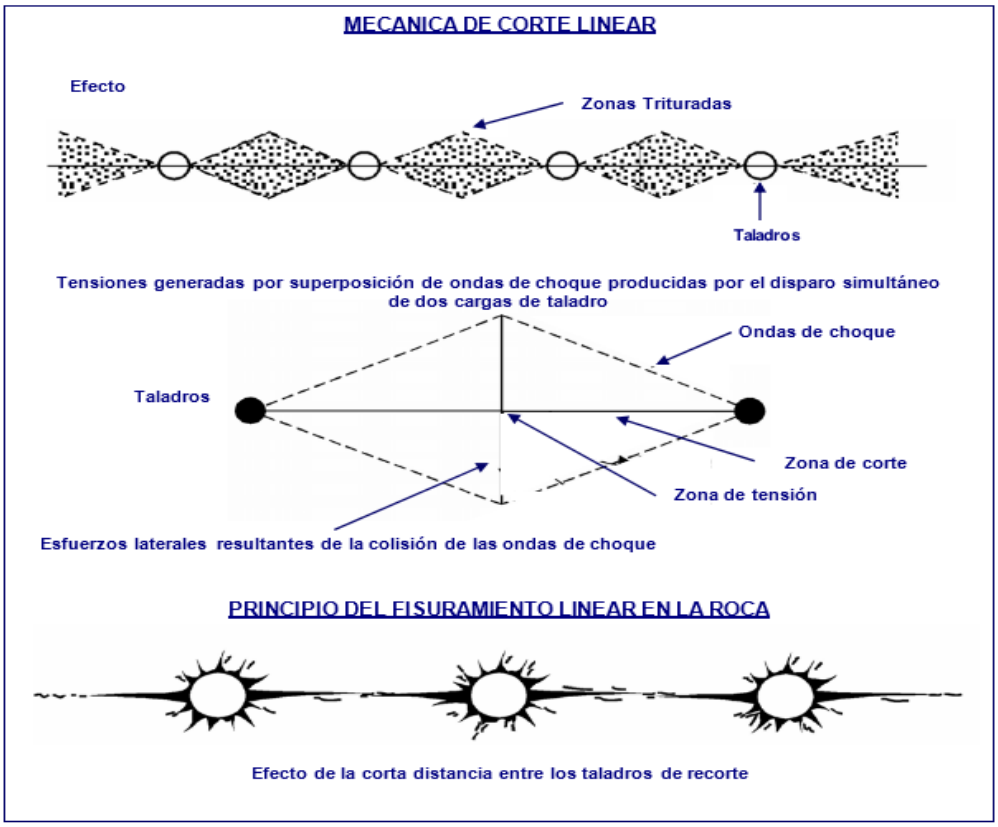
compresión generan grietas radiales alrededor de todo el taladro, lo que se denomina fisuramiento radial. Cuando son dos las cargas que se disparan simultáneamente, esas grietas radiales tienden a propagarse por igual en todas direcciones, hasta que por colisión de las dos ondas de choque en el punto medio entre taladros, se producen esfuerzos de tracción complementarios perpendiculares al plano axial. Las tracciones generadas en ese plano superan la resistencia dinámica a tracción de la roca, creando un nuevo agrietamiento y favoreciendo la propagación de las grietas radiales en la dirección de corte proyectado, lográndose esto en especial cuando dos taladros son cercanos.

Posteriormente estas grietas se amplían y extienden bajo la acción de cuña de los gases de explosión que se infiltran en ellas. Según esto, el mecanismo de trabajo de una voladura de contorno comprende a dos efectos diferentes: uno derivado de la acción de la onda de choque y otro derivado de la acción de los gases en expansión.

La presión de gases es clave en la voladura controlada, por lo que se debe tratar de mantenerla hasta que complete la unión de las grietas que parten de los taladros adyacentes. Esto se conseguirá adecuando la longitud de retacado para evitar el escape prematuro de los gases a la atmósfera. (Exsa,2014).

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

Figura 2. Sistema de iniciación de plasma



Fuente: Exsa, 2014.

2.2.4. Diferencias de la voladura convencional y la voladura controlada

En la práctica el método de voladura controlada requiere de ciertas condiciones que la diferencian del método convencional, como se muestra a continuación:

a. Voladura convencional. - Los taladros de voladura normal destrozan la roca por interacción entre sí, con predominio de fracturamiento radial; para lograr este efecto es necesario mantener ciertas condiciones, como:

1. Relación de espaciamiento a burden:

$$E = (1{,}3 \text{ a } 1{,}5) \times B \qquad \text{Ec. ……. 5}$$

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

2. Relación de acoplamiento (diámetro de taladro a diámetro de cartucho): máxima de 1,2 a 1, buscando un adecuado confinamiento y atacado del explosivo.

3. Distribución de la carga explosiva, ocupando en promedio los 2/3 de la longitud del taladro (66%) procurando la mayor concentración de carga al fondo del mismo.

4. Uso de taco inerte para retener la explosión en el taladro el mayor tiempo posible, y para mejorar el grado de confinamiento.

5. Empleo de explosivo con el mayor brisance y empuje dentro de la relación energía/costo, para las características de la roca.

6. Disparo de todos los taladros de la voladura siguiendo un orden de salida, espaciados en tiempo de acuerdo a un esquema de secuencias (arranques, ayudas, cuadradores, alzas, etc.).

b. Voladura controlada. - A diferencia de los taladros de voladura normal, los de voladura controlada deben 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:

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

1. Relación de espaciamiento a burden inversa a la normal; es decir menor espaciamiento que burden, usualmente:

$$E = 0{,}5 \text{ a } 0{,}8\ B. \qquad \text{Ec. } \ldots\ldots\ldots\ldots\ 6$$

2. Explosivo de mucho menor diámetro que el del taladro para que la relación de desacoplamiento sea mayor que la convencional de 2,1 a 1. Ec. …… 7

3. Carga explosiva linear distribuida a todo lo largo del taladro preferentemente con cartuchos acoplables como los de Exsacorte, o en ciertos casos carga amortiguada con espaciadores.

4. Taco inerte solamente para mantener el explosivo dentro del taladro, no para confinarlo.

5. Empleo de explosivo de baja potencia y velocidad, brisance, como el Exacorte.

6. Disparo simultáneo de todos los taladros de la línea de corte, sin retardos entre sí, y sólo después de la voladura principal. (Es conveniente un intervalo mínimo de 60 a 100 ms entre el último taladro de la voladura principal y los taladros de la línea de corte periférica).

7. Mantener el alineamiento y paralelismo de los taladros, de acuerdo al diseño del corte a realizar, de lo contrario no hay buen resultado.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

c. Ventajas de la voladura controlada

1. Produce superficies de roca lisas y estables.

2. Contribuye a reducir la vibración de la voladura principal y la sobreexcavación, 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.

3. 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 de hasta 1,50 y 2,00 m debilitando la estructura en general, mientras que la voladura controlada sólo la afecta entre 0,20 y 0,50 m, contribuyendo a mejorar el autosostenimiento de las excavaciones.

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

d. Desventajas de la voladura controlada

1. Mayor costo que la voladura convencional por requerir más perforación y empleo de explosivos especiales o acondicionados a propósito.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

2. Mayor demora en la obra, por el incremento del trabajo de perforación.

3. 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 desarrolladas en los últimos años, muchas veces específicamente para un problema particular, pero las más aplicadas son:

- Voladuras de precorte
- Voladura de recorte
- Voladuras amortiguadas

Estas técnicas se efectúan tanto para trabajos subterráneos como en superficie. (Exsa, 2014).

2.2.5. Voladura de 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 precorte también puede hacerse simultáneamente con los de producción, pero

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

adelantándonos una fracción de tiempo de 90 a 120 ms, el disparo es pues en dos etapas. Normalmente es necesario efectuar algunos disparos de prueba para conocer el comportamiento de la roca y ajustar parámetros, pero como guía puede aplicarse algunas ecuaciones propuestas para el caso, como las de C. Konya, así:

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:

$$q = [(Ø)^2 / 28] \quad \text{Ec. ……. 8}$$

Donde:

q : carga de explosivo por pie de taladro (lb/pie).

Ø : diámetro de los taladros vacíos, en pulgadas.

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

$$E = (10 \times Ø) \quad \text{Ec. ……. 9}$$

Donde:

E : espaciamiento, en pulgadas.

Ø : 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 ó 14. Estos valores por norma deben darse en el equivalente

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

métrico. En la mayoría de aplicaciones de precorte no se estila sobreperforación. 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 las necesidades de taquear o no los taladros, y 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 sí son necesarios en las rocas fisuradas e incompetentes. El precorte se aplica preferentemente en bancos de superficie para delimitar sectores, para cortar bloques; para evitar una excesiva sobrerotura hacia atrás (back break) y para formar los taludes finales del pit. (Exsa, 2014).

2.2.6. Voladura de 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:

$$E = (16 \times Ø) \qquad \text{Ec. ……} \; 10$$

Donde:

E : espaciamiento.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Ø : diámetro del taladro vacío.

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 confinamiento de ambas son diferentes, en el precorte mientras no sale la voladura principal en burden es 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 la voladura. El burden debe ser mayor que el espaciado para asegurar que las facturas se "encadenen" apropiadamente entre los taladros antes que el bloque de burden se desplace, pudiendo estimar con la ecuación:

$$B = (1{,}3 \times E) \qquad \text{Ec. ..... 11}$$

Donde:

B : burden o línea de menor resistencia.

E : espaciado entre taladros.

Cuando los taladros de recorte tienen el mismo diámetro que los de producción la técnica se conoce como Trim Blasting. (Exsa, 2014).

2.2.7. 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

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

que es más reducido, como en las cargas de explosivo que deben ser menores y desacopladas. El disparo es normalmente en una sola etapa. La voladura amortiguada también denominada suave o Cushion blasting, recientemente ha incrementado sus posibilidades con el desarrollo de nuevas técnicas como la de ADP (Air deck presplitting) y la de cargas especiales de baja densidad tipo Examon–R o ANFO combinado con prills de polietileno, aunque en este caso se presentan problemas de segregación en el carguío neumático por diferencias de densidad. También se considera dentro de esta técnica a la "perforación en línea" (Line drilling) o control de fractura límite, en la que una fila de taladros de pequeño diámetro, estrechamente espaciados y sin carga explosiva crean un plano de debilidad que producirá el corte como efecto de la voladura principal. El plano actuará como una cortina que limita el paso de las ondas explosivas hacia atrás. Existen numerosos arreglos de taladro para obtener cargas reducidas o desacopladas, para taladros en superficie y en subterráneo, como los siguientes. (Exsa, 2014).

2.2.8. Voladura amortiguada con cargas de baja densidad

En voladuras de contorno de gran diámetro en superficie, el desacoplamiento del ANFO se consigue colocándolo en mangas o tubos de plástico, de menor diámetro que el taladro, o distribuyéndolo en cargas espaciadas mediante separadores especiales de madera u otro material, lo que resulta costoso, por lo que prefiere bajar la densidad del explosivo, mediante tres procedimientos:

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

1. Reduciendo el contenido de petróleo a menos del 6% (si un ANFO 94/6 desarrolla 3 780 J/g, uno con (98,5)/(1,5) sólo desarrollará 2 293 J/g).

2. Diluyéndolo con cloruro de sodio, hasta un máximo del 20%. La sal reduce la energía y actúa como refrigerante, con lo que disminuye la velocidad de detonación y el calor de explosión.

3. Mezclando el ANFO con bolitas de poliestireno expandido de 0,5 a 3 mm (tecnoport), técnica que está ganando difusión con la denominación de ANFOPS.

Con su densidad de 0,03 kg/dm3, como diluyente en una proporción de hasta 80% de mezcla, se consigue concentraciones de energía y densidades por metro de sólo un 10% de las que corresponden al ANFO convencional, aunque existen dificultades de segregación por densidades dentro del taladro en carguío neumático de pequeño diámetro. (Exsa, 2014).

2.2.9. Voladura controlada en trabajos subterráneos

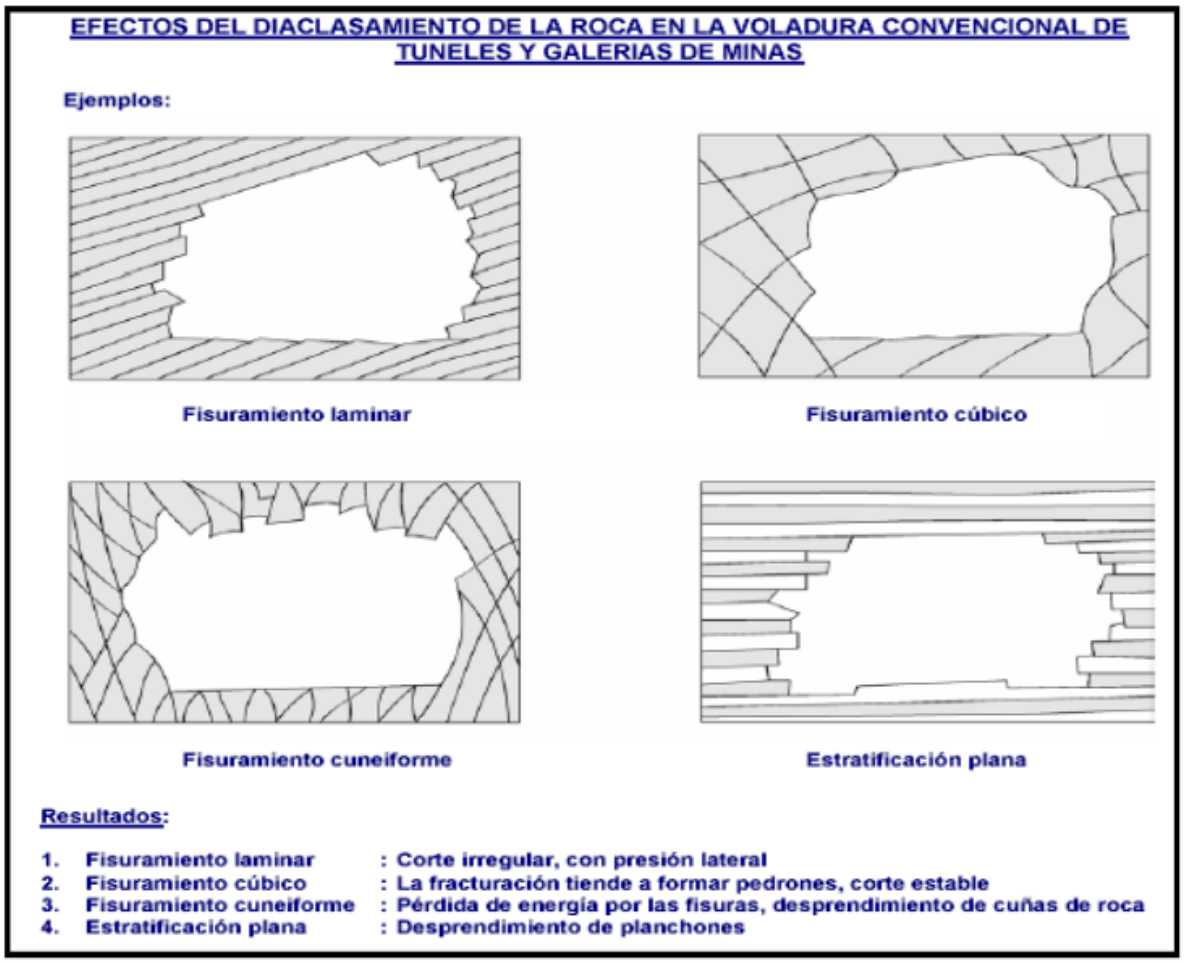
La voladura convencional en túneles y otros trabajos de subsuelo, además de dejar perfiles irregulares según el sistema de diaclasamiento de la roca, normalmente afecta a la estructura remanente a profundidades que pueden llegar hasta 2 m maltratándola y debilitándola según su tipo y condición, lo que puede tener consecuencias de inestabilidad o desprendimiento con el tiempo.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Este maltrato es mayor cuando se dispara con cargas excesivas, o cuando no se mantiene una adecuada secuencia de encendidos y los taladros salen casi simultáneamente. En obras de ingeniería de cierta consideración, como los túneles de irrigación o de hidroeléctricas, que deben ser estables y que usualmente se cementan, el perfil periférico irregular es inconveniente, debiendo ejecutarse adecuadamente para obtener una pared final de superficie lisa.

Para evitar este maltrato y obtener paredes de corte liso se emplean métodos de voladura periférica controlada, figura 03.

Figura 3. Efectos del diaclasamiento de la roca en la voladura convencional



Fuente: Manual de Exsa,. Citado por Parra, 2018.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

2.2.10. Condiciones necesarias para la voladura controlada en minería subterránea

Aplicables al acabado de túneles, cámaras y excavaciones para cimientos de máquinas y obras civiles.

a. Perforación. - El diámetro de los taladros de contorno normalmente es igual a los de producción.

La precisión de la perforación es fundamental, debe mantenerse el alineamiento y paralelismo de los taladros de acuerdo al diseño del corte a realizar, para mantener un burden constante en toda la longitud del avance, de otro modo no se formará el plano de corte. Un mal emboquillado o desviaciones resultarán en sobrerotura o salientes de roca, así, desviaciones mayores de 0,10 a 0,15 m. al fondo pueden deformar el corte o dar lugar a tacos quedados (Bootlegs).

El espaciamiento entre taladros debe ser menor que el de voladura convencional, la relación espacio/burden baja de E = 1,3B normal a E = (0,5 ó 0,8)B. En la práctica, para voladura amortiguada, esta distancia se estima entre 15 a 16 veces el diámetro y el burden de 1,2 a 1,5 veces el espaciamiento, mientras que para precorte el espaciado será de 8 a 12 veces el diámetro, considerándose el burden infinito. Así en la práctica son esenciales espaciamientos entre 0,3 y 0,6 m.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

b. **Carga. -** Se requiere baja densidad de carga explosiva, lo que se obtiene con:

- Explosivos especiales de baja energía y velocidad, usualmente en cartuchos de pequeño diámetro., como el Exsacorte o Famecorte de 22 mm, que produce unos 1000 bares de presión, mientras que uno convencional puede llegar a 30 000 bar.

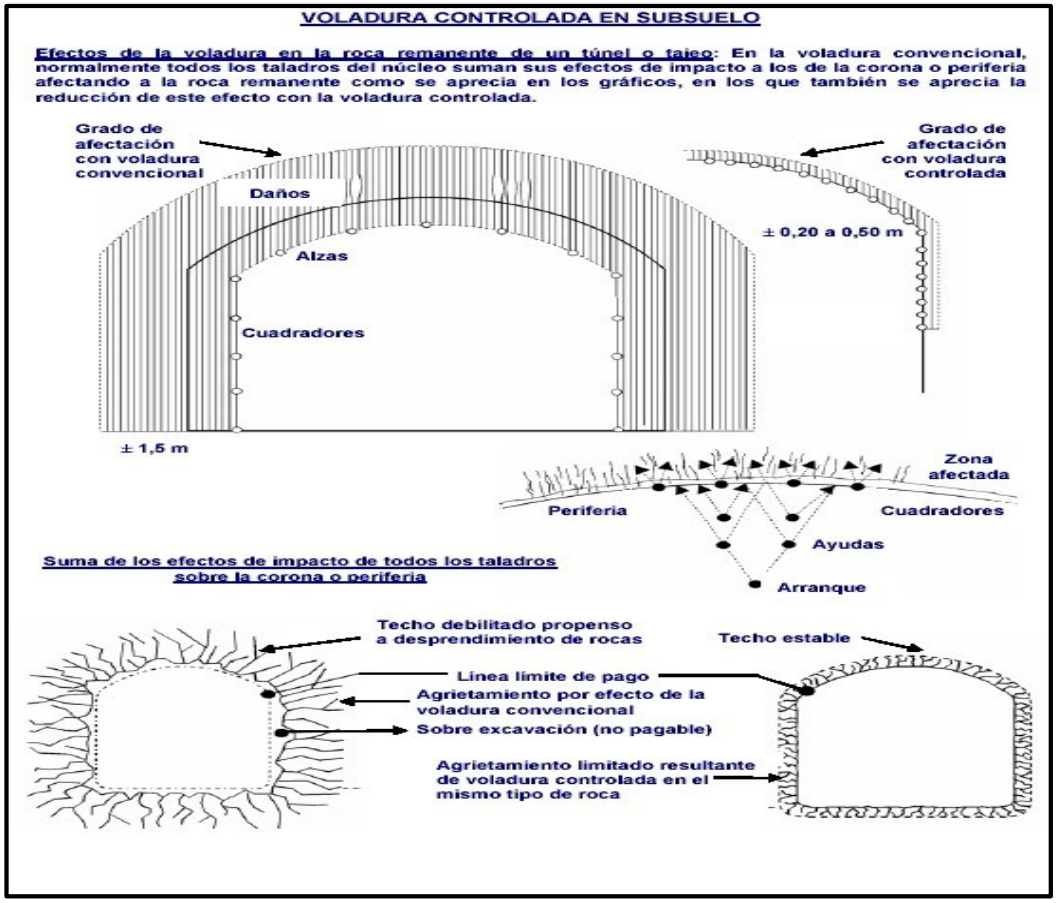
- La carga de columna debe ser desacoplada (no atacada), normalmente de sólo 0,5 veces el diámetro del taladro (relación 2:1) para poder formar un anillo de aire alrededor del explosivo que amortigüe el efecto de impacto al absorber parte de la energía de la explosión y debe distribuirse a todo lo largo del taladro.

- La carga de columna debe ser desacoplada (no atacada), normalmente de sólo 0,5 veces el diámetro del taladro (relación 2:1) para poder formar un anillo de aire alrededor del explosivo que amortigüe el efecto de impacto al absorber parte de la energía de la explosión y debe distribuirse a todo lo largo del taladro.

c. **Carga de fondo. -** Todo método de carguío requiere una carga de fondo de alta velocidad con factor de acoplamiento cercano al 100 %.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

Figura 4. Efectos de la voladura, el impacto sobre la corona o periferia de un túnel.



Fuente: Manual de Exsa,. Citado por Parra, 2018.

d. Disparo. - El disparo de todos los taladros del corte periférico debe ser simultáneo, o máximo en dos o tres etapas de retardo muy cercanas (si el perímetro a cortar es grande), de lo contrario el plano de corte puede no formarse completamente. Esto puede asegurarse con una línea troncal de encendido independiente. Debe tomarse en cuenta que la velocidad pico de partícula generada por el disparo puede llegar a causar excesivo daño a la roca remanente, efecto que se puede reducir manteniéndola por debajo de los 700 a 1 000 mm/s. Esta velocidad se puede estimar con la siguiente fórmula empírica:

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

$$VPP = Ce\ d\ x\ b \qquad Ec. \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 11$$

Donde:

VPP : Velocidad pico de partícula, en m/s.

Ce : Carga explosiva en caja, en kg.

D : Distancia radial desde el punto de detonación, en m.

b : Constante que depende de las propiedades estructurales.

y elásticas de la roca, y que varía de lugar a lugar.

Los medios usuales disponibles para carga controlada en pequeño diámetro son:

a. Tubos plásticos rígidos con carga interior de dinamita de baja velocidad y presión, acoplables para formar columnas de longitud requerida, con plumas centradoras para desacoplar la carga; ejemplo: Exsacorte o Famecorte de 22 mm de diámetro por 710 mm de longitud.

b. Cartuchos convencionales de dinamita espaciados entre sí a una distancia equivalente a la longitud de un cartucho (0,20 m), iniciados axialmente con cordón detonante de bajo gramaje (3 g/m).

c. Agentes de voladura de baja densidad, normalmente granulares con componentes diluyentes reducidores de energía como

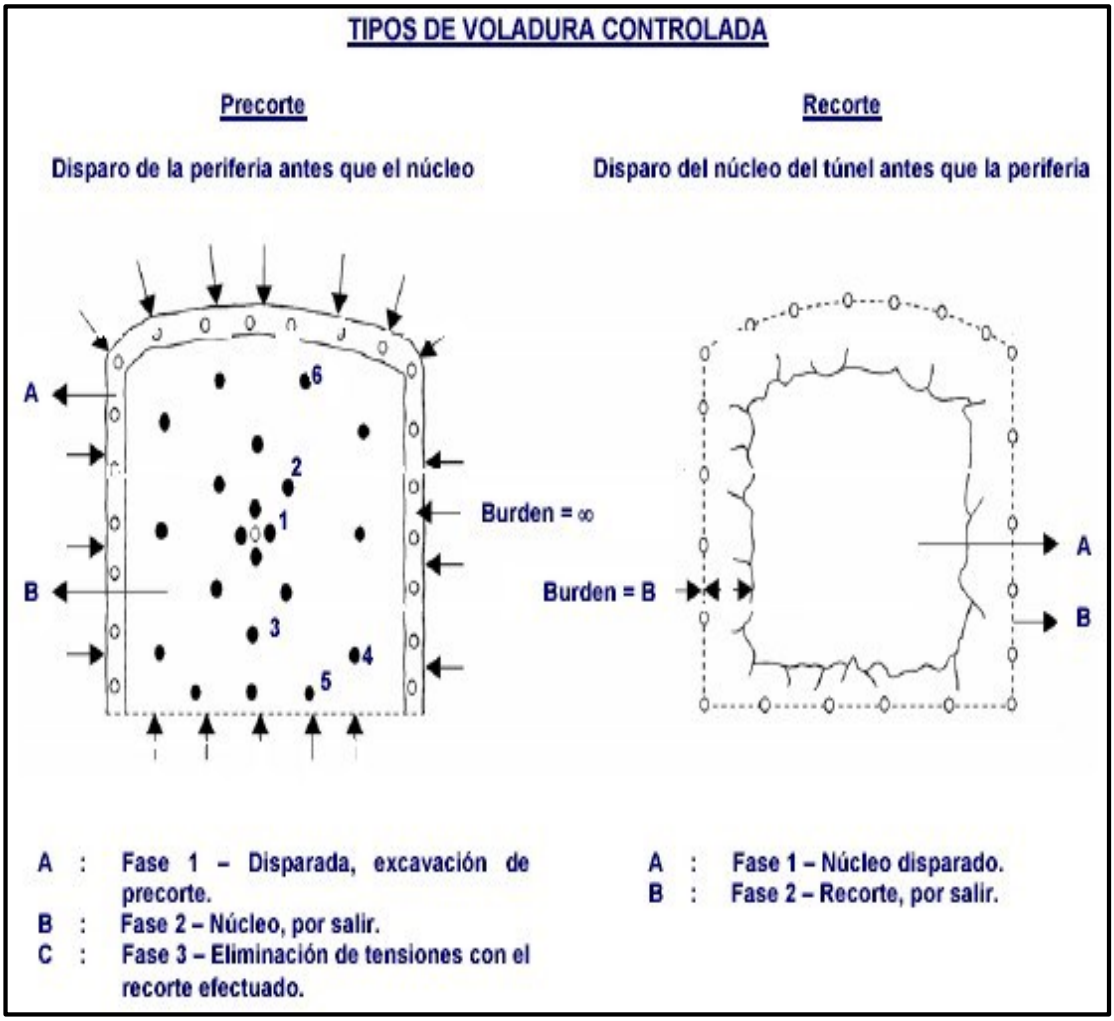
Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

polietileno expandido, aserrín, ceniza y otros. Tienen como inconveniente que pueden segregarse gravimétricamente y generan gases tóxicos.

d. Sistema de carga Air Deck con sólo carga de fondo y taco inerte, requiere adecuado control para asegurar resultados y la roca debe ser compatible con el método.

e. e. Cordón detonante de alto gramaje (60, 80, 120 g/m). Este elemento reduce la densidad de carga linear, pero es costoso.

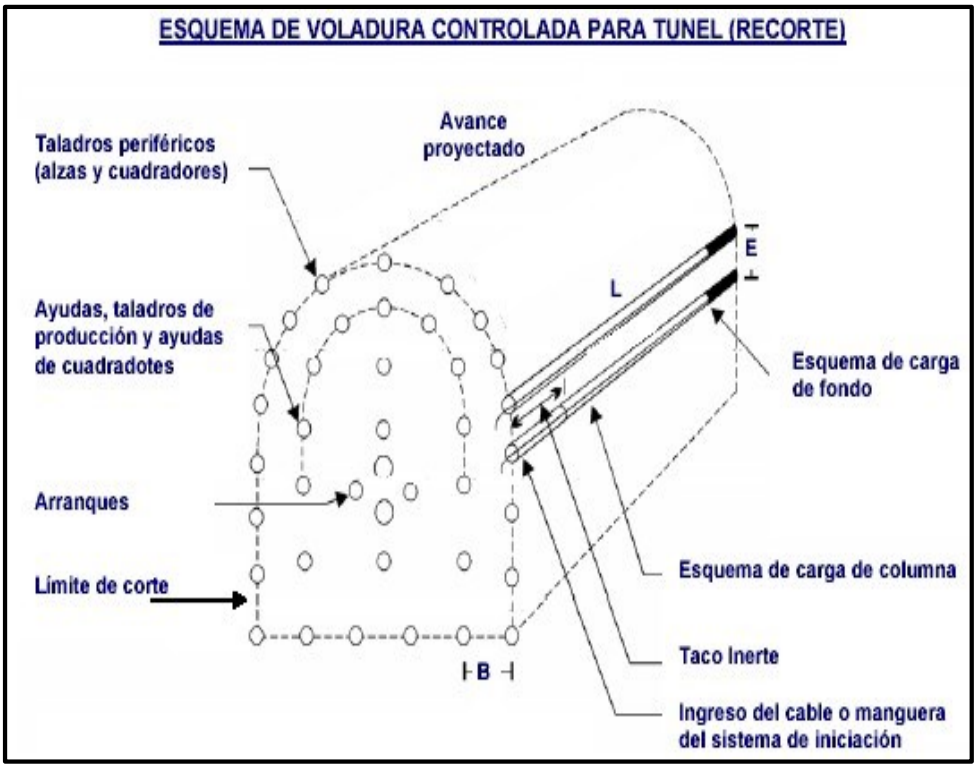
Figura 5. Tipos de voladura controlada; precorte y recorte.



Fuente: Manual de Exsa,. Citado por Parra, 2018.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Figura 6. Esquema de voladura controlada (recorte)



Fuente: Manual de Exsa,. Citado por Parra, 2018.

En la tabla N° 04 se da un ejemplo de valores propuestos para voladura controlada en túnel (Smooth Blasting) típicos para roca masiva y competente. (Exsa,. Citado por Parra, 2018).

Tabla 4. Valores propuestos para voladura controlada

DIAMETRO DEL TALADRO (mm)	ESPACIAMIENTO (m)	BURDEN (m)	CARGA EXPLOSIVA LINEAR Y DESACOPLADA	
			FACTOR DE CARGA (kg/m)	DIAMETRO ESTIMADO (mm)
38 a 45	0,48 a 0,60	0,60 a 0,90	0,18 a 0,37	22
50	0,60 a 0,75	0,90 a 1,05	0,20 a 0,40	29

Fuente: Manual de Exsa,. Citado por Parra, 2018.

Naturalmente estos valores como los dados en el siguiente cuadro, se deberán verificar o ajustar de acuerdo a las condiciones reales de la

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

roca y a las especificaciones del explosivo y método seleccionados. (Exsa,. Citado por Parra, 2018).

2.2.11. Mallas de voladura en túneles

Relación entre burden y espaciamiento (E/B) en la periferia:

- En voladura convencional: E = 1,3 a 1,5B
- En voladura controlada: E = 0,5 a 0,8B

Tabla 5. Valores comparativos entre voladura convencional y controlada, amplitud del daño a la roca

DIAMETRO (mm)	VOLADURA CONVENCIONAL		VOLADURA CONTROLADA	
	BURDEN (m)	ESPACIAMIENTO (m)	BURDEN (m)	ESPACIAMIENTO (m)
16	0,62	0,80	0,60	0,45
22	0,87	1,13	0,85	0,70
32 a 38	1,25	1,50	0,70	0,60
51	1,80	2,30	0,90	0,70
64	2,25	2,80	1,20	0,90
76	2,50	3,10	1,40	1,10

RANGOS DE ENRGIA Y DAÑO A LA ROCA REMANENTE				
DIAMETRO (mm)	TIPO DE EXPLOSIVO	CONCENTRACION LINEAR DE CARGA (kg/m)	PRESION DE TALADRO (bar)	AMPLITUD DEL MALTRATO CREADO (m)
45	ANFO	1,80	30 000	1,50 a 1,80
17 a 22	Exsacorte	0,80	900	0,20 a 0,30

Fuente: Manual de Exsa,. Citado por Parra, 2018.

2.1.1. Diseño de voladura controlada según Calvin J. Kenya

a. **Control del sobre rompimiento. -** Determina y explica el control del sobre rompimiento del macizo rocoso en su mayoría tajo abierto.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

b. **Voladuras controladas. -** Técnicas de voladura han sido desarrolladas para controlar el sobre rompimiento en los límites de la excavación.

c. **Principios de operación. -** El explosivo utilizado para el precorte y el recorte es normalmente uno que contiene cantidades considerables de nitrato de amonio. La experiencia muestra que los explosivos que producen altas cantidades de gases, producen una mejor fractura y reducen la posibilidad de formar grietas capilares en las paredes del barreno. Sin embargo, el tipo de explosivo que se utilice no es crítico. La mayoría de las fórmulas expresan la cantidad de explosivo requerido cómo los kilogramos de (cualquier) explosivo por metro de barreno. Reglas también indican que el diámetro de la carga sea menor a la mitad del diámetro del barreno. Al utilizar una carga con diámetro pequeño dentro de un barreno con un diámetro mayor, las presiones de los gases bajan rápidamente debido a la expansión dentro de un volumen mayor. Este procedimiento se llama desacoplamiento.

d. **Efectos de las condiciones geológicas locales. -** Las técnicas de control tales como el precorte, recorte y el barrena- do Lineal trabajan mejor en roca masiva. En roca masiva, se pueden observar las medias cañas o mitades de cada barreno en la pared final. En roca masiva, el 100 % de los barrenos producen medias cañas. Algunos operadores tratan de calificar el éxito o fracaso

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

de una voladura de precorte o amortiguada por lo que se llama el factor de media caña

e. **Precorte. -** Una voladura de precorte tiene la función de provocar que se forme una fractura y viaje hacia la superficie del terreno. Si esto sucede, ninguna cantidad de material de taco será suficiente y éste será expulsado.

f. **Voladura de recorte (Amortiguada). -** Las voladuras de recorte se disparan después de que la voladura de producción ha sido disparada. Están diseñadas de manera similar a las voladuras de precorte. El espaciamiento normalmente es mayor del que se pudiera esperar en un precorte.

g. **Barrenado lineal. -** El barrenado lineal es una técnica donde los barrenos normalmente se perforan de dos a cuatro diámetros uno de otro. Estos barrenos, descargados y muy cercanos uno de otro, bajo las condiciones geológicas adecuadas pueden actuar cómo concentradores de esfuerzos o guías para que las grietas se formen entre ellos. Las líneas de barrenos vacíos se utilizan en algunas ocasiones en las esquinas para guiar las grietas en un ángulo específico. La barrenación lineal se emplea también entre barrenos de precorte y de recorte para ayudar a guiar las grietas.

h. **Evaluación de resultados:**

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

i. **Causas del sobre-rompimiento. -** En general, ocurren dos tipos de sobre-rompimiento debido a una voladura de producción.

ii. Sobrerompimiento trasero.

iii. Sobrerompimiento lateral. (Parra, 2018).

2.1.2. Selección de explosivos para desarrollo horizontal

- El problema esencial en control de perímetros de desarrollo horizontal es control de daño y mantenimiento de techos y cajas parejas y sanas.
- Factores contribuyentes:
  - Errores en perforación
  - Selección de productos de contorno
  - Diseño en perforación y carguío
  - Selección de tiempos.
- **Escenarios de perforación. -** Se puede hablar de un error porcentual entonces este error controla el posicionamiento del taladro y la carga.

Selección de productos de contorno:

Elección entre productos desacoplados o productos de energía reducida. Efecto de productos desacoplados está claro – reducido

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

impacto debido a la falta de contacto directo con la roca (remover efecto de presión de detonación).

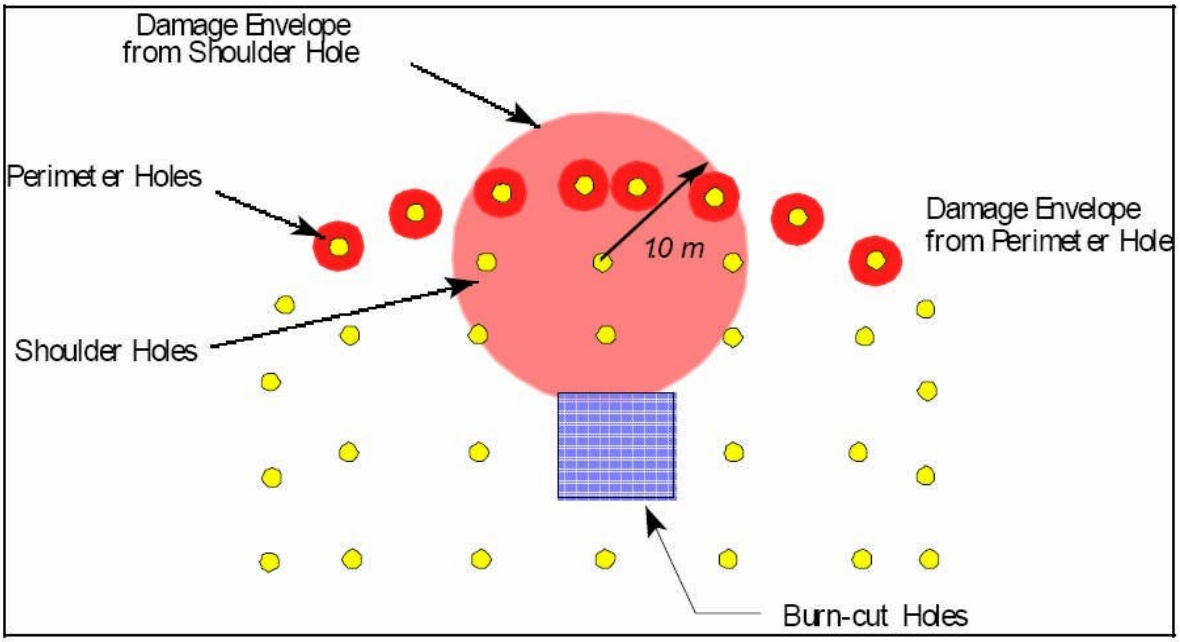
Efecto de productos de energía reducida – menos energía, menos presión de detonación, menos presión de barreno. Medias cañas vs. superficie sano, aunque irregular (Estudio Western Metals).

Objetivo – controlar – impacto.

Problemas o desafíos en voladura de perímetros. - Diseño de perforación y carguío, una vez escogido el producto de contorno, es necesario encajar la voladura de perímetro con la voladura de avance. Una buena voladura de perímetro no garantiza éxito final.

- **Influencia de cargas anteriores**

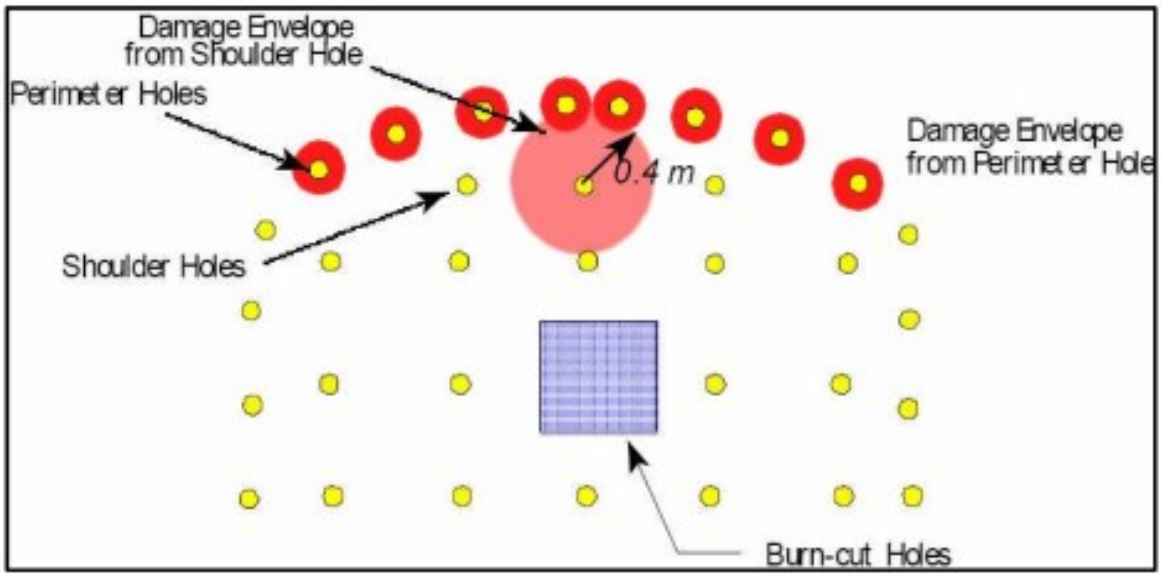
Figura 7. Taladros de voladura controlada perimétrico cargado con desacoplamiento.



Fuente Parra, 2018.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Figura 8. Influencia de la voladura en el perímetro con taladros cargados con desacoplamiento.



Fuente Parra, 2018.

2.1.3. Sobrerotura

La sobrerotura es un problema que se genera en labores de avance y producción, debido a una voladura no controlada, la cual es influenciada por las estructuras geológicas sobre el perfil de excavación, existiendo factores que provocan sobreexcavacion y caída de rocas como:

- Mal dimensionado de las áreas a excavar
- Voladura Sobrecargada
- Diseño de malla inapropiada a la condición de la roca
- Inapropiada selección del explosivo, según el tipo y condición de la roca

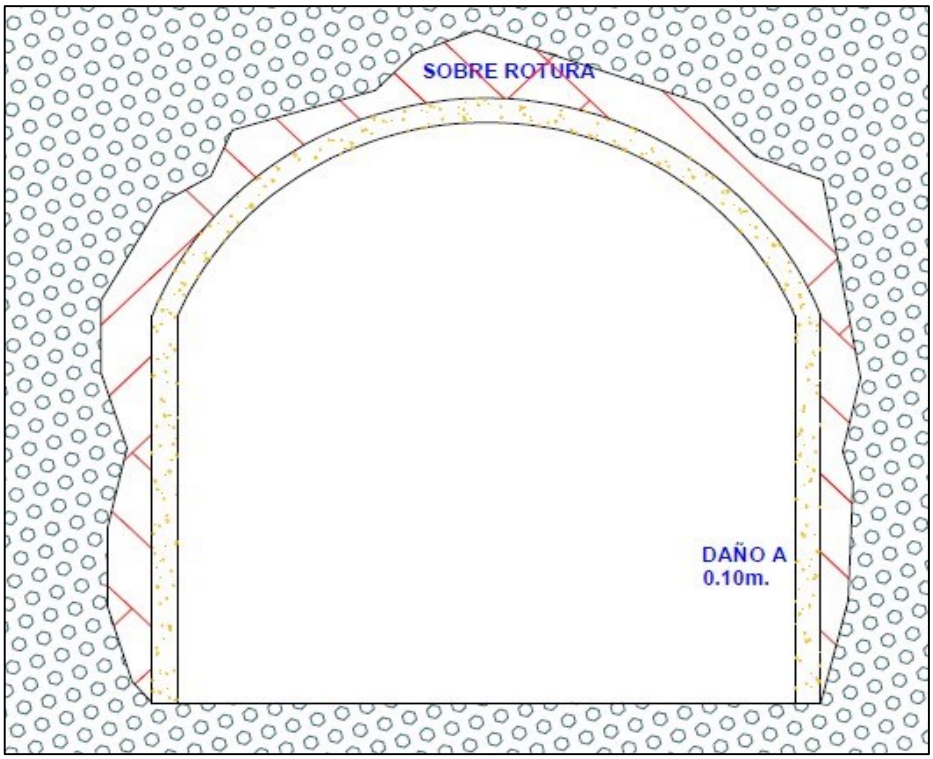
Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Esta tiene un efecto negativo en cuanto a costos de limpieza.

Sin embargo, para controlar la sobrerotura se deben perforar más taladros en el contorno para reducir el daño al macizo rocoso, lo cual genera un costo extra de perforación. Además, el costo de sostenimiento es directamente proporcional a la sobre rotura. Se debe tener en cuenta estos puntos para aplicar voladura controlada en los contornos.

El uso de la voladura controlada es una medida de solución apropiada a este problema, lo cual permitirá reducir el porcentaje de sobrerotura a parámetros aceptables. (Castro y Rodríguez, 2016).

Figura 9. Esquema de la forma en la que se presenta la sobrerotura.



Fuente: Fuente: Informe Sobrerotura 2015 – CMH. Citado por Castro y Rodríguez, 2016.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

2.3. Definición de Términos.

- **Perforación. -** Es la acción de aperturas en el macizo rocoso, huecos u orificios denominados taladros, con una distribución adecuada a fin de alojar la carga explosiva u otros fines (sostenimiento, drenaje, etc.) con la ayuda de máquinas denominadas perforadoras o perforatrices. El principio de la perforación se basa en el efecto mecánico de percusión y rotación, cuya acción de golpe y fricción producen el astillamiento y trituración de la roca. (Santana, 2014).

- **Taladro. -** Se denomina taladro al hueco u orificio producto de la perforación. (Santana, 2014).

- **Malla de perforación. -** Distribución adecuada de los taladros en un frente, la distribución de los taladros se hace con un previo cálculo del burden y espaciamiento para una voladura eficiente. (Santana, 2014).

- **Explosivos. -** Este término alcanza un rango muy amplio de químicos. Un explosivo es un compuesto químico o una mezcla de compuestos químicos a los cuales cuando se les da un estímulo correcto o incorrecto ellos sufren una reacción química violenta exotérmica. (Santana, 2014).

- **Ingeniería geológica. -** Es la ciencia aplicada alestudio y solución de problemas de la ingeniería y del medio ambiente producidos como consecuencia de la iteración entre las actividades humanas y el medio geológico. El fin de la ingeniería geológica es asegurar que

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

los factores geológicos condicionantes de las obras de ingeniería sean tenidos en cuenta e interpretados adecuadamente, así como evitar o mitigar las consecuencias de los riesgos geológicos. (Santana, 2014).

- **Mecánica de rocas. -** Es la ciencia teórica y práctica del comportamiento de las rocas y de los macizos rocosos, es la rama de la mecánica referente a la respuesta de la roca y del macizo rocoso a los campos de fuerza de su ambiente físico. (Santana, 2014).

- **Gestión de costos. -** Es una técnica que ha generado algunos métodos de costeo que han impactado en la contabilidad de gestión, tanto en la determinación como en la concentración de los costos, en la unidad producto (Osorio, 1998) como es el caso del sistema de costos basado en actividades (ABC). En los últimos años estas técnicas han sido la clave del éxito de muchas empresas, pues han contribuido a su optimización. Como respuesta al desarrollo de las organizaciones, la globalización e internacionalización de los mercados, la competencia acelerada, la creciente incertidumbre, turbulencia del entorno y la introducción y avance de la tecnología en la actividad manufacturera; se ha originado una importante revolución en los sistemas internos de producción y de control, por ende, en los sistemas de gestión de las empresas que han dejado como único elemento de competitividad la minimización de los costos. (Santana, 2014).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- **Costos. -** El Costo o Coste es el gasto económico que representa la fabricación de un producto o la prestación de un servicio. Dicho en otras palabras, el costo es el esfuerzo económico (el pago de salarios, la compra de materiales, la fabricación de un producto, la obtención de fondos para la financiación, la administración de la empresa, etc.) que se debe realizar para lograr un objetivo operativo. Cuando no se alcanza el objetivo deseado, se dice que una empresa tiene pérdidas. (Santana, 2014).

- **Clasificación de costos. -** Clasificación según función que cumplen:

  - **Costos de Producción:** Son aquellos costos incurridos que permiten obtener determinados bienes a partir de otros, mediante el empleo de un proceso de transformación, divididos en tres tipos de costos: materia prima, mano de obra y costos indirectos de producción. (Santana, 2014).

  - **Costo de Administración:** Son aquellos costos necesarios para la gestión del negocio, es decir, los costos incurridos para la dirección de una organización. (Santana, 2014).

  - **Costo de Ventas:** Es el costo que posibilita el proceso de comercialización (venta) de los bienes o servicios que oferta la organización a los clientes. (Santana, 2014).

  - **Costo de Financiación:** Son aquellos costos incurridos para la obtención de fondos aplicados al negocio. Por ejemplo: préstamos, intereses pagados por préstamos, comisiones y

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

otros gastos bancarios, impuestos derivados de las transacciones financieras. (Santana, 2014).

- **Desacoplamiento:** se define como el diámetro del barreno dividió por el diámetro de la carga.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. El Problema

La necesidad de la construcción de la cortada Carlos en la Mina San Roque FM, en este año 2021, para acceder a las reservas probadas de carbón antrasitico, hace que se considere cambios en las técnicas de diseño y trazo de la malla de perforación con la determinación de los parámetros de voladura controlada para reducir la sobrerotura, este diseño de la malla generalmente esta basado en métodos empíricos y en la experiencia del perforista, motivo por el cual se presentan limitaciones para su aplicación en el tipo además por el tipo de roca que es una cuarcita blanca que presenta muchos planos de estratificación, se ha notado que en cada disparo hay variación de la malla de perforación y la sección de la labor varía mucho, la sobre rotura ocasiona mas gasto y perdida de tiempo en sacar el estéril producto de le sobre excavación, se incrementa también el costo del sostenimiento, entre los problemas mas notorios podemos mencionar que son:

- No se traza la malla de perforación en el frente de trabajo.
- La falta de paralelismo.
- La corona es irregular por la sobre rotura.
- Falta de supervisión y control al perforista
- Mucho explosivo en el taladro.
- Poco avance lineal por disparo.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

3.1.1. Descripción de la realidad problemática

Para la construcción de la cortada Carlos en la Mina San Roque FM, se esta trabajando con una malla de perforación y voladura de rocas que se basa en métodos empíricos, motivo por el cual se hace necesario probar con métodos matemáticos que se cuantifiquen con parámetros que permitan tener labores estables, seguras y uniformes eliminando todos las deficiencias de la perforación como son: la falta de paralelismo, mal diseño del arranque y de los taladros de alivio, inadecuados espaciamientos y buden y no tener la longitud completa del taladro; en la voladura no obtener una sección deseable y uniforme, mucho consumo de Anfo, presencia de tiros cortados y fallados, presencia de bancos de tamaño no maniobrable, sobrerotura de material estreial, etc. Que provocan pérdidas de tiempo y demoras elevando los costos, de la construcción de la cortada.

3.1.2. Formulación del Problema

3.1.2.1. Formulación del problema General

¿Cómo determinar los parámetros de voladura controlada para reducir la sobrerotura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021?

3.1.2.2. Formulación de problemas específicos

1. ¿Cómo determinar los parámetros de voladura controlada de la cortada Carlos de la mina San Roque FM?

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

2. ¿Cómo calcular el factor de carga y el factor de potencia, en la cortada Carlos de la mina San Roque FM?

3. ¿Cómo analizar la sobre sobrerotura de la voladura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM?

3.1.3. Objetivos de la investigación

3.1.3.1. Objetivo General

Determinar los parámetros de voladura controlada para reducir la sobrerotura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021.

3.1.3.2. Objetivos Específicos

1. Determinas los parámetros de voladura controlada de la cortada Carlos de la mina San Roque FM.

2. Calcular el factor de carga y el factor de potencia, en la cortada Carlos de la mina San Roque FM.

3. Analizar la sobre sobrerotura de la voladura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM.

3.1.4. Justificación e importancia

La presente investigación se justifica porque, usando el diseño de voladura controlada según Calvin J. Kenya, se tendrá secciones uniformes y se disminuya la sobre rotura trayendo consigo un gran ahorro en la construcción de la cortada Carlos en la mina San Roque FM.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Es importante porque se aplicará métodos matemáticos que tendrá muchos beneficios tanto en la estabilidad como económicos.

3.1.5. Alcances

El alcance está dirigido a determinar todos los parámetros de voladura controlada para reducir la sobrerotura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM.

3.1.6. Delimitación De La Investigación

La investigación se realizará exclusivamente en la determinación de parámetros de voladura controlada para reducir la sobrerotura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021.

3.2. Hipótesis

Hipótesis General

La determinación de parámetros de voladura controlada reducirá la sobrerotura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021.

Hipótesis Nula

La **NO** determinación de parámetros de voladura controlada **NO** reducirá la sobrerotura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021.

Hipótesis Específicas

1. Se determina los parámetros de voladura controlada de la cortada Carlos de la mina San Roque FM.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

2. Se calcula el factor de carga y el factor de potencia, en la cortada Carlos de la mina San Roque FM.

3. Se analiza la sobre sobrerotura de la voladura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM.

3.3. Variables

Variable Independiente (x):

Determinación de parámetros de voladura controlada.

Variable dependiente (y):

Reducir la sobrerotura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021.

3.3.1. Operacionalización de variables

Tabla 6. Operacionalización de variables.

Nombre de la Variable	Dimensiones	Indicadores
V.I. Determinación de parámetros de voladura controlada.	Cantidad de taladros	N°
	Diámetro de taladro	mm.
	Tipo de arranque	Adimensional
	Cantidad de explosivo	Kg
	Diámetro del explosivo	mm.
	Factor de carga	Kg/m^3
	Avance lineal	m.
	Tipo de taco	Adimensional
	Longitud de taco	m.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

	Inclinación y paralelismo	°C
	Desacoplamiento.	Adimensional
	Presión de detonación.	Kbar, Mpa
	Factor de carga y potencia.	Kg/m3
	Carga lineal en el taladro.	cm
	Energía dentro de un taladro.	Joule
	Velocidad de detonación de los explosivos	m/seg
	Densidad.	Kg/m3
	Tipo y calidad de la roca	RMR y RQD
Reducir la sobrerotura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021.	Sección de la labor	m^2
	Avance lineal	Metros/turno
	Cantidad de material producto de la sobrerotura	m3

Fuente: Adaptación propia.

3.4. Diseño de la investigación

3.4.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es APLICADA, porque se determinarán los parámetros de voladura controlada para reducir la sobrerotura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021.

3.4.2. Nivel de la investigación

El nivel será de investigación descriptiva, porque describe los resultados obtenidos después de determinar los parámetros de voladura controlada para reducir la sobrerotura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

3.4.3. Método

El método es del método científico y es de carácter cuantitativo.

3.4.4. Población y muestra

Población

Todas las voladuras de la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021.

Muestra

Serán tres estarán ubicados: en la progresiva 0 + 050, 0 + 100 y 0 + 150.

3.4.5. Técnicas y procedimientos de recolección de datos

Las técnicas empleadas son:

- **Recopilación documental:** Consistió en la revisión de los registros de los archivos de la empresa relacionados a seguridad y salud ocupacional, con la finalidad de obtener información referente a la situación de la empresa.

- **Encuestas estructuradas:** Se estructuraron encuestas a fin de que todos los trabajadores respondan en forma anónima, con la finalidad de saber la opinión antes y después de la implementación del sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional de la empresa.

Procedimiento de recolección de datos:

Los datos son números o medidas que fueron recopilados como resultado del análisis documental de la mina y de las encuestas al perforista y a su ayudante.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

3.4.6. Tratamiento de los datos

La aplicación del instrumento de medición va a producir un conjunto de datos, pero, tal como son recolectados serán poco informativos y difícilmente interpretables. Es por ello que será necesaria la elaboración de tablas para el ordenamiento de datos operacionales:

- Tabla de los parámetros de voladura controlada.
- Determinación del porcentaje de sobrerotura.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

CAPITULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos

En el diseño de la perforación y voladura de rocas, las propiedades físicas, mecánicas, químicas, estratigráficas y las características del macizo rocoso en general desempeñan un papel importante, por lo tanto, es necesario determinación de parámetros de voladura controlada para reducir la sobrerotura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021. La voladura controlada perimetral, perimétrica o de contorno que sirve para mejorar la competitividad del macizo rocoso circundante a la labor minera, el objetivo de esta técnica de voladura, es evitar el rompimiento de la roca fuera de límites previamente establecidos, es decir evitar la sobrerotura (overbreak). Es un método especial que permite obtener superficies de corte lisas y bien definidas, al mismo tiempo que evita el agrietamiento excesivo de la roca remanente, con lo que contribuye a mejorar su estabilidad, aspecto muy importante para tener un macizo rocoso estable. (Salas,2014).

Se dice que una voladura básicamente es mal realizada cuando:

- Se obtiene material con granulometría muy gruesa.
- El tonelaje de material producto del disparo es inferior o excedente a lo esperado.
- El avance por disparo (metros de avance por disparo) es inferior a lo esperado, y trae como consecuencia el rendimiento de los equipos de acarreo y transporte disminuya porque al trasladar muchos “bolones” el factor de

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

llenado de los equipos de transporte disminuye, y afecta a la programación de trabajo de los equipos.

- Se debe realizar voladuras secundarias producto de la presencia de tiros cortados
- y soplados, bancos de gran dimensión que generan una condición sub estándar.
- Como consecuencia de los problemas mencionados el costo de voladura se
- incrementa debido a la sobre voladura que se debe realizar, siendo para la Unidad
- Paraíso que mensualmente entrega a planta un promedio de 4 000 TM/mes que
- nuevamente tienen que ser procesadas, es decir que al ser trasladados hacia la planta
- de trituración tiene que ser reducido los bancos con combas hasta alcanzar la
- granulometría de 8" para poder pasar a la etapa de chancado primario en planta y un
- promedio de 200 m de avance lineal mes.

4.1.1. Voladura controlada de Precorte

Consiste en crear un plano de contacto o fractura en el macizo rocoso, antes que los taladros de producción hayan sido iniciados. Esto se logra perforando

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

una fila de taladros generalmente de diámetro pequeño, los cuales son cargados con mezclas explosivas comerciales desacopladas. Es perforar una fila de taladros cercanamente espaciados y con un ángulo correcto respecto al límite de la excavación planeada. Dichos taladros son ligeramente cargados con mezclas explosivas comerciales adecuadas; los cuales deben ser detonados, instantáneamente antes que el disparo de producción sea iniciado. Lo anterior genera una falla tensional que creara una fractura entre taladro y taladro, la cual permite la disipación de las fuerzas y la expansión de los gases que provienen del disparo de producción. (Salas,2014).

4.2. Parámetros de voladura controlada de la cortada Carlos de la mina San Roque FM

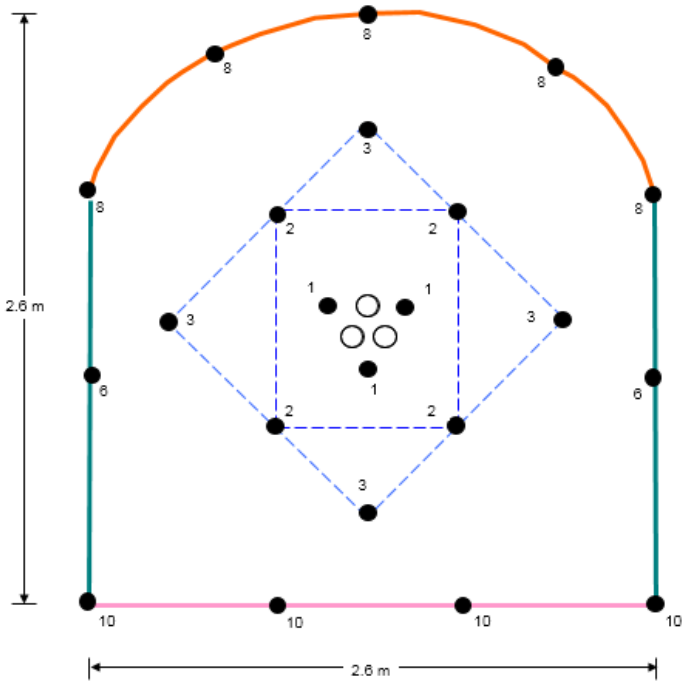
Para la determinación de parámetros de voladura controlada para reducir la sobrerotura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021, se utilizó los siguientes criterios:

- Tamaño de fragmentación requerido.
- Diámetro del taladro de perforación.
- Burden y espaciamiento de la malla de perforación.
- Condiciones geológicas presentes.
- Dureza del macizo rocoso.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Figura 10. Parámetros y eficiencias en perforación y voladura en la cortada Carlos - mina San Roque FM antes de la determinación.

PARAMETROS Y EFICIENCIAS EN PERFORACION Y VOLADURA : CORTADA CARLOS MINA SAN ROQUE FM, ANTES



A) **PARAMETROS TECNICOS:**

Sección :	2.6	M	X	2.6 M
Tipo de Roca :	Suave			
Tipo de Material:	Carbón de Piedra tipo Antrasitico			
Densidad:	2.27	ton / m^3		
Volumen :	10.1	m^3		
Tonelaje :	22.9	tms		

B) **EFICIENCIA:**

Avance por Disparo :	1.49	m / disparo	(promedio)
Long. Perf. Efectiva:	1.65	m / taladro	(promedio)
Eficiencia en Perforaciói	90%		
Eficiencia en Voladura :	90%		
Factor de Perforación:	27.68	m perf. / m avance	
Factor de Potencia:	0.70	Kg / ton	
Factor de Carga:	1.6	Kg / m3	

C) **PERFORACION:**

N° de Taladros :	25	
Long. Barreno (6 pies) :	1.83	m
Tiempo de perforación:	2.1	h

D) **VOLADURA:**

Secuencia de Salida	Dist. de taladros	Taladros		Cartuchos por Taladro	Cartuchos de Dinamita			Peso Explosivos (Kg)
		Cargados	Vacios		Gelatina 75% 7/8 X 7"	Semexa 60% 7/8 X 7"	Total	Total
1	**Arranque**	3	3	12	36	0	36	3.17
2	**1ra. Ayuda**	4	0	10	40	0	40	3.52
3	**2da. Ayuda**	4	0	8	0	32	32	2.56
4	**3ra. Ayuda**	0	0	8	0	0	0	0.00
5	**Ayudas de Cuadrador**	0	0	8	0	0	0	0.00
6	**Cuadradores**	2	0	7	0	14	14	1.12
7	**Ayuda Corona**	0	0	6	0	0	0	0.00
8	**Corona**	5	0	6	0	30	30	2.40
9	**Ayuda Arrastre**	0	0	8	0	0	0	0.00
10	**Arrastre**	4	0	10	0	40	40	3.21
	Total	**22**	**3**	**83**	**76**	**116**	**192**	**15.99**

E) **ACCESORIOS DE VOLADURA:**

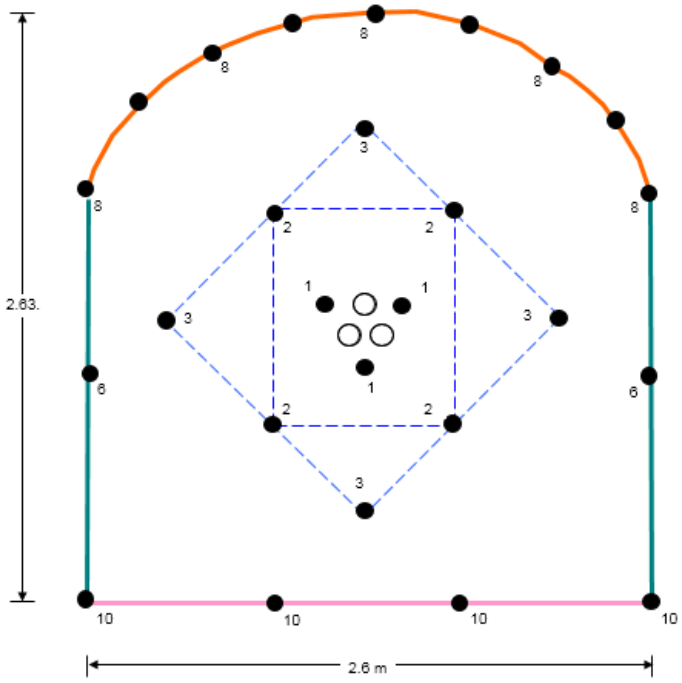
Detonador No Eléctrico PC < 100 ms	3	Und	(Puede ser Fanel, Excel, Tecnel)
Detonador No Eléctrico PL > 100 ms	19	Und	(Puede ser Fanel, Excel, Tecnel)
Pentacord :	11	m	
Mecha lenta :	8	m	
Mecha rapida :	2	m	
Fulminante :	2	Und	
Conector :	2	Und	

Fuente: Elaboración propia.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Figura 11. Parámetros y eficiencias en perforación y voladura en la cortada Carlos - mina San Roque FM después de la determinación.

PARAMETROS Y EFICIENCIAS EN PERFORACION Y VOLADURA : CORTADA CARLOS MINA SAN ROQUE FM, DESPUES



A) PARAMETROS TECNICOS:

Sección :	2.6 M X 2.6 M	
Tipo de Roca :	Suave	
Tipo de Material:	Carbón de Piedra tipo Antrasitico	
Densidad:	2.27 ton / m^3	
Volumen :	10.2 m^3	
Tonelaje :	23.2 tms	

B) EFICIENCIA:

Avance por Disparo :	1.51 m / disparo	(promedio)
Long. Perf. Efectiva:	1.70 m / taladro	(promedio)
Eficiencia en Perforaciói	93%	
Eficiencia en Voladura :	89%	
Factor de Perforación:	32.65 m perf. / m avance	
Factor de Potencia:	0.64 Kg / ton	
Factor de Carga:	1.4 Kg / m3	

C) PERFORACION:

N° de Taladros :	29
Long. Barreno (6 pies) :	1.83 m
Tiempo de perforación:	2.1 h

D) VOLADURA:

Secuencia de Salida	Dist. de taladros	Taladros		Cartuchos por Taladro	Cartuchos de Dinamita			Peso Explosivos (Kg)
		Cargados	Vacios		Gelatina 75% 7/8 X 7"	Semexa 60% 7/8 X 7"	Total	Total
1	Arranque	3	3	10	30	0	30	2.64
2	1ra. Ayuda	4	0	8	32	0	32	2.82
3	2da. Ayuda	4	0	8	0	32	32	2.56
4	3ra. Ayuda	0	0	8	0	0	0	0.00
5	Ayudas de Cuadrador	0	0	8	0	0	0	0.00
6	Cuadradores	2	0	7	0	14	14	1.12
7	Ayuda Corona	0	0	6	0	0	0	0.00
8	Corona	5	4	6	0	30	30	2.40
9	Ayuda Arrastre	0	0	8	0	0	0	0.00
10	Arrastre	4	0	10	0	40	40	3.21
	Total	22	7	79	62	116	178	14.75

E) ACCESORIOS DE VOLADURA:

Detonador No Eléctrico PC < 100 ms	3	Und	(Puede ser Fanel, Excel, Tecnel)
Detonador No Eléctrico PL > 100 ms	19	Und	(Puede ser Fanel, Excel, Tecnel)
Pentacord :	11	m	
Mecha lenta :	8	m	
Mecha rapida :	2	m	
Fulminante :	2	Und	
Conector :	2	Und	

Fuente: Elaboración propia.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

4.3. Factor de carga y el factor de potencia, en la cortada Carlos de la mina San Roque FM

Factores de carga y potencia antes de la determinación de los parámetros:

El cálculo de factor de carga se ha realizado mediante las fórmulas que son aplicadas para cada experimento planteado anteriormente:

Factor de carga = Carga explosiva (Kg) / Volumen roto (m).

- Factor de Carga = 1.60 Kg. / m3

Cálculo del factor de potencia:

Factor de potencia = Carga explosiva (Kg) / Toneladas de mineral (t)

- Factor de Potencia = 0.70 Kg. / Tm.

Factores de carga y potencia Después de la determinación de los parámetros:

- Factor de Carga = 1.40 Kg. / m3.
- Factor de Potencia = 0.64 Kg. / Tm.

4.4. Sobre sobrerotura de la voladura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM

Resultados del porcentaje de sobrerotura, en las pruebas realizadas haciendo uso de la voladura de precorte, se obtuvieron los resultados de la tabla a continuación, donde se puede observar la sobrerotura.

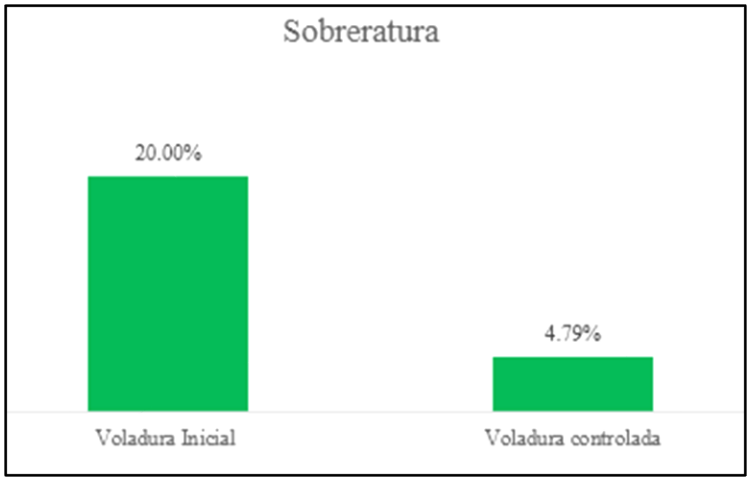
Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Tabla 7. Resultados del porcentaje de sobrerotura, usando tubos de PVC ensamblados.

Descripción	Sección de diseño Promedio (m2)	Sección real Promedio (m2)	Rotura Real (m3)	Rotura Diseño (m3)	Sobrerotura
Voladura Inicial	6.76	8.45	12.59	10.07	20.00 %
Voladura de Precorte	6.76	7.10	10.72	10.21	4.79 %
Porcentaje de sobre rotura				=	15.21 %

Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Sobrerotura.



Fuente: Elaboración propia.

4.1 Discusión de resultados

En el diseño de perforaciones y voladuras, las propiedades mecánicas, físicas y químicas y la estratigrafía y las características estructurales de la masa rocosa desempeñan un papel importante, por lo tanto, el principio de los haces de sonido se basa en un buen diseño de la red y la supervisión del proceso de perforación.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

El avance por disparo en la voladura inicial en promedio fue de 1.49 y cuando se aplicó la voladura de pre corte este subió a 1.51 metros por lo que se mejoró el avance.

La voladura inicial tiene un a sobre rotura de 20 % y después de determinar los parámetros este baja a 4.79% y de esta manera se mejoró la estabilidad de la cortada lo cual es muy beneficioso la reducción de la sobre rotura fue de 15.21 % y de esta manera se asemeja mucho a la sección de diseño.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

CONCLUSIONES.

1. Se determinó los parámetros de voladura controlada logrando reducir en 15.21 % la sobre rotura en la construcción de la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021.

2. Se determinó los parámetros de voladura controlada de la cortada Carlos de la mina San Roque FM, Aumentando de 25 taladros en la voladura inicial con tres taladros vacío a 29 taladros con siete taladros no cargados, si bien es cierto se incrementa el costo de perforación, pero este se compensa con el menor uso de explosivos.

3. Se calculo el factor de carga y el factor de potencia, obteniéndose antes de la determinación el Factor de Carga = 1.60 Kg. / m3 y el Factor de Potencia = 0.70 Kg. / Tm. Como se puede apreciar el factor de carga bajo a = 1.40 Kg. / m3, y el Factor de Potencia = 0.64 Kg. / Tm.

4. La sobre rotura se redujo en un 15.21 %

5. El sistema de construcción de la cortada Carlos en la mina San Roque FM, es el convencional caracterizado por el uso de máquinas perforadoras tipo Jack Leg de marca RNP 250.

6. La aplicación de la voladura controlada cortada Carlos en la mina San Roque FM, permite controlara la estabilidad y la uniformidad del techo de la cortada, trayendo como consecuencia inmediata la reducción de costos de eliminación de material producto de la sobrerorura, y del uso necesario del sostenimiento óptimo.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

RECOMENDACIONES

1. La determinación de los parámetros de voladura controlada debe estandarizarse para lograr una fragmentación optima que permita que el ciclo de carguío y acarreo sea con menor esfuerzo y rápido.

2. Se debe de realizar un estudio exclusivo de la masa rocosa y su caracterización geomecánica, ya que se utiliza para determinar los parámetros de voladura.

3. Se debe de usar guiadores para mantener el paralelismo de los taladros.

4. El perforista debe detener una capacitación sobre el uso de nuevos explosivos que se adecuen más a la construcción de la cortada.

5. Siempre se tener especial cuidado en la perforación del arranque porque de este dependerá que se formen las caras libres y con ello se garantice una buena voladura controlada.

6. Se debe capacitar a todo el personal que trabaja en la construcción de la cortada en los procedimientos de escritos de trabajo.

7. Se debe capacitar a todo el personal que trabaja en la construcción de la cortada para que en la realización de sus actividades diarias siempre traten de minimizar los incidentes y garantizar un trabajo eficiente en el proceso de voladura controlada.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Castro, M. J. y Rodríguez, C. J. (2016). *Reducción de la sobrerotura en el Crucero 3910 del nivel 2360 de la mina "PEC" de la Cía. Consorcio Minero Horizonte.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo Facultad de Ingeniería. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Trujillo, Perú.

Chávez, Y. (2015). *Mejora de la granulometría mediante el diseño de malla de perforación y voladura aplicando el modelo de H en la Galería 370 de la zona Coturcan en la mina Huancapeti – año 2015.* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia. EAPIM. Huaraz, Perú.

Chinchay, J. . (2018). *Diseño de malla de perforación basado en los modelos Geomecánicos para optimizar la voladura en minería subterránea – 2018.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia. EAPIM. Huaraz, Perú.

Díaz, M. J., Guarín, A. M. y Jiménez, B: J. (2012). *Análisis y diseño de la operación de perforación y voladuras en minería de superficie empleando el enfoque de la programación estructurada.* Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

EXSA. (2014). *Manual práctico de voladura.* Lima, Perú.

Flores, D. (2019). *Determinación de los parámetros de voladura para optimizar la fragmentación en zona de mineral en la unidad minera Cuajone.* (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica del Perú. Facultad de Ingeniería. Carrera de Ingeniería de Minas. Arequipa, Perú.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2006). *Hernández Sampieri Roberto, FernMetodología de la Investigación. México: Editorial Mc Graw Hill, Cuarta Edición.* México.

Narváez, J. (2018). *Caracterización geomecánica del manto de carbón San Roque para el diseño y selección del tipo de sostenimiento de galerías, Cía. minera San Roque FM.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Facultad de Ingeniería de Minas Geología y Metalurgia. EAPIM. Huaraz, Perú.

Parra, G. (2018). *Reducción de la carga explosiva con el uso del explosivo EMULNOR, en la corona de labores de desarrollo para optimizar los costos de voladura en Cia minera MACDESA.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de Geología, Geofisica y Minas. Escuela Profesional de Ingeniería De Minas. Arequipa, Perú.

Rebolledo, F. (2018). *Desarrollo de metodología de diseño y planificación de tronadura controlada para administrar y controlar riesgos geotécnicos.* (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería de Minas. Santiago de Chile, Chile. .

Rivera, J. (2018). *Implementación del sistema de gestión ambiental ISO 14001:2015 para minimizar los impactos ambientales de la mina San Roque FM S.A.C. año 2017.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Facultad de Ingeniería de Minas Geología y Metalurgia EAPIM. Huaraz, Perú.

Salas, G. (2014). *Determinación de parámetros para la aplicación de la voladura de precorte en labores de desarrollo en Consorcio Minero Horizonte S.A.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. Facultad de Ingeniería. EAPIM, Abancay, Perú.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

Santana, L. . (2014). *Diseño de malla para perforación y voladura de frentes utilizando modelo matemático de Holmberg e índice de Volabilidad de Lylli.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ingeniería de Minas. Huancayo, Perú.

Serin, R. . (2017). *Reducir el porcentaje de dilución, mediante voladura controlada en los tajos de producción en la mina MARSA – RETAMAS.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo Facultad de Ingeniería. EAPIM. Trujillo, Perú.

Vilca, Y. (2019). *Voladura controlada y reducción porcentual de Dilución y costos en tajeo con uso de exsablock en la minera Aurífera Retamas S.A. – 2019.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano. Facultad de Ingeniería de Minas. Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Puno, Perú. .

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

ANEXOS

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIAS

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	METODOLOGIA	POBLACION
Problema General ¿Cómo determinar los parámetros de voladura controlada para reducir la sobrerotura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021?	**Objetivo General** Determinar los parámetros de voladura controlada para reducir la sobrerotura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021.	**Hipótesis General** La determinación de parámetros de voladura controlada reducirá la sobrerotura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021. **Hipótesis Nula.** La NO determinación de parámetros de voladura controlada NO reducirá la sobrerotura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021.	**Tipo** El tipo de investigación es APLICADA, porque se determinarán los parámetros de voladura controlada para reducir la sobrerotura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021.	**Población y Muestra** **Población** Todas las voladuras de la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021.
Problemas específicos	**Objetivos específicos**	**Hipótesis específicas**	**Nivel de la investigación.** El nivel será de investigación descriptiva, porque describe los resultados obtenidos después de determinar los parámetros de voladura controlada para reducir la sobrerotura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM – 2021.	**Muestra** Serán tres estarán ubicados: en la progresiva 0 + 050, 0 + 100 y 0 + 150.
¿Cómo determinar los parámetros de voladura controlada de la cortada Carlos de la mina San Roque FM?	Determinas los parámetros de voladura controlada de la cortada Carlos de la mina San Roque FM.	Se determina los parámetros de voladura controlada de la cortada Carlos de la mina San Roque FM.		
¿Cómo calcular el factor de carga y el factor de potencia, en la cortada Carlos de la mina San Roque FM?	Calcular el factor de carga y el factor de potencia, en la cortada Carlos de la mina San Roque FM.	Se calcula el factor de carga y el factor de potencia, en la cortada Carlos de la mina San Roque FM.		
¿Cómo analizar la sobre sobrerotura de la voladura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM?	Analizar la sobre sobrerotura de la voladura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM.	Se analiza la sobre sobrerotura de la voladura en la cortada Carlos de la mina San Roque FM	**Método.** El método es de carácter cuantitativo.	

Fuente: La tesista.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

ANEXO N° 02: ABREVIATURAS

- RMR : Índice de la masa rocosa.
- RQD : Índice de la calidad de la roca.
- GSI : Índice de resistencia geológica.
- ESR : factor de reducción de excavación.
- Pb : Presión dentro del taladro, (psi).
- ρ : Densidad del explosivo, (gr/cm^2).
- V : Velocidad de detonación del explosivo (psi/seg).
- S : Espaciamiento entre taladros, (Pulg).
- T : Resistencia tensional dinámica de la roca, (psi).
- B_1 : Burden, (m).
- E : Espaciamiento, (m).
- D : Diámetro del taladro, (mm).
- β : Desviación angular, (mm/m).
- α : Desviación en el empate, (mm).
- H : Profundidad del taladro, (m).
- CR : Relación de acoplamiento.
- rc : Radio de carga columna o explosivo.
- rb : Radio del taladro. (Salas, 2014).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú