UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO"

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS GEOLOGÍA Y METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS

TESIS

REDUCCIÓN DE LA SOBREROTURA MEDIANTE LA PERFORACIÓN Y VOLADURA CONTROLADA EN LA PROFUNDIZACIÓN DE LA RAMPA 210 MINA COTURCAN - 2022

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR:

Bach.: CERNA IBAÑEZ, YAIR OBELISCO

ASESOR:

Dr. Ing. POTERICO HUAMAYALLI, JULIO GREGORIO

HUARAZ – PERÚ

2022

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

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 cuatro horas con veinte minutos de la tarde (4:20 p.m.) del día treinta de setiembre del Dos mil Veintidos (30/09/22), se reunieron los miembros del jurado Evaluador nominados según Resolución Nro. 170-2022-FIMGM/D, de fecha 08 de Setiembre del 2022, integrado por los siguientes Docentes: **Dr. JAVIER ENRRIQUE SOTELO MONTES, como Presidente; Dr. RICARDO CAYO CASTILLEJO MELGAREJO, como Secretario y el M.Sc. Ing. WALTER NICOLAW ROMERO VEGA, como Vocal**; para la sustentación de la tesis Titulada: **"REDUCCIÓN DE LA SOBREROTURA MEDIANTE LA PERFORACIÓN Y VOLADURA CONTROLADA EN LA PROFUNDIZACIÓN DE LA RAMPA 210 MINA COTURCAN - 2022" presentado por el Bachiller YAIR OBELISCO CERNA IBAÑEZ,** 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°170-2022-FIMGM/D de fecha 08 de Setiembre del 2022. Acto seguido se 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: **DIECISIETE *(17). Aprobado con Distinción.*** *Siendo las cinco horas y treintaicinco minutos (5:35 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. JAVIER ENRRIQUE SOTELO MONTES
Presidente

Dr. RICARDO CAYO CASTILLEJO MELGAREJO
Secretario

M.Sc. Ing. WALTER NICOLAW ROMERO VEGA
Vocal

Dr. JULIO GREGORIO POTERICO HUAMAYALLI
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: **"REDUCCIÓN DE LA SOBREROTURA MEDIANTE LA PERFORACIÓN Y VOLADURA CONTROLADA EN LA PROFUNDIZACIÓN DE LA RAMPA 210 MINA COTURCAN - 2022"** presentado por el Bachiller YAIR OBELISCO CERNA IBAÑEZ, y sustentada el día 30 de Setiembre del 2022, por Resolución Decanatural Nº 170-2022-FIMGM/D, la declaramos CONFORME.

En consecuencia queda en condiciones de ser publicada.

Huaraz, 30 de Setiembre del 2022

Dr. JAVIER ENRRIQUE SOTELO MONTES
Presidente

Dr, RICARDO CAYO CASTILLEJO MELGAREJO
Secretario

M.Sc. Ing. WALTER NICOLAW ROMERO VEGA
Vocal

Dr. JULIO GREGORIO POTERICO HUAMAYALLI
Asesor

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre por su apoyo y amor incondicional, porque es el pilar fundamental para concretar cada uno de mis logros; asimismo, es la base primordial de mi vida para afrontar las innumerables circunstancias por las que cursé durante mi vida; y que, siempre fue la motivación y principal impulso para no decaer durante mi etapa universitaria; responsable del cimiento de principios y valores en mi persona, que con el transcurrir de los años fueron también moldeando mi profesionalismo y humanismo.

A mi abuela en el cielo, que gustosamente debe estar observándome en el caminar de mi vida, triunfante gracias a que supo sembrar en mí, su valentía, perseverancia, apoyo incondicional y por, sobre todo, su amor inmenso.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

AGRADECIMIENTO

A Dios por cada propósito que tiene con mi persona y su guía constante en mi carrera.

A la escuela profesional de Ingeniería de Minas, Metalúrgica y Geología de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, por formarme como profesional y brindarme no solo conocimientos, sino también el enfoque de un profesional de ingeniería de minas con valores humanísticos.

A los docentes de la escuela profesional de ingeniería de minas, que contribuyeron en mi formación universitaria con su apoyo incondicional, ya que siempre absolvieron mis curiosidades pre profesionales y gracias a eso pude enriquecer mis conocimientos.

Al Doctor Sotelo Montes Enrique, por su apoyo en la elaboración del presente trabajo de investigación.

A mi familia, por su apoyo continuo en cada proyecto planteado por mi persona.

Yair Obelisco

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

RESUMEN

En la presente investigación titulada: “Reducción de la sobrerotura mediante la perforación y voladura controlada en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan – 2022”, nos propusimos como objetivo general, realizar la reducción de la sobrerotura mediante la perforación y voladura controlada en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan – 2022. Se justifica porque propone la realización de un análisis profundo de los inconvenientes en la perforación y la voladura, que influyen de manera determinativa en la reducción de la sobrerotura mediante la perforación y voladura controlada en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan – 2022. El estudio realizado se llevó a cabo bajo el tipo de investigación Aplicada. El resultado más importante nos indica que se ha podido demostrar que el diseño de una malla de perforación y voladura controlada ha permitido mejorar el porcentaje de sobre rotura reduciéndolo de 16% a 10.49 %, así como la sección en la corona con una curvatura más uniforme y con ello la estabilidad de la rampa es mucho más estable. Las conclusiones más importantes fueron: que se logró realizar la reducción de la sobrerotura mediante la perforación y voladura controlada en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan, que antes de proponer este diseño de malla de y voladura controlada estaba al alrededor de 16% a 10.49 6% y se realizó la redistribución de los taladros por la voladura controlada aumentando de 48 taladros (con 4 taladros rimados en el cuele y 44 taladros de producción), a 48 taladros (con 4 taladros en el cuele, 10 taladros de precorte en los hastiales y en la corona).

Palabras claves: Reducción, sobrerotura, perforación y voladura controlada, profundización, Rampa 210, Mina Coturcan.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

ABSTRACT

In this research work entitled "Reduction of overbreaking through controlled drilling and blasting in the deepening of Rampa 210 mine *Coturcan* - 2022", its general objective is to reduce overbreaking through controlled drilling and blasting in the deepening of the Rampa 210 mine *Coturcan* – 2022. It is justified because it proposes carrying out an in-depth analysis of the drawbacks of drilling and blasting, which have a decisive influence on the reduction of overbreaking through controlled drilling and blasting in the deepening of the Rampa 210 mine *Coturcan* - 2022. The methodology used was the scientific method and is of the type applied. The most important result indicates that it has been possible to demonstrate that the design of a controlled drilling and blasting mesh has improved the percentage of overbreak, reducing it from 16% to 10.49%, as well as the section in the crown with a more uniform curvature. and with it the stability of the ramp is much more stable. The most important conclusions were: that the reduction of overbreaking was carried out by drilling and controlled blasting in the deepening of Ramp 210 *Coturcan* mine, which before proposing this mesh design and controlled blasting was around 16% at 10.49 6% and the redistribution of the drills was carried out by controlled blasting, increasing from 48 drills (with 4 reamed drills in the cut and 44 production drills), to 48 drills (with 4 drills in the cut, 10 pre-cut drills in the gables and crown)

Keywords: Reduction, overbreaking, controlled drilling and blasting, deepening, Rampa 210, Coturcan Mine.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA ii

AGRADECIMIENTO iii

RESUMEN iv

ÍNDICE DE FIGURAS ix

ÍNDICE DE TABLAS x

INTRODUCCIÓN xi

CAPITULO I 1

GENERALIDADES 1

1.1. Entorno Físico 1

1.1.1. Ubicación y acceso 1

1.1.2. Topografía 2

1.1.3. Clima y vegetación 3

1.2. Entorno Geológico 4

1.2.1. Geología regional 4

1.2.2. Geología local 7

1.2.3. Geología estructural 8

1.2.4. Geología económica 9

CAPITULO II 11

FUNDAMENTACIÓN 11

2.1. Marco Teórico 11

2.1.1. Antecedentes de la investigación 11

2.1.2. Definición de Términos 18

2.1.3. Fundamentación teórica 21

2.1.3.1. Criterios para la estimación del daño en la Roca 21

2.1.3.2. Sobre excavación 24

2.1.3.3. Perforación de Rocas 26

2.1.3.4. Perforación convencional 31

2.1.3.5. Voladura de Rocas 32

2.1.3.6. Voladura controlada 49

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

2.1.3.7. Teoría sobre el fracturamiento de la roca 55
2.1.3.8. Rampa 58
CAPITULO III 68
METODOLOGÍA 68
3.1. El Problema 68
3.1.1. Descripción de la realidad 69
3.1.2. Formulación del Problema 70
3.1.3. Objetivos de la investigación 70
3.1.3.1. Objetivo General 70
3.1.3.2. Objetivos Específicos 70
3.1.4. Justificación e importancia 71
3.1.5. Alcances 71
3.1.6. Limitaciones 71
3.2. Hipótesis 72
3.2.1. Hipótesis Alterna 72
3.2.2. Hipótesis Nula 72
3.2.3. Hipótesis Específicas 72
3.3. Variables 72
3.3.1. Variable dependiente (x) 72
3.3.2. Variable independiente (y) 72
3.3.3. Operacionalización de variables. 73
3.4. Diseño de la investigación 73
3.4.1. Tipo de investigación 73
3.4.2. Nivel de la investigación 73
3.4.3. Método 74
3.4.4. Diseño de la investigación 74
3.4.5. Población y muestra 74
3.4.5.1. Población 74
3.4.5.2. Muestra 75
3.4.6. Procedimiento de recolección de datos 75
3.4.7. Técnicas de Procesamiento de datos 75
CAPITULO IV 76
RESULTADOS DE LA INVE STIGACIÓN 76

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos 76

4.2. Redistribución de los taladros por la voladura controlada 76

4.2.1. Descripción del ciclo de minado de una rampa 76

4.2.2. Descripción del ciclo de minado de una rampa 82

4.2.3. Resultados después del diseño de la malla de perforación y voladura controlada 83

4.3. Cálculo del factor de carga 85

4.4. Discusión de resultados 85

4.5. Aportes del tesista 86

CONCLUSIONES 87

RECOMENDACIONES 88

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 89

ANEXOS 91

ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA 92

ANEXO N° 02: ACRÓNIMOS 93

ANEXO N° 03: FOTOGRAFIAS 95

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la mina Coturcan. 1

Figura 2. Perfil Geológico Longitudinal. 6

Figura 3. Geología del yacimiento..... 6

Figura 4. Geología de la mina Coturcan 7

Figura 5. Esquema de voladura controlada (Holmberg & Persson 1993). 22

Figura 6. Dilución planeada y no planeada..... 23

Figura 7. Comparación voladura controlada y agresiva..... 23

Figura 8. Diagrama de excavación con sobre rotura. 25

Figura 9. La denominación de estos taladros en el Perú. 31

Figura 10. Fase dinámica del fracturamiento. 56

Figura 11. Etapa cas-estática del fracturamiento..... 57

Figura 12. Radios de giro en rampas. 61

Figura 13. Rampa tipo espiral..... 64

Figura 14. Rampa tipo Zigzag. 66

Figura 15. Rampa tipo Basculante. 67

Figura 16. Diseño de la Malla de perforación y voladura (Roca Regular III B (RMR 41 – 50)..... 80

Figura 17. Porcentaje de sobrerotura..... 82

Figura 18. Esquema para el resultado óptimo de la voladura..... 83

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Acceso a la mina Coturcan..... 2

Tabla 2. Rangos ELOS Clark and Pakalnis (1997..... 24

Tabla 3. Operacionalización de variables..... 73

Tabla 4. Porcentaje de sobrerotura..... 81

Tabla 5. Resultados después de la voladura en tramo recto, sección 4.00 m. x 4.00 m..... 84

Tabla 6. Resultados después de la voladura en curva, sección 4.00 m. x 4.50 m. 84

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación titulado “Reducción de la sobrerotura mediante la perforación y voladura controlada en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan – 2022”, se usó explosivos para fragmentar la roca en excavaciones subterráneas; este es un método muy usado en la minería peruana, sin embargo, presenta algunas desventajas como son la sobre excavación y la mala granulometría, esto debido a un mal diseño de la malla de perforación.

El método de excavación usando explosivos para la construcción de labores mineras es la más usada porque en todas las minas subterráneas peruanas el macizo rocoso es adecuado y competente, el cual necesita ser fragmentado. Para que la labor sea lo suficientemente estable con o sin sostenimiento, se necesita de una sección uniforme en el cual en muchos casos no se puede lograr porque el macizo roco no es homogéneo, por ello es de suma importancia controlar el perímetro de la sección trasversal que a todas luces minimizará la sobre rotura, la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan se realiza mediante la ejecución de rampa con pendiente negativa.

La realización de las rampas de profundización tiene muchos inconvenientes, tales como la presencia de agua, que se acumula en los frentes y tiene que ser evacuada con bombas antes de la etapa de la perforación, la perforación tiene que ser precisa para evitar la sobre rotura y disminuir el consumo de los elementos de sostenimiento.

En ese sentido, la presente tesis está compuesta por cuatro capítulos las cuales tendrán la siguiente secuencia:

CAPÍTULO I: Aspectos Generales; Se mencionará los detalles con respecto al entorno Físico (ubicación, accesos y geológico de la mina).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

CAPÍTULO II: Fundamentación Teórica; Los antecedentes de la investigación, la definición de términos y el marco teórico.

CAPÍTULO III: Metodología; Se trata sobre el planteamiento de problema, se detalla formulación de problema, objetivos planteados y la justificación del presente trabajo.

***CAPÍTULO IV: Resultados de la investigación*;** En ella se exponen los hallazgos o logros científicos.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

CAPITULO I

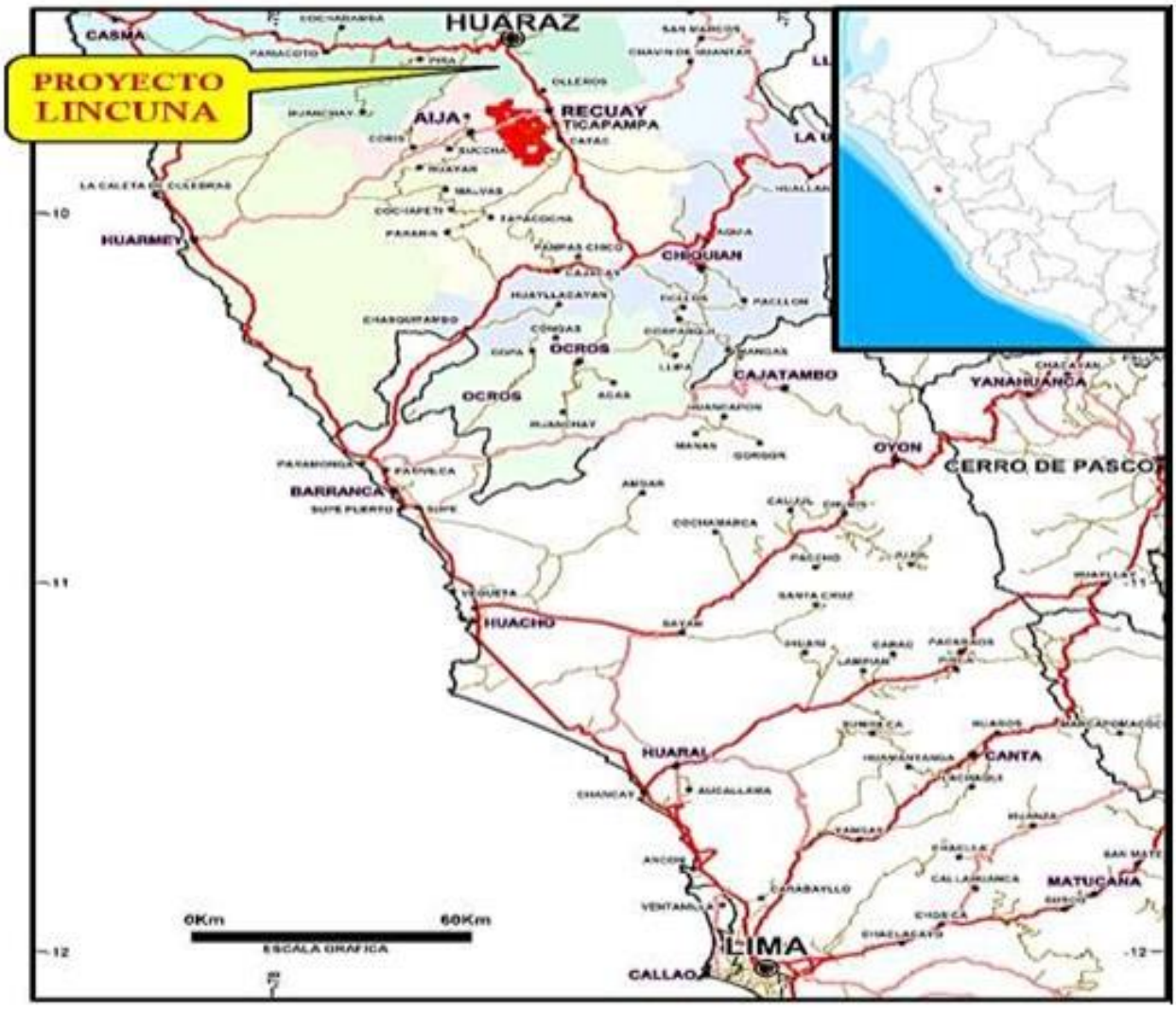
GENERALIDADES

1.1. Entorno Físico

1.1.1. Ubicación y acceso

Políticamente está ubicado en los distritos de Ticapampa y Aija, Provincias de Recuay, Aija, Departamento de Ancash Aija, Departamento de Ancash (Huanuqueño, J., 2019) .

Figura 1. Ubicación de la mina Coturcan.



Fuente: Departamento de Geología – Lincuna, citado por Huanuqueño, 2019.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Acceso:

El acceso desde la ciudad de Lima hasta la mina se realiza mediante el siguiente itinerario:

Tabla 1.

Acceso a la mina Coturcan.

Recorrido	Distancia (Km)	Tiempo (Hrs)	Observación
Lima - Ticapampa	375.00	7	Vía asfaltada
Ticapampa – Mina Coturcan	18.00	1	Vía carretera

Fuente: Huanuqueño, 2021.

1.1.2. Topografía

Regionalmente presenta relieves con topografía variada tales como: colinas, antiguos circos glaciares, superficies onduladas, quebradas y escarpas en general; las líneas de cumbres presentan rumbo andino (NW- SE). El relieve superficial de la zona de Coturcan es bastante accidentado y abrupto, por la constitución de roca andesita y el proceso de orogénesis de estas cordilleras más los procesos de transformación superficial por el intemperismo y sus agentes. Antiguamente estas zonas estuvieron cubiertas por nieve, así lo prueban las lagunas circundantes y las morreras en las laderas de los cerros, en el tiempo la nieve ha fracturado, alterado y descompuesto continuamente todos los fenómenos que derivan de ella, para así ver el relieve accidentado y abrupto (Martinez, C., 2019).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

1.1.3. Clima y vegetación

Clima:

La Cordillera Negra, posee un clima con características de templado a frío, debido a la influencia de la altitud. En los meses de diciembre a abril están caracterizados por lluvias más o menos persistentes, las tormentas de nieve se localizan en las alturas superiores a los 4000 msnm, con temperaturas de 0°C a 5°C en las noches y 7°C a 14°C en el día. Los meses de junio a octubre se caracterizan por presentar un periodo de sequias con precipitaciones pluviales muy esporádicas con temperaturas durante el día de 5°C a 16°C y en las noches de 0°C a 1°C. Esto pone en evidencia en altitudes superior a los 4000 msnm, las temperaturas bajas son conocidas por los lugareños como "heladas". Durante los meses de junio-agosto se acentúan las corrientes de aire con velocidades de 20 a 40 km/h, las características climáticas del lugar corresponden a la Cordillera Blanca, que tiene un clima frígido y polar.

Vegetación:

La distribución de las especies vegetales varía de acuerdo a la altitud en la que se desarrollan. En la zona minera la vegetación es baja, se desarrollan solo especies que resisten al frío y altitudes de 4000 msnm, resaltando básicamente al Ichu o llamado también Paja Ichu y otras plantas raquíticas. En altitudes cercana a los 3700 msnm la vegetación se caracteriza por la presencia de arbustos y gramíneas, tales como los Quishuares, variedades de Cactus, Huaman Pinta, Anchos, etc. La actividad agrícola se desarrolla a altitudes inferiores a los 3500 msnm y se localizan en las

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

vertientes del Valle del Santa y en las quebradas al Río Aija (Quebrada Santiago, Río La Merced y Río Mallqui; en estos sectores la agricultura se caracteriza por los sembríos de papa, trigo, cebada, habas, arveja, oca, olluco, avena y quinua. En dicha área, la actividad agrícola se restringe solo a la quebrada Collaracra (Martinez, C., 2019).

1.2. Entorno Geológico

1.2.1. Geología regional

La geología regional en este sector está definida por la "Cordillera de los Andes", que constituye una unidad definida "geográfica, geomorfológica y geológicamente". En esta unidad se reconocen los lntrusivos Terciarios correspondientes a cuerpos porfiríticos compuestos por dacitas y riodacitas. Además, se presenta el Grupo Calipuy, el cual se encuentra distribuido a lo largo de la "Cordillera Negra" conformando la parte más elevada, emplazado como una franja de rumbo "NW - SE", con un ancho variable entre los "25 a 40 Kilómetros". Debido a la profundidad de los valles transversales correspondientes a los principales ríos como el "Pativilca, Fortaleza, Aija y Pira", su límite oriental en gran parte lo constituye el río Santa; sin embargo, existen afloramientos de éste grupo en el extremo sur de la "Cordillera Blanca y en la Cordillera de Huayhuash", la potencia del Calipuy según escritos (INGEMMET) es aproximadamente 2000 metros y en algunos lugares hasta 3000 metros de estratos volcánicos variados, los cuales principalmente se constituyen de rocas piroclásticas gruesas de composición andesítica; también es necesario precisar que son abundantes las lavas andesíticas e ignimbritas dacíticas. La secuencia es extremadamente variable,

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

de manera que una sección medida en cualquier localidad tiene poca semejanza a otra medida en cualquier otro lugar.

Estratigrafía en el contexto regional:

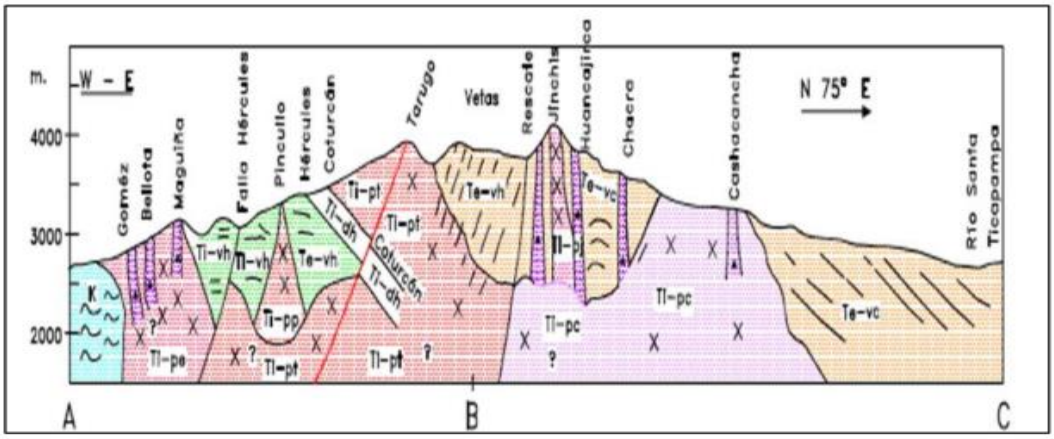
A nivel regional estratigráficamente el Grupo Calipuy descansa con gran discordancia sobre todas las formaciones mesozoicas. Siendo la unidad más joven la "Formación Casapalca y la Formación Chicama la más antigua". Se presume que el Grupo Calipuy, fue emplazado después de los periodos de "plegamiento, erosión y levantamiento" que afectaron a las unidades anteriores y que culminaron con una amplia superficie de erosión.

Edad y correlación:

En el contexto regional, existen ocasionales depósitos sedimentarios dentro del Grupo Calipuy los cuales fueron depositados en lagunas de agua fresca. Ellos usualmente se constituyen de "lutitas y areniscas". Estratigráficamente es conocido que los depósitos del "Grupo del Calipuy" descansan sobre una superficie de erosión bien desarrollada, en este contexto es presumible que pertenezca al Cenozoico. Ha sido demostrado que el Grupo Calipuy, se extiende desde el "Eoceno al Mioceno" y que el plegamiento de los estratos subyacentes y el desarrollo de la superficie de erosión se llevó a cabo durante el "Paleoceno" (Vela, N., 2020).

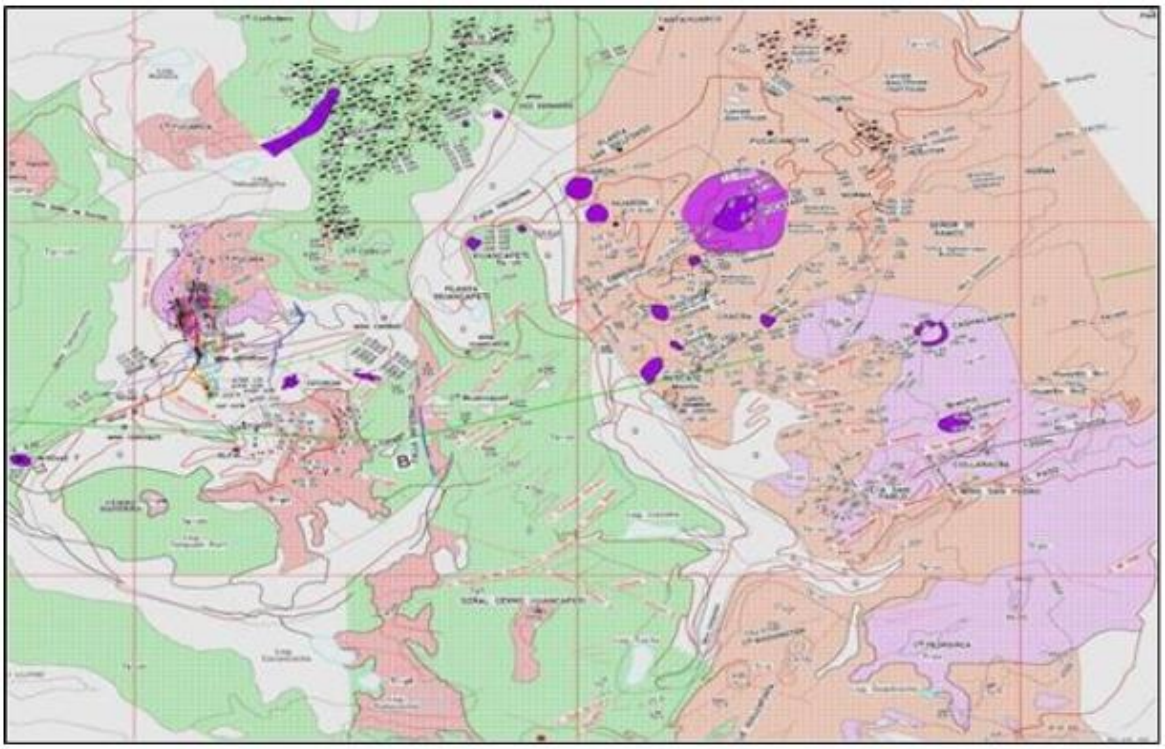
Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Figura 2. Perfil Geológico Longitudinal.



Fuente: Departamento de Geología - Minera Lincuna, citado por Vela, 2020.

Figura 3. Geología del yacimiento.



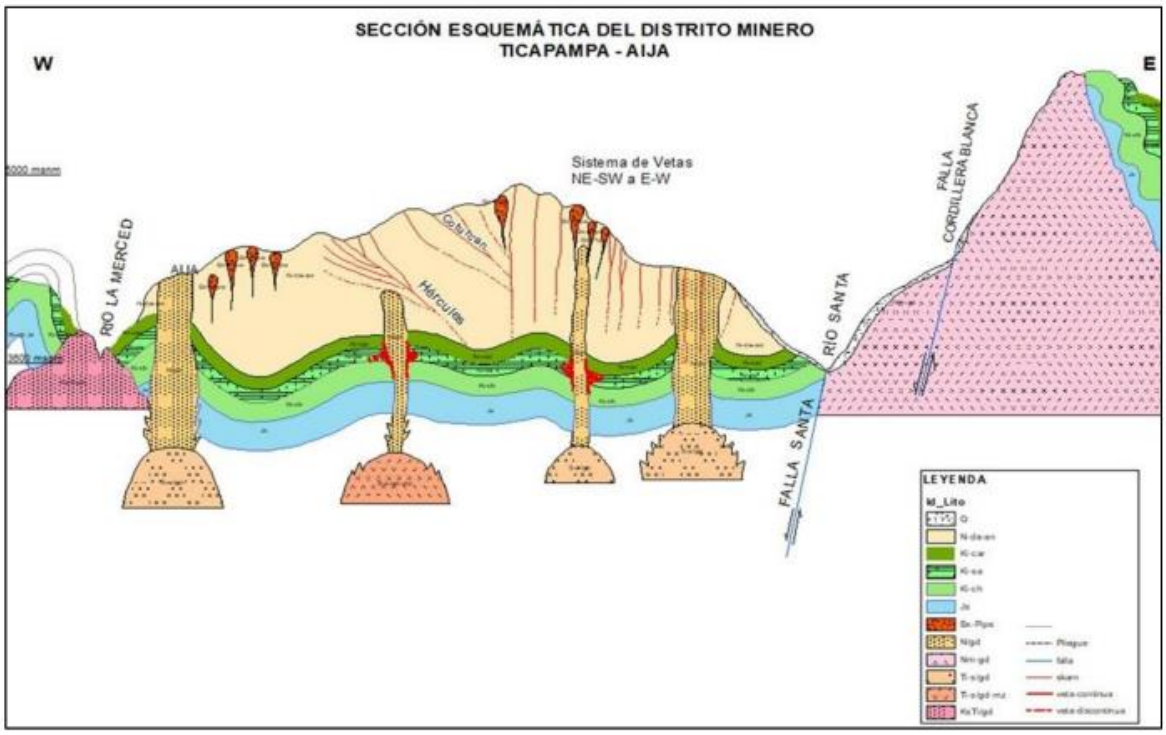
Fuente: Departamento de Geología - Minera Lincuna, citado por Vela, 2020.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

1.2.2. Geología local

La presente información está referida al cartografiado "litológico• estructural" correspondiente a los alrededores de la Quebrada Hércules, donde principalmente se emplaza la mineralización de las estructuras "Hércules y Coturcan", las cuales están asociadas a las fases mineralizantes de los volcánicos del Grupo Calipuy de edad "Oligoceno-Mioceno (Paleógeno)", típicamente representadas por "flujos lávicos" de composición andesítica y en menor proporción flujos piroclásticos. También es necesario precisar en el área evaluada la ocurrencia de pequeñas apófisis de cuerpos porfiríticos de composición dacítica: Descripción petrográfica macroscópica). La columna estratigráfica conceptual en el contexto local, está representada por las siguientes unidades litológicas (Vela, N., 2020).

Figura 4. Geología de la mina Coturcan



Fuente: Departamento de Geología - Minera Lincuna, citado por Vela, 2020.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

1.2.3. Geología estructural

Según Huanuqueño (2019) los sistemas principales de vetas presentan dirección “NW - SE”, los que estarían asociados a una tectónica inicial. La tectónica posterior ha desarrollado en el sector dos sistemas principales de fallas:

- La principal que tiene una orientación “NE-SW” que corresponde a la quebrada principal “Quebrada Hércules” de movimiento de rumbo sinextral.
- Posteriormente al sistema principal (Quebrada Hércules) se desarrolló el sistema con dirección “NW”.
- El primer sistema está asociado a un intenso diaclasamiento vertical presente en toda la zona de estudio de dirección “E-NE”. El otro sistema de diaclasamiento de menor desarrollo y de pendiente vertical corresponde a dirección “W - NW”. Por otro lado, la marcada “pseudo-estratificación de bajo ángulo” desarrolla superficies de debilidad en toda la zona.

Alteración:

La alteración que se presenta en las estructuras mineralizadas en dirección transversal y longitudinal al rumbo de las estructuras se limita a la ocurrencia de la mineralización manifestando marcada silisificación propilitización oxidación y ligera argelización. Las rocas de caja están compuestas principalmente por lavas andesíticas pertenecientes al grupo Calipuy, que se encuentran afectadas por fracturamiento con rellenos de óxidos de hierro, venillas de “cuarzo y calcita”. La mayor parte de los

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

afloramientos revisados se componen de roca fresca y algunas meteorizadas, ya que la alteración es restringida cerca de las vetas. También se ha encontrado alteración hidrotermal, rango neumatolítico cerca a la Antena – turmalina (Huanuqueño, J., 2019).

1.2.4. Geología económica

Génesis y descripción del yacimiento:

Según Martinez (2019) los depósitos de minerales en la zona Hércules y Coturcan son de origen hidrotermal, del tipo de vetas de relleno y reemplazamiento de fracturas en volcánicos e intrusivos Terciarios, íntimamente vinculados con los procesos volcanogenéticos. El sistema Hércules - Coturcan corresponde a estructuras mineralizadas tipo vetas, mantos y cuerpos o bolsonadas. La veta Hércules tiene una orientación promedio de N30ºW y buzamiento 40ºNE, la estructura principal tiene una extensión que fluctúa entre 3 km - 4 km y una potencia de 2.04 m. La veta Coturcan tiene una orientación promedio N10ºW y buzamiento de 30º a 45ºNE, tiene una extensión reconocida de 2 km y una potencia de 1.09 m. El limite probable de la mineralización del sistema Hércules en profundidad está por debajo del nivel 6 (4064 msnm), entre 180 y 300 m; es decir entre 3764 y 3884 msnm. Por lo tanto, la mineralización tiende a disminuir en profundidad y el sistema de vetas tiende a formar una sola estructura mineralizada angosta o veta con una potencia de 1 a 1.5 m.

La alteración hidrotermal tanto en los sistemas Hércules y Coturcan está restringidas a vetas y a la zona de contacto con las rocas de caja adyacente, con ocurrencia de Sericitizaciòn, Salificación, Argilitizacion y Pirita

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

diseminada. Las reservas a diciembre de 2018 y eran de 1,971,925 TNMS; con 1.8 m de ancho, con leyes de 2.36 (oz/Ag), 1.66% Pb, 2.06% Zn, minables por métodos mecanizados de explotación subterránea (corte y relleno ascendente, cámaras y pilares, taladros largos).

Mineralogía:

Las zonas Hércules y Coturcán son depósitos polimetálicos de Plata (Ag), Plomo (Pb), Zinc (Zn) y cobre (Cu) en menor proporción, con probables contenidos de Oro (Au) como ha sido demostrado en los análisis del relave.

Minerales de mena:

- Galena (PbS)
- Esfalerita (ZnS)
- Argentita (Ag2S)
- Calcopirita (CuFeS2)
- Tetraedrita ((Cu,Fe)12Sb4S13)
- Jamesonita ($Pb_4FeSb_6S_{14}$)

Minerales de ganga:

- Cuarzo (SiO2) Arsenopirita (FeAsS)
- Pirita (FeS2)
- Turmalina ((Na,Ca) (Al,Fe,Li) $(Al,Mg,Mn)_6$ $(BO_3)_3$ (Si_6O_{18}). $(OH,F)_4$) (Martinez, 2019).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Antecedentes de la investigación

Antecedentes Internacionales

Gonzáles (2017), en la tesis titulada "Análisis de criterios matemáticos que predicen el radio de fracturamiento en roca, generado por voladura en excavaciones subterráneas", sustentado el año 2017 por en la Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. Cd. México, México. En el trabajo se presenta el cálculo de radio de fracturamiento de un barreno denominado Rcrack, para ello se utilizó el criterio de Dai (2002) y Kumar (2016), los valores obtenidos se compararon con datos del proyecto minero Rey de Plata. El criterio de Dai (2002) involucró los siguientes parámetros: presión de detonación, presión de barreno, resistencia a la compresión tensión dinámica e impedancia del explosivo. El criterio de Kumar (2016), permitió calcular el radio de fracturamiento de la roca a partir de la velocidad pico de partícula o vpp, para ello considera la resistencia a la compresión uniaxial o UCS, el peso específico de la roca, y la distancia escalada, por tal motivo los resultados son inconclusos ya que no se cuentan con la precisión de los variables que maneja. En este trabajo se abordaron los fundamentos teóricos de excavaciones subterráneas por explosivos para poder entender los criterios matemáticos mencionados anteriormente y finalmente se presentan los cálculos que tuvieron que realizarse para adaptarlos a un tope (González, F., 2017).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Marco (2015), en la tesis titulada “Evaluación del efecto tronadura en la estabilidad y dilución de caserones en minería subterránea selectiva”, sustentado el año 2015 por Francisco Nicolás Marco Rubio en la Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería de Minas. Santiago de Chile, Chile. El objetivo principal de este trabajo fue construir un modelo de dilución y ELOS para minería subterránea selectiva junto al desarrollo de una metodología que permita evaluar el efecto de la tronadura en la estabilidad y dilución de caserones en minería subterránea selectiva. Para esto, se realizó un back análisis de la sobre excavación de caserones utilizando un modelo estadístico multivariable en conjunto con el empleo herramientas numéricas para simular la tronadura y predecir sus efectos. A partir del análisis de la base de datos se construyó un modelo de regresión logística para estimar la dilución que la Pared colgante. Se determinó que las variables que más influyen en su dilución son el ancho de veta, la desviación del tiro, el radio hidráulico y el undercutting. En base a estas variables se construyeron gráficos y tablas operacionales que permitieron determinar la frontera para la desviación máxima del tiro de manera de tener una dilución admisible dentro del rango definido por El Peñón (30%). En el caso de la Pared yacente el modelo de dilución muestra que el radio hidráulico deja de ser significativo y comienzan a ser relevantes variables asociadas a la calidad del macizo rocoso y las características de la tronadura. Es por este motivo, que se concluye que la dilución de la Pared yacente está asociada principalmente a la sobre excavación producto de la tronadura más que a razones de estabilidad geomecánica. Utilizando el modelo de dilución de la Pared colgante se construyó una herramienta de

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

diseño que permite definir la distancia máxima entre subniveles, de manera de tener una dilución bajo la dilución admisible definida por El Peñón. Esta herramienta es útil para el dimensionamiento de los caserones de El Peñón, debido al mal desempeño obtenido utilizando el método de estabilidad gráfico en esta mina. Para determinar la extensión máxima de la sobre excavación y del daño producto de la tronadura, se calibró un criterio de sobre quiebre utilizando un modelo de atenuación de onda. Con esto se determina que el PPV de quiebre para los subsectores Bonanza S-C y Bonanza N- NN es de 3.598 [mm/s] y 4.050 [mm/s] respectivamente, mientras que el nivel al cuál se produce daño es de 1.122 [mm/s] para ambos subsectores. En base a la extensión del sobre quiebre por tronadura se obtiene que la sobre excavación de la Pared colgante atribuible a la redistribución de esfuerzos varía entre 0,36 m y 0,48 m, dependiendo del subsector de Bonanza, lo que representa entre un 35% y un 45% de la sobre excavación total. Finalmente, se construyó un modelo numérico para cuantificar el efecto del daño por tronadura en la sobre excavación de la Pared colgante. Se observó un incremento en la sobre excavación directa y en la zona de relajación de esfuerzos al incluir el daño por tronadura. Sin embargo, al considerar el efecto que producen dos explosivos de distinta densidad, los resultados obtenidos no son consistentes, produciéndose una reducción de la zona de relajación debido a una disminución del "undercutting efectivo" de la pared. Este resultado se contradice con el análisis de regresión logística y los datos empíricos, por lo que se concluye que el criterio numérico utilizado ($\sigma 3 \leq 0$) no reproduce bien los mecanismos involucrados en el efecto del daño por tronadura en los

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

caserones de El Peñón, por lo tanto, debería determinarse un criterio específico para esta faena.

Antecedentes Nacionales

Castañeda (2019) en la tesis titulada "Reducción de la sobrerotura mediante la mejora de los parámetros de voladura en la profundización de la Rampa 2705, en la unidad minera de Parcoy de Consorcio Minero Horizonte S.A. – La Libertad", sustentado el año 2019 por Nilo Castañeda Rojas en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Cusco, Perú. El problema se centra en la sobrerotura excesiva en la labor de desarrollo (RP2705) que dificulta la profundización, explotación y el programa de avances de la Mina – Balcón a falta de la mejora de los parámetros de voladura, por lo cual se incrementa los tiempos y costos de las operaciones unitarias dentro del ciclo de minado; se persigue como objetivo general demostrar la reducción de la sobrerotura para incrementar la profundización de la RP2705, cumplir con la producción y avance requerida y disminuir los costos unitarios en la zona Norte – Balcón en la Unidad Minera Parcoy CMH S.A. para esta investigación se aplicó el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo, obteniendo resultados que garantizan un mejor control de la sobrerotura, tiempos, costos y cumplimiento del programa de avances con el nuevo diseño del malla de perforación calculado con el modelo matemático de Calvin J. Konya y cálculo de presión dentro del taladro para los taladros de precorte, llegando a la conclusión principal que la voladura controlada precorte con cargas desacopladas y espaciados en los taladros de contorno ha permitido controlar y reducir el porcentaje de

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

sobrerotura de 15.33% a 6.79% en promedio de 30 disparos, y con el rediseño de la malla de perforación se alcanzó una eficiencia de voladura de 94% con la cual se logró incrementar la profundización de la RP2705 y el complimiento del programa de avances, logrando reducir los tiempos y costos unitarios de las operaciones unitarias dentro del ciclo de minado en la Mina – Balcón.

Berrospi (2019) en la tesis titulada "Optimización de la perforación y voladura para mejorar la zona de profundización en la mina Andaychagua de la Cía. minera Volcan S.A.A.", sustentado el año 2019 por Víctor Raúl Berrospi Eusebio en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Facultad de Ingeniería de Minas. Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas. Cerro de Pasco, Perú. Siendo en el ciclo de minado, parámetros de medición más importantes los resultados de la perforación y voladura; la eficiencia de las demás operaciones unitarias depende directamente de resultados tales como la fragmentación y la definición de la sección de minado. El buen uso de las técnicas de la voladura controlada obtiene excavaciones bien definidas, buena fragmentación y sobre roturas mínimas, lo que permitió tener excavaciones más estables y dinamizar el ciclo del frente. Se refleja en la reducción de los costos relacionados a sostenimiento, explosivos, tareas y utilización de equipos. El presente trabajo tiene la finalidad demostrar la optimización en los procesos de perforación y voladura con una nueva tecnología en explosivo, una mezcla explosiva gasificarle como lo es el Quantex Sub, y los beneficios que representa en optimización en los resultados de fragmentación y ahorro en Costos. Así también busca demostrar la viabilidad y el rendimiento de la Emulsión

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Bombeable Gasificada EBG – Quantex Sub en labores de la U.P. Andaychagua. El trabajo describe el desarrollo de las pruebas las cuales se llevaron a cabo en este año 2018. Los resultados obtenidos en Mina Andaychagua con la aplicación integral de la mezcla explosiva gasificada, se ve reflejado en un ahorro tangible. Finalmente, con esta nueva tecnología en explosivo se estaría logrando una fragmentación requerida; con respecto al beneficio económico que se podría obtener mensualmente, se tendría que, por avance el beneficio seria 49658.00 $/mes; por reducción de taladros el beneficio seria 36,160.00 $/mes; por precio y costo de voladura el beneficio seria 8,753.00 $/mes. Logrando obtener un beneficio que ascenderían a 94,571.00 $/mes.

Antecedentes Locales

Huanca (2020) en la tesis titulada "Evaluación de los parámetros de perforación y voladura controlada para reducir la sobre excavación en la Rampa Positiva 050 Mina Arequipa M – 2020", sustentado el año 2020 por Ángel Huanca Tarazona en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Facultad De Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Huaraz, Perú. El objetivo general fue Realizar la evaluación de los parámetros de perforación y voladura controlada para reducir la sobre excavación en la Rampa Positiva 050 mina Arequipa M- 2020. Se justifica porque en la construcción de la rampa Positiva 050 se necesitó de una gran inversión inicial es por ello la optimización de los procesos mineros, maximizando su rentabilidad, sin pérdidas en las operaciones mineras y con costos mínimos se hace necesario. Como resultado final se elaboró una propuesta de diseño de malla de

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

perforación y voladura, de la cual se puede esperar impactos importantes, como: Reducir el número de taladros de producción de 46 a 45, incluido voladura controlada en la corona. Reducción de la sobre excavación de 16.3% a 7.3%. Menor exposición al riesgo por desprendimiento y caída de rocas. Disminución de costo por disparo de 1,130.48(US$) a 1,049.56(US$).

Chavez (2018) en la tesis titulada "Metodología de perforación y voladura controlada en la construcción del Nivel 660, para evitar la sobre excavación en la mina Acchilla, U.E.A. Julcani, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A, 2018.", sustentado el año 2018 por Frank Eder Chavez Apeña en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Facultad De Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Huaraz, Perú. En la mina Acchilla, U.E.A. Julcani, Compañía de minas Buenaventura S.A.A, se viene construyendo el nivel 660 para accederé a nuevas reservas de mineral, los costos unitarios de la perforación y voladura de rocas y del sostenimiento se incrementan debido a la sobre excavación. Con la aplicación de la metodología de perforación y voladura controlada la sobre excavación se redujo en un 5.43% por la optimización de la perforación y al usar el pre corte con taladros de alivio en la corona de la labor. El objetivo principal fue de explicar la metodología de perforación y voladura controlada en la construcción del Nivel 660, con el fin de controlar la sección y la sobre excavación generada por la voladura de rocas. Se justifica porque en la voladura convencional en túneles y trabajos de mina, dejan perfiles irregulares según el sistema de diaclasamiento de la roca, normalmente afecta al macizo rocoso, deja la roca maltratada y debilitada según su tipo y condición, puede tener consecuencias de

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

inestabilidad o desprendimiento con el tiempo trayendo consigo: Que las operaciones poseen problemas de sobre rotura. Que no se tiene un buen auto sostenimiento. Las labores en general poseen agrietamientos excesivos. Se concluyó que se explicó y aplicó una metodología de perforación y voladura controlada en la construcción del Nivel 660, controlando la sección estándar de 2.4 m. x 2.7 m. y la sobre excavación generada por la voladura de rocas, logrando reducirla en un 5.43%.

2.1.2. Definición de Términos

- **Avance:** "Mover o prolongar algo hacia delante" (Huanca, 2020).
- **Diseño:** "El concepto de diseño suele utilizarse en el contexto de las artes, la arquitectura, la ingeniería y otras disciplinas. El momento del diseño implica una representación mental y la posterior plasmación de obra que se planea realizar. El diseño, por lo tanto, puede incluir un dibujo o trazado que anticipe las características de la obra" (Huanca, 2020).
- **Evaluación:** "Es un proceso que tiene por objeto determinar en qué medida se han logrado los objetivos previamente establecidos, que supone un juicio de valor sobre la programación establecida, y que se emite al contrastar esa información con dichos objetivos" (Huanca, 2020).
- **Malla (plantilla):** "Una plantilla puede servir como muestra base de una diversidad sobre la que comparten elementos comunes (patrón)" (Huanca, 2020).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- **Parámetro:** "Constante numérica cuyo valor caracteriza a un miembro de un sistema. Como función matemática, es una cantidad a la cual el operador puede asignarle un valor arbitrario, se distingue de la variable, la cual puede tomar sólo aquellos valores que haga la función posible" (Huanca, 2020).

- **Parámetros:** "Son aquellas variables constantes que aparecen en una expresión matemática, siendo su variación la que da lugar a las distintas soluciones de un problema. De esta forma, un parámetro supone la representación numérica de la ingente cantidad de información que se deriva del estudio de una variable. Su cálculo se suele realizar a través de una fórmula aritmética que se ha elaborado previamente a partir de los datos obtenidos de una población" (Huanca, 2020).

- **Perforación Manual:** "Se ejecuta con equipos ligeros manejados a mano por los perforistas. Se utiliza en labores de dimensiones menores que no permiten el use de máquinas perforadoras pesadas" (Huanca, 2020).

- **Perforación Mecanizada:** "Los equipos de perforación van montados sobre estructuras, con los que el operador puede controlar todos los parámetros de la perforación desde posiciones cómodas. Las estructuras o chasis pueden ir montadas sobre neumáticos u orugas y pueden ser automotrices o remolcables" (Huanca, 2020).

- **Perforación:** "La perforación de las rocas en el campo de la voladura es la primera operación unitaria que se realiza en la actividad minera;

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

tiene como propósito abrir unos huecos (taladros), en una distribución geométrica adecuada en los macizos rocosos para su posterior arranque, aquí se alojara el explosivo y los accesorios de los sistemas de iniciación a usar" (Huanca, 2020).

- **Sobre excavación:** "La sobre rotura (over break) en bancos, afectan la estabilidad de la nueva cara libre de voladura y a los taladros que hayan sido perforados a continuación de la última fila disparada. Generalmente indica exceso de carga explosiva en la última fila de taladros". "En túneles y labores subterráneas debilita y agrieta a la roca remanente en toda la periferia, afectándola a profundidad, con el riesgo de colapso del techo o paredes. Aparte de condiciones geológicas de incompetencia, debilidad estructural y alto grado de fracturamiento, tienen responsabilidad en este problema el exceso de carga explosiva y/o el encendido instantáneo o con tiempos muy cortos entre taladros, debido al fuerte golpe que producen" (Huanca, 2020).

- **Voladura controlada:** "Consiste en el empleo de cargas explosivas lineales de baja energía colocadas en taladros muy cercanos entre sí, que se disparan en forma simultánea. Busca crear y controlar la formación de una grieta o plano de rotura continua, que limite la superficie final de un corte o excavación" (Huanca, 2020).

- **Voladura:** "Voladura (llamada además tronadura en algunos países de América del Sur o barreno en algunas zonas de España), es la acción de fracturar o fragmentar la roca, el suelo duro, el hormigón o de desprender algún elemento metálico, mediante el empleo de

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

explosivos. Las mismas se realizan para lograr un objetivo predeterminado, pueden ser controladas, o no, puede ser a cielo abierto, en galerías, tunes o debajo del agua" (Huanca, 2020).

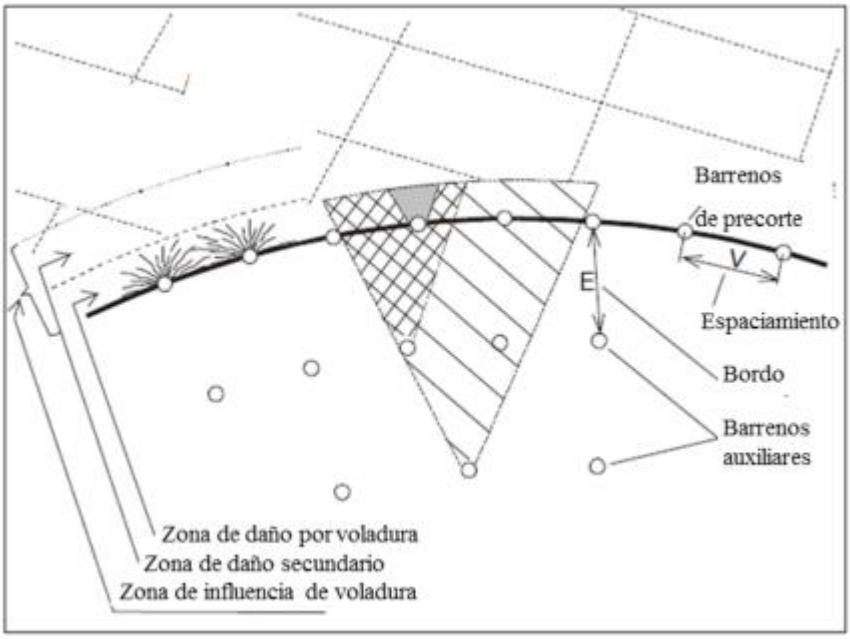
2.1.3. Fundamentación teórica

2.1.3.1. Criterios para la estimación del daño en la Roca

El grado de daño en la roca ha sido definido en proporción a la intensidad del cambio de las propiedades de la roca de la zona de roca no dañada, si estás son substancialmente diferentes entonces es una zona de daño, pasando por una zona de transición hasta llegar a una zona sin daño. Para determinar en donde comienza el daño en la roca, Andersson (1992), afirmó que dicho perímetro será a partir del contorno diseñado de quiebre. El diseño del perímetro de la excavación, debe considerar el área de influencia de los barrenos cargados, en la Figura 5, podemos observar que los barrenos de precorte tienen un área de influencia que es enfatizada por las zonas de influencia de los demás barrenos. Lo que conlleva a darle importancia a la carga de explosivo que se va a utilizar en dichos barrenos, esta idea fue descrita por, Holmberg & Persson (1993).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Figura 5. Esquema de voladura controlada (Holmberg & Persson 1993).



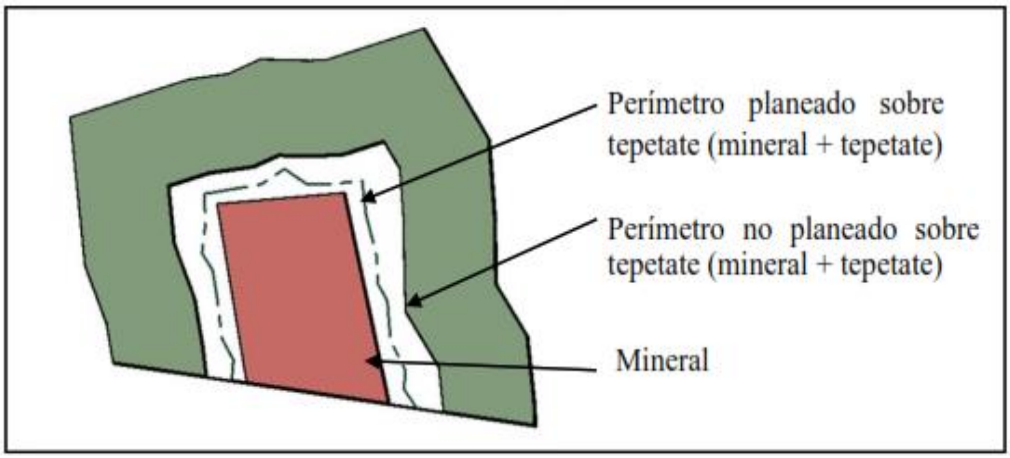
Fuente: González, 2017.

Influencia del daño en la roca en la calidad del mineral:

La realización de voladuras en zonas de producción de mineral, exige que el perímetro excavado se realice con mayor precisión para evitar la dilución de la ley del mineral. La dilución del mineral es conocida como la contaminación del mineral por material que está por debajo de la ley de corte. Un efecto colateral de la dilución es la extracción de mayor volumen de material, dejando mayor cantidad para las operaciones de transporte y junto con esto incrementar los costos y tiempos operativos. Sin embargo, en el área de planeación se considera que existirá una dilución controlada o planeada, pero en el área operativa se efectúa dilución no planeada, que se pueden identificar a modo ilustrativo en la Figura 6.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

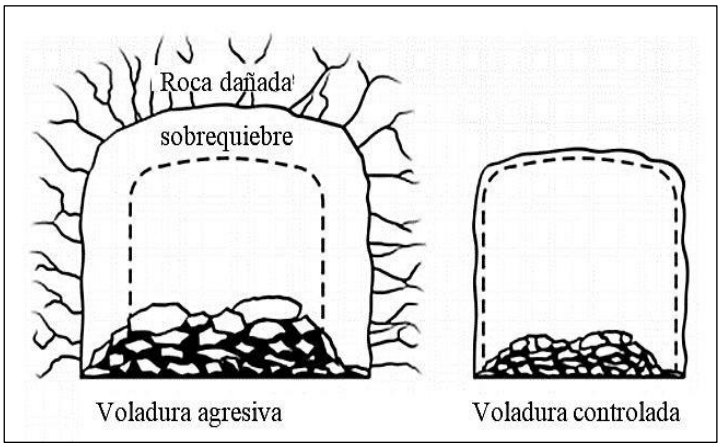
Figura 6. Dilución planeada y no planeada.



Fuente: González, 2017.

Uno de los factores que producen dilución, es el producto de un perímetro no deseado (Gonzáles, 2017).

Figura 7. Comparación voladura controlada y agresiva.



Fuente: Craig, 2010, citado por González, 2017.

Otros factores que intervienen en la magnitud de dilución no planeada han sido especificados por De la Vergne (2001), afirmando que el resultado de los errores acumulados de los siguientes factores: Desempeño de las operaciones unitarias (barrenación, cargado, voladura, amacice, acarreo), Condiciones geológicas del yacimiento, Método de minado (geometría adaptada a la del yacimiento, secuencia de minado, etc.), Tipo de relleno (en caso de

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

utilizar método de minado con relleno), determinará la magnitud de la dilución no planeada. Figura 7 Comparación entre voladura controlada y agresiva (Craig, 2010). La cuantificación de la dilución, relaciona las toneladas de tepetate entre toneladas de mineral minado, o bien la relación del volumen de sobrequiebre entre el producto de la altura del rebajo por la longitud del mismo, establecida y nombrada "Sobrequiebre lineal equivalente/quiebre" (ELOS por sus siglas en inglés) por Conners et al (1996). Esta última fue documentada y analizada por Clark y Pakalnis (1997), quienes establecieron una escala de daño en la roca conforme a los calores que obtuvieron, ver tabla 2.

Tabla 2.
Rangos ELOS Clark and Pakalnis (1997).

Rango ELOS	Diseño zonas ELOS
< 0.5 m.	Daño de voladura incipiente, la superficie se auto - soporta
0.5 m. – 1 m.	Desprendimiento de roca menor: algunos caídos a partir de rebajes sin soporte
1 m. – 2 m.	Desprendimiento de roca moderado
> 2 m.	Desprendimiento de roca severo: Grandes fracturas y caídos probables. Probable colapso de tabla de rebaje.

Fuente: González, 2017.

2.1.3.2. Sobre excavación

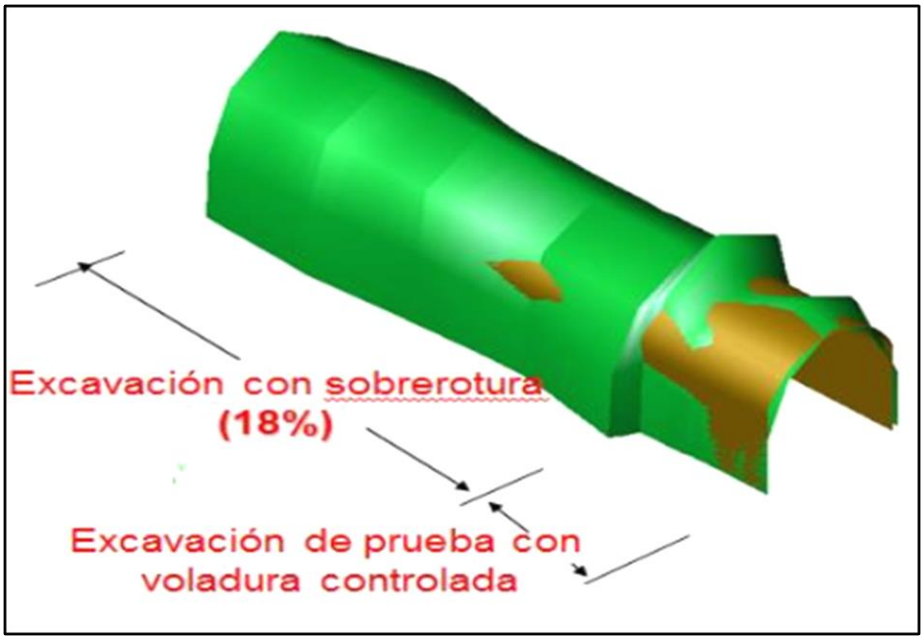
La sobre excavación es un problema que se genera en labores de avance y producción, debido a una voladura no controlada, la cual es influenciada por las estructuras geológicas sobre el perfil de excavación, existiendo factores que provocan sobre excavación y caída de rocas como:

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- 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.

En la siguiente figura 8, se muestra el diagrama de excavación con sobre rotura

Figura 8. Diagrama de excavación con sobre rotura.



Fuente: Exsa, 2003, citado por Huanca, 2020.

Esta tiene un efecto negativo en cuanto a costos de limpieza (más horas de Scoop), acarreo y transporte (mayor tonelaje). Sin embargo, para controlar la sobre rotura 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

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

en los contornos, la cual es una medida de solución apropiada al problema para reducir el porcentaje de sobre rotura a parámetros aceptables (Huanca, 2020).

2.1.3.3. Perforación de Rocas

Según EXSA (2014) la 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). a perforación se efectúa por los siguientes medios:

- **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

- **Percusión/rotación:** Con efecto de golpe, corte y giro, como el producido por las perforadoras neumáticas comunes, tracdrills, jumbos hidráulicos.
- **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.
- **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

Condiciones de perforación:

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

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

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- **Diámetro:** Depende del tipo de aplicación en que el taladro será utilizado. Como regla general, el de "menor diámetro factible" será el más adecuado y económico de realizar.
- **Longitud:** Influye mucho en la elección de la capacidad del equipo perforador y naturalmente en el avance del disparo (profundidad del taladro).
- **Rectitud:** Varía con el tipo de roca, método de perforación y características del equipo perforador. Deben tener la mayor rectitud y alineamiento para que el explosivo sea apropiadamente distribuido. En la mayoría de trazos de perforación el paralelismo entre taladros es de vital importancia para la interacción de las cargas explosivas en toda la voladura.
- **Estabilidad:** Los taladros deben mantenerse abiertos hasta el momento de su empleo. En terrenos sueltos tienden a desmoronarse por lo que puede ser necesario revestirlos interiormente con tubos especiales para poderlos cargar (casing) o hacer otro taladro adyacente al obturado.

Casos particulares:

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

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Velocidad de la penetración y barrido:

La velocidad de penetración no solamente depende de la aplicación de fuerza; también depende del barrido o limpieza de los detritos del taladro con aire comprimido y/o con agua a presión, a través de la misma barra conforme avanza la perforación. Algunas perforadoras hidráulicas tienen una bomba especial para el agua de barrido, para conseguir una presión alta y constante por encima de 10 bar, lo que aumenta la velocidad de penetración. La lubricación del sistema varillaje-broca durante el trabajo es fundamental, ya que cada máquina tiene su propio sistema, sea con agua, aire o ambos, con pulverización o nebulización de aceite. No se debe utilizar sólo agua en materiales como sal, yeso, potasa, anhidrita o bauxita y ciertas arcillas, porque forman un lodo que atraca el varillaje. Como alternativa en este caso tendríamos:

- Usar aire sólo (con mecanismo de vacío para colectar el polvo).
- Perforar con barrenos helicoidales o augers, sin aire.
- Mezcla controlada de aire-agua como niebla, para humedecer la inyección.
- Por otro lado, el aire sólo tenderá a crear mucho polvo en el ambiente.
- La dureza y abrasividad de la roca son factores importantes para determinar qué medio de perforación emplear: rotación simple o rotopercusión. Usualmente cuanto más suave sea la roca mayor debe ser la velocidad de perforación (normalmente hasta

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

un máximo de 1 500 rpm). Por otro lado, cuanto más resistente sea a la compresión, mayor fuerza y torque serán necesarias para perforarla.

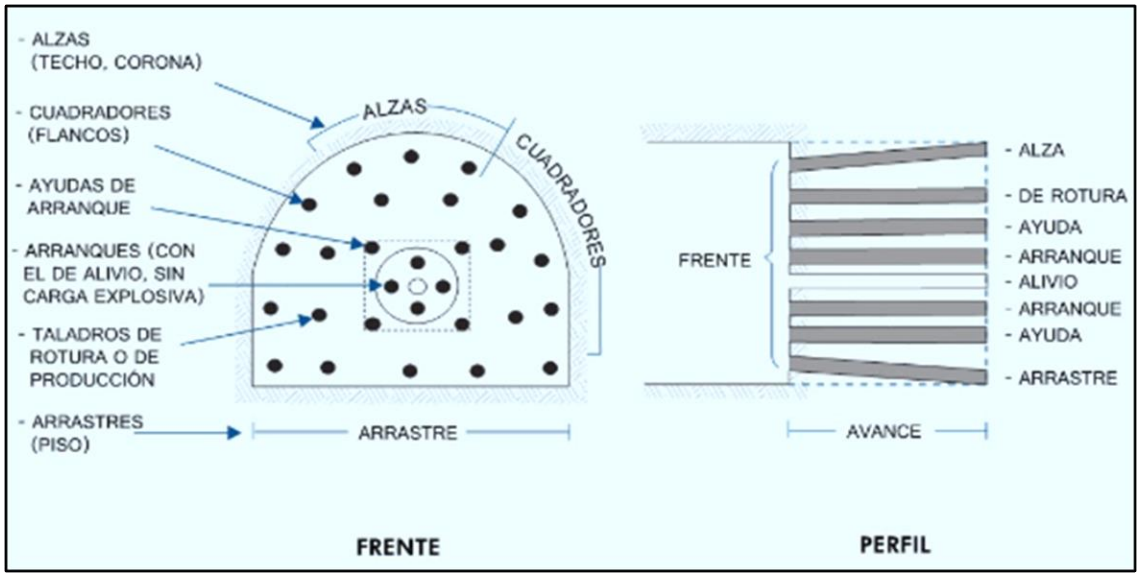
- Otros aspectos importantes son el factor de desgaste de la broca, directamente dependiente de la abrasión de la roca, que va disminuyendo progresivamente su diámetro y va limando los insertos o botones exigiendo su afilado continuo y la vida del acero, término con el que se conoce al tiempo de trabajo útil del varillaje antes de que se deteriore o se rompa por fatiga.
- El varillaje o barra transfiere la energía del golpe del martillo a la broca, por lo que su vida útil depende más de la onda de fatiga interior que de la energía por golpe y la frecuencia de impactos generados por el martillo.
- Muchas máquinas modernas tienen sistemas de amortiguación dentro del martillo y mordazas centralizadoras o guiadoras para la barra, que disminuyen el reflejo de la onda de impacto y la vibración producidas en el varillaje, con lo que disminuye el desgaste de los componentes mecánicos. La guiadora evita también el vaivén o desplazamiento circular de la broca, lo que produce desgaste en sus flancos o faldones, desvía el alineamiento del taladro y le da un acabado interior (EXSA, 2014).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

2.1.3.4. Perforación convencional

Según EXSA (2014) se realiza con taladros paralelos o taladros en ángulo, atacando directamente al frontón o cara libre frontal con el principio de túnel (banco circular), con un grupo de taladros de arranque que formarán una cavidad inicial, seguida del resto de taladros de rotura distribuidos alrededor del arranque, delimitándose la sección o área del frontón con los taladros periféricos. Sección o área del frontón con los taladros periféricos. La profundidad del avance (longitud de los taladros) está limitada por el ancho de la sección. La denominación de estos taladros en el Perú es la siguiente

Figura 9. La denominación de estos taladros en el Perú.



Fuente: Manual EXSA, 2014.

Los taladros periféricos comprenden a los cuadradores, alzas y arrastres, y los del núcleo a los de arranque (cueles), ayudas y taladros de producción (EXSA, 2014).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

La sección (EXSA, 2014) puede ser semielíptica, circular o cuadrática, manteniendo el mismo esquema de distribución. Este esquema de perforación se aplica en túneles, galerías, chimeneas, piques, rampas y otros desarrollos. La perforación radial aplicable en explotación de vetas amplias y cuerpos de mineral. Se realiza con taladros largos que parten del eje de una galería, dispuestos en forma radial o de abanico, en un plano perpendicular al eje. Varios planos paralelos de taladros radiales se distribuyen en el eje. Normalmente, a igual distancia entre sí, planos que pueden dispararse uno por uno o varios por vez, pero con retardos espaciados (EXSA, 2014).

2.1.3.5. Voladura de Rocas

De acuerdo a (EXSA, 2014) los criterios de la mecánica de rotura, la voladura es un proceso tridimensional, en el cual las presiones generadas por explosivos confinados dentro de taladros perforados en la roca, originan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos: fragmentación y desplazamiento: El primero se refiere al tamaño de los fragmentos producidos, a su distribución y porcentajes por tamaños, mientras que el segundo se refiere al movimiento de la masa de roca triturada. Una adecuada fragmentación es importante para facilitar la remoción y transporte del material volado y está en relación directa con el uso al que se destinará este material, lo que calificará a la “mejor” fragmentación.

Así, en la explotación de minerales se busca preferentemente fragmentación menuda, que facilita los procesos posteriores de

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

conminución en las plantas metalúrgicas, mientras que en la de rocas algunas veces se requiere que sea en grandes bloques, como los que se emplean para la construcción de ataguías o rompeolas.

El desplazamiento y la forma de acumulación del material volado se proyecta de la manera más conveniente para el paleo o acarreo, de acuerdo al tipo y dimensiones de las palas y vehículos disponibles.

Teniendo en cuenta los diversos criterios que involucra un trabajo de voladura, como el propósito o uso final del lugar a excavar o el del material a obtener el volumen a ser excavado, el grado de fragmentación promedio requerido, si la roca excavada se quedará in situ o será transportada a otro lugar, el tipo y la dimensión del equipo de remoción y acarreo disponible, la proximidad a instalaciones importantes que puedan ser afectadas por vibraciones o proyecciones, además de otros, es pues necesaria una planificación cuidadosa de la voladura considerando todos los detalles que puedan influir en sus resultados (EXSA, 2014).

Existe una serie de factores o variables que intervienen directa o indirectamente en la voladura, que son mutuamente dependientes o que están relacionados uno u otro; unos son controlables y otros no (EXSA, 2014).

Son controlables, por ejemplo, las variables de diseño, de perforación o del explosivo a emplear, mientras que no podemos modificar la geología o las características de la roca. Para facilidad

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

de interpretación se resume a estos factores afines en grupos, que suelen denominarse variables, factores, parámetros o condiciones fundamentales que comprenden (EXSA, 2014) :

Parámetros de la roca:

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

A. Propiedades físicas

a. Dureza: Indica aproximadamente la dificultad de perforarla.

b. Tenacidad: Indica la facilidad o dificultad de romperse bajo el efecto de fuerzas de compresión, tensión e impacto, variando entre los rangos de friable (fácil), intermedia a tenaz (difícil).

c. Densidad: Indica aproximadamente entre la dificultad para volarla y varía entre 1,0 a 4,5 g/cm3 en promedio. Rocas densas requieren también explosivos densos y rápidos para romperse.

d. Textura: Trama o forma de amarre de los cristales o granos y su grado de cementación o cohesión, también relacionada con su facilidad de rotura.

e. Porosidad: Proporción de poros u oquedades y su capacidad de captar agua.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

f. **Variabilidad:** Las rocas no son homogéneas en su composición y textura. Tienen un alto índice de anisotropía o heterogeneidad.

g. **Grado de alteración:** Deterioro producido por efecto del intemperismo y aguas freáticas, además de fenómenos geológicos que las modifican o transforman.

B. Propiedades elásticas o de resistencia dinámica de las rocas

a. **Frecuencia sísmica o velocidad de propagación de las ondas sísmicas y de sonido:** Velocidad con la que estas ondas atraviesan las rocas.

b. **Resistencia mecánica:** Resistencia a las fuerzas de compresión y tensión.

c. **Fricción interna:** Habilidad de las superficies internas para deslizarse bajo esfuerzos (rocas estratificadas).

d. **Módulo de Young:** Resistencia elástica a la deformación.

e. **Radio de Poisson:** Radio de contracción transversal o extensión longitudinal del material bajo tensión.

f. **Impedancia:** Relación de la velocidad sísmica y densidad de la roca versus la velocidad de detonación y la densidad del explosivo. Usualmente las rocas con alta frecuencia sísmica requieren explosivos de alta velocidad de detonación.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

C. **Condiciones geológicas**

a. **Estructura:** Es la forma de presentación de las rocas y está en relación con su origen o formación (macizos, estratos, etc.).

b. **Grado de fisuramiento:** Indica la intensidad y amplitud del fracturamiento natural de las rocas. Son importantes la orientación (rumbo y buzamiento) de los sistemas de fisuras y el espaciamiento entre ellos, así como la apertura y los tipos de relleno en las discontinuidades.

c. **Presencia de agua:** Define incluso el tipo de explosivo a usar.

Parámetros controlables

Según EXSA (2014):

A. **Parámetros del explosivo propiedades físico-químicas**

a. **Densidad:** Peso específico en g/cm3 (a mayor densidad, mayor potencia), varía entre 0,7 a 1,6 g/cm3. Todo explosivo tiene una densidad crítica encima de la cual ya no detona.

b. **Velocidad de detonación (VOD):** Velocidad de la onda de choque, en m/s, califica a los explosivos como detonantes y deflagrantes; a mayor velocidad mayor poder rompedor o brisance.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

c. **Transmisión o simpatía:** Transmisión de la onda de detonación en la columna de carga. Una buena simpatía asegura la explosión total de la columna de carga.

d. **Resistencia al agua:** Varía desde nula hasta excelente (varias horas).

e. **Energía del explosivo:** Se puede dar en cal/g o J/g. Calculada sobre la base de su formulación, aplicable para estimar su capacidad de trabajo.

f. **Sensibilidad a la iniciación:** Cada explosivo requiere un iniciador o cebo mínimo para iniciarse (usualmente se tiene como referencia al detonador N° 8 para calificarlos como altos explosivos (sensibles) y agentes de voladura (insensibles), por lo que requieren un cebo más potente).

g. **Volumen normal de gases:** Cantidad de gases en conjunto generados por la detonación de 1 kg de explosivo a 0°C y 1 atm de presión, expresado en litros/kg. Indica aproximadamente la "cantidad de energía disponible" para el trabajo a efectuar y generalmente varía entre 600 y 1,000 litros/kg.

h. **Presión de taladro:** Fuerza de empuje que ejercen los gases sobre las paredes del taladro. Se expresa en kg/cm2, en kilobares (kbar) o en Mega pascales (MPa) en el sistema SI. Para evaluarla se aplican las mismas ecuaciones de estado como las que valen en el estado de

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

detonación y explosión, tomando en cuenta la variación del volumen. Esta presión varía con el confinamiento. Así, un explosivo con densidad 1,25 y g/cm3 una presión de explosión de 3 500 MPa en taladro lleno al 100%, cuando se llena sólo al 90% llega aproximadamente a 2 600 MPa y cuando sólo se llena al 80% bajará hasta cerca de 1 900 MPa.

i. **Categoría de humos:** Factor de seguridad que califica su toxicidad (todos los explosivos generan gases de CO y NO en diferentes proporciones).

B. Condiciones de la carga

Según EXSA (2014):

a. **Diámetro de la carga (diámetro del taladro):** Influye directamente sobre el rendimiento del explosivo y la amplitud de la malla de perforación. Todo explosivo tiene un diámetro crítico; por debajo de ese diámetro no detonan.

b. **Geometría de la carga:** Relación entre el largo de la carga con su diámetro y el punto donde es iniciada. Se refleja en el proceso de rompimiento y en la formación de "zonas de fracturación" en las cargas cilíndricas de los taladros de voladura.

c. **Grado de acoplamiento:** Radio del diámetro de carga al diámetro del taladro. El acoplamiento físico entre la carga

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

explosiva y la roca permite la transferencia de la onda de choque entre ellas, teniendo un carácter muy significativo sobre el rompimiento. El efecto de trituración depende mucho del contacto directo del explosivo con la roca. El desacoplamiento tiene enorme efecto sobre el grado de confinamiento y sobre el trabajo del explosivo, ya que la presión de taladro decrecerá con el aumento del desacoplamiento. Esta condición puede incluso ocasionar que los gases liberados por la explosión se aceleren más rápidamente que la onda de detonación en la columna de carga, acumulándola al descomponer al explosivo por el fenómeno denominado "efecto canal" o presión de muerte (Dead pressing). El desacoplamiento es recomendable sólo para la voladura controlada o amortiguada, donde forma un colchón de aire que amortigua el impacto, con lo que disminuye la fragmentación. Para voladura convencional se recomienda que la relación entre diámetro de taladro y diámetro de cartucho no sea mayor que 1,2:1. Como, por ejemplo: cartuchos de 32 mm de diámetro para taladros de 40 mm de diámetro, o cartuchos de 42 mm de diámetro para taladro de 50 mm de diámetro.

d. **Grado de confinamiento:** Depende del acoplamiento, del taqueo o acabado, del uso de taco inerte para sellar el taladro y de la geometría de la carga (burden y distancia entre los taladros). Un confinamiento demasiado flojo

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

determinará un pobre resultado de voladura. Por otro lado, un alto grado de confinamiento (por excesivo atacado del explosivo) puede incrementar tanto su densidad que lo puede hacer insensible a la transmisión de la onda de detonación y fallar. Los explosivos a granel (ANFO, emulsión) en bancos se confinan por sí solos.

e. **Densidad de carguío (Dc):** Da la medida de llenado de un taladro. En el caso de un llenado perfecto sin dejar el menor espacio desocupado tendremos por definición una densidad de carguío = 1. En general, cuando un taladro se llena al X% de su espacio ocupado por explosivo tendremos Dc = 0,92.

f. **Distribución de carga en el taladro:** La carga explosiva puede ser de un solo tipo en todo el taladro (carga única) o tener primero explosivo más denso y potente (carga de fondo) y luego explosivo menos denso (carga de columna). También pueden ser varias cargas de igual o distinto tipo separadas entre sí por material inerte (cargas espaciadas o decks).

g. **Tipo y ubicación del cebo:** Puede emplearse el cebo único, el cebado múltiple (dos o más en rosario en la misma columna de carga, o una en cada deck en cargas espaciadas) y el cebado longitudinal (axial), éste generalmente con cordón detonante.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

h. **Distribución de energía, en cal/t de roca:** La energía aplicada sobre la roca dependerá de la distribución de la carga en el taladro, de la densidad del carguío, del punto de iniciación y del tipo de explosivo utilizado, mientras que el consumo útil de energía está vinculado al confinamiento y tiempo de duración del proceso de rotura antes que los gases se disipen en el ambiente. Alrededor de la columna explosiva la fracturamiento presenta cierta zonificación; el área de cráter o de cavidad de la explosión donde procesos hidrodinámicos asociados a la detonación producen la volatilización y pulverización de la roca, la zona de transición donde la presión y tensión se reducen rápidamente originando un flujo plástico o viscoso de la roca acompañado por trituración y desintegración, finalmente la zona sísmica donde la tensión se encuentra ya por debajo del límite elástico de la roca y donde ya no se presenta fragmentación si no hay caras libres. La densidad de carguío y la distribución del explosivo tienen influencia en esta zonificación. Así, un taladro con carga normal de columna con refuerzo de carga de fondo tendrá un buen rompimiento al piso. Por lo contrario, si la mayor densidad de carga está hacia la boca del taladro, el tiro proyectará demasiados fragmentos volantes y tendrá mal rompimiento al piso. Igualmente, es diferente el resultado entre una carga concentrada al fondo y otra en la que se

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

empleen cargas alternadas con tacos a lo largo del taladro (Deck charges). Las cargas desacopladas y el empleo de explosivos de baja presión de detonación normalmente eliminan la zona de trituración y controlan el rumbo y extensión de las grietas en la voladura amortiguada.

i. **Intervalos de iniciación de las cargas (Timing):** Los taladros deben ser disparados manteniendo una secuencia ordenada y correcta, para crear las caras libres necesarias para la salida de cada taladro, lo que se logra con los detonadores de retardo o con métodos de encendido convencional escalonados.

j. **Variables de perforación:** Tienen importante influencia en los resultados de la voladura:

- La profundidad del taladro respecto a la altura de banco en superficie y al avance estimado en túneles.
- La malla de perforación, relación de burden y espaciamiento entre taladros, importante para la interacción entre ellos.
- Diámetro del taladro, base para determinar el burden y el consumo de explosivo. Las brocas de perforación tienen desgaste variable según el tipo de roca, tendiendo a reducir paulatinamente su

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

diámetro (Bit wear factor), especialmente en perforaciones de pequeño diámetro.

- Inclinación del taladro, controlada, como en la perforación radial o en abanico y desviación del taladro (fuera de control, perjudica el performance del explosivo y por tanto la fragmentación y avance).

Otros factores que se deben considerar en el planeamiento de un disparo son el costo de perforación y el costo del explosivo, con base en el consumo total de explosivo por metro cúbico o tonelada de roca movida (factor de carga en kg/m3). También para ciertos tipos de explosivo su vida útil (Shelf life) (EXSA, 2014).

Condiciones generales para el trabajo eficiente de los explosivos

1. Deben contar con cara libre para facilitar la salida del material fragmentado.
2. Deben estar confinadas, para aumentar su densidad de carga (atacado con vara de madera en subsuelo, compactación con aire comprimido en carguío a granel en subterráneo y por gravedad en superficie). Sellado del taladro con taco inerte.
3. Deben ser cuidadosamente cebados.
4. Deben ser disparados manteniendo una secuencia ordenada de salidas (temporización)

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

5. El espaciamiento entre taladros debe ser el adecuado para permitir la interacción de las grietas radiales entre ellos; de lo contrario habrá mala fragmentación, incluso hasta pueden soplarse sin efecto rompedor.

Campos de aplicación de la voladura:

Los explosivos industriales se emplean en dos tipos de voladuras subterráneas y de superficie. Los trabajos subterráneos comprenden: túneles viales e hidráulicos, excavaciones para hidroeléctricas y de almacenamiento, galerías y desarrollos de explotación minera, piques, chimeneas, rampas y tajeos de producción. Son efectuados con el empleo mayoritario de dinamitas y emulsiones encartuchadas de diferentes grados de fuerza y resistencia al agua, con agentes de voladura granulares, secos como ANFO y Examon cargados neumáticamente y eventualmente emulsiones puras sensibles a granel, cargadas por bombeo. Las dinamitas (gelatinas, semigelatinas, pulverulentas y permisibles) se comercializan encartuchadas en papel parafinado, en diámetros que van desde 22 mm (7/8”) hasta 76 mm (3”), las emulsiones sensibilizadas en cartuchos de lámina de plástico y en pocos casos en papel parafinado (ejemplo: Semexsa-E), en diámetros desde 22mm (7/8”) y los agentes granulares en bolsas a granel. Los trabajos de superficie comprenden: apertura de carreteras, canales, canteras de material para la construcción, cimentaciones, demoliciones y minas a tajo abierto, los que son efectuados con dinamitas y emulsiones de pequeño a mediano diámetro, ANFO y Examon en

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

canteras y obras viales, mientras que los tajos abiertos tienen empleo mayoritario de ANFO a granel, ANFO Pesado, Slurries emulsiones (en cartuchos de lámina plástica PVC hasta 8” de diámetro (203 mm) y a granel en carguío mecanizado en taladros de 127 mm (5”) hasta 304 mm (12”) de diámetro (EXSA, 2014).

Evaluación de la voladura:

Una voladura se evalúa por los resultados obtenidos. Para calificarla se consideran los siguientes aspectos: volumen de material movido, avance del disparo, pisos, fragmentación, forma de acumulación de los detritos, costo total del disparo. El volumen o tonelaje del material movido deberá ser igual o cercano al volumen teórico calculado previamente considerando el esponjamiento del material roto. El avance del frente disparado en voladura de bancos en superficie deberá sobrepasar la última fila de taladros. En túneles y galerías el avance máximo es equivalente a la amplitud del túnel, por tanto, el avance deberá ser al menos igual a la profundidad de los taladros. La periferia en los túneles deberá ser igual a la proyectada; si resulta menor, requerirá ensanche adicional (desquinche). Por otro lado, si sobrepasa el límite especificado resultarán problemas de costo, y en ciertos casos problemas de estabilidad y gastos de sostenimiento. El nivel del piso en bancos o el piso del nuevo banco disparado debe resultar al mismo nivel del existente. Si se presentan irregularidades como lomos (toes), debe presumirse muy poca sobreperforación o falta de carga de fondo. Estos lomos dificultan el trabajo de las palas cargadoras y requieren trabajo adicional,

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

usualmente de voladura secundaria para eliminarlos. En galerías y túneles es indispensable mantener el nivel del piso para el drenaje de agua y para el tendido de líneas de riel donde se utilice transporte con locomotora. El grado de fragmentación del material disparado o el tamaño promedio requerido de los fragmentos depende del trabajo en que se van a emplear, pero por lo general la fragmentación demasiado gruesa o demasiado menuda son inconvenientes. Debe observarse el porcentaje de pedrones grandes que tendrán que ser reducidos posteriormente. La fragmentación tiene relación directa con la facilidad de paleo y transporte y con sus costos (EXSA, 2014).

La sobrerotura (Over break) y la sobre rotura hacia atrás (Back break) en bancos, afectan la estabilidad de la nueva cara libre de voladura y a los taladros que hayan sido perforados a continuación de la última fila disparada.

Generalmente indica exceso de carga explosiva en la última fila de taladros. En túneles y labores subterráneas debilita y agrieta a la roca remanente en toda la periferia, afectándola a profundidad, con el riesgo de colapso del techo o paredes.

Aparte de condiciones geológicas de incompetencia, debilidad estructural y alto grado de fracturamiento, tienen responsabilidad en este problema el exceso de carga explosiva y/o el encendido instantáneo o con tiempos muy cortos entre taladros, debido al fuerte golpe que producen.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

El desplazamiento y acumulación del material volado, debe ser adecuado para facilitar las operaciones de carga y acarreo. La forma de acumulación se proyecta de acuerdo al tipo de equipo que se va a emplear en la limpieza del disparo.

La forma aproximada de los montículos de detritos se consigue con el trazo de perforación y con el diagrama del tendido de iniciación, distribución de los retardos y de la disposición de las caras libres. Así, una distribución con amarres en “V” resulta en un montículo central, mientras que un amarre en líneas longitudinales resultará en acumulación a lo largo de toda la cara del frente disparado.

La falta de desplazamiento: Cuando un disparo rompe material, pero no se mueve de su sitio, se dice que el tiro se ha “congelado”. Esto se traduce en mala fragmentación en la parte inferior e interior del banco, en dificultad para la remoción del material roto y en riesgo de encontrar material explosivo no detonado.

Esto ocurre generalmente cuando los retardos no funcionan o no han sido distribuidos adecuadamente, y en subterráneo cuando falla el arranque.

La dispersión de fragmentos a distancia, además de incrementar el riesgo de proyección de fragmentos volantes, tiene el inconveniente en minas de “diluir” el material de valor económico

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

al mezclarlo con desmonte, cuando se desparrama lejos de la cara de voladura.

Generalmente indica excesiva carga explosiva hacia el cuello del taladro, o falta de taco inerte.

Costo de la voladura. Para determinar el costo total de una voladura, además del costo de perforación (aire, barrenos, aceite, depreciación de la máquina, etc.) costo de explosivos, accesorios y planilla del personal (valorados en soles o dólares/TM) se deben tener en cuenta los costos de carguío y acarreo del material triturado, más los adicionales de voladura secundaria de pedrones sobre dimensionados y los de empleo de equipo adicional para eliminar lomos al piso (EXSA, 2014).

Todos ellos, aparte del avance y del volumen o tonelaje movido, representan el real rendimiento o resultado económico de la voladura (EXSA, 2014).

Aparte de la evaluación visual del disparo, sujeta a la experiencia del observador, se cuenta actualmente con equipos de control sofisticados, como cámaras de video o película de alta velocidad, sismógrafos, equipos y software para determinar la granulometría del material obtenido, instrumentos topográficos rápidos y precisos para determinar el contorno del área disparada y cubicarla, instrumentos para la detección y control de gases en las fronteras y para la medición de velocidad de detonación (VOD)

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

dentro de taladros, y otros, que ayudan a interpretar la información de campo en forma rápida y precisa (EXSA, 2014).

2.1.3.6. 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 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 (EXSA, 2014).

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

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

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 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. La propagación preferencial en el plano axial junto con el efecto de apertura por la presión de gases permite

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

obtener un plano de fractura definido. 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)

Diferencias entre 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:

- Relación de espaciamiento a burden: E = (1,3 a 1,5) x B.
- Relación de acoplamiento (diámetro de taladro a diámetro de cartucho): máxima de 1,2 a 1, buscando un adecuado confinamiento y atacado del explosivo.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- 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.
- Uso de taco inerte para retener la explosión en el taladro el mayor tiempo posible, y para mejorar el grado de confinamiento.
- Empleo de explosivo con el mayor brisance y empuje dentro de la relación energía/costo, para las características de la roca. 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.) (EXSA, 2014).

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:

- Relación de espaciamiento a burden inversa a la normal; es decir menor espaciamiento que burden, usualmente: E = 0,5 a 0,8 B.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- 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.
- 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.
- Taco inerte solamente para mantener el explosivo dentro del taladro, no para confinarlo.
- Empleo de explosivo de baja potencia y velocidad, brisance, como el Exacorte.
- 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).
- Mantener el alineamiento y paralelismo de los taladros, de acuerdo al diseño del corte a realizar, de lo contrario no hay buen resultado (EXSA, 2014).

Ventajas de la voladura controlada:

a. Produce superficies de roca lisas y estables.

b. Contribuye a reducir la vibración de la voladura principal y la sobreexcavación, con lo que se reduce también la proyección de

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

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.

c. 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.

d. En minería puede ser una alternativa para la explotación de estructuras débiles e inestables (EXSA, 2014).

Desventajas de la voladura controlada

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

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

c. 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.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

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).

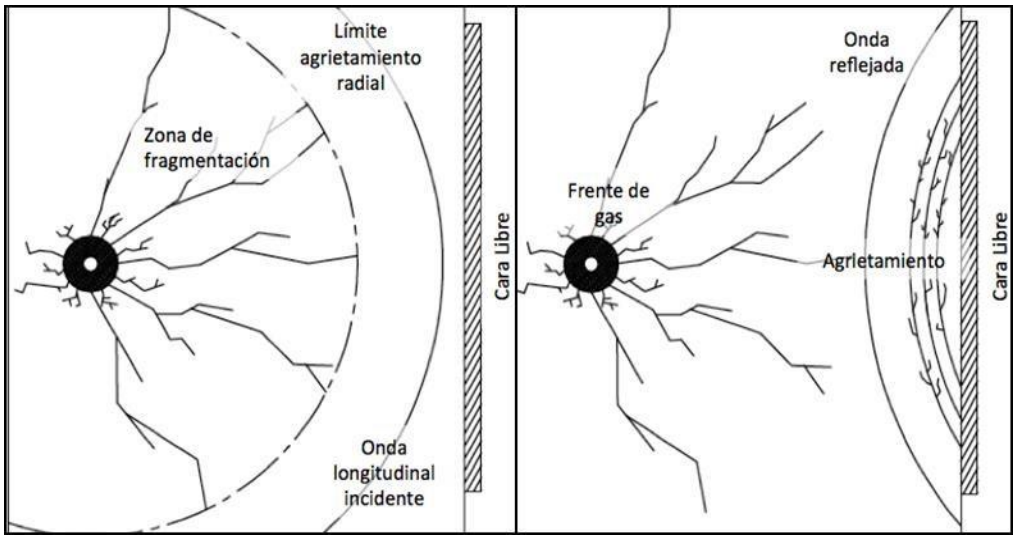
2.1.3.7. Teoría sobre el fracturamiento de la roca

El proceso de fracturación de la roca se genera por rebasar el umbral de energía que puede absorber una roca intacta. El proceso ha sido descrito por diversos investigadores, sin embargo, la teoría más aceptada es la propuesta por Langerfors and Khilstone (1973) menciona que la detonación del explosivo es el mecanismo que genera el efecto mecánico más importante, ya que es un proceso exotérmico en el cual la energía, es liberada en dos formas, la primera es a través de la onda de choque y la segunda a través de la presión de los gases generados en la reacción. Por esta razón, el fenómeno se describe en dos etapas principales, una dinámica y una casi-estática. Fase dinámica o fracturamiento: La onda de choque proporciona energía de compresión en la roca en forma de ondas de compresión, ver Figura 10, La intensidad de ésta, permite superar la resistencia de la roca, como resultado se tiene quiebre muy fino de la roca alrededor de la perforación. Este suceso inicia el fenómeno

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

de coalescencia de fracturas en dirección radial, y gradualmente la onda de choque pierde intensidad al mismo tiempo que se refleja en interfaces roca-aire y por lo tanto provoca estados de tensión, que superan la magnitud resistida por la roca. Es así que la onda de choque ha disminuido la cohesión de las partículas dentro del macizo rocos (González, F., 2017).

Figura 10. Fase dinámica del fracturamiento.

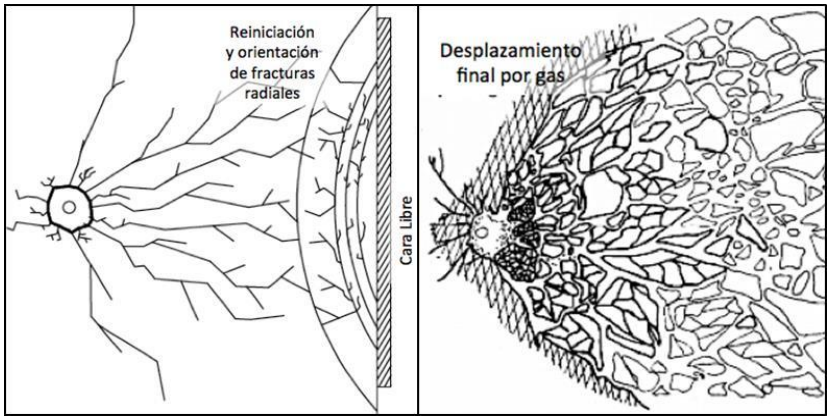


Fuente: González, 2017.

Fase casi-estática o desplazamiento: En esta fase, los gases generados en la reacción química liberan el estado de confinamiento a través de las discontinuidades que se generaron en la roca, por lo tanto, desplazan los fragmentos de roca, ver Figura 11.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Figura 11. Etapa cas-estática del fracturamiento.



Fuente: González, 2017.

Dicho lo anterior, la detonación es el régimen de descomposición más rápido y la potencia que transmite en ese momento es lo más importante. De esta forma, la presión de detonación será la característica que tendrá mayor ponderación en la utilización de los explosivos. Centrándose en la energía que es transmitida por la onda de choque, esta puede viajar a una velocidad muy alta, ya que el medio que atraviesa es un medio elástico. Por otra parte, la gran magnitud de esta onda acompañada por la presión interna del barreno, permite generar de compresión y las ondas que llegan a la cara libre comienzan a reflejarse generando esfuerzos de tracción en la roca. Paralelamente, la longitud de fracturamiento radial que se genera alrededor del barreno ha sido explicada por los efectos de compresión en la roca, y las fracturas tangenciales son creadas por los esfuerzos de tracción que se manifiestan después de que la onda de compresión se refleja en la cara libre (González, F., 2017).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

2.1.3.8. Rampa

Las rampas consisten en galerías inclinadas con una gradiente tal que permitan la intercomunicación entre labores con diferente cota y con la superficie, con una amplia sección de manera que facilite el desplazamiento de maquinaria, equipos, personal y materiales que necesiten actuar dentro de la mina; convirtiéndose así en la principal labor auxiliar dentro de la explotación (Vela, N., 2020).

- **Criterios para el diseño de rampas:** El diseño de rampas requiere de conocimientos de geometría, trigonometría, física y otras disciplinas teóricas que los ingenieros de minas estudian en su formación profesional, pero el conocimiento práctico y la experiencia, complementan para efectuar un diseño óptimo y acertado; previamente, se deben ejecutar los niveles principales de acceso y extracción, de 60 m a 90 m de encampane o desnivel; así mismo, se debe diseñar y planear la ejecución de chimeneas con máquinas Raíse Borer o Down The Hole, en el eje de la rampa o adyacente a esta, a fin de procurarse los servicios de ventilación, líneas de aire, agua, electricidad, además de los echaderos de mineral y desmonte (ore pass y fil/pass); de esta manera se aumentará notablemente la eficiencia y la velocidad de su ejecución disminuyendo el tiempo de transporte. luego, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- Procurar que la rampa tenga la menor longitud de desarrollo como sea posible.
- La gradiente debe ser la óptima para desarrollar velocidades de 20 a 30 km/hora y que todos los vehículos no tengan dificultad para subir.
- Los radios de curvatura mínimos deben de tener una amplitud suficiente y necesaria para que todos los vehículos puedan girar libremente sin retroceder y evitar accidentes.
- Si la rampa se va a desarrollar sobre estructura mineralizada, se debe procurar una mínima longitud de desarrollo sobre mineral rico, para reducir los pilares y aumentar el porcentaje de recuperación.
- La sección transversal debe ser la óptima para la libre circulación de todos los vehículos de la mina; compensando el ancho con la altura, siendo la altura la mínima posible.
- Tratar de evitar trabajos de sostenimiento, procurando desviar la rampa por terrenos con mejores condiciones de estabilidad y auto soporte.

- **Diseño de una rampa:** Al diseñar la construcción de una rampa, se debe considerar como parámetros Principales: Sección, gradiente, radio de curvatura y longitud total. Auxiliares: Peralte y declive.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- **Sección:** Las dimensiones de la rampa varían principalmente de acuerdo a la capacidad de producción que se determine, y en forma indirecta las características físicas del terreno con las cuales elegiremos el tamaño del equipo a emplear, estas secciones en promedio son:

  - ✓ Principales: Ancho entere 3 a 6 metros y la Altura entre 3 y 4.50 metros.
  - ✓ Auxiliares: Ancho entere 2.50 a 3.50 metros y la Altura entre 2.50 y 3.00 metros.

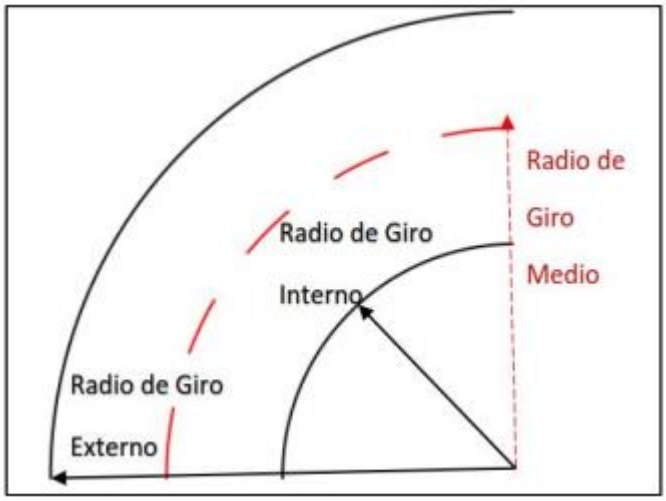
- **Gradiente:** Cada rampa tiene una gradiente más favorable a su gradiente óptima, determinada principalmente por su producción, evolución o desarrollo y por su costo de operación. Entonces cuando la gradiente aumenta tiene efecto en la disminución de la producción y genera un mayor costo de operación por hora. La gradiente óptima está entre 8 % a 10 %, pero mayormente oscila entre 10 % y 15 %, siendo en nuestro país la gradiente promedio de 12 %, con resultados satisfactorios. La gradiente más favorable es la única para toda clase de transporte. Los altos costos de operación y ventilación en gradientes empinadas son muchas veces disimulados. La gradiente influye fuerte en los costos de ventilación y del transporte. Por ello durante el planeamiento del sistema de transporte subterráneo deben de considerarse los factores

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

ambientales. Los costos de ventilación que depende del número de vehículos empleados para transporte en rampas son reducidos a un mínimo en una gradiente de aproximadamente 8 %.

- **Radio de curvatura:** Lo recomendable es que las rampas deban ser lo más recta posible, o que las curvas deban tener un radio de curvatura grande. Estos radios se eligen en razón a los equipos a emplearse (Vela, N., 2020).

Figura 12. Radios de giro en rampas.



Fuente: Descargado del internet, http://hdl.handle.net/20.500.12773/11718

Se tienen dos tipos de curvatura que especifican en los catálogos: Radio de curvatura interno (RI) y Radio de curvatura externo (RE).

Lo más usual es tener en cuenta el radio de curvatura interna, que es el más cómodo u óptimo a fin de evitar choques accidentales, u otros problemas que interrumpen el normal tránsito, y así ser lo

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

suficientemente amplio para que circulen los equipos sin ningún problema. Para elegir el radio de curvatura óptimo en una mina, se tomará el radio interno del equipo más grande en longitud, que se empleará. Para los cálculos se tomará el radio de curvatura promedio que se obtiene por la siguiente fórmula:

RP = (RI + RE) / 2

Donde:

- ✓ RE: Radio externo
- ✓ RI: Radio interno
- ✓ RP: Radio promedio

- **Longitud de rampa:** Es el metraje total de desarrollo que se realiza desde un nivel inferior a un nivel superior. Es decir, es la longitud total de acceso que se desarrolla de dicha rampa. Es muy importante determinar esta longitud para realizar el programa de desarrollo y determinar el costo de inversión.

- **Peralte:** El peralte tiene por finalidad evitar la volcadura de los vehículos, ya que permite equilibrar la acción de la fuerza centrífuga ocasionado por el paso del equipo por una curva. Para el cálculo del peralte ha de intervenir las fuerzas centrífugas y gravitacionales; en este sentido tendremos que valernos de la siguiente fórmula:

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

$$H = \frac{V2 \times a}{R \times g}$$

Donde:

- ✓ h: peralte en m
- ✓ V: velocidad m/s
- ✓ R: radio de curvatura promedio en m.
- ✓ g: aceleración de la gravedad m/s
- ✓ a: ancho de la labor en m

- **Declive:** El declive que tendrá que conservar durante el desarrollo de la rampa, con el fin de ayudar al drenaje del agua, oscila entre 0 % a 5 % máximo (entre 0 a 17.50 cm.) esta será mantenida en toda la longitud de la rampa hasta su término de construcción. Este parámetro es muy poco usado o casi nada, solamente cuando hay presencia de agua y se elimina cuando la rampa tiene un piso de O%, inclusive en las curvas cuando es O%, se elimina el peralte.

- **Tipos de rampas:** Las rampas pueden ser construidas en cuatro tipos: En forma de "Y", en "Espiral", en "Zigzag", Basculantes y otros tipos.

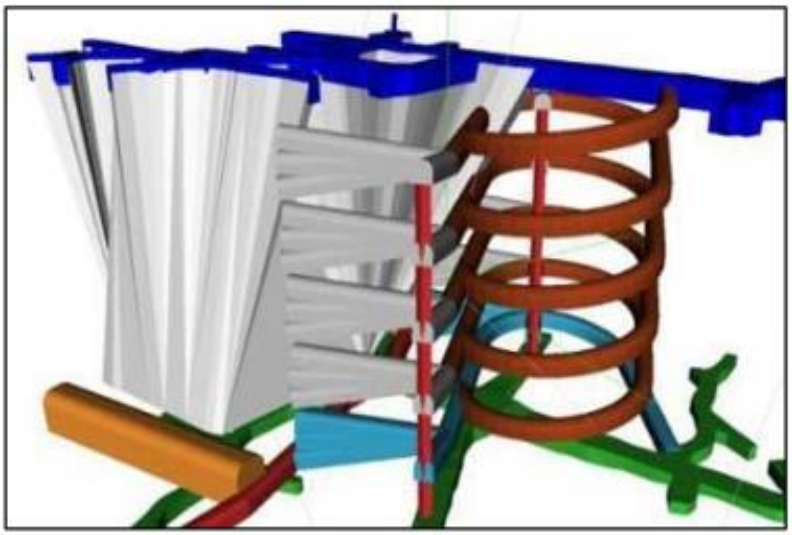
  - **Rampa tipo "Y":** Estas rampas son muy poco usadas y casi nada en el Perú, generalmente es aplicable dentro de pequeñas vetas o cuerpos de mineral. Consiste en hacer una rampa superior para acceso de materiales y otros

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

servicios, en especial relleno; y otra rampa inferior donde se espera la descarga del mineral extraído de los tajos. Estas rampas son de rápido desarrollo y poca preparación.

- **Rampa tipo espiral:** Es un sistema que une 2 niveles, se realiza dentro del yacimiento este circula todo el equipo motorizado, nos sirve como medio de transporte y llevar la secuencia de minado. En los extremos de rampa se hacen ventanas, para las operaciones de minado (Vela, N., 2020).

Figura 13. Rampa tipo espiral.



Fuente: Descargado del internet, http://hdl.handle.net/20.500.12773/11718

La gradiente para estas rampas debe ser entre 7 % a 12 % mayor porque sería esforzar mayor a los equipos, puesto que podrían restituir fuerza al equipo por mantenerse la misma pendiente en toda la longitud de la

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

rampa, de nivel a nivel. Una rampa en espiral puede tener desventajas como:

- ✓ Poca visibilidad del conductor
- ✓ Poca seguridad del personal y equipo
- ✓ Aumento del desgaste de los equipos

- **Rampa tipo zigzag:** Actualmente una de las más usadas por empresas mineras, que se está empleando el sistema de minería trackless, este tipo de construcción de rampas en forma de zig-zag tiene las siguientes características:

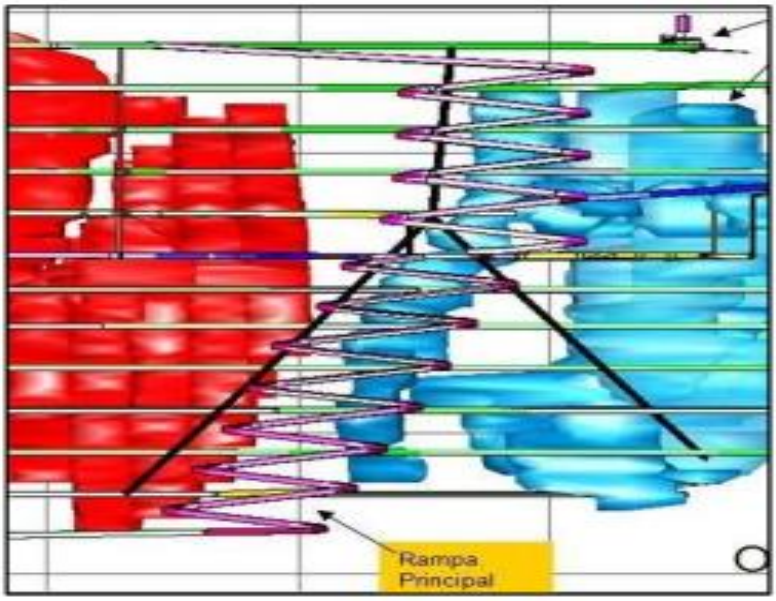
  - ✓ El desarrollo por lo general empieza de la superficie a un costado de la zona mineralizada y la longitud de la rampa va a depender de la longitud de la veta o cuerpo.
  - ✓ La rampa entra con una pendiente en promedio de 12 % y llega a disminuir dicha pendiente en las curvas.
  - ✓ Se construye en material estéril o rocas duras y competentes. La experiencia nos confirma realizar en lo posible en forma paralela a la dirección de la veta o cuerpo, es decir en una de las cajas, de preferencia en la caja piso.
  - ✓ Las secciones están en función a varios factores ya indicados anteriormente en el diseño. A las zonas

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

mineralizadas se va a entrar por los cruceros o ventanas a partir de estas rampas.

Estas rampas se utilizan especialmente para el servicio, transporte de maquinarias, materiales y para conectar diferentes puntos de trabajo como: Desarrollos de nuevos niveles, tajos, zonas de carguío de minerales y otros (Vela, N., 2020).

Figura 14. Rampa tipo Zigzag.

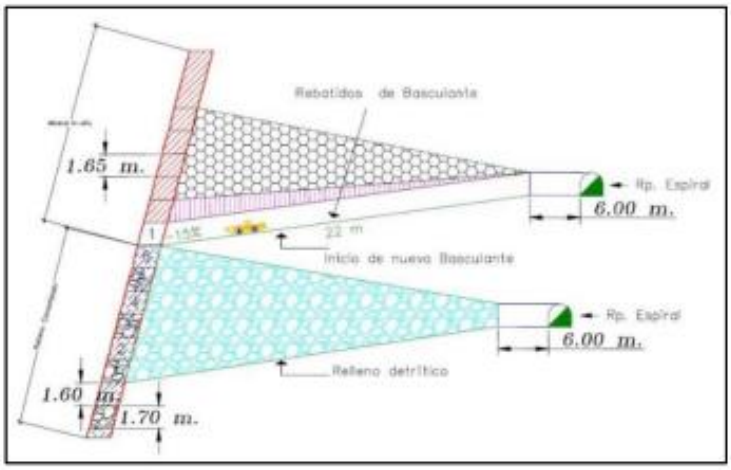


Fuente: Descargado del internet, http://hdl.handle.net/20.500.12773/11718

- **Basculante:** Son accesos y/o especie de cortada a la veta (tajo), el cual se inicia con un piso inicial en gradiente negativa de menos 15%, el que será rebatido de acuerdo a los cortes que sean necesarios, hasta llegar a un piso final de gradiente de 15%, o dependiendo del equipo a utilizarse o de la distancia de la basculante (Vela, N., 2020).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Figura 15. Rampa tipo Basculante.



Fuente: Descargado del internet, http://hdl.handle.net/20.500.12773/11718

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. El Problema

La construcción de la Rampa 210 mina Coturcan, cuya profundización tiene muchos inconvenientes, tales como la presencia de agua, que se acumula en los frentes y tiene que ser evacuada con bombas antes de la etapa de la perforación, la perforación tiene que se precisa para evitar sobre rotura y disminuir el consumo de los elementos de sostenimiento, hace que se mire con mucho cuidado y de forma diaria las operaciones unitarias de perforación y voladura de rocas, observándose que lo jumbos muchas veces son usados sin realizar un manteamiento preventivo mínimo entre cada disparo, también no se tiene cuidado en usar los barrenos unos están más usados que otros lo que hace que los costos sean elevados por la presencia de voladuras segundarias, por la presencia de una mala fragmentación esto debido a que caen bancos producto de la sobre rotura, producto a que no emplea la voladura controlada que en la práctica se trata de tener una buena distribución de explosivos en los taladros, que deben ser realizados cuidando el paralelismo, respetando el burden y espaciamiento, y en general el diseño de la malla de perforación el cual debe ser pintada oportunamente y de una forma exacta.

La voladura presenta fallas cuando la granulometría no es adecuada, existe la presencia de sobrerotura, el tonelaje de material no es el calculado, el avance lineal no es el óptimo, etc. Es por ello que es necesario respetar los estándares óptimos de perforación y voladura y en la rampa es necesario y de gran utilidad el empleo de la voladura controlada y de esta manera minimizar la sobrerotura. El método de excavación usando explosivos para la construcción de labores mineras es la más

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

usada porque en todas las minas subterráneas peruanas el macizo rocoso es adecuado y competente, el cual necesita ser fragmentado.

Para que la labor se lo suficientemente estable con o sin sostenimiento, se necesita de una sección uniforme en el cual en muchos casos no se puede lograr por que el macizo roco no es homogéneo, por ello es de suma importancia controlar el perímetro de la sección trasversal que a todas luces minimizara la sobre rotura, la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan se realiza mediante la ejecución de rampa con pendiente negativa.

3.1.1. Descripción de la realidad

En la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan, se hace necesario realizar la voladura controlada para minimizar o eliminar la sobrerotura que ocasiona muchos problemas, además se debe de controlar mucho al operador del jumbo que muchas veces no toma en cuenta criterios técnicos como ser precisos en cuidar el paralelismo y respetar la malla de perforación, usar barrenos iguales, no usar la carga adecuada en el taladro y poner mucho o poco taco, lo que hace que haya presencia de sobrerotura, la presencia de bancos de roca grandes y el empleo de voladura secundaria que retrasan el ciclo de minado por el bajo rendimiento de la limpieza.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

3.1.2. Formulación del Problema

Problema General

¿Cómo realizar la reducción de la sobrerotura mediante la perforación y voladura controlada en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan – 2022?

Problemas Específicos

1. ¿Cómo la redistribución de los taladros en la voladura controlada influye en la reducción de la sobrerotura en la Rampa 210 mina Coturcan – 2022?
2. ¿En qué porcentaje influye la reducción del factor de carga en la minimización de la sobrerotura en la Rampa 210 mina Coturcan – 2022?

3.1.3. Objetivos de la investigación

3.1.3.1. Objetivo General

Realizar la reducción de la sobrerotura mediante la perforación y voladura controlada en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan – 2022.

3.1.3.2. Objetivos Específicos

1. Realizar la redistribución de los taladros por la voladura controlada para determinar su influencia en la reducción de la sobrerotura en la Rampa 210 mina Coturcan – 2022.
2. Realizar la reducción del factor de carga para determinar su influencia en la minimización de la sobrerotura en la Rampa 210 mina Coturcan – 2022.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

3.1.4. Justificación e importancia

Se justifica porque propone la realización de un análisis profundo de los inconvenientes de en la perforación y la voladura, que influyen de manera determinativa en la reducción de la sobrerotura mediante la perforación y voladura controlada en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan – 2022.

Es importante el trabajo de investigación porque nos permitirá el uso y aplicación de los conocimientos para poder resolver los problemas referentes a la perforación y voladura para poder realizar una operación más adecuada, en base a metodologías aplicables en este tipo de casos.

3.1.5. Alcances

Solo se realizaron las estrategias operativas para la reducción de la sobrerotura mediante la perforación y voladura controlada en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan.

3.1.6. Limitaciones

Las limitaciones que se tuvo es que no se tiene mucha información técnica.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

3.2. Hipótesis

3.2.1. Hipótesis Alterna

La sobrerotura en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan – 2022 Se reduce mediante la perforación y voladura controlada.

3.2.2. Hipótesis Nula

La sobrerotura en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan – 2022 No se reduce mediante la perforación y voladura controlada.

3.2.3. Hipótesis Específicas

1. Con la redistribución de los taladros en la voladura controlada se determina la reducción de la sobrerotura en la Rampa 210 mina Coturcan – 2022.
2. La reducción del factor de carga determina la minimización de la sobrerotura en la Rampa 210 mina Coturcan – 2022.

3.3. Variables

3.3.1. Variable dependiente (x)

Reducción de la sobrerotura.

3.3.2. Variable independiente (y)

Perforación y voladura controlada en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan – 2022.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

3.3.3. Operacionalización de variables.

Tabla 3.
Operacionalización de variables.

Nombre de la variable	Dimensiones	Indicadores
VI: Perforación y voladura controlada en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan – 2022.	Distribución de los taladros.	• Unidades.
	Factor de carga.	• Kg / m3
	Factor de potencia.	• Kg / Tn.
VD: Reducción de la sobrerotura	Porcentaje de sobrerotura.	• %
	Avance por disparo.	• Metros Lineales.

Fuente: Adaptación de Marin, 2021.

3.4. Diseño de la investigación

3.4.1. Tipo de investigación

La realización de la investigación se enmarca dentro de la investigación aplicada por tener conocimientos ya comprobados de la voladura controlada (Marin, 2021).

"La Investigación aplicada busca la solución de problemas en un contexto determinado; busca la utilización de conocimientos, con el propósito de implementarlos para satisfacer necesidades concretas, proporcionando una solución a problemas del sector social o productivo" (Marin, 2021).

3.4.2. Nivel de la investigación

El nivel de investigación fue Descriptiva porque se describen las características de la perforación y voladura controlada en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan – 2022.

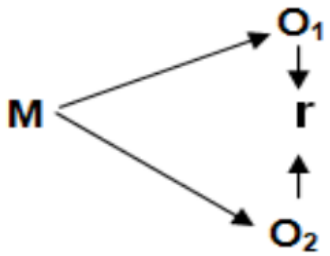
Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

3.4.3. Método

Siendo una investigación que hará uso de la ciencia, el método utilizado fue el método científico con el propósito de realizar la reducción de la sobrerotura mediante la perforación y voladura controlada en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan – 2022.

3.4.4. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación fue Descriptivo – correlacional – No experimental.



Donde:

M = Muestra.

O_1 = Observación de la Variable Independiente

O_2 = Observación de la Variable dependiente

r = Correlación entre variables

3.4.5. Población y muestra

3.4.5.1 Población

La población o universo de estudio estuvo representado por 90 perforaciones y voladuras efectuadas de enero a marzo en la Rampa 210 mina Coturcan – 2022.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

3.4.5.2. Muestra

La muestra por conveniencia seleccionada es de 12 voladuras controladas en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan (uno por semana durante tres meses enero a marzo 2022).

3.4.5. Procedimiento de recolección de datos

Para la recopilación de datos se utilizaron las fichas de observación, estos datos se realizan de manera directa en el frente de la perforación de la Rampa 210 mina Coturcan. Estas fichas de observación son los instrumentos que fueron elaborados especialmente para las anotaciones de los datos de avances, perforación, consumo de aceros de perforación, consumo de explosivos, accesorios, sobrerotura, etc.

3.4.6. Técnicas de Procesamiento de datos

Para el procesamiento de dichos datos, se utilizó la estadística descriptiva y se procesó con ayuda de un software estadístico. Así mismo, la información se presentó en tablas y gráficos según el tipo de dato recopilado.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

CAPITULO IV

RESULTADOS DE LA INVE STIGACIÓN

4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos

En la mina Coturcan, se viene realizando la profundización de la Rampa 210, con la finalidad de acceder a las reservas probadas de mineral, la sección de rampa es de 4 x 4, con pendiente negativa de 13% y se trabaja con Jumbo y Scoop, la perforación y voladura es una actividad crítica e importante que puede influir fuertemente en la sobrerotura de la sección de la rampa, el problema se centra en la sobre excavación excesiva de la rampa que dificulta la profundización, debido a la falta de la mejora de los parámetros de voladura, lo que incrementa tiempos y costos de las operaciones unitarias dentro del ciclo de minado; esta tesis tiene por objetivo demostrar que con la aplicación de la voladura controlada se lograra reducir esta sobre excavación.

4.2. Redistribución de los taladros por la voladura controlada

4.2.1. Descripción del ciclo de minado de una rampa

Para la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan, en el año 2022, el ciclo de minado establecido de acuerdo con la disponibilidad de los servicios auxiliares es la siguiente:

- Ventilación.
- Regado de carga.
- Desate de rocas sueltas.
- Limpieza de material.
- Sostenimiento.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- Perforación.
- Voladura.

1. **Ventilación:** La ventilación es el suministro de aire limpio a las labores de trabajo para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador, así como para mantener condiciones termo-ambientales confortables. De acuerdo con el reglamento interno de seguridad de la compañía minera Lincuna, es obligatorio ventilar como mínimo 60 minutos después de cada disparo. La ventilación de esta labor es forzada mediante ventiladores y mangas de ventilación de 24" a 30" de diámetro y a 15 m del tope de la labor.

2. **Regado de carga:** Es de suma importancia regar con agua al material volado con la finalidad de:

   - Disipar el polvo fino producto de la voladura
   - Identificar rocas sueltas y bloques abiertos en corona y hastiales.
   - Eliminar los gases que se encuentran alojados en los intersticios del material volado.
   - Detectar los tiros cortados y/o fallados que se pueden presentar.

3. **Desatado de rocas:** Siendo el desprendimiento de rocas la principal causa de accidentes en las minas se instruirá y obligará a los trabajadores a desatar todas las rocas sueltas o peligrosas antes, durante y después de la perforación y voladura. El desatado manual de rocas deberá ser realizada en forma obligatoria por dos (2) trabajadores, uno de ellos desata las rocas sueltas, haciendo uso de la barretilla, el otro vigilará el área de desatado, alertando toda situación de riesgo. Se

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

prohibirá terminantemente que esta actividad sea realizada por una sola persona.

4. **Limpieza de material:** Se realiza con Scoop.

5. **Sostenimiento:** El sostenimiento en excavaciones subterráneas tiene la finalidad de asegurar, controlar y mantener la estabilidad de éstas, a fin de proporcionar condiciones seguras de trabajo y brindar acceso a las labores subterráneas. El sostenimiento debe de ser instalado oportunamente; según la tabla geomecánica, para compensar los desequilibrios que se producen al realizar las excavaciones.

6. **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 taladro 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.

7. **Voladura:** La operación unitaria o proceso productivo de "Voladura", tiene como objetivo el arrancar el material involucrado desde su lugar original, de modo que este material triturado puede ser cargado y

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

retirado por los equipos respectivos (y procesado según se requiera), por lo que este material tendrá que cumplir con una granulometría y una disposición espacial apta para los posteriores procesos asociados. El primer proceso de conminución que se aplica al material es la voladura, por lo que su éxito permitirá realizar un buen manejo de este material por parte de los procesos posteriores (chancado, por ejemplo).

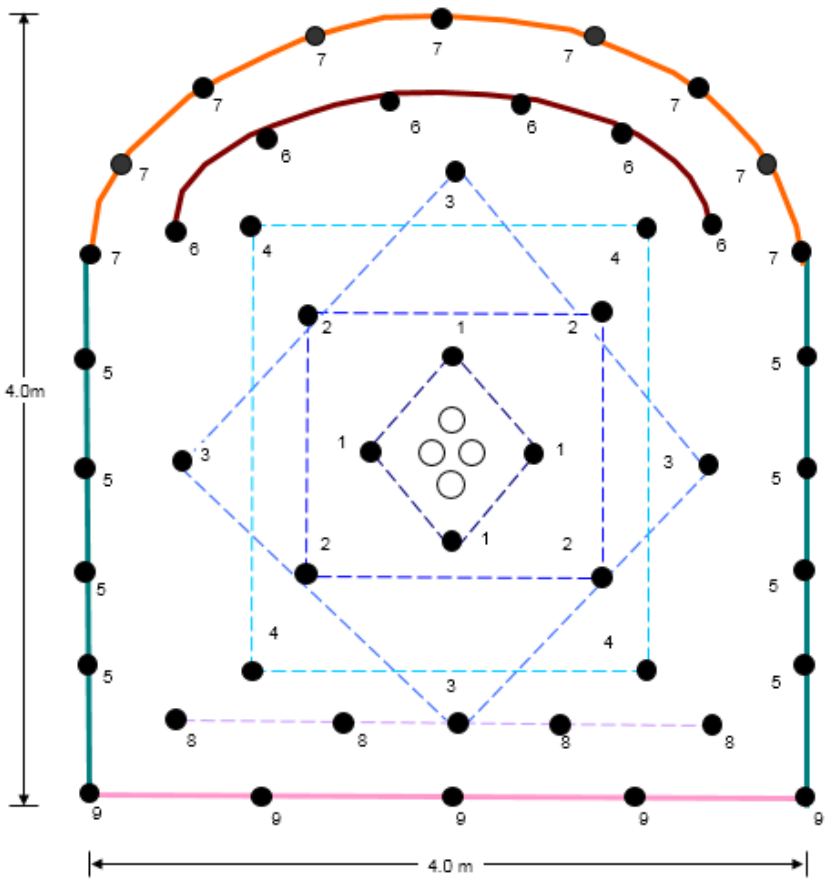
8. **Diseño de perforación y voladura:** Para el diseño de perforación partimos considerando que la sección de labor es de 4.00 m x 4.00 m, y su finalidad es el acceso y paso de vehículos, como es el caso de Scoops, jumbos y otros equipos utilizados en la operación, así como también el de paso de servicios auxiliares (Vela, 2020).

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

Figura 16. Diseño de la Malla de perforación y voladura (Roca Regular III B (RMR 41 – 50).

PARAMETROS Y EFICIENCIAS EN PERFORACION Y VOLADURA : RAMPA(+/-) 4.00 X 4.00 JUMBO+SCOOP RD

CR/GA/CA/SN 4.00 X 4.00 JUMBO+SCOOP RD



A) PARAMETROS TECNICOS:

Sección :	4.0 M X 4.0 M	
Tipo de roca :	Dura	
Tipo de Material:	Desmonte	
Densidad:	3.10	ton / m³
Volumen :	49.0	m³
Tonelaje :	152	ton

B) EFICIENCIAS:

Avance por Disparo :	3.06	m / disparo	(promedio)
Long. Perf. Efectiva:	3.41	m / taladro	(promedio)
Eficiencia en Perforaciói	93%		
Eficiencia en Voladura :	90%		
Factor de Perforación:	57.86	m perf. / m avance	
Factor de Potencia:	0.93	Kg / ton	
Factor de Carga	2.9	Kg / m3	

C) PERFORACION:

Nº de Taladros :	52	
Long. Barreno (12 pies) :	3.658	m
Tiempo de perforación:	2.4	h

D) VOLADURA:

Secuencia de Salida	Distribución de Taladros	Taladros		Cartuchos por Taladro	Cartuchos de Dinamita			Peso Explosivos (Kg)
		Cargados	Vacios		Semexa 65% 1 1/2 X 12"	Semexa 60% 7/8 X 7"	Total	Total
1	Arranque	4	4	12	48	0	48	17.65
2	1ra. Ayuda	4	0	11	44	0	44	16.18
3	2da. Ayuda	4	0	10	40	0	40	14.71
4	3ra. Ayuda	4	0	9	36	0	36	13.24
5	Cuadradores	8	0	9	72	0	72	26.47
6	Ayuda Corona	6	0	7	42	0	42	15.44
7	Corona	9	0	9	0	81	81	6.49
8	Ayuda Arrastre	4	0	9	36	0	36	13.24
9	Arrastre	5	0	10	50	0	50	18.38
	Total	**48**	**4**	**86**	**368**	**81**	**449**	**141.78**

E) ACCESORIOS DE VOLADURA:

Detonador No Eléctrico PC < 100 ms	4	Und	(Puede ser Fanel, Excel, Tecnel)
Detonador No Eléctrico PL > 100 ms	44	Und	(Puede ser Fanel, Excel, Tecnel)
Pentacord :	38	m	
Mecha Lenta :	8	m	
Mecha Rapida :	2	m	
Fulminante :	2	Und	
Conector :	2	Und	

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Se hizo un control de 12 en la Rampa 210 mina Coturcan, en el año 2022 realizado por dos semanas en el mes de febrero para determinar el porcentaje de sobrerotura, el cual se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4.

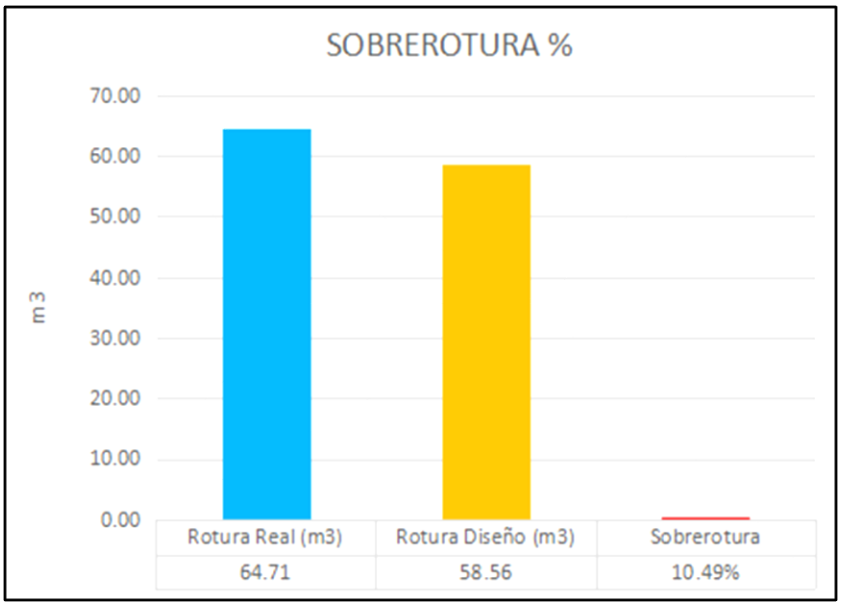
Porcentaje de sobrerotura.

Nº Disparo	Ancho (m)	Altura (m)	Avance Real (m)	Avance Diseño (m)	Rotura Real (m3)	Rotura Diseño (m3)	Sobrerotura
1	4.00	4.00	3.35	3.66	61.50	58.56	5.01%
2	4.00	4.00	3.41	3.66	64.22	58.56	9.66%
3	4.00	4.00	3.42	3.66	64.56	58.56	10.25%
4	4.00	4.00	3.39	3.66	63.26	58.56	8.03%
5	4.00	4.00	3.42	3.66	64.27	58.56	9.75%
6	4.00	4.00	3.45	3.66	63.89	58.56	9.11%
7	4.00	4.00	3.5	3.66	68.22	58.56	16.50%
8	4.00	4.00	3.39	3.66	64.29	58.56	9.79%
9	4.00	4.00	3.38	3.66	65.88	58.56	12.51%
10	4.00	4.00	3.4	3.66	64.03	58.56	9.35%
11	4.00	4.00	3.41	3.66	67.22	58.56	14.79%
12	4.00	4.00	3.41	3.66	65.12	58.56	11.20%
PROM	4.00	4.00	3.41	3.66	64.71	58.56	10.49%

Fuente: Adaptado de Nilo Castañeda Rojas, 2019.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

Figura 17. Porcentaje de sobrerotura.



Fuente: Adaptado de Nilo Castañeda Rojas, 2019.

4.2.2. Descripción del ciclo de minado de una rampa

El proyecto de profundización de la Rampa 210, mina Coturcan, tiene los siguientes parámetros técnicos:

- La sección de la Rampa 210, mina Coturcan es de 4.0m x 4.0m en tramo recto.
- La sección de la Rampa 210, mina Coturcan es de 4.0m x 4.50m en tramo curvo.
- Pendiente: Negativa máxima de 13% en tramos rectos.
- Pendiente: Negativa máxima de 8% en curvas.
- Sobre excavación de diseño 16%.
- Radio de curvatura: 25 m., mínimo
- Peralte: 0.5%
- Sobre Ancho en curvatura: 0.5 m. adicional

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- Todo equipo que ingrese a Rampa debe tener como máximo 3.10 m de altura y un ancho de 2.6m
- la Rampa 210, mina Coturcan rampa de acuerdo con la clasificación geomecánica se tiene que la Roca Regular III B; (RMR 41 – 50).
- Se perforará 48 taladros, 44 taladros de producción y 4 taladros de alivio.

Figura 18. Esquema para el resultado óptimo de la voladura.

Fuente: Jhoni Marin Mallqui, 2021.

4.2.3. Resultados después del diseño de la malla de perforación y voladura controlada

Después de aplicar la malla de diseño se obtuvo los siguientes resultados en un tramo recto de sección 4-0 m. x 4.0 m.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Tabla 5.

Resultados después de la voladura en tramo recto, sección 4.00 m. x 4.00 m.

Indicadores	Valores
Longitud de taladro	3.66 m.
Taladros con carga	44
Taladros vacíos en contorno	10
Taladros vacíos en arranque	4
Factor de carga lineal	2.90 kg/m
Avance/disparo	3.40 m.
Avance/longitud de taladro	92.90 %
Sobrerotura	8.67 %

Fuente: Adaptado de Jhoni Marin Mallqui, 2021.

Tabla 6.

Resultados después de la voladura en curva, sección 4.00 m. x 4.50 m.

Indicadores	Valores
Longitud de taladro	3.66 m.
Taladros con carga	44
Taladros vacíos en contorno	10
Taladros vacíos en arranque	4
Factor de carga lineal	2.90 kg/m
Avance/disparo	3.42 m.
Avance/longitud de taladro	93.00 %
Sobrerotura	13.05 %

Fuente: Adaptado de Jhoni Marin Mallqui, 2021.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

4.3. Cálculo del factor de carga

Antes de la propuesta de la voladura controlada.

$$\text{Factor de carga} = \frac{141.78}{3.40 * 16 * 0.85} = 3.07 \text{ Kg / m3, Tramo recto.}$$

$$\text{Factor de carga} = \frac{141.78}{3.40 * 18 * 0.75} = 3.09 \text{ Kg / m3, Tramo curvo.}$$

Después de la propuesta de la voladura controlada.

$$\text{Factor de carga} = \frac{141.78}{3.42 * 16 * 0.93} = 2.80 \text{ Kg / m3, Tramo recto.}$$

$$\text{Factor de carga} = \frac{141.78}{3.42 * 18 * 0.90} = 2.56 \text{ Kg / m3, Tramo curvo.}$$

En promedio del factor de carga es de 2.90 Kg/m3

4.4. Discusión de resultados

De los resultados que se han obtenido en el trabajo de investigación se puede decir que han cumplido con los objetivos planteados en la investigación. Se ha podido demostrar que el diseño de una malla de perforación y voladura controlada ha permitido mejorar el porcentaje de sobre rotura reduciéndolo de 16% a 10.49 %, así como la sección en la corona con una curvatura más uniforme y con ello la estabilidad de la rampa es mucho más estable.

Además, se ha reducido el factor de carga de 3.07 Kg / m3, Tramo recto y de 3.09 Kg / m3, Tramo curvo a 2.80 Kg / m3, Tramo recto y 2.56 Kg / m3, Tramo

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

curvo, de esta manera se determinó que la al bajar el factor de carga se logra minimizar la sobrerotura en la Rampa 210 mina Coturcan – 2022.

4.5. Aportes del tesista

En el desarrollo del presente trabajo de investigación, se ha demostrado que mediante la perforación y voladura controlada en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan, sea reducido la sobrerotura.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

CONCLUSIONES

1. Se realizó la reducción de la sobrerotura mediante la perforación y voladura controlada en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan, que antes de proponer este diseño de malla de y voladura controlada estaba al alrededor de 16% a 10.49 %. Por lo que se concluye, que la hipótesis general como las hipótesis específicas se validan al en su totalidad.
2. Se realizó la redistribución de los taladros por la voladura controlada aumentando de 48 taladros (con 4 taladros rimados en el cuele y 44 taladros de producción), a 48 taladros (con 4 taladros en el cuele, 10 taladros de precorte en los hastiales y en la corona).
3. Se realizó la reducción del factor de carga obteniéndose que el factor de carga optimizado, considerando una voladura controlada, se tiene que se ha reducido el factor de carga porque en la línea base se estableció 3.08 kg/m3; a 2.90 kg/m3.
4. En cuanto al avance por disparo con barrenos de 12 pies, en la línea base se estableció en 3.35 m; con la investigación, en la línea recta de la rampa se incrementó a 3.41 m, es decir 1.75 %.
5. Para el caso de la sobrerotura en la línea base se consideró que debe ser máximo el 16%; en los disparos con las nuevas mallas en la línea recta de la rampa se redujo al 8.67 % y en la curvatura de la rampa se disminuyó al 13.05 %.
6. El avance lineal inicial era del 85%; en línea recta y de 75 % en curva y con este diseño de malla se elevó del 93 %; en línea recta y de 90 %, en curva.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda seguir realizando las operaciones unitarias de perforación voladura con la técnica de voladura controlada de acuerdo al diseño propuesto.
2. Se recomienda mantener o mejorar las desviaciones de los taladros en el contorno de la labor para evitar la sobrerotura.
3. Se recomienda seguir capacitando el personal encargado de la perforación y voladura para cumplir con los estándares establecidos.
4. Se recomienda pintar las colas en los hastiales y corona en la perforación, para mejorar el paralelismo.
5. Se recomienda, siempre perforar los taladros de alivio en los hastiales y corona para un buen recorte de sección

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Berrospi, V. (2019). *Optimización de la perforación y voladura para mejorar la zona de profundización en la mina Andaychagua de la Cía. minera Volcan S.A.A.* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Facultad de Ingeniería de Minas. Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas. Cerro de Pasco, Perú.

Castañeda, N. (2019). *Reducción de la sobrerotura mediante la mejora de los parámetros de voladura en la profundización de la Rampa 2705, en la unidad minera de Parcoy de Consorcio Minero Horizonte S.A. – La Libertad.* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Cusco, Perú.

Chavez, F. (2018). *Metodología de perforación y voladura controlada en la construcción del Nivel 660, para evitar la sobre excavación en la mina Acchilla, U.E.A. Julcani, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A, 2018.* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Facultad De Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Huaraz, Perú.

Departamento de Geología – Lincuna. (s.f.).

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

González, F. (2017). *Análisis de criterios matemáticos que predicen el radio de fracturamiento en roca, generado por voladura en excavaciones subterráneas.* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. Cd. México, México.

Huanca, A. (2020). *Evaluación de los parámetros de perforación y voladura controlada para reducir la sobre excavación en la Rampa Positiva 050 Mina Arequipa M – 2020.* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Huaraz, Perú.

Huanuqueño, J. (2019). *Aplicación de taladros largos en la mina Coturcan - Compañía Minera Lincuna.* (Tesis de Pregrado). Universidad Continental. Facultad de Ingeniería. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Huancayo, Perú.

Marco, F. (2015). *Evaluación del efecto tronadura en la estabilidad y dilución de caserones en minería subterránea selectiva.* (Tesis de Grado). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería de Minas. Santiago de Chile, Chile.

Marin, J. (2021). *Perforación y voladura controlada para mejorar avance y sobrerotura en profundización de Rampa Patrick V - minera Aurífera Retamas S.A.* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ingeniería de Minas. Huancayo, Perú.

Martinez, C. (2019). *Estudio de rendimientos de los equipos Scooptrams para reducir costos en la zona de Coturcan unidad minera Huancapeti – año 2018.* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Huaraz, Perú.

Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación, México, MC ORAW HILL,* . México.

Vela, N. (2020). *Proyecto de profundización de la mina Coturcan para el incremento de reservas mediante la Rampa 0388 compañía minera Lincuna - U.E.A. Huancapetí.* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de Geología, Geofísica y Minas Escuela Profesional de Ingenieria de Minas. Arequipa, Perú.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

ANEXOS

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología	Población y Muestra
Problema General ¿Cómo realizar la reducción de la sobrerotura mediante la perforación y voladura controlada en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan – 2022?	**Objetivo General** Realizar la reducción de la sobrerotura mediante la perforación y voladura controlada en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan – 2022.	**Hipótesis General** La sobrerotura en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan – 2022. Se reduce mediante la perforación y voladura controlada. **Hipótesis Nula** La sobrerotura en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan – 2022. No se reduce mediante la perforación y voladura controlada.	**Variable Independiente (x)** Perforación y voladura controlada en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan – 2022. **Variable Dependiente (y)** Reducción de la sobrerotura.	**Tipo** Aplicada. **Nivel de la investigación.** Investigación Descriptiva. **Método.** Científico. **Diseño de la investigación.** El diseño de la investigación es Descriptivo – correlacional – No experimental	**Población** La población o universo de estudio está representado por 90 perforaciones y voladuras efectuadas de enero a marzo en la Rampa 210 mina Coturcan – 2022. **Muestra** La muestra por conveniencia seleccionada es de 12 voladuras controladas en la profundización de la Rampa 210 mina Coturcan (una por semana durante tres meses enero a marzo 2022).
Problemas segundarios	**Objetivos específicos**	**Hipótesis específicas**			
¿Cómo la redistribución de los taladros influye en la reducción de la sobrerotura en la Rampa 210 mina Coturcan – 2022?	Realizar la redistribución de los taladros por la voladura controlada para determinar su influencia en la reducción de la sobrerotura en la Rampa 210 mina Coturcan – 2022.	Con la redistribución de los taladros en la voladura controlada se determina la reducción de la sobrerotura en la Rampa 210 mina Coturcan – 2022.			
¿En qué porcentaje influye la reducción del factor de carga en la minimización de la sobrerotura en la Rampa 210 mina Coturcan – 2022?	Realizar la reducción del factor de carga para determinar su influencia en la minimización de la sobrerotura en la Rampa 210 mina Coturcan – 2022.	La reducción del factor determina la minimización de la sobrerotura en la Rampa 210 mina Coturcan – 2022.			

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

ANEXO N° 02: ACRÓNIMOS

RP, CH, CX, CM	: Rampa, Chimenea, Crucero, Cámara.
RMR	: Rock Mass Rating (Clasificación del macizo rocoso).
CSIR	: South African Council for Scientific and Industrial Research.
GSI	: Geological Strength Index (Índice de resistencia geológica).
RQD	: Índice de calidad de la roca.
NATM	: Nuevo Método Austriaco de Tunelería.
NGI	: Instituto Noruego de Geotécnica.
CFM	: Cubic feet per minute (Pies cúbicos por minuto).
Nv	: Nivel.
Ton, Tn	: Tonelada.
TM	: Toneladas métricas.
Ma	: Millones de años.
LHD	: Load Haul Dump (Carga Transporta Descarga).
CU	: Costo Unitario.
Und, Unid	: Unidad.
Gln	: Galón.
Pza	: Piezas.
Disp	: Disparo.
Cart	: Cartucho.
B	: Burden.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Sc, S	: Espaciamiento entre taladro.
T	: Taco.
Ms	: milisegundos.
MPa	: Mega Pascales.
Ecu.	: Ecuación.
Tal	: Taladro.
h/h	: horas hombre. (Castañeda, 2019).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

ANEXO N° 03: FOTOGRAFIAS

Fotografía 1

Inspección del avance en la profundización de RP 210 Coturcan.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Fotografía 2

Seguimiento de la perforación mecánica del frente.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Fotografía 3

Observación del carguío de taladros.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Fotografía 4

Carguío final del frente de profundización RP 210.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú