

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas



TESIS PROFESIONAL

**USO DE CÁMARAS DE AIRE PARA REDUCCIÓN DE FINOS APLICADO AL
TAJO QUECHER MAIN YANACOCCHA S.R.L. 2018**

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Presentado por:

Bach. Wily Mejía Barboza

Asesor:

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

La presente tesis lo dedico
con mucho amor y cariño a mis queridos padres:
Lázaro Mejía Bautista y Maritza Barboza Aguilar,
quienes con tanto esfuerzo me apoyaron
a terminar mis estudios universitarios
y así tener una base académica que me ayude
a lograr muchas metas más en el transcurso de mi vida.
Además, por haberme inculcado el respeto y la responsabilidad
que hay que tener en las actividades a desarrollar.

Wily M.

AGRADECIMIENTO

A Dios, ser supremo;
que me ha dado toda fuente de instrucción y sabiduría
para desarrollarme personal e intelectualmente.

A mi alma mater, Universidad Nacional de Cajamarca,
y a todo el personal de la Escuela Académico Profesional
de Ingeniería de Minas que contribuyeron en mi formación profesional.

A Minera Yanacocha, por brindarme la oportunidad
de realizar la presente investigación
y en especial al Ing. Yorhinio León por asesorarme
en el área de Voladura de Minas.

A mi asesor, por brindarme la guía metodológica
y asistencia en la presente investigación.

Wily M.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE FOTOS	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS	xiii
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS	3
2.2. BASES TEÓRICAS.....	4
2.2.1. Perforación	4
2.2.2. Tipos de perforación	5
2.2.3. Voladura de rocas.....	6
2.2.4. Voladura en superficie	6
2.2.5. Explosivos.....	12
2.2.6. Propiedades del explosivo	15
2.2.7. Sistemas de iniciación de voladuras	16
2.2.8. Sistema No Eléctrico.....	17
2.2.9. Sistema Electrónico	21
2.2.10. Método de cámaras de aire	26
2.2.11. Taponex.....	34
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	37

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	38
3.1.1. Minera Yanacocha	38
3.1.2. Proyecto Quecher Main	38
3.1.3. Ubicación y accesibilidad.....	39
3.2. GEOLOGÍA.....	40
3.2.1. Geología Regional	40
3.2.2. Depósito Geológico.....	41
3.2.3. Geología Estructural	43
3.2.4. Clasificación de las rocas por su resistencia a compresión simple.....	43
3.2.5. Modelo de alteraciones.....	44
3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	46
3.3.1. Tipo, nivel, diseño y método de la investigación	46
3.3.2. Población de estudio.....	46
3.3.3. Muestra	46
3.3.4. Unidad de análisis.....	46
3.3.5. Definición de variables.....	46
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	47
3.4.1. Técnicas	47
3.4.2. Instrumentos, materiales y equipos	47
3.5. PROCEDIMIENTO.....	48
3.5.1. Etapa preliminar.....	48
3.5.2. Etapa de campo.....	48
3.5.3. Etapa de gabinete.....	48
3.6. PRUEBAS DE VOLADURA	49
3.6.1. Prueba N° 01	49
3.6.2. Prueba N° 02	59

CAPÍTULO IV**ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... 65**

4.1.	PRUEBA DE VOLADURA N° 1	65
4.1.1.	Porcentaje de finos en calicatas pre voladura	65
4.1.2.	Porcentaje de finos post voladura.....	66
4.1.3.	Comparativo de resultados antes y después de la voladura.....	67
4.2.	PRUEBA DE VOLADURA N° 2	68
4.2.1.	Porcentaje de finos en detritus de perforación de taladros	68
4.2.2.	Porcentaje de finos post voladura.....	69
4.2.3.	Comparativo de resultados antes y después de la voladura.....	70
4.3.	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	71

CAPÍTULO V**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 72**

5.1.	CONCLUSIONES	72
5.2.	RECOMENDACIONES.....	73

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 74

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 01. Velocidad de detonación de explosivos comerciales.....	14
Cuadro 02. Clasificación de Explosivos Industriales Rompedores.....	14
Cuadro 03. Clasificación de los Sistemas de Iniciación de Explosivos.	16
Cuadro 04. Modelo de alteraciones del macizo rocoso utilizadas en las Operaciones de Minera Yanacocha.	45

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01. Principios de Perforación Mecánica de las Rocas.	4
Figura 02. Nomenclatura utilizada en un banco de voladura a tajo abierto.....	7
Figura 03. Componentes del sistema de iniciación no eléctrico.....	19
Figura 04. Esquema general de un detonador no eléctrico.....	19
Figura 05. Cordón detonante envuelto en carretes.	20
Figura 06. Amarre con conectores no eléctricos en superficie.....	20
Figura 07. Detonador electrónico y sus componentes internos.....	21
Figura 08. Tagger, programador.	22
Figura 09. Equipo de disparo, Base Station.	24
Figura 10. Equipo de disparo, Bench Box.	24
Figura 11. Dibujo original de Saunders usado por Foster (1897).	26
Figura 12. Diseño geométrico y posicionamiento de las cámaras de aire.....	28
Figura 13. Taladro con cámara de aire (izquierda) y presión vs tiempo (derecha). .	29
Figura 14. Taladro sin cámara de aire (izquierda) y presión vs tiempo (derecha)....	29
Figura 15. Flujo de detonación con cámara de aire y sin cámara.	30
Figura 16. Zona de alta compresión en el fondo del taladro.	31
Figura 17. Ondas reflectivas y ondas de choque.	32
Figura 18. Reflexión de las ondas de choque.	33
Figura 19. Reflexión de las ondas de choque al macizo rocoso.	34
Figura 20. Ubicación experimental del taponex en pozos secos (izquierda) y con agua (derecha).	35
Figura 21. Instalación de taponex en un taladro de voladura.....	36

	Pág.
Figura 22. Diseño de carga con taponex y sin taponex.....	36
Figura 23. Accesibilidad a Minera Yanacocha desde la ciudad de Cajamarca.	40
Figura 24. Columna Estratigráfica Minera Yanacocha.	42
Figura 25. Malla de voladura con implementación de cámaras de aire, corresponde al nivel de banco 4090 - Tajo Quecher Main.	55
Figura 26. Diseño geométrico con cámara de aire al fondo y su correspondiente especificación de carga de acuerdo a la longitud del taladro – Tajo Quecher Main.	56
Figura 27. Vista en planta de los taladros de voladura en el nivel 4090 – Tajo Quecher Main.....	57
Figura 28. Malla de voladura con implementación de cámaras de aire, corresponde al nivel de banco 4080 - Tajo Quecher Main.	61
Figura 29. Especificaciones técnicas en la carga de taladros de voladura – Tajo Quecher Main.....	62
Figura 30. Especificaciones técnicas en la carga de taladros de voladura – Tajo Quecher Main.....	63
Figura 31. Vista en planta de las mallas de voladura en el nivel 4080 – Tajo Quecher Main.....	64

ÍNDICE DE FOTOS

	Pág.
Foto 01. Punto de excavación y posicionamiento de la excavadora hidráulica para la Calicata N° 01 ubicada entre los Taladros N° 514, 515 y 552, georeferenciada mediante Coordenadas GPS en el Tajo Quecher Main.....	50
Foto 02. Excavación de la Calicata N° 1 con dimensiones de 2.0 x 1.5 x 2.2 m ³ teniendo un volumen de 6.6 m ³ en el banco de minado de una altura de 10 m, el material extraído es puesto a un costado, la cual sirvió como pila de muestreo para el análisis granulométrico y recojo en las bolsas de muestreo proveído por el Área de Geotecnia - Tajo Quecher Main.....	50
Foto 03. Recojo de material excavado mediante un cucharón hacia la bolsa de muestreo con un peso de 25 kg que posteriormente fue llevado al laboratorio de geotécnica de Minera Yanacocha para su análisis granulométrico y determinación del porcentaje de finos que contenía dicha muestra - Tajo Quecher Main.....	51
Foto 04. Punto de excavación y posicionamiento de la excavadora hidráulica para la Calicata N° 02 ubicada entre los Taladros N° 224, 225 y 257, georeferenciada mediante Coordenadas GPS en el Tajo Quecher Main.....	52
Foto 05. Excavación de la Calicata N° 2 con dimensiones de 2.0 x 1.5 x 1.8 m ³ teniendo un volumen de 5.4 m ³ en el banco de minado de una altura de 10 m, el material extraído es puesto a un costado, la cual sirvió como pila de muestreo para el análisis granulométrico y recojo en las bolsas de muestreo proveído por el Área de Geotecnia - Tajo Quecher Main.....	52
Foto 06. Recojo de material excavado con un peso de 25 kg que posteriormente fue llevado al laboratorio de geotécnica de Minera Yanacocha para su análisis granulométrico, además se incluía en la bolsa un etiquetado del nivel correspondiente (QM 4090), número de muestra (C-02) y coordenadas GPS – Tajo Quecher Main.....	53

- Foto 07. Excavación de la Calicata N° 3 con georeferenciación de coordenadas GPS y dimensiones de 2.0 x 1.5 x 2.5 m³ teniendo un volumen de 7.5 m³ en el banco de minado de una altura de 10 m, el material extraído es puesto a un costado, la cual sirvió como pila de muestreo para el análisis granulométrico y recojo en las bolsas de muestreo proveído por el Área de Geotecnia - Tajo Quecher Main. 54
- Foto 08. Recojo de material excavado con un peso de 25 kg que posteriormente fue llevado al laboratorio de geotécnica de Minera Yanacocha para su análisis granulométrico, además se incluía en la bolsa un etiquetado del nivel correspondiente (QM 4090), número de muestra (C-03) y coordenadas GPS – Tajo Quecher Main. 54
- Foto 09. Proceso de la voladura de rocas en el Banco Nivel 4090; (1) inicio de la detonación en los primeros taladros, (2) avance de la detonación, (3) presencia de humos combinado con partículas finas de roca por efecto del explosivo, (4) evacuación de humos al ambiente y fin de la voladura – Tajo Quecher Main. 58
- Foto 10. Fragmentación de la roca después de la voladura, las esferas con un diámetro de 9.8” son de escalonamiento y sirven para evaluar el tamaño de fragmentación del material volado. En esta zona se tomó dos muestras de 25 kg y se envió a laboratorio de geotecnia – Tajo Quecher Main. 58
- Foto 11. Zona de muestreo en el nivel 4080 mediante taladros de voladura (blastholes) – Tajo Quecher Main. 60

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 01. Curva de distribución de energía cinética vs tiempo para Carga Continua (Modelo 1) y Cámaras de Aire (Modelo 2).	27
Gráfico 02. Disminución de finos en el Nivel de Banco 4090 según la granulometría por tamizado ASTM D-422 considerando que los finos tienen un diámetro de partícula menor a 0.075 mm – Tajo Quecher Main.	67
Gráfico 03. Disminución de finos en el Nivel de Banco 4080 considerando que los finos tienen un diámetro de partícula menor a 0.075 mm según norma ASTM D-422 – Tajo Quecher Main.	70

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01. Resistencia a la compresión simple según ISRM (1981).	43
Tabla 02. Clasificación de las rocas a partir de su resistencia a compresión simple.	44
Tabla 03. Porcentaje de determinación pre voladura – Nivel de Banco 4090, Tajo Quecher Main.	65
Tabla 04. Porcentaje de determinación de finos post voladura – Nivel de Banco 4090, Tajo Quecher Main.	66
Tabla 05. Comparativo de resultados pre y post voladura.	67
Tabla 06. Porcentaje de determinación de finos pre voladura – Nivel de Banco 4080, Tajo Quecher Main.	68
Tabla 07. Porcentaje de determinación de finos post voladura – Nivel de Banco 4080, Tajo Quecher Main.	69
Tabla 08. Comparativo de resultados pre y post voladura.	70

LISTA DE ABREVIATURAS

%	Tanto por cada 100 unidades.
Ø	Diámetro.
Al	Alunite (Alunita).
ANFO	Ammonium Nitrate Fuel Oil (Nitrato de Amonio y Combustible).
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).
Bach.	Bachiller.
BH	Blastholes (Taladros).
B x S	Burden por espaciamento.
C	Calicata.
Cal	Calcite (Calcita).
Clt	Celestine (Celestina).
cm	Centímetro.
DIB	Delay Ignition Buffer (Amortiguador de onda).
DYNO	Dynamite Nobel (Nobel Dinamita).
E	East (Este).
EEUU	Estados Unidos.
EBW	Exploding Bridge Wire (Detonador de puente explosivo).
Epy	Epidote (Epídota).
et al.	Et alii (y otros).
EXSA	Explosivos S.A.
EXSANEL	Explosivos S.A. No Eléctricos.
ft/s	Feet per second (Pies por segundo).
FC	Factor de Carga
g/cc	Gramo por centímetro cúbico.
gr/m	Gramos por metro.
GPa	Gigapascal.
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global).

H ₂ O	Agua
HDP	High Detonation Primer (Cebador de alta detonación).
HRW	High Resistivity Wire (Detonador de puente de alta resistencia eléctrica).
IGME	Instituto Geológico y Minero de España.
Ill	Illite (Illita).
Ing.	Ingeniero.
ISRM	International Society for Rock Mechanics (Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas).
ISSE	International Society of Explosives Engineers (Sociedad Internacional de Ingenieros de Explosivos).
kg/tal	Kilogramos por taaldro.
kg/ton	Kilogramos por tonelada.
Kao	Kaolinite (Caolinita).
kJ	Kilojoule.
km	Kilómetro.
kPa	Kilopascal.
LCD	Liquid Crystal Display (Pantalla de cristal líquido).
LOX	Liquid Oxygen Explosive (Explosivo de Oxígeno Líquido).
m	Metro.
M. Cs.	Maestro en ciencias.
m/h	Metros por hora.
m/s	Metros por segundo.
m ²	Metro cuadrado.
m ³	Metro cúbico.
Ma	Millones de años.
MEQ	Mezcla Explosiva Quantex.
mm	Milímetro.
MPa	Megapascal.
MYSRL	Minera Yanacocha S.R.L.
N	North (Norte).
NC	Nitrocelulosa.

NE	North-East (Noreste)
NG	Nitroglicerina.
NW	North-West (Noroeste).
P20	Pasante de 20% de partículas.
P80	Pasante de 80% de partículas.
Pa	Pascal.
Pág.	Página.
Pb	Plomo.
PC	Personal Computer (Computadora Personal).
PETN	Pentrita (Tetranitrato de Pentaeritritol).
PLT	Point Load Test (Ensayo de carga puntual).
psig	Pounds per square in gauge (Libra por pulgada cuadrada).
Q	Quantex.
QM	Quecher Main.
Qz	Quartz (Cuarzo).
s	Segundo.
S	South (Sur).
S. A.	Sociedad Anónima.
S. A. C.	Sociedad Anónima Cerrada.
SD	Subdrilling (Sobreperforación).
SE	South-East (Sureste).
s.f.	Sin fecha.
S. R. L.	Sociedad Comercial de Responsabilidad Limitada.
SCB	Semiconductor Bridge Wire (Detonador de puente semiconductor).
SD	Sub drilling (sobreperforación).
SG	Sílice granular.
SM	Sílice masiva.
SW	South-West (Suroeste).
Tal.	Taladro.
TNT	Trinitrotolueno.

U. M.	Unidad Minera.
UNCP	Universidad Nacional del Centro del Perú.
UTM	Universal Transversal Mercator (Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator)
USA	United States of America (Estados Unidos de América).
USB	Universal Serial Bus (Puerto de Seriado Universal).
V	Volt (Voltio).
W	West (Oeste).

RESUMEN

El Tajo Quecher Main perteneciente a Minera Yanacocha S.R.L está ubicado en la provincia y departamento de Cajamarca. La presencia de finos (material particulado con un diámetro menor a 0.075mm según ASTM D-422) en Minera Yanacocha perjudica a una serie de actividades extractivas ya que luego de la voladura de rocas el material se pulveriza y provoca una pérdida de mineral durante la voladura, el transporte a su lugar de destino y por el accionar del viento. El porcentaje de finos presente en Yanacocha es entre el 30% y 50%. El objetivo de la investigación fue crear cámaras de aire en los taladros de voladura de la malla de perforación para disminuir los finos en el material volado, para lo cual se realizaron muestreos del suelo en los niveles 4090 y 4080 del tajo Quecher, mediante calicatas, en blastholes y frentes de minado. El procedimiento consistió en recolectar tres muestras de 25 kg de suelo en las calicatas, cinco muestras de 25kg de detritus de los blastholes antes de la voladura y ocho muestras de 25 kg de material volado después de la voladura en las mismas zonas donde se recogieron las muestras de calicatas y blastholes con la intención de evaluar la variabilidad y cambio en los porcentajes de finos antes y después del proceso de voladura. Cada una de las muestras fueron llevadas al laboratorio de geotecnia de Yanacocha para su análisis granulométrico. Los resultados que se obtuvieron del laboratorio con respecto al porcentaje de finos en calicatas antes de la voladura tienen un mínimo de 9.2% y un máximo de 54.3%, post voladura el mínimo es de 10.6% y máximo de 15.9%. El porcentaje de finos en los blastholes antes de la voladura tienen un mínimo de 23.7% y un máximo de 60.1%, post voladura se tiene un mínimo de 8.9% y un máximo de 30.2%. Se concluye que las cámaras de aire pueden reducir el porcentaje de finos hasta un máximo de 38.4% y un mínimo de 3.4% en el proceso de voladura de rocas.

PALABRAS CLAVE: Voladura, fragmentación, cámaras de aire, disminución de finos, Tajo Quecher Main.

ABSTRACT

Quecher Main Pit belonging to Minera Yanacocha S.R.L., is located in the province and department of Cajamarca. The presence of fines (particulate material with a diameter less than 0.075mm according to ASTM D-422) in Minera Yanacocha harms a series of extractive activities since after rock blasting, the material is pulverized and causes a loss of mineral during blasting. , transportation to their destination and by the action of the wind. The percentage of fines present in Yanacocha is between 30% and 50%. The objective of the research was to create air chambers in the blasting holes of the drilling mesh to reduce the fines in the blown material, for which soil samplings were carried out at levels 4090 and 4080 of the Quecher Pit, using test pits, in blastholes and mining fronts. The procedure consisted of collecting three samples of 25 kg of soil in the pits, five samples of 25 kg of detritus from the blastholes before the blasting and eight samples of 25 kg of material blown after the blast in the same areas where the blastholes were collected. samples of pits and blastholes with the intention of evaluating the variability and change in the percentages of fines before and after the blasting process. Each of the samples were taken to the Yanacocha geotechnical laboratory for granulometric analysis. The results obtained from the laboratory regarding the percentage of fines in pits before blasting have a minimum of 9.2% and a maximum of 54.3%, post blasting the minimum is 10.6% and a maximum of 15.9%. The percentage of fines in the blastholes before blasting has a minimum of 23.7% and a maximum of 60.1%, post blasting has a minimum of 8.9% and a maximum of 30.2%. It is concluded that the air chambers can reduce the percentage of fines up to a maximum of 38.4% and a minimum of 3.4% in the rock blasting process.

KEY WORDS: Blasting, fragmentation, air-decking, less fines, Quecher Main Pit.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Minera Yanacocha viene implementando el uso de cámaras de aire en sus operaciones con el objetivo de aprovechar mejor la utilización de la energía del explosivo dentro del taladro, y así mejorar la fragmentación de la roca y también el factor de carga. Las cámaras de aire (air decking) es una técnica para crear un espacio vacío en un taladro de voladura. Esta técnica tiene grandes aplicaciones, la primera para mejorar la fragmentación de la roca e incrementar el fracturamiento inducido, la segunda para el control de la rotura hacia atrás (back break) y una tercera para reducir el fracturamiento del precorte (pre split).

Un taladro lleno de columna explosiva tiene mayor poder rompedor que un taladro con vacíos en su interior, es por eso que existe un mayor trabajo de la energía del explosivo en el taladro debido a una mejor distribución de energía por un periodo bastante amplio, así mismo la cámara de aire reduce substancialmente los esfuerzos en la zona libre como también en la zona pulverizada cerca a la carga explosiva e incrementa en un 25% los esfuerzos en las regiones más lejanas, la cual mejora la fragmentación de la roca.

La presencia de finos (material particulado con un diámetro menor a 0.075mm según ASTM D-422) en Minera Yanacocha perjudica a una serie de actividades extractivas ya que luego de la voladura de rocas el material se pulveriza y provoca una pérdida de mineral durante la voladura, el transporte a su lugar de destino y por el accionar del viento. El porcentaje de finos presente en Yanacocha es entre el 30% y 50%.

En el problema se plantea: ¿Cuál es el porcentaje de disminución de finos en el Tajo Quecher Main Yanacocha S.R.L., aplicando el uso de cámaras de aire?, cuya hipótesis es: Con la implementación de las cámaras de aire en los taladros de voladura en el Tajo Quecher Main se logrará una disminución en el porcentaje de finos de aproximadamente 5%.

La justificación de esta investigación busca aplicar la técnica de cámaras de aire a los taladros de voladura para lograr una disminución de la presencia de material particulado en las zonas de voladura del Tajo Quecher Main, los medios probatorios fueron las mediciones llevadas a cabo en el laboratorio de geotecnia antes y después

del uso de las cámaras de aire mediante el diámetro de las partículas según la normativa ASTM D-422. De esta manera la presente tesis aportará información valiosísima en cuanto a disminución de finos y estudio de la técnica de cámaras de aire. Así mismo, servirá como base para futuras investigaciones en las operaciones a tajo abierto que lleva a cabo Minera Yanacocha S.R.L.

El objetivo general de la investigación es disminuir el porcentaje de finos en el Tajo Quecher Main aplicando la técnica del uso de cámaras de aire en taladros de voladura, como objetivos específicos se estudiará el mecanismo de funcionamiento de las cámaras de aire en voladura y mejorar la fragmentación del material volado.

La investigación está organizada en cinco capítulos; capítulo I, presenta el contexto de la investigación, planteamiento y formulación del problema, hipótesis, importancia, alcances y los objetivos de la investigación. El capítulo II, inicia mostrando los antecedentes teóricos de la presente investigación y continúa con las bases teóricas fundamentando los principios de perforación y voladura de rocas, así como describe el uso de la técnica de cámaras de aire, finalmente se presenta la definición de términos básicos. El capítulo III, hace referencia a los materiales y métodos, ubicación geográfica donde se realiza la investigación, el procedimiento a seguir mediante las pruebas realizadas en los niveles 4090 y 4080 del Tajo Quecher Main, tratamiento y análisis de datos y presentación de resultados en las pruebas realizadas en Minera Yanacocha.

En el capítulo IV se realiza el análisis y discusión de resultados, mostrando y exponiéndose los datos obtenidos con las pruebas de voladura haciendo uso de las cámaras de aire, por consiguiente contrastándose los resultados con la hipótesis. Finalmente en el capítulo V se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que se ha llegado en todo el estudio de investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Internacionales

Chiappetta (2004). "New Blasting Technique to Eliminate Subgrade Drilling, Improve Fragmentation, Reduce Explosive Consumption and Lower Ground Vibrations". Concluye que al hacer uso de cámaras de aire se ahorra de 17 a 25% de explosivo y de 21 a 25% en mejora de fragmentación.

Montiel (2014). "Optimización del Diseño de Perforación y Voladura Aplicando Cámara de Aire con el Explosivo Fortis Extra, Mina Paso Diablo, Carbones del Zulia S.A, estado Zulia". Concluye que con la implementación adecuada de la cámara de aire disminuirá el factor de carga y las vibraciones en las áreas disparadas serán menores por emplear menor cantidad de explosivos.

Sazid y Singh (2013). "Mechanism of air deck technique in rock blasting-a brief review". Mencionan lo siguiente en su investigación realizada: la cámara de aire en voladura es una de las técnicas más comúnmente usadas para el mejoramiento de la eficiencia en la voladura. Esta técnica cambia completamente el fenómeno mecánico de la voladura porque transfiere la energía del explosivo al entorno del macizo rocoso.

Nacionales

Cebrián (2007). "Técnicas especiales de voladura". Afirma que las cámaras de aire son una herramienta que puede ayudar a reducir la creación de finos alrededor de los barrenos y limitando el empuje del explosivo. Al crear cámaras de aire dentro de los barrenos, desacoplamos el explosivo de las paredes del barreno, evitando la acción de la onda de choque por detonación sobre la roca.

Quispe (2014). "Reducción de Costos en Perforación y Voladura por la Aplicación de Cámaras de Aire en la U.M. Constancia - Hudbay Peru S.A.C". Concluye que la versatilidad de las cámaras de aire con tapón Taponex en la minería a tajo abierto permite que este pueda ser usado en taladros secos y con agua, reducir el nivel de ruido y vibraciones, minimizar la contaminación del explosivo con el material del taco y permite reducir el factor de carga.

Cumpa (2016). “Efecto de las Cámaras de Aire en Taladros de Producción para Mejorar la Fragmentación del Material y Reducir el Nivel de Vibraciones por Voladura en Minería a Tajo Abierto en el Norte del Perú, 2016”. Señala que con el uso de cámaras de aire (Taponex) se obtuvo entre 20.83 a 24.96 % de mejora en la fragmentación del material para las mallas entre P20 a P80; por lo tanto se concluye que existe un efecto del uso de la cámara de aire sobre la fragmentación del material.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Perforación

Se considera a la perforación como la primera operación en la preparación de una voladura y su propósito es abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a albergar al explosivo y sus accesorios iniciadores, la perforación tiene su fundamento en principios mecánicos de percusión y rotación, los principios de perforación se muestran en la Figura 01 (EXSA, 2019).

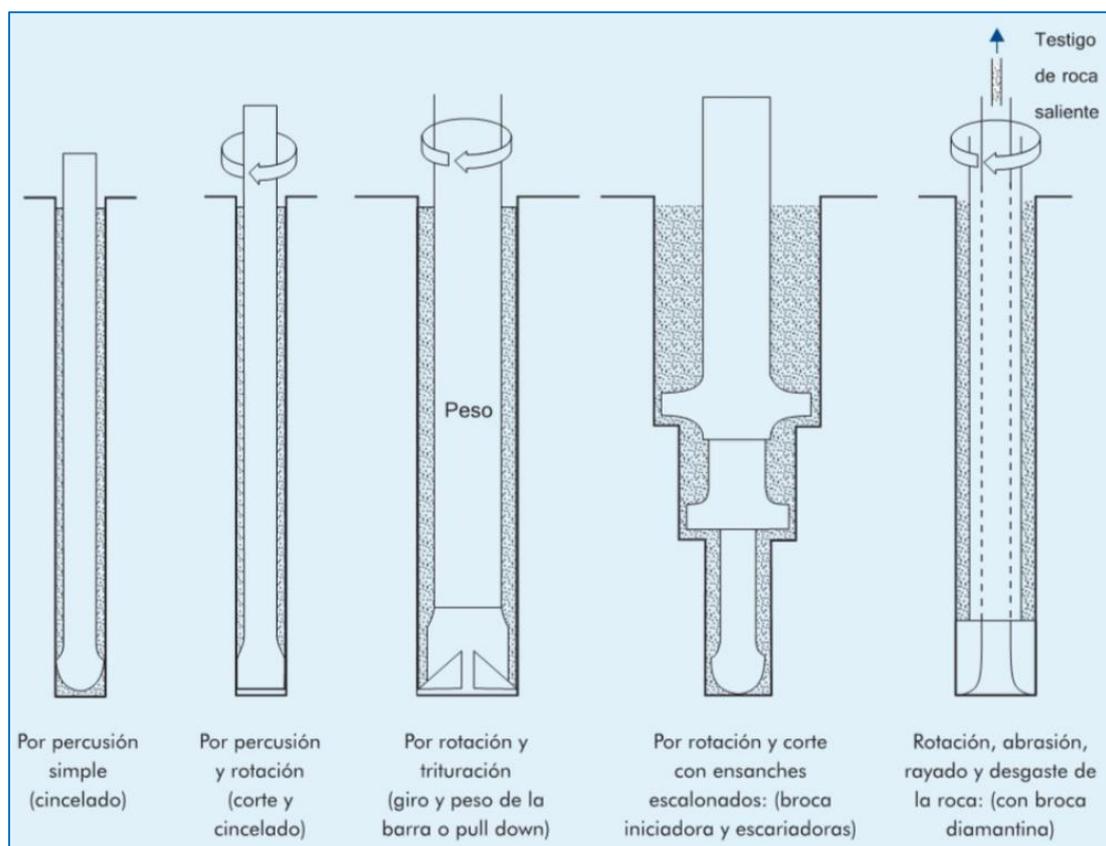


Figura 01. Principios de Perforación Mecánica de las Rocas.

Fuente: EXSA, 2019.

Para la rotura de la roca se realizan dos operaciones básicamente: la penetración (perforación) y la fragmentación de la roca (voladura). La primera se realiza a través de un orificio o corte, generalmente por medios mecanizados, hidráulicos o térmicos, con la finalidad de introducir explosivos dentro de los mismos u otros propósitos. La segunda busca aflojar y fragmentar grandes masas de material, convencionalmente mediante energía química, hidráulica, entre otras (Montiel, 2014).

2.2.2. Tipos de perforación

2.2.2.1. Perforación percusiva

ISSE (2008), nos describe lo siguiente:

En términos simples, el método de perforación no es más que una mecanización de los famosos métodos de “gata simple o doble” empleados en la minería desde hace cien años o más, en donde el extremo de una vara integrada con una broca se golpeaba con un martillo manual, y luego se giraba con la mano entre cada golpe para realinear la broca y así evitar que se salga. Los componentes en la tecnología de perforación percusiva actual siguen siendo los mismos:

- Una broca que penetre realmente en la roca y cause su rompimiento.
- Un método de transmisión de un impacto firme que se pueda transferir a la broca.
- Un dispositivo rotatorio para que la broca pueda ser progresivamente insertada en el taladro.

La broca de perforación tiene, necesariamente, que ser altamente resistente y fuerte para absorber la energía del golpe y penetrar la roca. Las brocas de hoy en día, por lo general, se pueden separar y reemplazar y tienen extremos cortantes hechos de una aleación muy fuerte, como el carburo de tungsteno en forma de inserciones o “botones”.

2.2.2.2. Perforación rotativa

ISSE (2008), brinda los siguientes apuntes:

En este tipo de perforación no se da ningún golpe, sino que se logra el rompimiento de la roca por una combinación de presión descendente y velocidad de rotación. Los

detritos se soplan del taladro también por medio de aire comprimido al igual que en la perforación percusiva. Las presiones reales en la perforación rotativa van de 50 a 100 psig (de 345 a 689kPa). La perforación rotativa es una operación de resistencia más bruta y requiere de sistemas de avance masivo y una potencia de rotación alta.

2.2.3. Voladura de rocas

De acuerdo a los criterios de la mecánica de rotura, la voladura es un proceso tridimensional, en el cual las presiones generadas por explosivos confinados dentro de taladros perforados en la roca originan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos: fragmentación y desplazamiento (EXSA, 2013).

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 (EXSA, 2013).

2.2.4. Voladura en superficie

La voladura de rocas en superficie comprende trabajos de explotación minera en bancos de canteras y tajos abiertos, obras de ingeniería civil y vial como excavaciones, canales, zanjas, cortes a media ladera y trabajos especiales como rotura secundaria de pedrones, demoliciones y voladuras controladas (smooth blasting) pero fundamentalmente se concreta en bancos (EXSA, 2019).

2.2.4.1. Aspectos generales

EXSA (2019), nos dice que los bancos son excavaciones similares a escalones en el terreno. Su característica principal es la de tener, como mínimo, dos caras libres, la superior y la frontal como la que se muestra en la Figura 02.

Lo que se busca en una voladura es la máxima eficiencia al menor costo y con la mayor seguridad posible, debe reflejarse en:

- Grado de fragmentación obtenido.
- Esponjamiento y rango de desplazamiento.
- Volumen cargado versus tiempo de operación del equipo.
- Geometría del nuevo banco; avance del corte, pisos, estabilidad de taludes frontales y otros, aspectos que se observan y evalúan después del disparo para determinar los costos globales de la voladura y acarreo.

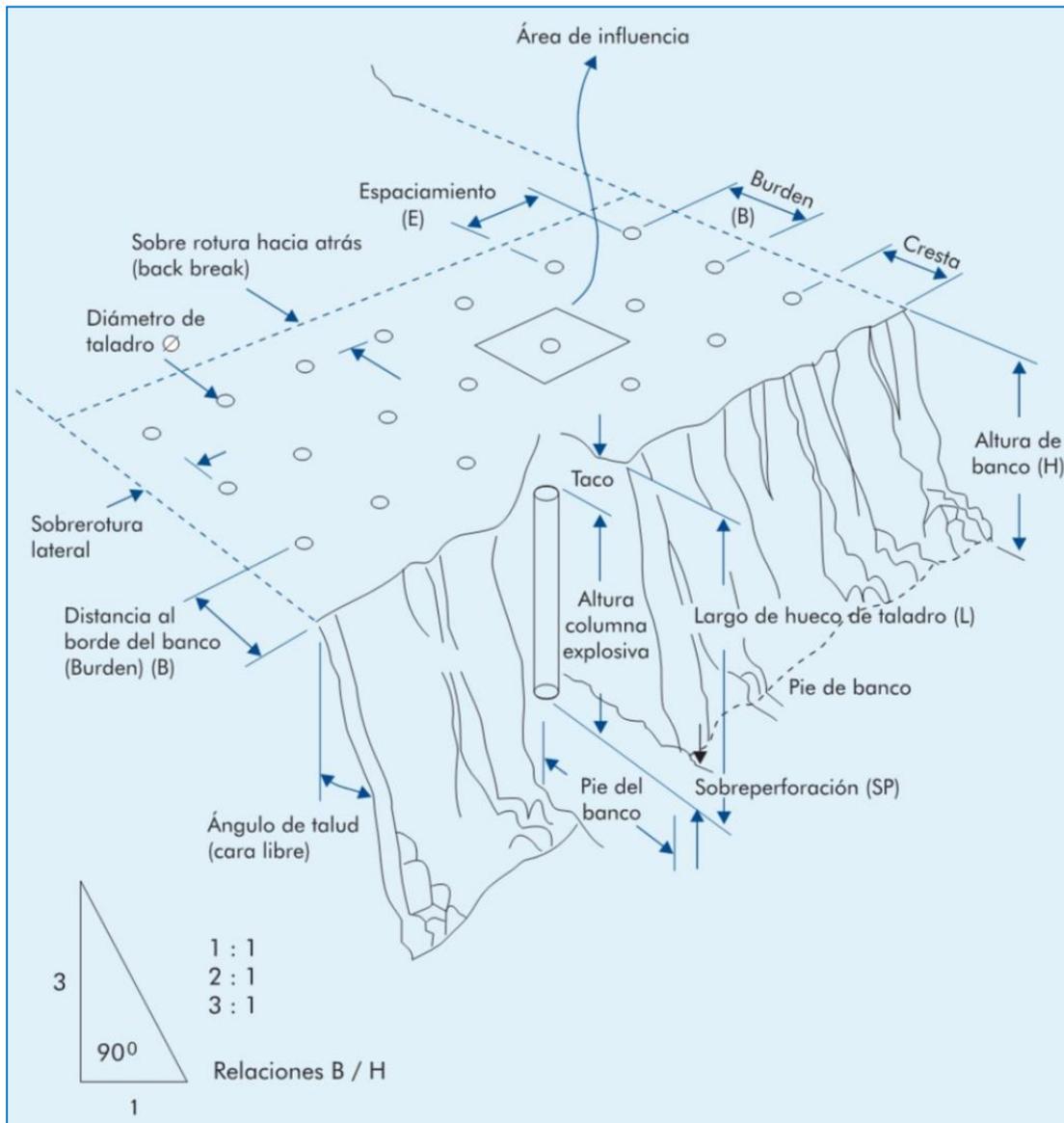


Figura 02. Nomenclatura utilizada en un banco de voladura a tajo abierto.

Fuente: EXSA, 2019.

2.2.4.2. Elementos para el diseño de voladuras en bancos

EXSA (2019), brinda las siguientes definiciones:

Los elementos también se conocen como parámetros de voladura, son datos empleados en el cálculo y diseño de disparos. Unos son invariables, como los correspondientes a las características físicas de la roca: densidad, dureza, grado de fisuramiento, coeficientes de resistencia a deformación y rotura; otros son variables, es decir que podemos modificarlos a voluntad, de acuerdo a las necesidades reales del trabajo y condiciones del terreno.

A. Dimensión de la voladura

Para EXSA (2019), la dimensión de la voladura, comprende el área superficial delimitada por el largo del frente y el ancho o profundidad de avance proyectados (m^2) por la altura de banco o de corte (H), en m^3 .

$$L * A * H = Volumen Total$$

Ecuación 01

L: largo, en m.

A: ancho, en m.

H: altura, en m.

Si desean expresarse en toneladas de material in situ se multiplica por la densidad promedio de la roca o material que pretende volarse.

$$L * A * H * \rho_r * 1000 = Masa Total$$

Ecuación 02

ρ_r : densidad de la roca, en kg/m^3 .

B. Parámetros dimensionales

B.1. Diámetro de taladro

Esta dimensión afecta a las especificaciones de los equipos de perforación, carga y acarreo, también al burden, espaciamiento, distribución de la carga explosiva, granulometría de la fragmentación, tiempo a emplear en la perforación y en general a la eficiencia y economía de toda la operación (EXSA, 2019).

$$L = 2 \varnothing$$

Ecuación 03

L: longitud del taladro, en pies.

\varnothing : diámetro del taladro, en pulgadas.

B.2. Longitud o profundidad de taladro

Es la suma de altura de banco más la sobreperforación necesaria por debajo del nivel o razante del piso para garantizar su buena rotura y evitar que queden lomos o resaltos (toes), que afectan al trabajo del equipo de limpieza y deben ser eliminados por rotura secundaria (EXSA, 2019).

$$L = H + 0.3B$$

Ecuación 04

L: longitud del taladro (m).

H: altura del banco (m).

B: burden (m).

Para taladros inclinados se utiliza la siguiente relación (EXSA, 2019):

$$L = \frac{H}{\cos \alpha} + 1 - \frac{\alpha}{100} * SP$$

Ecuación 05

α : ángulo con respecto a la vertical, en grados sexagesimales.

SP: sobreperforación (m).

B.3. Sobreperforación

Es la longitud de taladro por debajo del nivel del piso que se necesita para romper la roca a la altura del banco y lograr una fragmentación y desplazamiento adecuado que permita al equipo de carga alcanzar la cota de excavación prevista (IGME, 1994).

$$SP = 0.3B$$

Ecuación 06

SP: sobreperforación, en metros.

B: burden, en metros.

B.4. Longitud de taco

Es la longitud de barreno que en la parte superior se rellena con un material inerte y tiene la misión de confinar y retener los gases producidos en la explosión para permitir que se desarrolle por completo el proceso de fragmentación de la roca (IGME, 1994).

$$T = L + \frac{SP}{3}$$

Ecuación 07

T: longitud de taco, en metros.

L: longitud de taladro, en metros.

SP: sobreperforación, en metros.

B.5. Altura de banco

Es la distancia vertical desde la superficie horizontal superior (cresta) a la inferior (piso). Se da en función del equipo de excavación y carga, diámetro de perforación, resistencia de la roca y estabilidad del talud, mineralización y de aspectos de seguridad, se puede estimar la altura de banco con la siguiente fórmula (EXSA, 2019):

$$H = 10 + 0.57(C - 6)$$

Ecuación 08

H: altura de banco (m).

C: capacidad del cucharón de la excavadora (m³).

B.6. Burden

Es la distancia desde el pie o eje del taladro a la cara libre perpendicular más cercana, se le conoce como piedra, bordo o línea de menor resistencia a la cara libre. También es la distancia entre filas de taladros en una voladura. Si el burden es excesivo, la explosión del taladro encontrará mucha resistencia para romper adecuadamente al cuerpo de la roca, los gases generados tenderán a soplar y a craterizar la boca del taladro. Por el contrario, si es reducido, habrá exceso de energía, la misma que se traducirá en fuerte proyección de fragmentos de roca y vibraciones (EXSA, 2019).

Utilizando criterios técnicos se han propuesto varias fórmulas para el cálculo del burden, y son las que se muestran a continuación (EXSA, 2019):

- **Fórmula de Languefors**

Considera además la potencia relativa del explosivo, el grado de compactación, una constante de la roca y su grado de fracturamiento, mediante la siguiente fórmula:

$$B = \left(\frac{db}{33}\right) * \frac{\sqrt{P * S}}{c * f * (E/B)}$$

Ecuación 09

B: burden, en metros.

P: grado de compactación que puede estar entre 1,0 y 1,6 kg/dm³.

S: potencia relativa del explosivo (por ejemplo de 1,3 para una Gelatina Especial).

c: constante para la roca, generalmente entre 0,45 y 1,0.

f: grado de fractura, para taladro vertical el valor es de 1.

E: espaciamiento entre taladros.

E/B: radio de espaciamiento a burden.

db: diámetro de broca.

- **Fórmula de Konya**

Determina el burden con base en la relación entre el diámetro de la carga explosiva y la densidad, tanto del explosivo como de la roca, según:

$$B = 3.15\phi_e * \sqrt[3]{\frac{\rho_e}{\rho_r}}$$

Ecuación 10

B: burden, en pies.

ϕ_e : diámetro del explosivo, en pulgadas.

ρ_e : densidad del explosivo.

ρ_r : densidad de la roca.

b.7. Espaciamiento

Es la distancia entre taladros de una misma fila que se disparan con un mismo retardo o con retardos diferentes en la misma fila. Se calcula en relación con la longitud del burden, la secuencia de encendido y el tiempo de retardo entre taladros. En la práctica, normalmente es igual al burden para malla de perforación cuadrada $E = B$ y de $E = 1,3$ a $1,5B$ para malla rectangular o alterna. Para las cargas de precorte o voladura amortiguada (smooth blasting) el espaciamiento en la última fila de la voladura generalmente es menor: $E = 0,5$ a $0,8B$ cuando se pretende disminuir el efecto de impacto hacia atrás (EXSA, 2019).

2.2.5. Explosivos

En general los explosivos se clasifican de acuerdo a su reacción: químicos y nucleares, pero en este estudio trataremos a los químicos (Cuadro 02). Los explosivos químicos actúan por procesos de reacción química de detonación producidos por efecto de una onda de choque. Están mayormente vinculados a compuestos nitrados y son los de aplicación común en minería y construcción civil (EXSA, 2019).

2.2.5.1. Emulsiones

No son sensibles al fulminante por lo que requieren ser detonados con un cebo reforzador de alta presión de detonación y su velocidad de detonación es mayor a 5000 m/s (Cuadro 01). Su viscosidad puede ser graduada desde una emulsión líquida similar a una leche de magnesia hasta una viscosidad semejante a una margarina, lo que permite su carga al taladro tanto en forma encartuchada como a granel mecanizada y por bombeo directo al fondo del mismo para desplazar al agua. La característica principal es su facilidad de mezcla con el ANFO para formar ANFO Pesado (EXSA, 2019).

2.2.5.2. Emulsión/ANFO o ANFO Pesado

De acuerdo a EXSA (2019), son mezclas de emulsión y ANFO en diferentes proporciones, que permiten:

- Bajar el costo y potencia de una emulsión pura para voladura en rocas difíciles, secas o húmedas.
- Darle al ANFO mayor energía y resistencia al agua, al saturar con emulsión los espacios libres entre los prills o perlas del nitrato.

Estos ANFOs Pesados se pueden preparar en diferentes relaciones de acuerdo a los requerimientos de la voladura y la presencia de agua, entre 10% a 90% de emulsión y la diferencia de ANFO, siendo los ratios más difundidos 30-70, 50-50, 60-40 y 80-20. Normalmente las mezclas con menos de 50% de emulsión no son resistentes al agua pero se incrementa notablemente la potencia del explosivo, y las mayores de 50% emulsión son progresivamente más resistentes al agua.

2.2.5.3. Mezcla Explosiva Quantex – MEQ 73

Es la mezcla explosiva compuesta de un 70% de emulsión gasificable, potenciada con un 30% de nitrato de amonio Quantex, a la que posteriormente se le agrega una solución gasificante que le brinda la sensibilidad requerida y densidad deseada de acuerdo al diseño de voladura. Esta tecnología está especialmente diseñada para rocas duras y se basa en dos energías desarrolladas (EXSA, 2019):

- La primera energía de impacto desarrollada por la reacción de la emulsión gasificada que origina la fractura radial a las paredes del taladro.
- La segunda energía de expansión desarrollada por la presión de gases que se originan por reacción y sublimación (paso de sólido a gas) instantánea del nitrato de amonio denso Quantex, debido a la alta temperatura liberada por la reacción de la emulsión gasificada al momento, ampliando las fracturas y desplazando la roca fragmentada.

Cuadro 01. Velocidad de detonación de explosivos comerciales.

EXPLOSIVO	TAMAÑO DE PARTÍCULA (mm)	FORMA	VELOCIDAD DE DETONACIÓN (m/s)
ANFO	2.0	Sólido	3,200
DINAMITA	0.2	Sólido	2,500 - 5,500
SLURRY	0.2	Sólido/líquido	3,300
EMULSIÓN	0.001	Líquido	5,000 a 6,000

Fuente: EXSA, 2019.

Cuadro 02. Clasificación de Explosivos Industriales Rompedores.

EXPLOSIVOS INDUSTRIALES ROMPEDORES		
ALTOS EXPLOSIVOS	AGENTES DE VOLADURA	EXPLOSIVOS ESPECIALES
- TNT	- ANFO (PRILLS)	- SÍSMICOS
- GELATINAS (NG-NC)	- SLURRIES	- PARA VOLADURA CONTROLADA
- DINAMITAS	- EMULSIONES HÍBRIDOS (MEZCLAS ANFO/EMULSIÓN O ANFO _s PESADOS)	- PERMISIBLES (CARBÓN)
- HIDROGELES SENSIBILIZADOS	- QUANTEX MEQ 73	- CARGAS DIRIGIDAS
- EMULSIONES SENSIBILIZADAS		- BINARIOS
		- LOX Y OTROS
CLASIFICACIÓN PRÁCTICA:		
- POR SU REGIMEN DE VELOCIDAD	Deflagrantes o empujadores	
	Detonantes o trituradores	
- POR SU SENSIBILIDAD AL INICIADO	Sensibles al detonador o altos explosivos	
	No sensibles al detonador o Agentes de Voladura (requieren un Cebo o Primer)	
- POR SU APLICACIÓN PRIMORDIAL	De uso militar	
	De uso industrial (minería, construcción y usos especiales)	

Fuente: EXSA, 2019.

2.2.6. Propiedades del explosivo

2.2.6.1. Densidad

La densidad determina la sensibilidad, la velocidad de detonación y el diámetro crítico de la carga. La densidad, algunas veces denominada gravedad específica, se define como el peso por unidad de volumen y normalmente se expresa en términos de gramos por centímetro cúbico (g/cc). La densidad de la mayoría de los explosivos comerciales varía en un rango que va de un mínimo aprox. de 0.8 g/cc, a un máximo de 1.6 g/cc. Debido a que la densidad del agua es de 1.0 g/cc, los productos que se cargan dentro de los taladros que contienen agua deben tener una densidad mayor a 1.0 g/cc para que se puedan hundir (ISEE, 2008).

2.2.6.2. Presión de detonación

Para ISSE (2008), la presión de detonación, es generalmente entendida como la presión al inicio de la zona de reacción. Cuando un explosivo detona, se libera una presión tremenda prácticamente de forma instantánea en una onda de choque que existe sólo por una fracción de segundo en un punto dado. La presión repentina así creada despedazará los objetos en lugar de desplazarlos, a lo cual generalmente se le denomina “potencia rompedora”.

Para hallar la presión de detonación se hace uso de la siguiente fórmula empleada por diferentes investigadores:

$$P = 0.25 * \rho * D^2 * 10^{-6}$$

Ecuación 11

P: Presión de detonación (GPa)

ρ : Densidad (g/cc)

D: Velocidad de detonación (m/s)

2.2.7. Sistemas de iniciación de voladuras

El sistema de iniciación transfiere la señal de detonación de taladro a taladro en un tiempo preciso y permite iniciar una voladura de rocas; también afecta la cantidad de vibración generada por una voladura, el tamaño de la fragmentación producida, la sobrerotura y los problemas que puedan ocurrir (Konya, 2004).

Cuadro 03. Clasificación de los Sistemas de Iniciación de Explosivos.

MECHA Y FULMINANTE	ELÉCTRICOS	ELÉCTRICOS ESPECIALES	NO ELÉCTRICOS
Fulminante simple y mecha lenta de pólvora (llamada mecha de seguridad) (cap and fuse)	Detonadores con puente de alambre de resistencia eléctrica (bridge wire delays).	Detonadores con sistema de ignición eléctrica diferente al de la resistencia convencional.	Detonadores instantáneos y de retardo, no eléctricos y con tren de transmisión al detonador mediante uno de estos medios:
<ul style="list-style-type: none"> - CONVENCIONAL Con fulminante y mecha. - RÁPIDO Con mecha rápida de ignición (igniter cord), más conectores, mecha lenta y fulminante. 	<ul style="list-style-type: none"> - CONVENCIONAL Detonadores con retardos largos, medio segundos (long delay detonators). - MICRORETARDO Con retardos de milisegundos (short delay detonators). - SÍSMICO Instantáneo, con puente de alta resistencia a las corrientes extrañas y de alta resistencia a las presiones hidrostáticas en taladros profundos de exploración sísmográfica por hidrocarburos. 	<ul style="list-style-type: none"> - CON DETONADORES DE PUENTE DE ALTA RESISTENCIA ELÉCTRICA (HRW) (High resistivity wire) (1) - CON DETONADORES DE PUENTE (EXPLOSIVO (EBW) (exploding bridge wire (2)). - CON DETONADORES DE PUENTE SEMICONDUCTOR (SCB) (semiconductor bridge wire) ultra rápidos (3). - CON DETONADORES MAGNADET activados por inducción eléctrica mediante un dispositivo denominado toroide (4). - CON DETONADORES ELECTRÓNICOS (5) 	<ul style="list-style-type: none"> - DETONACIÓN: Con cordones detonantes de bajo gramaje (Tipo anoline y Detaline). - SHOCK: Con tubos plásticos flexibles tipo EXSANEL - INFLAMACIÓN: Con gas inflamable contenidos en tubos flexibles sellados (Tipo Hercudet) (8) Los tres mayormente aplicados en subsuelo - CONVENCIONAL: (Mayormente aplicado en tajos y canteras). Mediante: <ul style="list-style-type: none"> - a) cordones detonantes de alto gramaje, retardos de superficie para cordón y cebosiniciadores de alto poder (Booster o reforzadores instantáneos. - b) Cordones detonantes con o sin retardos de superficie y con cebos iniciadores con retardo dentro del taladro. (deck master)

Fuente: EXSA, 2019.

La clasificación de los sistemas se muestra en el Cuadro 03. En tajos abiertos y para voladuras de producción se inicia con booster o cargas multiplicadoras de alta presión de detonación, así también se usan cordón detonante con retardos exteriores en línea, detonadores eléctricos, no eléctricos y electrónicos. Las cargas iniciadoras pueden ser de dos tipos (EXSA, 2019):

- Cast primer; moldes de TNT y PENT (pentolita) colados o prensados en diferentes dimensiones y pesos, usualmente denominados HDP (high detonation primer) o cast booster.
- Primer o booster con retardo incorporado; que se emplean principalmente en los taladros con cargas espaciadas (decks) los que permiten secuenciarlas a diferentes cotas (retardos en profundidad).

2.2.8. Sistema No Eléctrico

Este sistema permite la transmisión de una señal de activación entre cargas explosivas remotas utilizando una onda de choque, producto de la activación de un explosivo o una mezcla explosiva con o sin confinamiento inicial. Esta onda de choque es transmitida a través de un tubo plástico (detonador no eléctrico) o a través de un cordón (cordón detonante), el sistema funciona con un equipo integrado de componentes (DYNO, 2001):

- Detonador no eléctrico
- Cordón detonante
- Conectores de superficie

2.2.8.1. Detonador no eléctrico

De acuerdo con DYNO (2001), nos menciona que este tipo de detonador fue introducido al mercado por Dyno Nobel a partir del año 1970 aproximadamente y consiste en un tubo plástico que transmite una señal en forma de onda de choque, llamado tubo de choque o tubo no eléctrico, el cual lleva una pequeña cantidad de mezcla explosiva en su interior y está ensamblado herméticamente a un detonador que tiene también en su interior. Este detonador no actúa por sí solo, sino que tiene un conjunto de elementos, como muestra la Figura 03 y Figura 04, los cuales son los siguientes:

- **Tubo de choque o tubo no eléctrico**

Es un tubo plástico delgado, compuesto de 2 o 3 capas plásticas, es hueco en su interior y lleva adherido a su pared interior una pequeña capa de una mezcla explosiva.

- **Elemento amortiguador de onda**

Este elemento representa una interfase entre la energía entregada por el tubo de choque dentro del detonador y los elementos de retardo que son activados por esta energía, actúa como una cámara de expansión de los gases acumulados durante la propagación de la señal a través del tubo de choque y permite una mejor distribución de la energía al elemento de retardo, garantizando una correcta iniciación.

- **Elementos de retardo**

El elemento de retardo se encuentra ubicado en contacto con el amortiguador de onda y consiste en un tubo de plomo o aluminio que tiene en su núcleo una mezcla pirotécnica de una velocidad de combustión conocida.

- **Carga explosiva**

Está compuesta por dos tipos de explosivos uno primario y otro secundario, los que conforman la carga base de un detonador no eléctrico. Este explosivo se encuentra en la cápsula metálica o casquillo de aluminio de fondo plano y comprende una altura desde la base del detonador hasta unos 20 mm de altura.

- **Conector jota**

El conector J (jota) es una pieza plástica ensamblada al tubo de choque en su extremo libre y está diseñado para conectar el tubo de choque con cordones detonantes de 3 y 5 gr/m. Además tiene un código de colores que permite verificar el tiempo de retardo del detonador no eléctrico al cual está ensamblado.

- **Etiquetas**

Las etiquetas pueden ser de dos tipos: de retardo, cinta adhesiva de plástico ensamblada en el tubo de choque y que tiene impreso el número de retardo y el tiempo en mili segundos; de metraje, etiqueta de papel adhesiva ensamblada al tubo de choque, que lleva impreso el largo del tubo en metros.



Figura 03. Componentes del sistema de iniciación no eléctrico.

Fuente: EXSA, 2013.

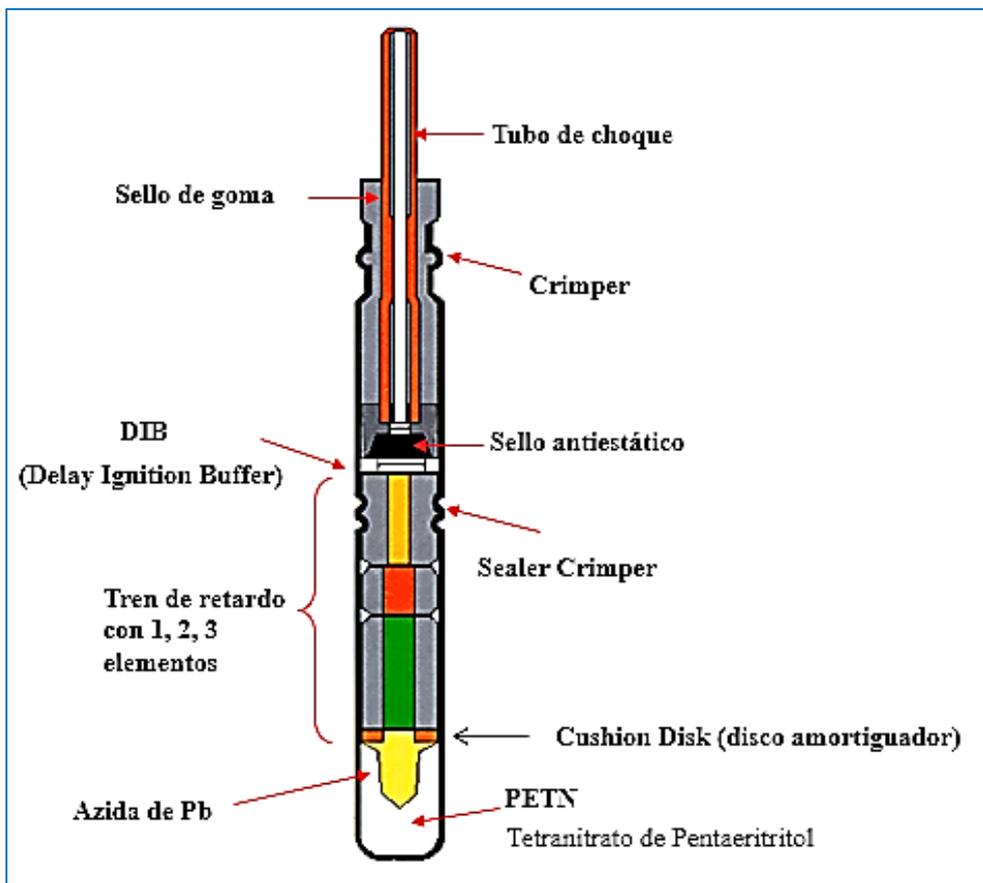


Figura 04. Esquema general de un detonador no eléctrico.

Fuente: DYNO, 2001.

2.2.8.2. Cordón detonante

Los cordones detonantes contienen un núcleo central de PETN cristalino o granulado cubierto por una serie de capas de un tejido de fibra sintética y revestido externamente por una cubierta plástica. Los tejidos de fibra internos confinan el explosivo y proporcionan fuerza de tracción, mientras que el forro exterior (Figura 05) protege contra el agua y resiste la abrasión proporcionando flexibilidad (DYNO, 2001).



Figura 05. Cordón detonante envuelto en carretes.

Fuente: Famesa, s.f.

2.2.8.3. Conectores de superficie

Son diseñados para introducir un tiempo de retardo y permitir una conexión rápida entre unidades o a un cordón detonante como muestra la Figura 06. Los conectores de superficies están conformados por dos partes esenciales: una carga explosiva con retardo y una pieza plástica que permite poner en contacto la carga explosiva con un tubo de choque o un cordón detonante (DYNO, 2001).



Figura 06. Amarre con conectores no eléctricos en superficie.

Fuente: Famesa, s.f.

2.2.9. Sistema Electrónico

Este sistema utiliza energía eléctrica, señales decodificadas entre cargas explosivas remotas y un circuito electrónico para dar la secuencia o el tiempo de retardo. Este tipo de tecnología provee una mejora en la eficiencia de las voladuras (DYNO, 2001).

El sistema electrónico del detonador puede ser agrupado en dos categorías básicas de acuerdo al tiempo de retardo (EXSA, 2019):

- Sistema con retardo directo: Estos detonadores reciben el retardo de tiempo directamente del programador con el cual ese retardo es almacenado en el detonador durante el proceso de disparo.
- Sistema con codificación: Reciben el retardo de tiempo en la etapa previa al disparo, luego de realizar la conexión de los detonadores.

2.2.9.1. Detonador Electrónico

Los detonadores electrónicos son la última evolución de los sistemas de iniciación para voladuras. Su desarrollo comenzó hace bastantes años, pero todavía el uso de este tipo de sistema está centrado en ciertas aplicaciones donde se buscan unos resultados específicos, cada detonador electrónico está identificado inequívocamente con un código alfanumérico que sirve para su posterior programación y disparo en cada voladura, sus componentes internos de este tipo de detonador se muestra en la Figura 07 (Bernaola et al., 2013).

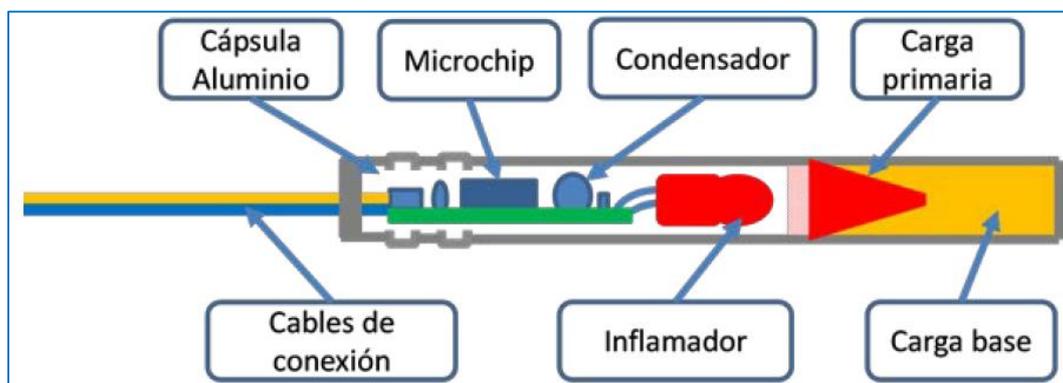


Figura 07. Detonador electrónico y sus componentes internos.

Fuente: Bernaola et al., 2013.

La diferencia fundamental entre el detonador electrónico y cualquier otro, bien sea eléctrico o no eléctrico, es que la pasta pirotécnica que determina el tiempo de retardo ha sido sustituida por un circuito electrónico, en el cual, un microchip es el encargado de realizar la descarga de un condensador en el instante deseado. En los demás tipos de detonadores, el retardo viene fijado por el tiempo que tarda en consumirse una pasta pirotécnica. (Bernaola et al., 2013).

El sistema de iniciación electrónica requiere de tres grupos de componentes indispensables para su funcionamiento (EXSA, 2019):

A. Equipos de uso de malla

Son los equipos que tienen interacción directa con los detonadores en la malla de manera individual o grupal. Estos equipos intercambian información con el detonador permitiendo asignar un código o retardo y a la vez verificar el estado del mismo.

A.1. Programador (Tagger)

Es la unidad de etiquetado y verificación de los detonadores. Mediante su software detecta el chip electrónico del detonador y le asigna una posición definida por el usuario además de verificar el estado de los componentes del mismo, Figura 08. Al finalizar la conexión realiza verificaciones de todo el circuito pudiendo detectar fallas o malas conexiones. Cuenta con una pantalla LCD a color, conectores para cableado de 3 vías, puerto USB para descargar los registros de voladura a una PC y es seguro debido a que trabaja con una batería de 9 voltios, no tiene energía necesaria para iniciar los detonadores prematuramente.



Figura 08. Tagger, programador.

Fuente: EXSA, 2013.

A.2. Máquina de disparo (Blast Cradle)

Es la unidad de energía que permite energizar los capacitores de los detonadores electrónicos y lleva el control de todos los detonadores en cuanto a la continuidad eléctrica de cada uno al momento de iniciar el momento máquina, también tiene la alternativa de interrumpir el disparo mediante el botón "Abort", en caso que sea necesario.

A.3. Llave de Disparo (Blast Key)

Este componente al entrar en contacto con la caja de disparo da acceso al sistema de activación de la voladura previa identificación del usuario mediante un código secreto (password), sin el cual el equipo no funciona.

B. Equipos de iniciación

B.1. Equipo de Disparo (Bench Box/Base Station)

Es la unidad de poder y programación de los detonadores la cual carga con el voltaje necesario (24V) los condensadores del circuito electrónico, proporciona los retardos a cada detonador y realiza constantes verificaciones para corroborar el estado de los detonadores. En este equipo se descarga el diseño de secuencia de salida previamente elaborado en el Software ViewShot. Además de ello contiene dispositivos de seguridad que permiten abortar el disparo en cualquier momento.

Base Station

- Es colocada en el punto de la voladura.
- Se utiliza para iniciar la explosión.
- Pueden hacer disparos desde 2000 m con cable o 3000 m con control remoto inalámbrico de disparo.
- Para garantizar la seguridad del disparo requiere de una clave.



Figura 09. Equipo de disparo, Base Station.

Fuente: EXSA, 2013.

Bench Box:

- Debe de estar situado en un lugar seguro cerca del banco.
- Sirve de interfaz entre el banco y la estación base.
- Aloja la batería de tensión para la detonación.
- Aloja el bloque de conexión.



Figura 10. Equipo de disparo, Bench Box.

Fuente: EXSA, 2013.

Las características de estos equipos de iniciación se muestran a continuación:

- Bench Box/Base Station se usan de manera aleatoria ya que físicamente contienen el mismo hardware, mediante configuración se cambia de Bench a Base y viceversa.
- Bench Box, puede iniciar hasta 1800 detonadores en sus 6 canales de conexión los cuales pueden ser editados, creados y borrados fácilmente en su software de diseño sin necesidad de conectarse con una PC (Figura 10).
- Base Station, puede conectarse mediante Radio Frecuencia con hasta 4 Bench Box para ser iniciados de manera sincronizada (Figura 09).

C. Accesorios

C.1. Llaves de disparo (Smart Keys)

Son dispositivos de seguridad que permiten el inicio del proceso de disparo mediante la lectura de un circuito electrónico y un password único para cada juego de llaves (1 roja para ejecutar el disparo y 4 amarillas para armar el/los Bench Box). Además proveen un enlace físico entre la batería y los detonadores por lo tanto sin este dispositivo no se podrían cargar de energía los detonadores. Los Smart Keys contienen un circuito electrónico que será leído por el Bench Box/Base Station.

C.2. Cable de amarre (DigiPro)

Cables de dos vías que se usan para conectar los detonadores entre sí y al equipo de disparo (Bench Box) además lleva la energía e información de la caja de disparo hacia los detonadores.

C.3. Antenas Omnidireccionales

Componente que se conecta a los equipos de disparo para potenciar la señal de comunicación entre ellos. Con ellos la señal se intensifica pudiendo estar alejado hasta 3 km en contacto visual.

2.2.10. Método de cámaras de aire

2.2.10.1. Cámara de aire

Es un espacio de aire que se genera por medio del “taponamiento” del taladro con un accesorio especial, el cual se ubica convenientemente dentro del taladro de la voladura. Puede ser ubicada en la parte superior, media o inferior de la carga explosiva dependiendo del propósito, también pueden ubicarse dos cámaras de aire en un solo taladro (Quispe, 2014).

Los beneficios de la técnica (air decking) para la voladura de rocas tiene una larga historia de aplicación desde el año 1891, donde Saunders inventó y patentó la técnica de cámara de aire (air decking) en Alemania. La copia del dibujo original de Saunders fue mencionado en un estudio realizado por Foster en el año 1897 como se muestra en la Figura 11, donde A es la carga explosiva, B es la cámara de aire y C es el taco (stemming material) (Sazid y Singh, 2013).

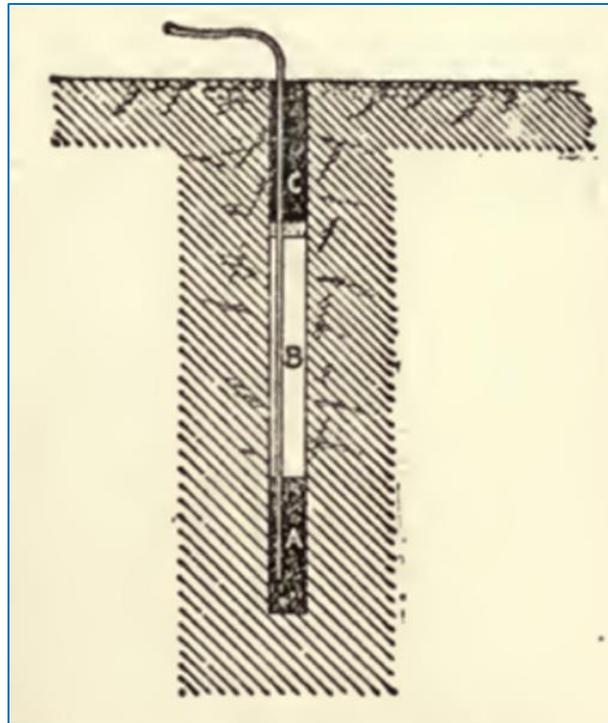


Figura 11. Dibujo original de Saunders usado por Foster (1897).

Fuente: Sazid y Singh, 2013.

Las simulaciones de voladura implementados con cámaras de aire han sido muchas las que tratan de explicar el fenómeno o efecto que tienen sobre el macizo rocoso. Singh et al. (2013), simuló el modelo de voladura con cámara de aire (air deck) en una reciente herramienta de elementos finitos para entender los fenómenos de energía de choque/explosión en las cámaras de aire. En esta simulación se utilizaron dos modelos de cráter con simetría axial, esto con el fin de determinar diferencias entre una carga continua de explosivo y columnas de explosivo con cámara de aire, los resultados de este modelo se muestra en el Gráfico 01.

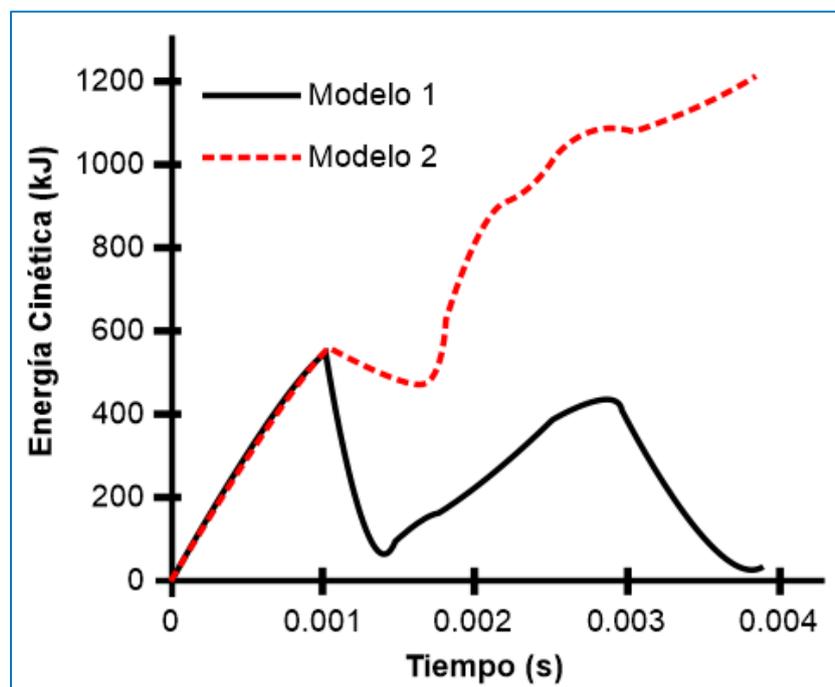


Gráfico 01. Curva de distribución de energía cinética vs tiempo para Carga Continua (Modelo 1) y Cámaras de Aire (Modelo 2).

Fuente: Sazid y Singh, 2013.

Lo que se encontró fue que la relación de energía cambió totalmente con las cámaras de aire. La energía cinética fue completamente transferida al taco como rocas volantes (flyrocks) en el caso de carga continua; mientras que, se retiene la energía y transfiere al área circundante del macizo rocoso en repetidas formas en el caso de las cámaras de aire (Singh et al. 2012).

2.2.10.2. Geometría de las cámaras de aire

La posición y el tamaño de las cámaras de aire cambian la fragmentación y el despliegue de la voladura, así en la Figura 12 se muestra los cambios de posición que se pueden realizar a las cámaras dentro de un taladro, pueden ir al fondo, en el centro, en la parte superior junto al taco, así como también dos cámaras de aire son factibles; para este proyecto se ha utilizado la cámara de aire en el fondo del taladro (una cámara, de un metro de longitud) (Quispe, 2014).

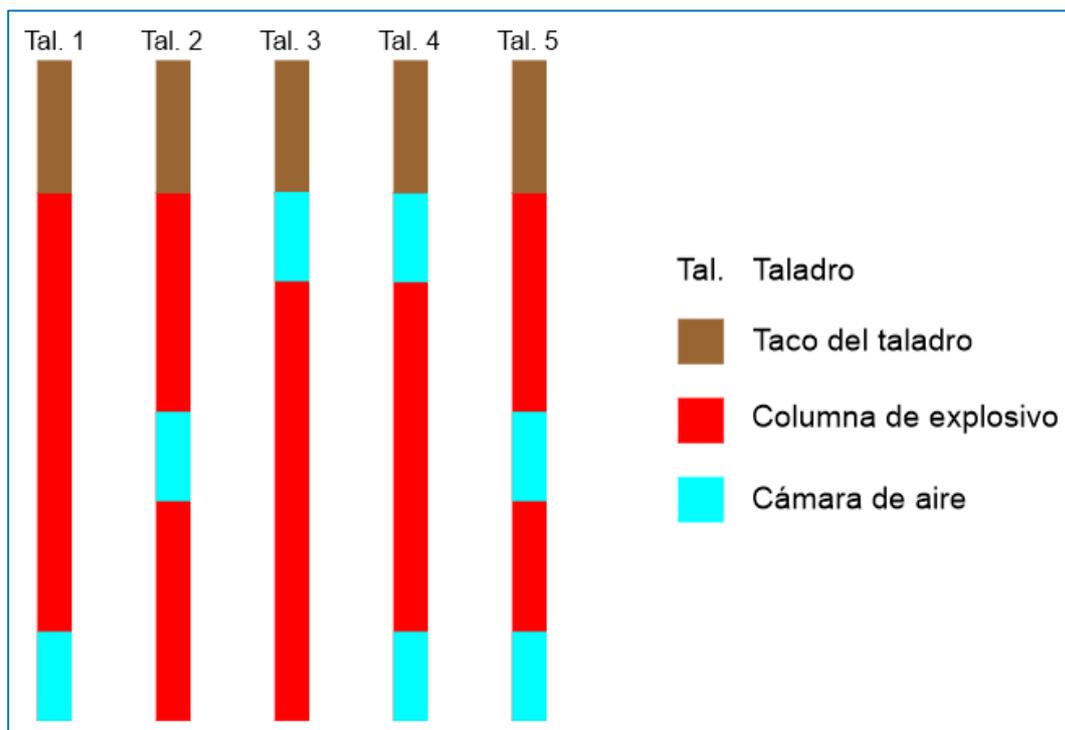


Figura 12. Diseño geométrico y posicionamiento de las cámaras de aire.

Fuente: Quispe, 2014.

En la Figura 13 se muestra un taladro con cámara de aire y el mecanismo de onda de la energía, ahí se observa que la presión tiene mayor duración por una mejor distribución de energía al macizo rocoso, además originan incremento de fracturas. Diversos estudios concluyen que las cámaras de aire, incrementan la duración de la acción de las ondas de choque sobre el macizo rocoso de 2 a 5 veces.

En la Figura 14 se muestra un taladro sin cámara de aire y se observa que la presión tiene una menor duración por una rápida disipación de la energía en el macizo rocoso.

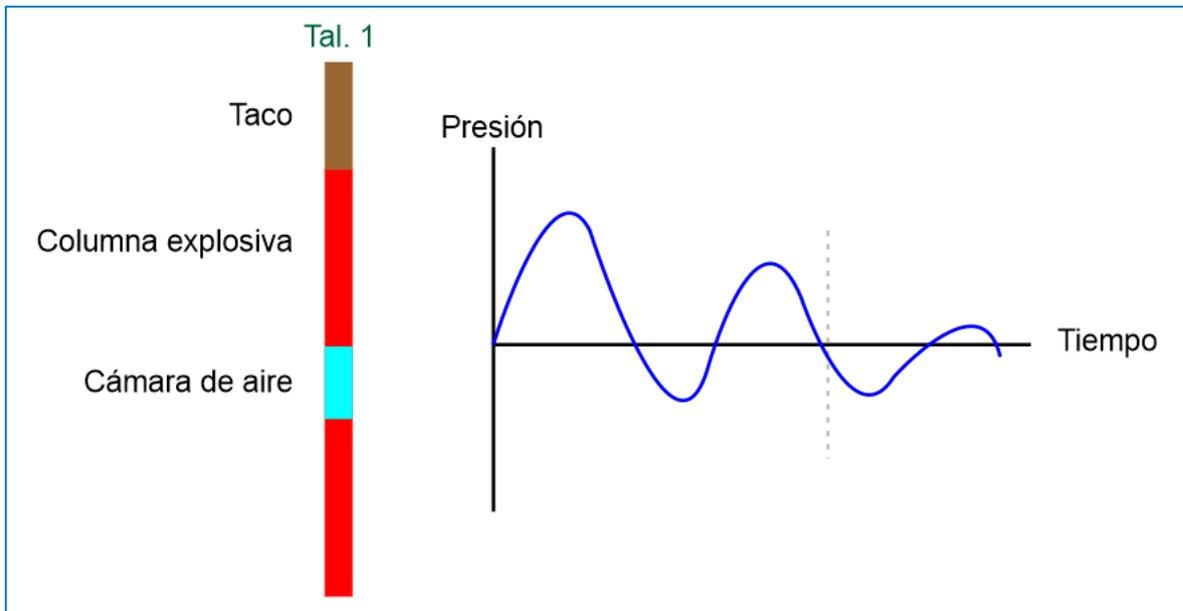


Figura 13. Taladro con cámara de aire (izquierda) y presión vs tiempo (derecha).
Fuente: Quispe, 2014.

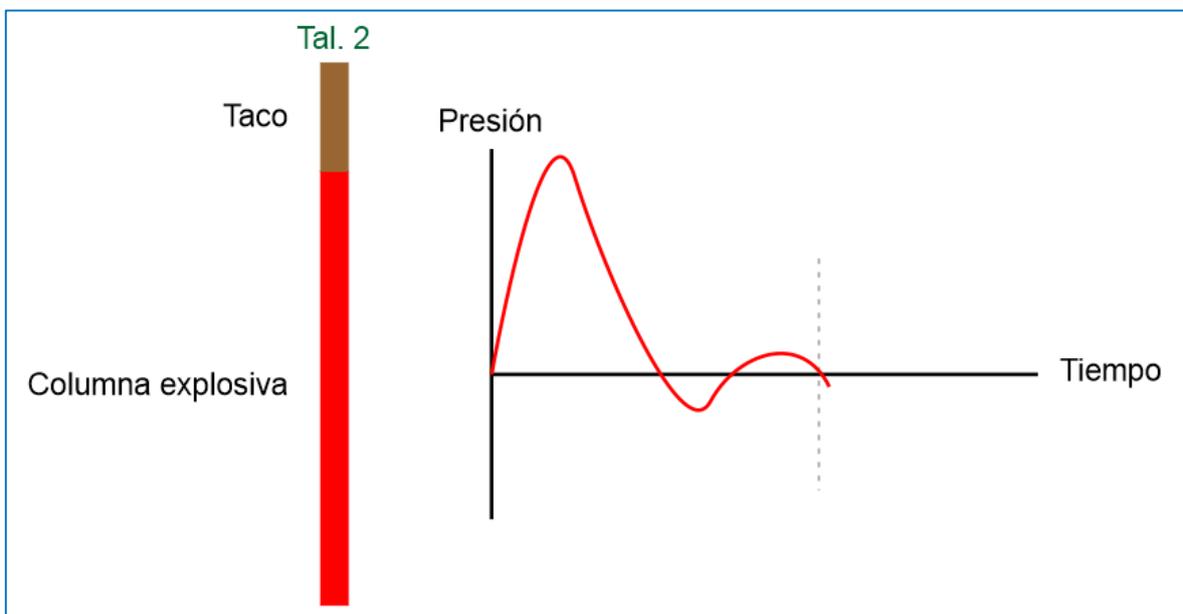


Figura 14. Taladro sin cámara de aire (izquierda) y presión vs tiempo (derecha).
Fuente: Quispe, 2014.

2.2.10.3. Etapas del proceso con cámaras de aire

Primera etapa: movimiento inicial después de la detonación

Al momento de iniciar la detonación se genera una alta temperatura, la que a su vez inicia el desplazamiento de una onda de choque y simultáneamente se comienzan a generar grandes volúmenes de gases; en el caso del taladro sin cámara de aire, dicho fenómeno generará esfuerzos de compresión sobre el macizo rocoso inmediato y rápidamente se disipará la energía; sin embargo en el caso del taladro con cámara de aire, el mismo fenómeno de altas temperaturas y presiones tomará el camino de menor resistencia que es el espacio vacío lo que permite equilibrar la presión y prolongar el tiempo de la energía permitiendo mayor distribución de fuerzas hacia el macizo (Peterson, 2002; Chiappetta, 2004).

En la Figura 15 se muestra dos taladros uno con cámara de aire y el otro sin ella, en ambos casos, el taco encabeza la onda de detonación y esta se dirige hacia el fondo del taladro, por lo cual el flujo de detonación con cámara de aire toma el camino de menor resistencia y se dirige a la zona de vacío, en el caso de columna completa de explosivo se generan inmediatamente esfuerzos de compresión hacia la roca.

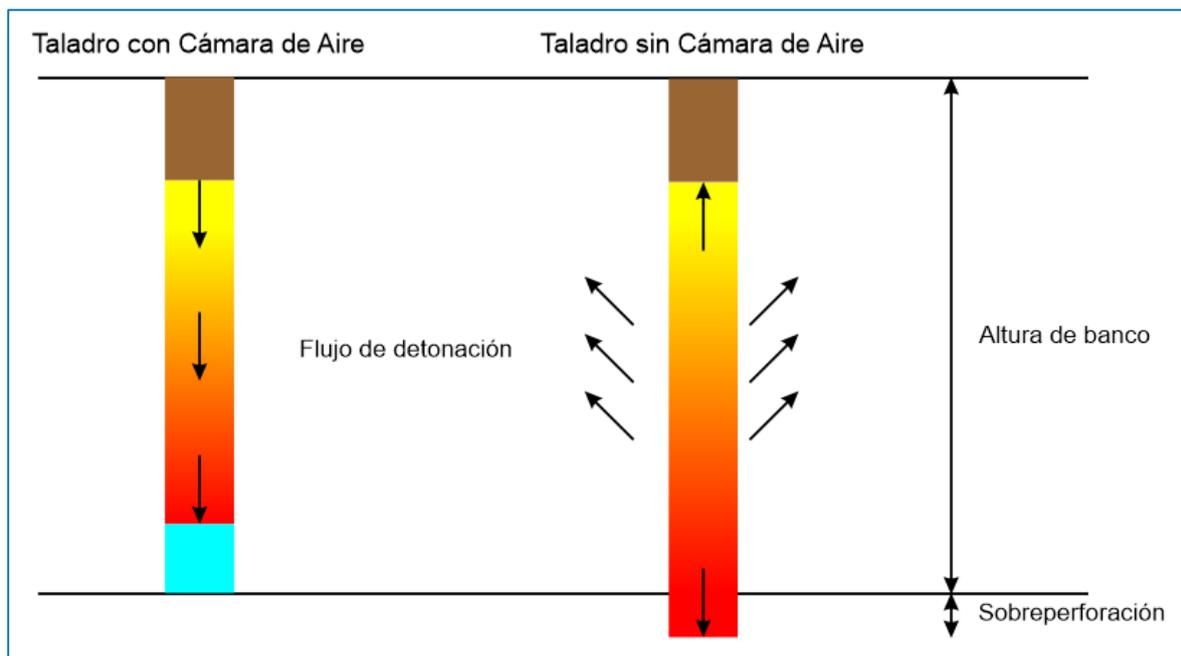


Figura 15. Flujo de detonación con cámara de aire y sin cámara.

Fuente: Quispe, 2014.

Segunda etapa: proceso de equilibrio

La cámara de aire obliga a ecualizar la presión, es decir en la zona donde no hay explosivo la presión se incrementara rápidamente hasta equilibrarse con la presión que se está generando producto de la detonación del explosivo, esto debido a que por ofrecer una menor resistencia el flujo de la detonación es en primera instancia hacia el fondo del taladro perforado.

Estas fuerzas al no encontrar un lugar por donde escapar buscaran hacerlo en la intersección que conforman el plano del fondo del taladro y el de la pared del taladro, lo que consecuentemente originara una zona de debilidad y la que finalmente creará una fractura que se expandirá en forma horizontal hacia los taladros contiguos en la malla de voladura (Chanduvi, 2010).

En la Figura 16 se muestra la zona de alta compresión hacia el fondo del taladro ya que la cámara de aire obliga a ecualizar la presión y por lo tanto generará un fracturamiento horizontal en el propio taladro y en los taladros cercanos.

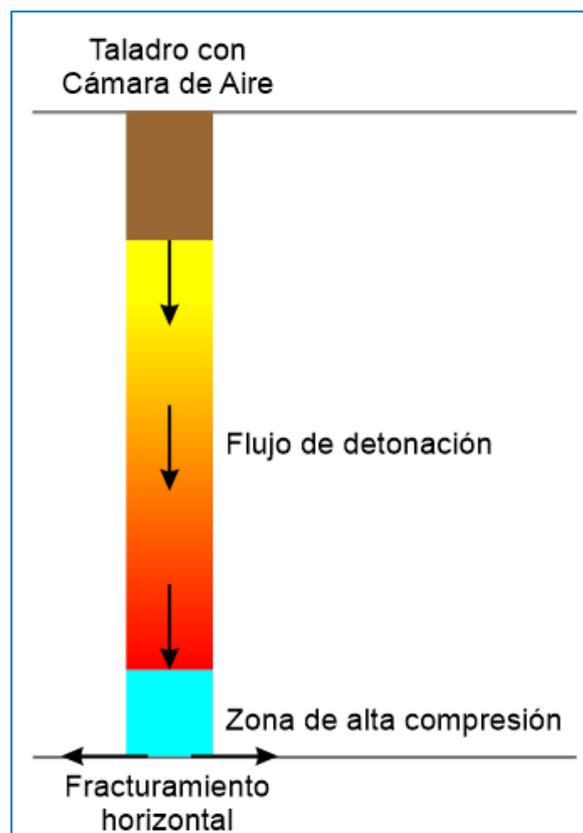


Figura 16. Zona de alta compresión en el fondo del taladro.

Fuente: Quispe, 2014.

Tercera etapa: transmisión de la energía al medio

Producto de la fractura horizontal en el fondo de cada uno de los taladros se generan multitud de ondas reflectivas, las mismas que chocan con las ondas de choque provenientes de la detonación. Es así que, esta multitud de ondas de choque secundarias son propagadas al medio en forma de pulsos (Melnikov, 1971).

Debido a las ondas reflectivas ascendentes, el flujo de detonación es desviado hacia el costado y fondo del medio colindante. Simultáneamente, ondas de choque se propagan por la fractura horizontal formada con anterioridad en el fondo del taladro creando una especie de precorte al nivel del banco lo cual se forma y extiende por la interacción con los taladros colindantes (Chanduvi, 2010).

En la Figura 17 se describe la formación de las ondas reflectivas, las que se regresan después del flujo de detonación inicial, que al encontrarse con las ondas de choque crean ondas secundarias y éstas se transmiten al macizo rocoso en forma de pulsos.

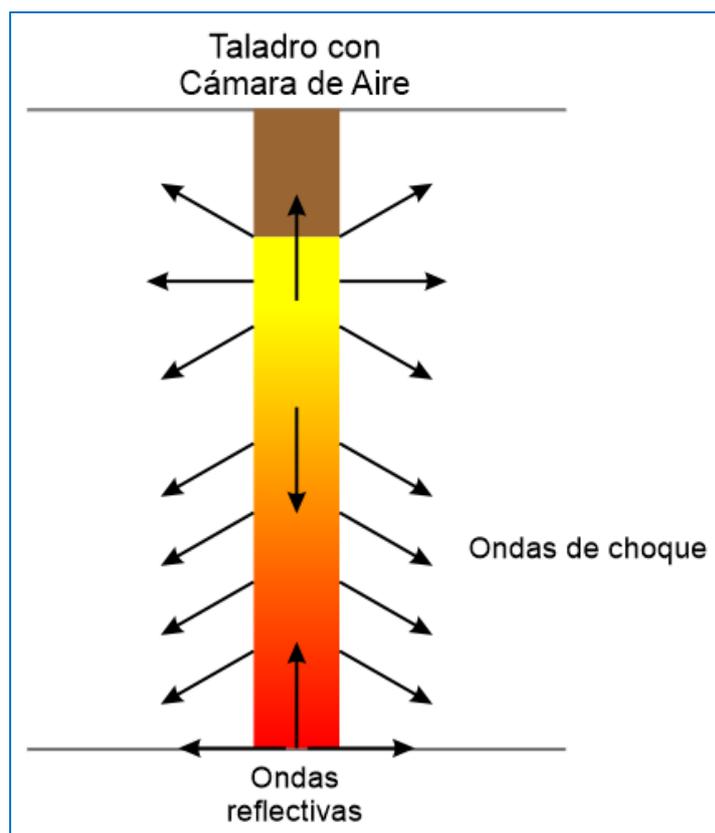


Figura 17. Ondas reflectivas y ondas de choque.

Fuente: Quispe, 2014.

Cuarta etapa: reflexión de las ondas de choque

Habiendo avanzado el proceso de la detonación y observado que los gases de la detonación ya han hecho desaparecer la cámara de aire, se afirma que las ondas de choque ahora son reflejadas al atravesar el cambio de medio formado por la fractura horizontal en el fondo de la voladura como se muestra en la Figura 18.

Estas ondas de choque son reflejadas en forma de ondas de corte y compresión de mayor intensidad que las primarias y se desplazan en forma de olas de choque al macizo rocoso y taladros contiguos (Chanduvi, 2010).

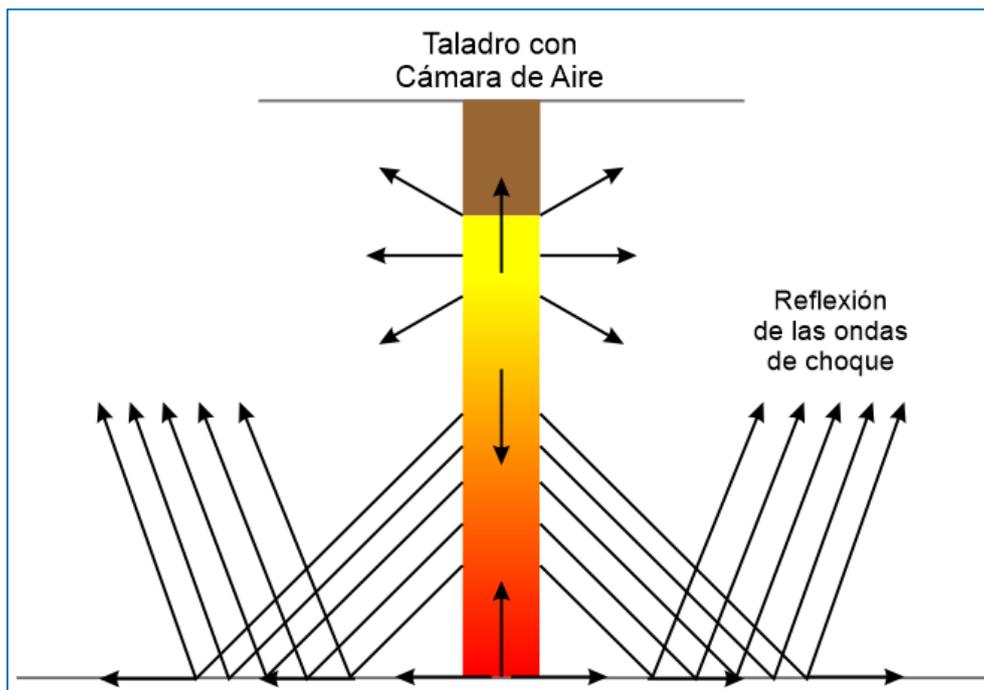


Figura 18. Reflexión de las ondas de choque.

Fuente: Quispe, 2014.

Quinta etapa: interacción de taladros con cámara de aire en el fondo

Las ondas de tensión son reflejadas de regreso hacia la formación debido a que existe un cambio de medio con la fractura horizontal. Al mismo tiempo, dichas ondas de tensión continúan su interacción con las otras ondas de tensión originadas por el proceso de los taladros contiguos, se deduce que una multitud de reflexiones como

se muestra en la Figura 19 son propagadas al medio o macizo rocoso a causa de esta interacción entre taladros cercanos (Chanduvi, 2010).

Cada taladro que contiene una cámara de aire hacia el fondo permite que las ondas de choque y ondas reflexivas se distribuyan uniformemente al macizo rocoso y permita una mejor fragmentación de la roca así como un nivel de piso en el banco con mayor regularidad y sin la presencia de toes.

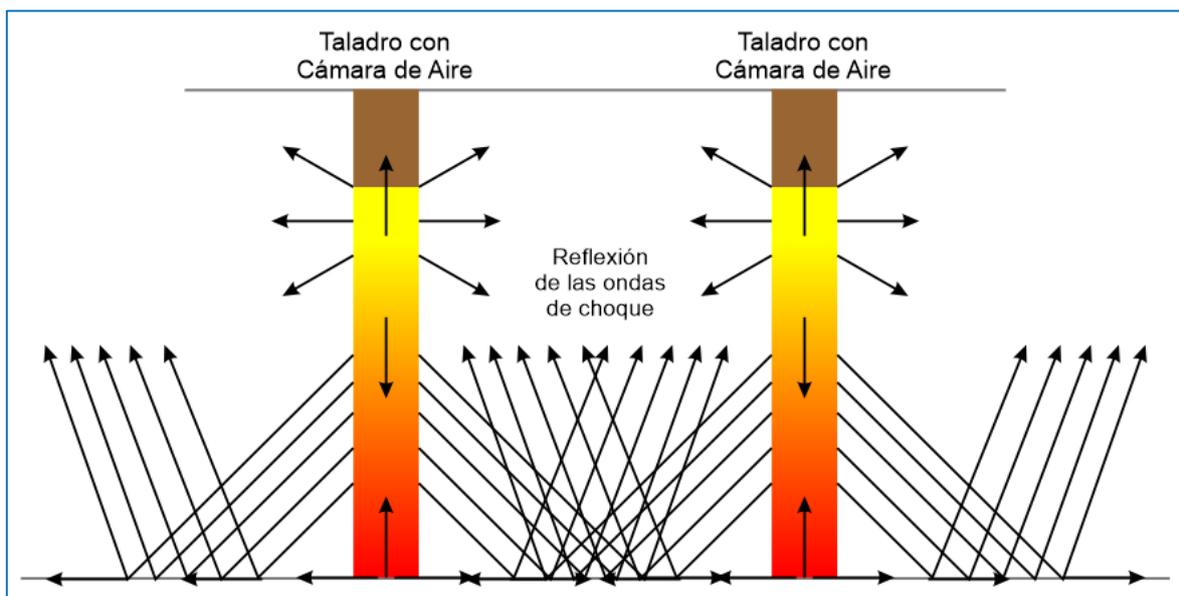


Figura 19. Reflexión de las ondas de choque al macizo rocoso.

Fuente: Quispe, 2014.

2.2.11. Taponex

El taponex fue creado por International Technologies (USA) para poder controlar los pisos en las minas de carbón debido a los problemas que presentaban éstas en la recuperación del mineral así como también permitiera reducir la sobreperforación creando un espacio vacío en el fondo del taladro. En la minería a cielo abierto permite que pueda ser usado para formar cámaras de aire en pozos secos y con agua, como se puede apreciar en la Figura 20 donde se ha realizado la ubicación experimental de este accesorio, además permite reducir la longitud del taco, nivel de ruido y vibraciones, minimizar la contaminación del explosivo con el material del taco y reducir el factor de carga.

Las voladuras con taponex permiten una reducción entre el 10% a 25 % en consumo de explosivo, no afectan la fragmentación, permiten reducir la longitud del taco y mejoran la distribución de la energía explosiva en el taladro. La cámara de aire en el taladro de perforación puede ocupar hasta un 40% del total de la longitud de la carga explosiva original; así mismo, incrementan la duración de la onda de choque en el macizo rocoso debido a una serie de pulsos causado por las reflexiones de las ondas de presión después de la detonación dentro de un taladro (Mercado et al., 2004).

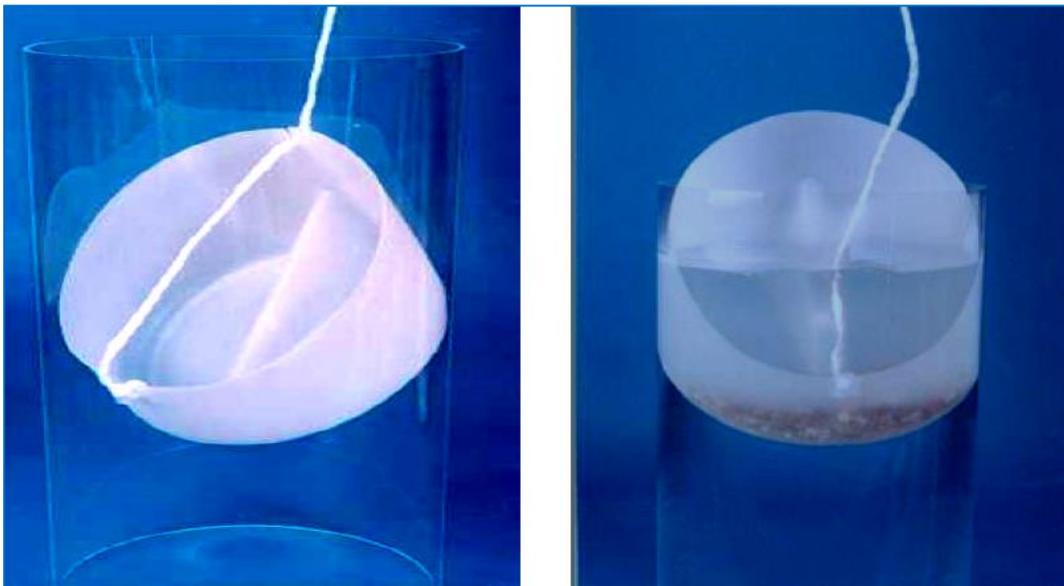


Figura 20. Ubicación experimental del taponex en pozos secos (izquierda) y con agua (derecha).

Fuente: Mercado et al., 2004.

La instalación del taponex es sencilla y se muestra a través de la Figura 21, primero se adhiere el tubo sostenedor al tapón correspondiente; segundo, se llena la mitad de tapón con detritus para facilitar el descenso hasta el lugar predeterminado; tercero, se agrega 0.5 m de detritus sobre el retenedor de taco para aislarlo del explosivo y finalmente se procede a cargar el taladro de forma frecuente como si estuviese sin cámara de aire (Paredes, 2002).

El diseño geométrico con y sin taponex se muestra en la Figura 22, al fondo del taladro (lado izquierdo) va el accesorio (taponex) que crea la cámara de aire, seguido por una

capa de detritus, columna explosiva y taco; una carga tradicional sin cámara de aire (lado derecho) solo incluye columna explosiva y taco.



Figura 21. Instalación de taponex en un taladro de voladura.

Fuente: Paredes, 2002.

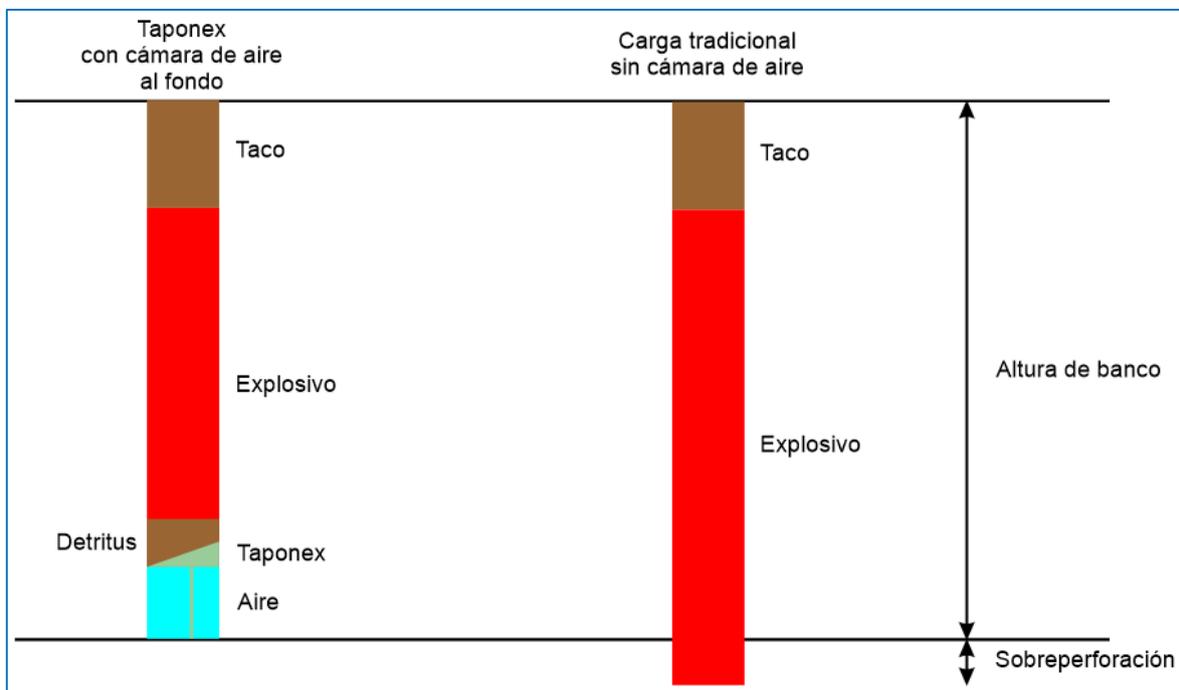


Figura 22. Diseño de carga con taponex y sin taponex.

Fuente: Paredes, 2002.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Alteración: es cualquier cambio en la composición mineralógica de una roca debido a procesos físicos o químicos (Vergne, 2012).

Banco: es el nivel o niveles en los cuales se divide una explotación a tajo abierto y sirve para facilitar el trabajo de los equipos de perforación, carguío y acarreo; así mismo se utiliza como soporte de cualquier roca que caiga de niveles superiores (ISEE, 2008).

Blasthole: taladro perforado en un banco de voladura o en una formación rocosa y en el que se colocan los explosivos, cuya detonación agrieta o fragmenta la masa rocosa (Vergne, 2012).

Cámara de aire: es un espacio de aire que se genera en un taladro de perforación o blasthole con un accesorio especial, y este se ubica convenientemente dentro del taladro de la voladura (Quispe, 2014).

Depósito Mineral: es la concentración natural de material valioso en un área de terreno que puede ser extraído y vendido con una ganancia para sus explotadores (Southern Copper, 2021).

Ley: es el porcentaje de contenido metálico en el mineral (Southern Copper, 2021).

Muestreo: es la selección de una parte fraccional pero representativa de un depósito mineral para el análisis (Southern Copper, 2021).

Malla de perforación: es la ubicación de los taladros en un banco de explotación siguiendo un orden determinado (ISEE, 2008).

Norma ASTM D-422: es el método para determinar cuantitativamente los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta la malla N° 200 (UNCP, 2021).

Tonelada (tonelada métrica): es una unidad de masa equivalente a 1000 kilogramos o a 2204.6 libras (Southern Copper, 2021).

Voladura: es la técnica para romper rocas que contienen mineral en una mina a tajo abierto o subterránea (Southern Copper, 2021).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Minera Yanacocha

Yanacocha, la mina de oro más grande de Sudamérica, se encuentra ubicada en la provincia y departamento de Cajamarca a 800 kilómetros al noreste de la ciudad de Lima, Perú. Su zona de operaciones está a 45 kilómetros al norte del distrito de Cajamarca, entre los 3500 y 4100 metros sobre el nivel del mar.

Su actividad se desarrolla en cuatro cuencas: Quebrada Honda, Río Chonta, Río Porcón y Río Rejo. En 1990 se llevaron a cabo los primeros estudios de factibilidad para iniciar los trabajos en una planta piloto para lixiviación en pilas. Con el inicio de las operaciones en una zona llamada Carachugo, Yanacocha produjo su primera barra de doré, el 7 de agosto de 1993.

Yanacocha fue constituida legalmente en 1992 y está conformada por los siguientes accionistas (MYSRL, 2019):

- Newmont Mining Corporation (54,05%) con sede en Denver, EEUU.
- Cía. de Minas Buenaventura (45.95%), compañía peruana.
- Sumitomo Corporation (5%) compañía japonesa.

3.1.2. Proyecto Quecher Main

Guerreros y Peralta (2016) menciona que el depósito Quecher Main está localizado entre el depósito Chaquicocha Sur y las instalaciones del Pad Carachugo; el proyecto está estimado para contener un aproximado de 1.5 millones de onzas de oro según el diseño del tajo Etapa 2A. La ley promedio de oro es 0.5 oz/t con un strip ratio (relación de toneladas de desmonte sobre toneladas de mineral) de 1.9.

Las áreas de Exploración y Geología Mina intermitentemente han estado desarrollando el proyecto desde el año 1999 con un enfoque continuo iniciándose a finales del año 2020. El proyecto fue evaluado en el 2012 como una Etapa Interna 0;

después en 2013 el proyecto fue evaluado como parte de la Etapa 1, centrándose en la perforación a evaluar baja y alta ley de material lixiviado en zonas cercanas a la superficie.

El proyecto Quecher Main fue evaluado entre el 2014 al 2015 como parte de la Etapa de Proceso 2A-2B e incluyó 101 sondajes de perforación (34220.6 m); así mismo el trabajo desarrollado por Geología en 2016 como parte de la Etapa 3 incluyó:

- Perforación de 14 nuevos sondajes (5818.4 m) enfocados en los tres años del plan de minado 2017-2019 (Vida de la perforación minera) y perforar la parte superior del tajo para tener mejor definición de las zonas de alta ley.
- Perforación de 5 taladros de exploración (1980.4 m).
- Perforación de 4 nuevos taladros geotécnicos (475.6 m).
- Una auditoria interna de base de datos.

3.1.3. Ubicación y accesibilidad

Minera Yanacocha S.R.L., se ubica en la provincia y departamento de Cajamarca, en la sierra norte del Perú, a 800 kilómetros noreste de la ciudad de Lima, y está sobre la Cordillera de Los Andes con una localización aproximada de 7° Latitud Sur y 78°30' Longitud Oeste, comprende un área de más de 175 000 hectáreas.

El acceso a Minera Yanacocha se hace por la carretera Cajamarca-Bambamarca (Figura 23) y desde Lima mediante dos vías:

- Vía aérea: Lima-Cajamarca (vuelo directo), el tiempo de vuelo es de 1 hora.
- Vía Terrestre: Lima-Cajamarca, el tiempo de viaje es de 14 horas.

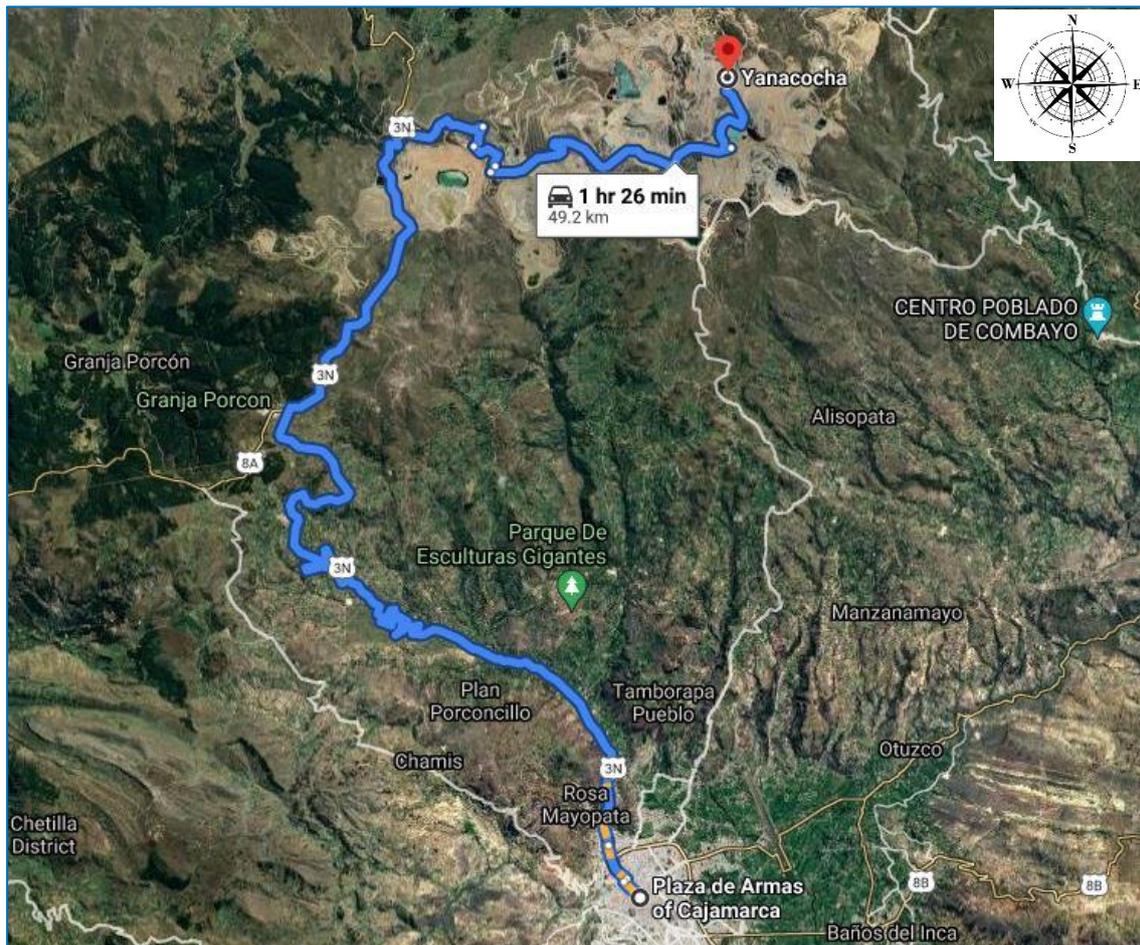


Figura 23. Accesibilidad a Minera Yanacocha desde la ciudad de Cajamarca.

Fuente: Google Earth, 2021.

3.2. GEOLOGÍA

3.2.1. Geología Regional

Poma (2012), indica que la mineralización de oro en Yanacocha forma parte del cinturón de depósitos polimetálicos que están ubicados a lo largo de la Cordillera de los Andes y, el cual está asociado al volcanismo Cenozoico y las rocas intrusivas. Los Andes Peruanos son el resultado de la subducción de la litósfera oceánica (placa de Nazca) debajo de la litósfera continental (placa Sudamericana).

La primera actividad magmática ocurre en el Paleógeno - Neógeno y es representado por un volcanismo efusivo de tipo lávico andesítico, correspondiente al volcánico Llama. Contemporáneamente se inicia la primera pulsación intrusiva en la región, correspondiente a intrusivos dioríticos (stocks Michiquillay y Picota).

La segunda manifestación magmática ocurre durante el Mioceno inferior y corresponde al emplazamiento de numerosos stocks, entre ellos los pórfidos de: Chailhuagón, Perol, Mishacocha, Corona, Jesús y Yanacocha, todos ellos datados entre 11 y 20 Ma. La composición evoluciona desde una microdiorita con hornblenda hasta microgranodioritas y pórfidos cuarzo feldespático. Paralelamente a esta fase intrusiva se desarrolla la depresión volcano tectónica de Yanacocha, compuesta de derrames lávicos y flujos piroclásticos de composición dacítica-andesítica y asociado a domos porfiríticos andesíticos, cuyas edades varían desde el Mioceno inferior a medio entre 10 y 19 Ma.

Este volcanismo es el principal albergante de la mineralización epitermal de Au-Ag y está asociado a stocks porfiríticos del tipo pórfidos, diatremas y brechas pipes. Posterior a la gran actividad volcano-plutónica Miocénica se produce el levantamiento andino y erosión, seguidamente se deposita el volcanismo de la Formación Huambos, constituido por coladas piroclásticas de composición andesítica-dacítica que recubren valles y depresiones del distrito de Yanacocha. Finalmente en el Pleistoceno, ocurre una fuerte etapa de glaciación que erosiona el depósito de Yanacocha dando lugar a la depositación de morrenas y gravas del depósito La Quinua.

3.2.2. Depósito Geológico

En el proyecto Quecher Main, la mineralización ocurre en la intersección de la dirección NE del sistema estructural San José-Carachugo-Quecher y el corredor estructural NW Yanacocha-Carachugo. Hay sistemas de fracturas y estructuras menores paralelas a estos corredores así como un sistema estructural E-W localizado hacia la parte norte del depósito (Guerreros y Peralta, 2016).

El modelo litológico consiste en una unidad de Andesita Inferior que comprende la unidad volcánica basal y se muestra en la Figura 24. Esta unidad tiene alteración irregular de arcilla sílica, y está débilmente oxidada y mineralizada de forma variable; además alberga al depósito Cerro Negro Oeste. La unidad Piroclástica tiene a los depósitos San José, Tapado Oeste, Carachugo, Chaquicocha, Quecher y en la unidad de Andesita Superior se encuentran Maqui Maqui y La Quinua.

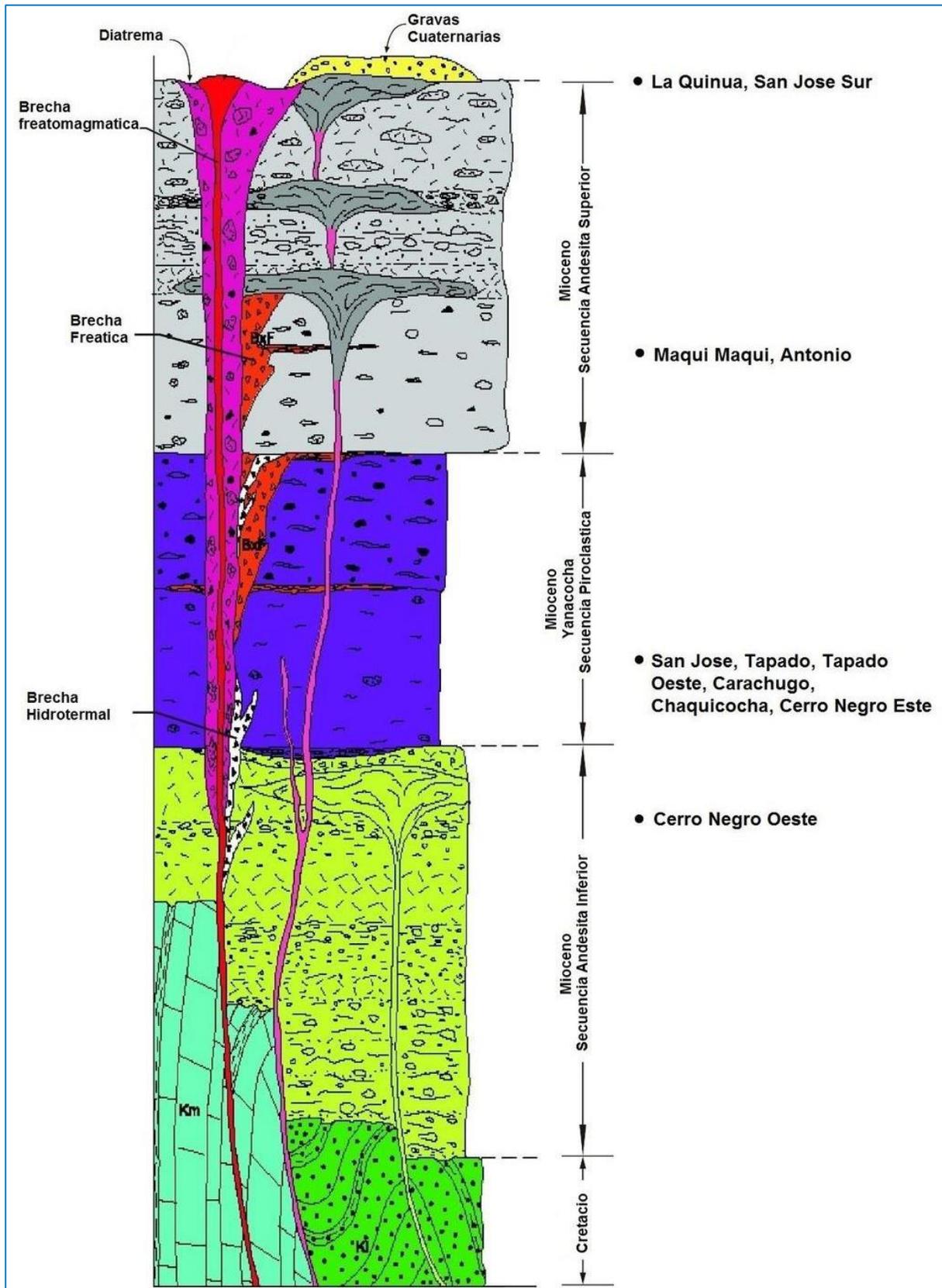


Figura 24. Columna Estratigráfica Minera Yanacocha.

Fuente: Poma, 2012.

3.2.3. Geología Estructural

Poma (2012), indica que la más importante característica estructural en la región es el lineamiento transandino que forma el corredor estructural Chicama – Yanacocha. Este corredor alberga una serie de fallas de dirección NE, emplazamiento de intrusivos, y controla la localización de varios pórfidos y yacimientos de alta sulfuración; además, está definido por la sucesión de depósitos que constituyen parte del Complejo Volcánico Yanacocha, entre ellos tenemos al Cerro Yanacocha, Carachugo, Maqui Maqui, Chaquicocha, Cerro Negro, Cerro Quillish, el Tapado y La Quinoa.

3.2.4. Clasificación de las rocas por su resistencia a compresión simple

La resistencia a compresión simple o resistencia uniaxial es el máximo esfuerzo que soporta una roca sometida a compresión uniaxial. El valor de la resistencia aporta información sobre las propiedades ingenieriles de las rocas. Para llegar a la determinación de los valores de la resistencia de la roca se realizan los ensayos de carga puntual (PLT) o mediante el Martillo de Schmidt (González de Vallejo, 2002).

Los rangos de resistencia de materiales en las Operaciones de Minería Yanacocha están basados en la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas y se muestra en la Tabla 01, los m/h son los metros perforados que realiza una perforadora en una hora de acuerdo a cada clasificación de la roca, se incluye también la presión que soporta según el tipo de rango.

Tabla 01. Resistencia a la compresión simple según ISRM (1981).

ISRM (1981)	m/h	MPa	Clasificación
R6	0 – 20	> 250	DURO
R5	0 – 20	100 – 250	
R4	21 – 30	50 – 100	
R3	31 – 50	25 – 50	MEDIO
R2	> 51	5 – 25	SUAVE
R1	> 51	1 – 5	
R0	> 51	< 1	

Fuente: MYSRL, 2018.

En la Tabla 02 se describe y ejemplifica la dureza del terreno en las Operaciones de Minera Yanacocha definidas por el Área de Geología, las cuales han sido correlacionadas con la calidad del macizo rocoso, así como también la presión que soportan en cada rango.

Tabla 02. Clasificación de las rocas a partir de su resistencia a compresión simple.

ISRM	(MPa)	DESCRIPCIÓN
R6	>250	Corresponde a una Sílice Masiva extremadamente dura que se encontró exclusivamente en Chaquicocha.
R5	100-250	Corresponde a materiales muy duros como Sílice Masiva, Sílice Vuggy y se encuentra en los tajos Yanacocha Este y Chaquicocha.
R4	50-100	Corresponde a materiales duros como Sílice Masiva, Sílice Vuggy, Sílice Granular 2, Clay 1 y Propilítico Competente.
R3	25-50	Corresponde a materiales de resistencia media algo alterados como Sílice Granular 2, Clay 1 y Propilítico.
R2	5-25	Corresponde a materiales de baja resistencia alterados como Argílico (Clay 3), Clay 2, Propilítico No Competente.
R0 y R1	0-5	Corresponde a materiales de muy baja resistencia muy alterados como Argílico (Clay 3), Sílice Granular 3.
Nota: Tener en cuenta que desde R0 a R2 los materiales tiene un comportamiento tipo suelo.		

Fuente: MYSRL, 2018.

3.2.5. Modelo de alteraciones

Las alteraciones que se presentan en los tajos operativos de Minera Yanacocha han sido definidas por el Área de Geología y son los mostrados en el Cuadro 04 con las características correspondientes a cada alteración:

Cuadro 04. Modelo de alteraciones del macizo rocoso utilizadas en las Operaciones de Minera Yanacocha.

	Propilítico	Argílico	Argílico avanzado suave	Argílico avanzado duro	Sílice granular 3	Sílice granular 2 suave	Sílice granular 2 dura	Sílice masiva suave	Sílice masiva dura
Color	Gris verdoso	Gris tono plomiso	Blanquecina tono rojizo	Blanquecina tono rojizo	Blanquecino	Blanquecina tono rojizo	Blanquecina tono rojizo	Blanquecina tono opaco	Blanquecina tono opaco
Tacto del material	Suave y/o duro	Suave	Suave	Áspero	Suave	Áspero	Áspero	Áspero	Áspero
Plasticidad	No plástica	Plástico	Plástico	Levemente plástico	No plástica	No plástica	No plástica	No plástica	No plástica
Redondez de fragmentos	Subredondeado a subanguloso	-	Subanguloso	Subanguloso	-	Subredondeados a subanguloso	Subredondeados a subanguloso	Angulosos - subangulosos	Muy angulosos
Diámetro de fragmentos	No fragmentos silíceos	No fragmentos silíceos	Fragmentos silicios finos	Fragmentos silicios gruesos	Arena fina se sílice	Arena silícea con escasos fragmentos pequeños	Arena silícea con fragmentos gruesos	Fragmentos de ~2mm	Fragmentos >1cm
Otras características	Levemente moldeable con la mano	Moldeable a la mano por la presencia de arcillas	Moldeable a la mano por la presencia de arcillas	Levemente moldeable en la mano por la presencia de arcillas	Se disgrega fácilmente con la mano	Se disgrega fácilmente con el lápiz, como terrones de azúcar	Se disgrega difícilmente con el lápiz de dureza	No se disgrega con el lápiz de dureza	No se disgrega con el lápiz de dureza
%Finos	~5%	~50%	~27%	~15%	~40%	~26%	~14%	~7%	~5%
Minerales	Clt, Epy, Cal	Ill, Kao	Qz, Al	Qz, Al	Qz	Qz	Qz	Qz	Qz

Fuente: MYSRL, 2018.

3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En la investigación realizada se ha tomado datos particulares correspondientes a mallas de voladura con el uso de cámaras de aire, y luego se ha generalizado el efecto que tienen en la disminución de finos a toda el área estudiada que corresponde al Tajo Quecher Main de Minera Yanacocha.

3.3.1. Tipo, nivel, diseño y método de la investigación

La investigación es de tipo tecnológica y aplicada, con un nivel descriptivo (describe el fenómeno del uso de cámaras de aire) y explicativo cuantitativo (explica una variable en función de otra), el diseño es no experimental y el método es inductivo ya que se parte de datos particulares y se llega a conclusiones generales del área investigada en el Tajo Quecher.

3.3.2. Población de estudio

Tajo Quecher Main, niveles 4090 y 4080 relacionado a taladros de voladura.

3.3.3. Muestra

Bancos de voladura de 10 m de profundidad en los niveles 4090 y 4080 donde se realiza las pruebas con cámaras de aire.

3.3.4. Unidad de análisis

Cámaras de aire, explosivo, nivel de piso, porcentaje de finos.

3.3.5. Definición de variables

3.3.5.1. Independiente

- Cámara de aire: La cámara de aire en sus diferentes configuraciones ayuda a distribuir mejor la carga explosiva y lo que se ha investigado es su influencia en la reducción de finos y mejoramiento de la fragmentación.

3.3.5.2. Dependiente

- Disminución de finos: Es producido por choques y roces entre diferentes fragmentos de roca durante el proceso de la voladura.
- Nivel de piso: Suelo uniforme y sin la presencia de desniveles o toes después de la voladura.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Técnicas

- **Análisis documental:** se ha hecho recopilación de información, libros, tesis, informes, estudios relacionados a las cámaras de aire y el efecto que tiene en la reducción de finos y fragmentación del material volado. También se ha obtenido procedimientos e informes por parte el Área de Voladura de MYSRL.
- **Observación directa:** es el proceso en el cual se ha observado la perforación de taladros, colocación de las cámaras de aire, accesorios de voladura, llenado con explosivo, retacado, iniciación y término de la voladura. Además se ha visto la excavación de calicatas y toma de muestras de suelo.
- **Ensayos de laboratorio:** con la finalidad de obtener información respecto al porcentaje de finos que ha contenido cada muestra enviada desde el muestreo mediante calicatas o desde los taladros perforados.

3.4.2. Instrumentos, materiales y equipos

Para la elaboración de la presente investigación se ha tomado en cuenta la aplicación de técnicas de observación, descripción e interpretación a través de trabajos de campo y gabinete, así como el empleo de materiales y equipos, los que se describen a continuación:

- EPP: equipo de protección personal de uso obligatorio.
- Laptop: para el procesamiento de datos y redacción del informe mediante el software Microsoft Office.
- GPS: para determinar la georeferenciación de los puntos de muestreo en las calicatas y taladros de voladura.
- Colores y lápices: para la anotación de medidas en calicatas y la numeración de taladros en la malla de voladura.
- Libreta de campo: para registrar las anotaciones hechas en campo.
- Planos de voladura.

- Cámara fotográfica: utilizada como medio para las evidencias registradas en campo durante las pruebas de voladura.
- Excavadora hidráulica: para la realización de las calicatas.
- Bolsas de muestreo: para recolección de material de suelo mediante calicatas.
- Cuchara de muestreo: para colocar el material de suelo a las bolsas de muestreo.

3.5. PROCEDIMIENTO

3.5.1. Etapa preliminar

En esta etapa se ha obtenido la información a aplicar en los proceso de muestreo en campo, haciendo uso de planos de banco, voladura y otros. Con tal fin de proyectar el desarrollo óptimo de las pruebas con cámara de aire para la presente investigación.

3.5.2. Etapa de campo

En esta etapa se ha realizado observaciones y recopilación de datos, en los niveles 4090 y 4080 se ha hecho excavación de calicatas mediante una excavadora hidráulica antes del proceso voladura previa coordinación con el área responsable del equipo de movimiento de tierras; luego de la excavación se ha tomado muestras de 25 kg de cada una de las 3 calicatas realizadas con el fin de llevarlas al laboratorio de geotecnia y realizar el análisis granulométrico con respecto a la presencia de finos en el material. En la etapa post voladura, también se ha tomado muestras de 25 kg para el mismo análisis granulométrico en laboratorio y ha servido para realizar el comparativo correspondiente de finos antes y después de la voladura tomando en consideración el uso de cámaras de aire.

3.5.3. Etapa de gabinete

En esta etapa final se ha tomado como base los resultados obtenidos del laboratorio de geotecnia con lo cual se ha analizado el efecto que ha tenido las cámaras de aire en la reducción de finos y mejora de la fragmentación del material volado. Así como también se presentan las conclusiones y recomendaciones de esta investigación.

3.6. PRUEBAS DE VOLADURA

3.6.1. Prueba N° 01

Prueba realizada en el tajo Quecher Main Nivel 4090, consistió en realizar excavación de calicatas y con el material extraído se tomó muestras de 25kg para su análisis granulométrico en el Laboratorio de Geotecnia de Minera Yanacocha; posterior a esa excavación se ha continuado con el procedimiento del Área de Perforación y Voladura que ha sido cargar con explosivo los taladros e implementación con cámaras de aire. Efectuado el proceso de voladura y en la misma zona que se ha hecho las calicatas se ha tomado muestras de 25 kg de suelo para su análisis granulométrico en laboratorio. Por lo tanto se ha obtenido dos tipos de muestreo, la primera mediante calicatas y la segunda mediante muestreo post voladura en el frente de minado y con ello se ha comparado el porcentaje de reducción de finos que ha hecho efecto la técnica de cámaras de aire.

3.6.1.1. Muestreo mediante calicatas

En este tipo de muestreo se excavaron tres (03) calicatas mediante una excavadora hidráulica proveído por Minera Yanacocha, se obtuvo una (01) muestra de 25 kg de suelo por cada calicata, luego estas muestras recogidas se envió al Laboratorio de Geotecnia para su análisis granulométrico con el fin de ver qué porcentaje de la muestra contiene finos antes de la implementación con cámaras de aire. La metodología empleada en este muestreo mediante calicatas se detalla a continuación:

Calicata N° 01

- Se ha georeferenciado la zona de muestreo mediante coordenadas GPS.
- Se movilizó la excavadora hidráulica al punto de muestreo para la excavación.
- Excavación de calicata con dimensiones de $2.0 \times 1.5 \times 2.2 \text{ m}^3 = 6.6 \text{ m}^3$
- Se tomó una muestra de 25 kg de material excavado a las bolsas de muestreo mediante un cucharón proveído por el Área de Geotecnia.
- Se tapó la calicata con el mismo material y procedió a retirarse la excavadora a la excavación de la Calicata N° 2.
- La muestra obtenida con su etiquetado correspondiente se envió al Laboratorio de Geotecnia para el análisis granulométrico y determinación del porcentaje de finos.

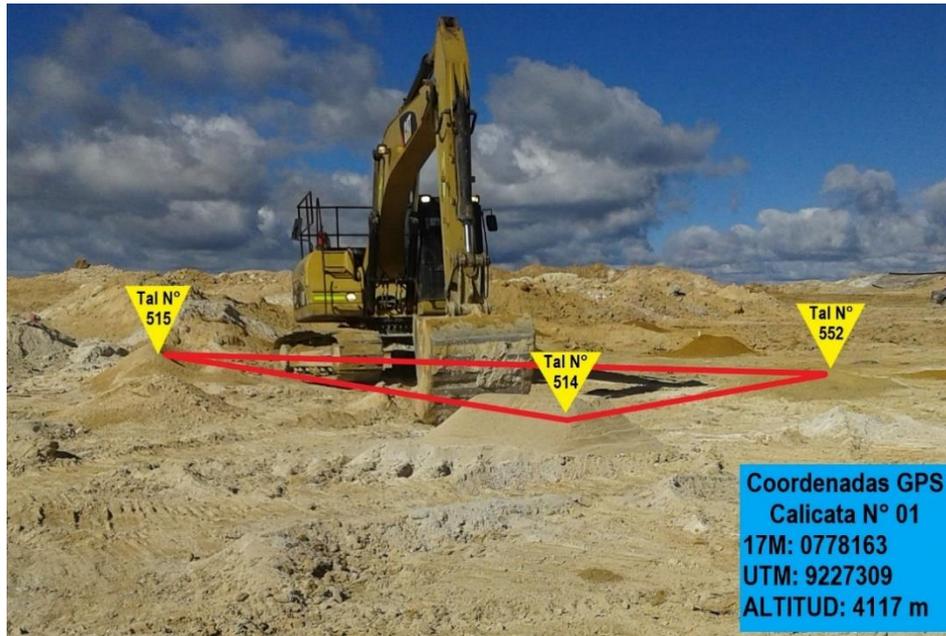


Foto 01. Punto de excavación y posicionamiento de la excavadora hidráulica para la Calicata N° 01 ubicada entre los Taladros N° 514, 515 y 552, georeferenciada mediante Coordenadas GPS en el Tajo Quecher Main.



Foto 02. Excavación de la Calicata N° 1 con dimensiones de 2.0 x 1.5 x 2.2 m³ teniendo un volumen de 6.6 m³ en el banco de minado de una altura de 10 m, el material extraído es puesto a un costado, la cual sirvió como pila de muestreo para el análisis granulométrico y recojo en las bolsas de muestreo proveído por el Área de Geotecnia - Tajo Quecher Main.



Foto 03. Recojo de material excavado mediante un cucharón hacia la bolsa de muestreo con un peso de 25 kg que posteriormente fue llevado al laboratorio de geotécnica de Minera Yanacocha para su análisis granulométrico y determinación del porcentaje de finos que contenía dicha muestra - Tajo Quecher Main.

Calicata N° 02

- Se ha georeferenciado la zona de muestreo mediante coordenadas GPS.
- Se movilizó la excavadora hidráulica al punto de muestreo para la excavación del material.
- Excavación de calicata con dimensiones de $2.0 \times 1.5 \times 1.8 \text{ m}^3 = 5.4 \text{ m}^3$
- Se tomó una muestra de 25 kg de material excavado a las bolsas de muestreo mediante un cucharón proveído por el Área de Geotecnia.
- Se tapó la calicata con el mismo material y procedió a retirarse la excavadora a la excavación de la Calicata N° 3.
- La muestra obtenida con su etiquetado correspondiente de nivel, número de calicata y coordenadas GPS se envió al Laboratorio de Geotecnia para el análisis granulométrico y determinación del porcentaje de finos.



Foto 04. Punto de excavación y posicionamiento de la excavadora hidráulica para la Calicata N° 02 ubicada entre los Taladros N° 224, 225 y 257, georeferenciada mediante Coordenadas GPS en el Tajo Quecher Main.



Foto 05. Excavación de la Calicata N° 2 con dimensiones de 2.0 x 1.5 x 1.8 m³ teniendo un volumen de 5.4 m³ en el banco de minado de una altura de 10 m, el material extraído es puesto a un costado, la cual sirvió como pila de muestreo para el análisis granulométrico y recojo en las bolsas de muestreo proveído por el Área de Geotecnia - Tajo Quecher Main.

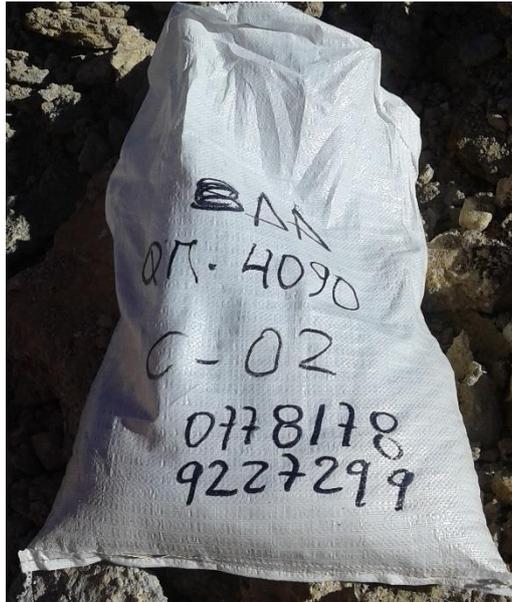


Foto 06. Recojo de material excavado con un peso de 25 kg que posteriormente fue llevado al laboratorio de geotécnica de Minera Yanacocha para su análisis granulométrico, además se incluía en la bolsa un etiquetado del nivel correspondiente (QM 4090), número de muestra (C-02) y coordenadas GPS - Tajo Quecher Main.

Calicata N° 03

- Se ha georeferenciado la zona de muestreo mediante coordenadas GPS.
- Se movilizó la excavadora hidráulica al punto de muestreo para la excavación del material.
- Excavación de calicata con dimensiones de $2.0 \times 1.5 \times 2.5 \text{ m}^3 = 7.5 \text{ m}^3$
- Se tomó una muestra de 25 kg de material excavado a las bolsas de muestreo mediante un cucharón proveído por el Área de Geotecnia.
- Se tapó la calicata con el mismo material y procedió a retirarse la excavadora a su zona de trabajo.
- La muestra obtenida con su etiquetado correspondiente de nivel, número de calicata y coordenadas GPS se envió al Laboratorio de Geotecnia para el análisis granulométrico y determinación del porcentaje de finos.



Foto 07. Excavación de la Calicata N° 3 con georeferenciación de coordenadas GPS y dimensiones de 2.0 x 1.5 x 2.5 m³ teniendo un volumen de 7.5 m³ en el banco de minado de una altura de 10 m, el material extraído es puesto a un costado, la cual sirvió como pila de muestreo para el análisis granulométrico y recojo en las bolsas de muestreo proveído por el Área de Geotecnia - Tajo Quecher Main.



Foto 08. Recojo de material excavado con un peso de 25 kg que posteriormente fue llevado al laboratorio de geotécnica de Minera Yanacocha para su análisis granulométrico, además se incluía en la bolsa un etiquetado del nivel correspondiente (QM 4090), número de muestra (C-03) y coordenadas GPS - Tajo Quecher Main.

3.6.1.2. Muestreo en frente de minado (post voladura)

En este tipo de muestreo se ha seguido los procedimientos establecidos por el Área de Perforación y Voladura de Minera Yanacocha, son los que a continuación se mencionan:

- Perforación de taladros en el nivel 4090, mallas 021 y 029 (Figura 25).
- Diseño geométrico de carga de taladros con cámara de aire hacia el fondo en las mallas 021 y 029. Sistema de iniciación no eléctrico con Exsanel.
- Delimitación de taladros con sobreperforación y sin sobreperforación.
- Carguío de taladros con explosivo e implementación de cámaras de aire de 1 m.
- Voladura de rocas de las mallas 021 y 029.
- Luego de la voladura se obtuvieron muestras de 25 kg de roca triturada en los mismos puntos georeferenciados de las calicatas, luego se enviaron al Laboratorio de Geotecnia para su análisis granulométrico con el fin de ver el efecto de las cámaras de aire en la reducción de finos.

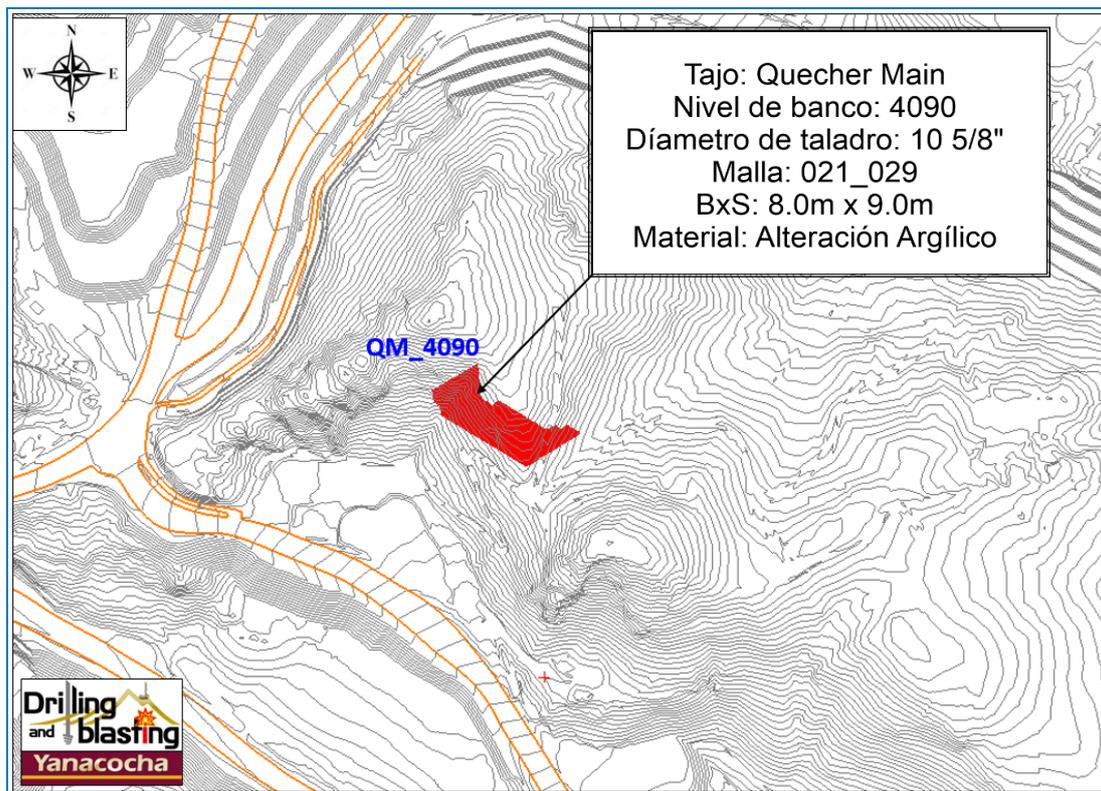


Figura 25. Malla de voladura con implementación de cámaras de aire, corresponde al nivel de banco 4090 - Tajo Quecher Main.

Fuente: MYSRL, 2018.

En la Figura 26 se muestra el diseño geométrico de la carga de taladros en material argílico con densidad de 1.98 g/cc, una ejemplificación se presenta en el taladro del lado izquierdo que según la carga le corresponde una cámara de aire en el fondo (color celeste), MEQ 73 (Mezcla Explosiva Quantex, 70% de emulsión y 30% de Quantex) (color verde) con una densidad de 1.10 g/cc y taco (color marrón). En el lado derecho se presenta una tabla con las longitudes de los taladros y sus correspondientes diseños de carga, si por ejemplo la longitud de un taladro es 12.5 m le corresponde 5.5 m de taco, columna explosiva de 6.0 m, aire al fondo de 1.0 m, 376.92 kg de explosivo y un FC (factor de carga) de 0.264 kg/ton. Además se incluye los accesorios de voladura, un booster (color rojo) ubicado a un metro del nivel del piso en el fondo del taladro y cordón detonante (color amarillo); si un taladro contiene agua la indicación del Área de Voladura menciona que se debe mantener la longitud del taco y la densidad final del explosivo en 1.10 g/cc.

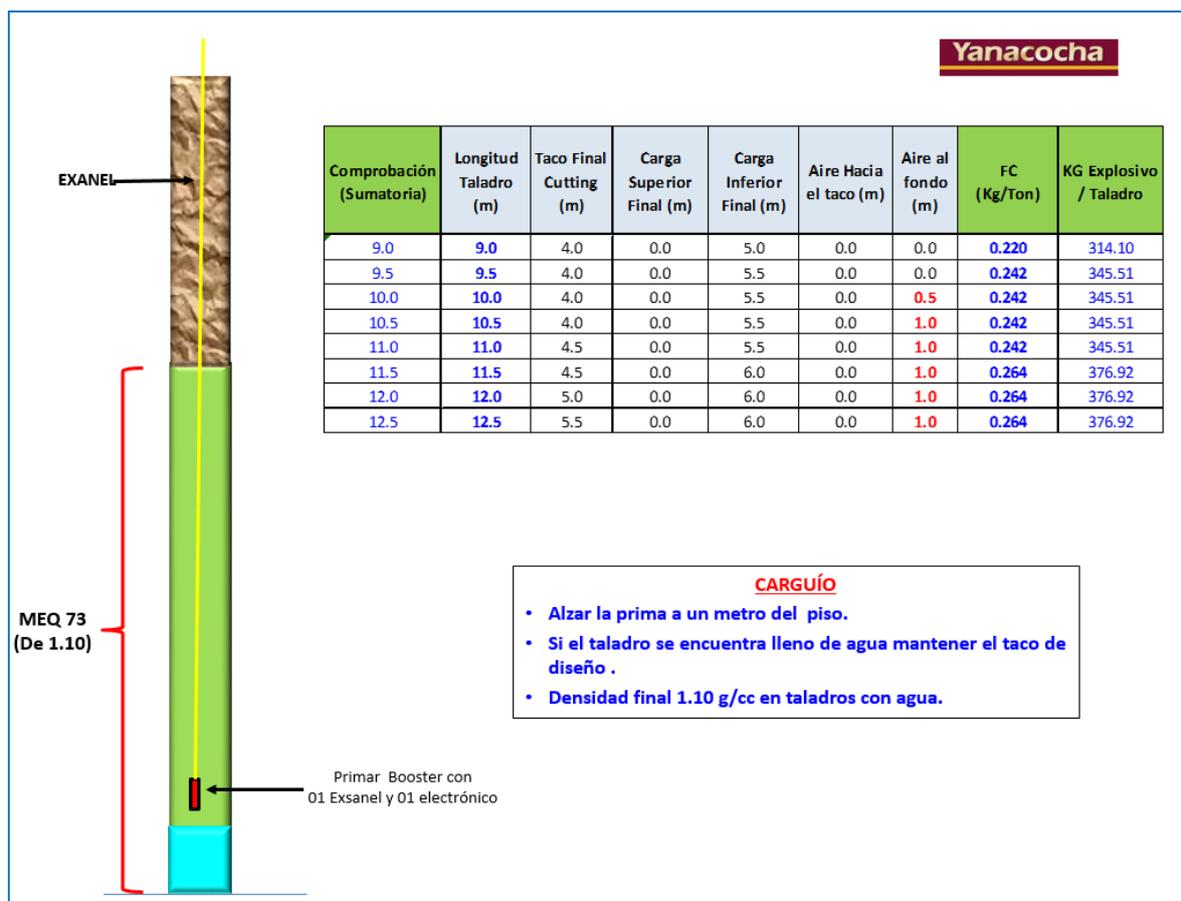


Figura 26. Diseño geométrico con cámara de aire al fondo y su correspondiente especificación de carga de acuerdo a la longitud del taladro – Tajo Quecher Main.

Fuente: MYSRL, 2018.

En la Figura 27 se describe el diseño de malla de voladura proporcionado por el área técnica de la compañía y señala dos zonas principales a tener en cuenta: la delimitación de color azul son taladros con sobreperforación de 1.0 m y la delimitación de color rojo sin sobreperforación 0.0 m, además todos los taladros contienen una cámara de aire al fondo para evaluación del porcentaje de finos. Cada uno de los taladros se cargó con Mezcla Explosiva Quantex (MEQ - 73) a una densidad final de 1.10 g/cc.

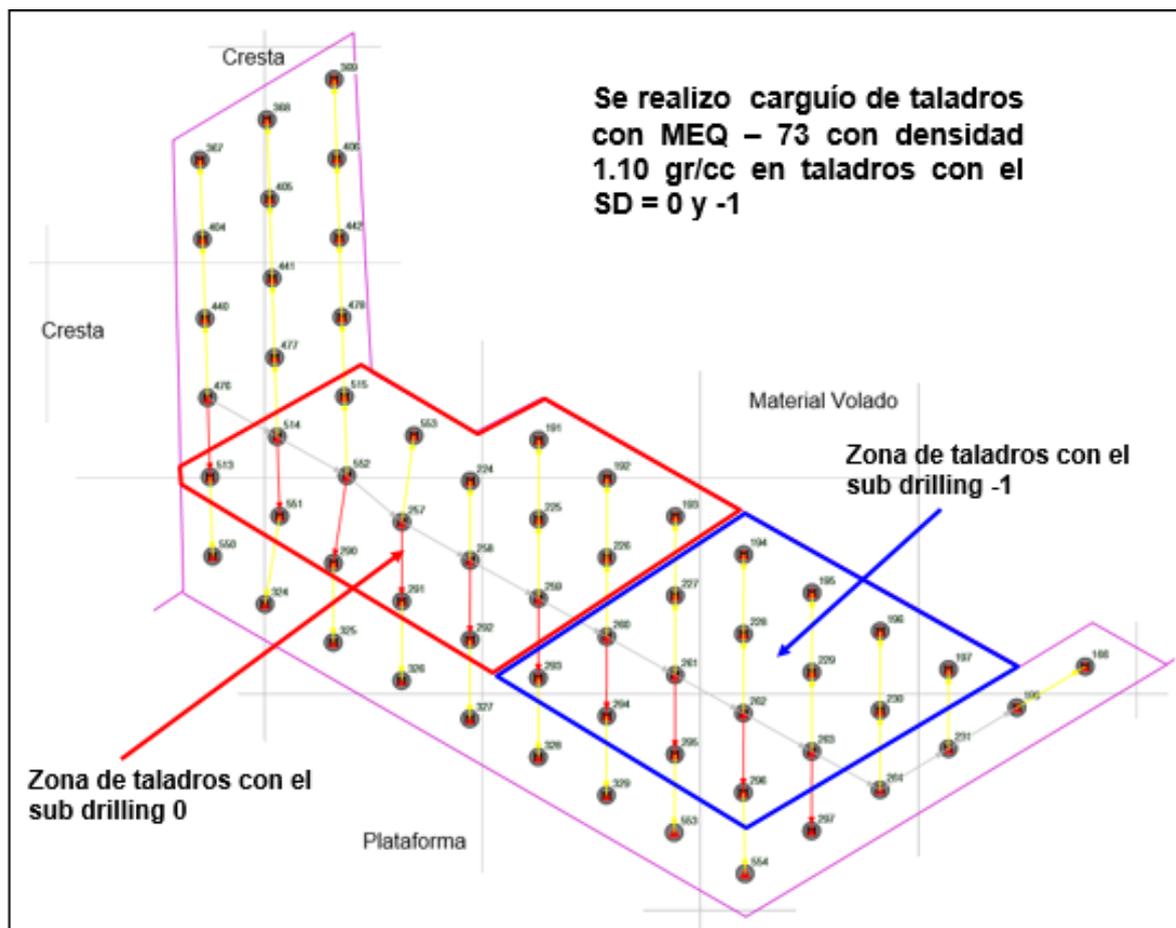


Figura 27. Vista en planta de los taladros de voladura en el nivel 4090 – Tajo Quecher Main.

Fuente: MYSRL, 2018.

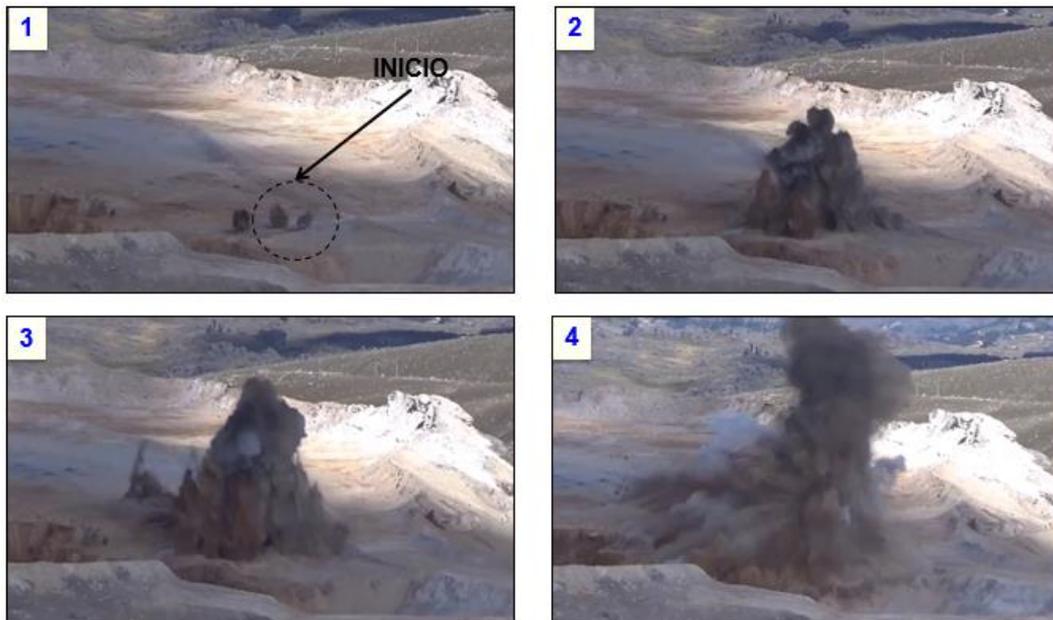


Foto 09. Proceso de la voladura de rocas en el Banco Nivel 4090; (1) inicio de la detonación en los primeros taladros, (2) avance de la detonación, (3) presencia de humos combinado con partículas finas de roca por efecto del explosivo, (4) evacuación de humos al ambiente y fin de la voladura – Tajo Quecher Main.

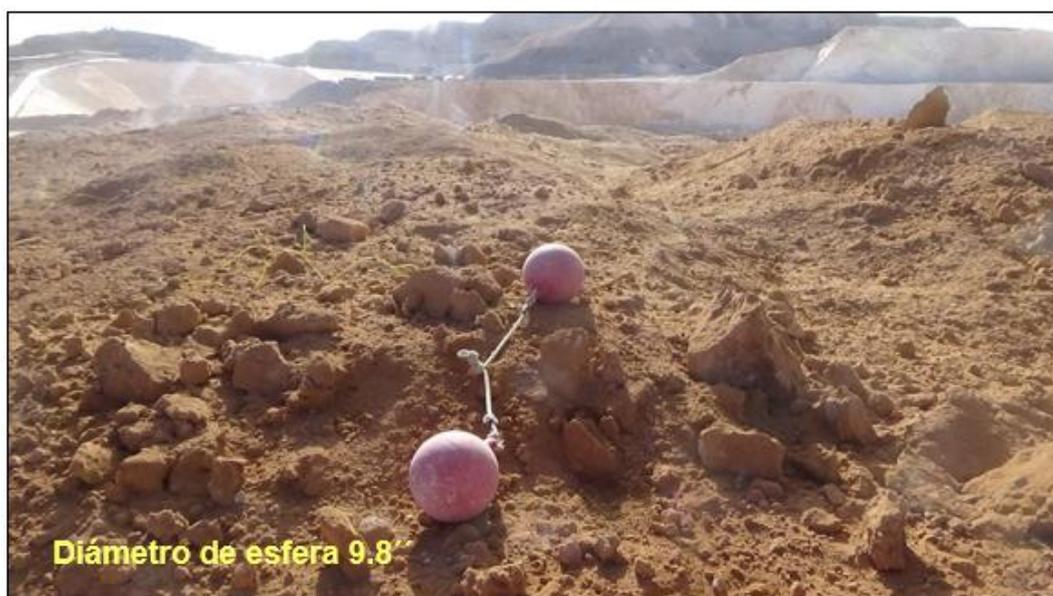


Foto 10. Fragmentación de la roca después de la voladura, las esferas con un diámetro de 9.8” son de escalonamiento y sirven para evaluar el tamaño de fragmentación del material volado. En esta zona se tomó dos muestras de 25 kg y se envió a laboratorio de geotecnia – Tajo Quecher Main.

3.6.2. Prueba N° 02

Prueba realizada en el Tajo Quecher Main Nivel 4080, se ha perforado las mallas 030, 031, 032, 033 y 034 donde el material extraído de los taladros (blastholes) sirvió como muestreo para el análisis granulométrico en el Laboratorio de Geotecnia de Minera Yanacocha, se tomaron cinco (05) muestras de cinco taladros con 25 kg cada una; posterior al muestreo se ha continuado con el procedimiento del Área de Perforación y Voladura que ha sido cargar con explosivo los taladros e implementación con cámaras de aire. Efectuado el proceso de voladura y en la misma zona que se ha muestreado mediante blastholes nuevamente se ha tomado muestras de 25 kg de suelo para su análisis granulométrico en laboratorio. Por lo tanto se ha obtenido dos tipos de muestreo, la primera mediante blastholes y la segunda mediante muestreo post voladura en el frente de minado y con ello se ha comparado el porcentaje de reducción de finos que ha hecho efecto la técnica de cámaras de aire.

3.6.2.1. Muestreo en taladros (blastholes)

En este tipo de muestreo se escogieron cinco taladros perforados para el muestreo y de cada uno se tomó 25 kg de material, luego las muestras recogidas se enviaron al Laboratorio de Geotecnia para su análisis granulométrico con el fin de ver qué porcentaje de cada muestra contiene finos antes de la implementación con cámaras de aire.

En la Foto 11 se muestra el proceso de muestreo en el nivel 4080 mediante taladros de voladura (blastholes), el material que se extrae de la perforación de cada taladro es conocido como detritus de perforación, estos detritus son apilados a un costado del taladro y están resaltados mediante circunferencias de color amarillo, los cuales sirvieron como puntos de muestreo para el análisis granulométrico antes de la voladura, ahí se recogieron cinco muestras, cada una de ellas con 25 kg de material. Fueron enviadas al Laboratorio de Geotecnia de Yanacocha para el análisis granulométrico.



Foto 11. Zona de muestreo en el nivel 4080 mediante taladros de voladura (blastholes) – Tajo Quecher Main.

3.6.2.2. Muestreo en frente de minado (post voladura)

En este tipo de muestreo se ha seguido los procedimientos establecidos por el Área de Perforación y Voladura de Minera Yanacocha, son los que a continuación se mencionan:

- Perforación de taladros en el nivel 4080, mallas 030, 031, 032, 033 y 034.
- Diseño geométrico de carga de taladros con cámara de aire hacia el fondo y el centro según el Área de Perforación y Voladura de Minera Yanacocha. Sistema de iniciación electrónico con Digishot y no eléctrico con Exsanel.
- Delimitación de taladros con dos tipos de material: sílice masiva y argílico.
- Carguío de taladros con explosivo e implementación de cámaras de aire de 1 m.
- Voladura de rocas de las mallas 030, 031, 032, 033 y 034.
- Luego de la voladura se obtuvieron cinco muestras de 25 kg de roca triturada en los mismos puntos georeferenciados de los taladros (blastholes), luego se enviaron al Laboratorio de Geotecnia para su análisis granulométrico con el fin de ver el efecto de las cámaras de aire en la reducción de finos.

La Figura 28 muestra la ubicación del nivel de banco 4080 en el tajo Quecher Main con las mallas de voladura 030, 031, 032, 033, 034 con su respectivo burden y espaciamiento, así como también se incluye el diámetro de perforación de taladros que es 10 5/8", la descripción general del tipo de material correspondiente a sílice masiva y argílico.

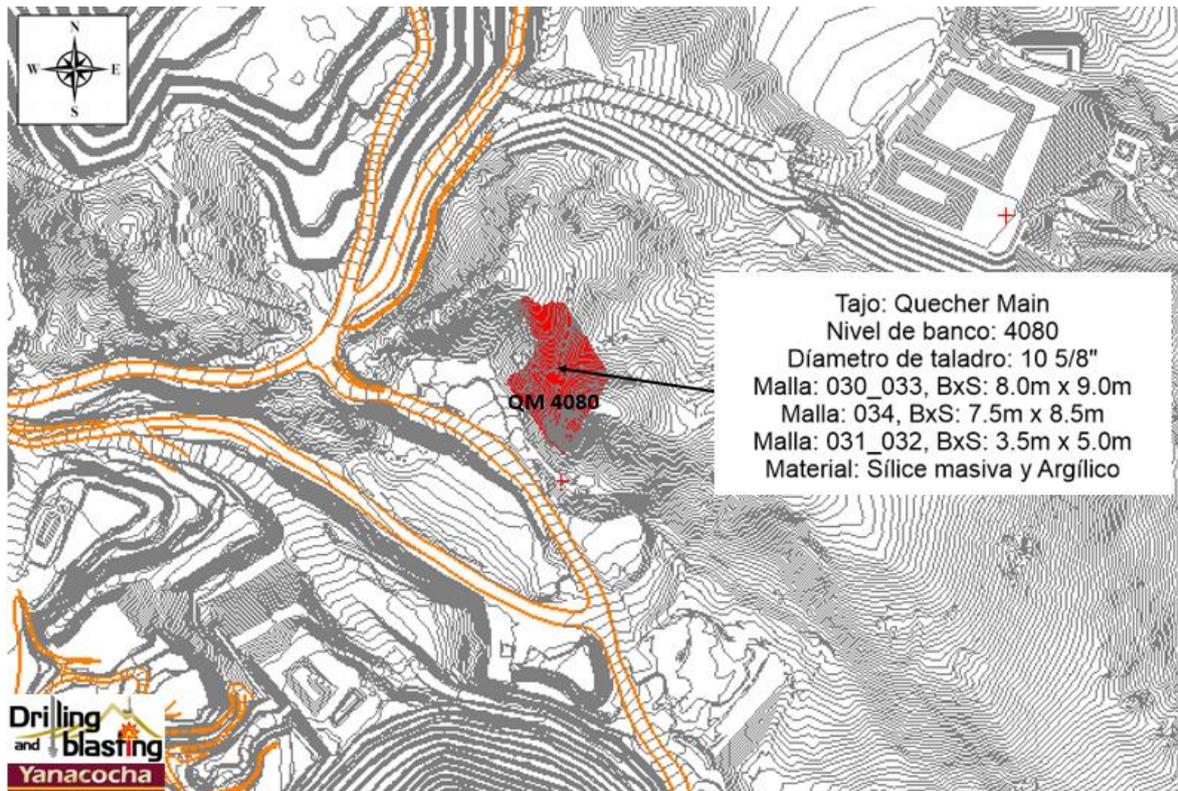
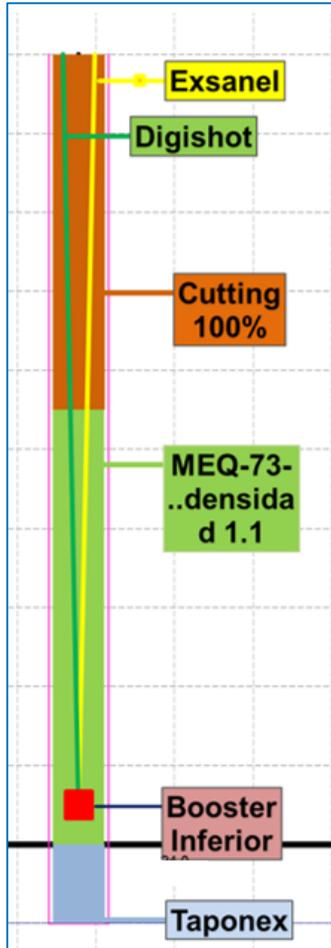


Figura 28. Malla de voladura con implementación de cámaras de aire, corresponde al nivel de banco 4080 - Tajo Quecher Main.

Fuente: MYSRL, 2018.

En la Figura 29 se presenta las especificaciones técnicas de carguío a un taladro de voladura la cual tiene una cámara de aire (taponex) en el fondo, MEQ 73 con densidad de 1.10 g/cc, taco (cutting) y sistema de iniciación (booster, digishot y exanel). En el lado derecho se presenta una tabla con las longitudes de los taladros y sus correspondientes diseños de carga, si por ejemplo la longitud de un taladro es de 14.0 m le corresponde 6.0 m de taco, columna explosiva de 7.0 m, aire al fondo 1.0 m, 439.74 kg de explosivo, subdrilling (SD) o sobreperforación de 1.33 m y un FC (factor de carga) de 0.287 kg/ton.

Material: Argílico
Densidad: 1.98 g/cc



Longitud Taladro (m)	Taco Final Cutting (m)	Carga Superior Final (m)	Carga Inferior Final (m)	Aire hacia el Taco (m)	Aire al fondo (m)	FC (Kg/Ton)	kg/tal	SD
9.5	4.5	0.0	5.0	0.0	0.0	0.205	314.10	1.06
10.0	4.5	0.0	5.5	0.0	0.0	0.225	345.51	1.06
10.5	4.5	0.0	6.0	0.0	0.0	0.246	376.92	1.06
11.0	4.5	0.0	6.5	0.0	0.0	0.266	408.33	1.06
11.5	5.0	0.0	6.5	0.0	0.0	0.266	408.33	1.15
12.0	5.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.287	439.74	1.15
12.5	5.5	0.0	7.0	0.0	0.0	0.287	439.74	1.24
13.0	6.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.287	439.74	1.33
13.5	5.5	0.0	7.0	0.0	1.0	0.287	439.74	1.24
14.0	6.0	0.0	7.0	0.0	1.0	0.287	439.74	1.33

Figura 29. Especificaciones técnicas en la carga de taladros de voladura – Tajo Quecher Main.

Fuente: MYSRL, 2018.

En el lado izquierdo de la Figura 30 se muestra un taladro que tiene una cámara de aire en el fondo y al centro, MEQ 73 con densidad de 1.10 g/cc y taco (cutting). En el lado derecho se presenta una tabla con las longitudes de los taladros y sus correspondientes diseños de carga, si un taladro mide 14.0 m le corresponde 6.0 m de taco, columna explosiva de 5.5 m, aire al fondo 1.5 m, aire hacia el taco 1.0 m, 345.51 kg de explosivo, subdrilling (SD) de 1.33 y un FC (factor de carga) de 0.242 kg/ton.

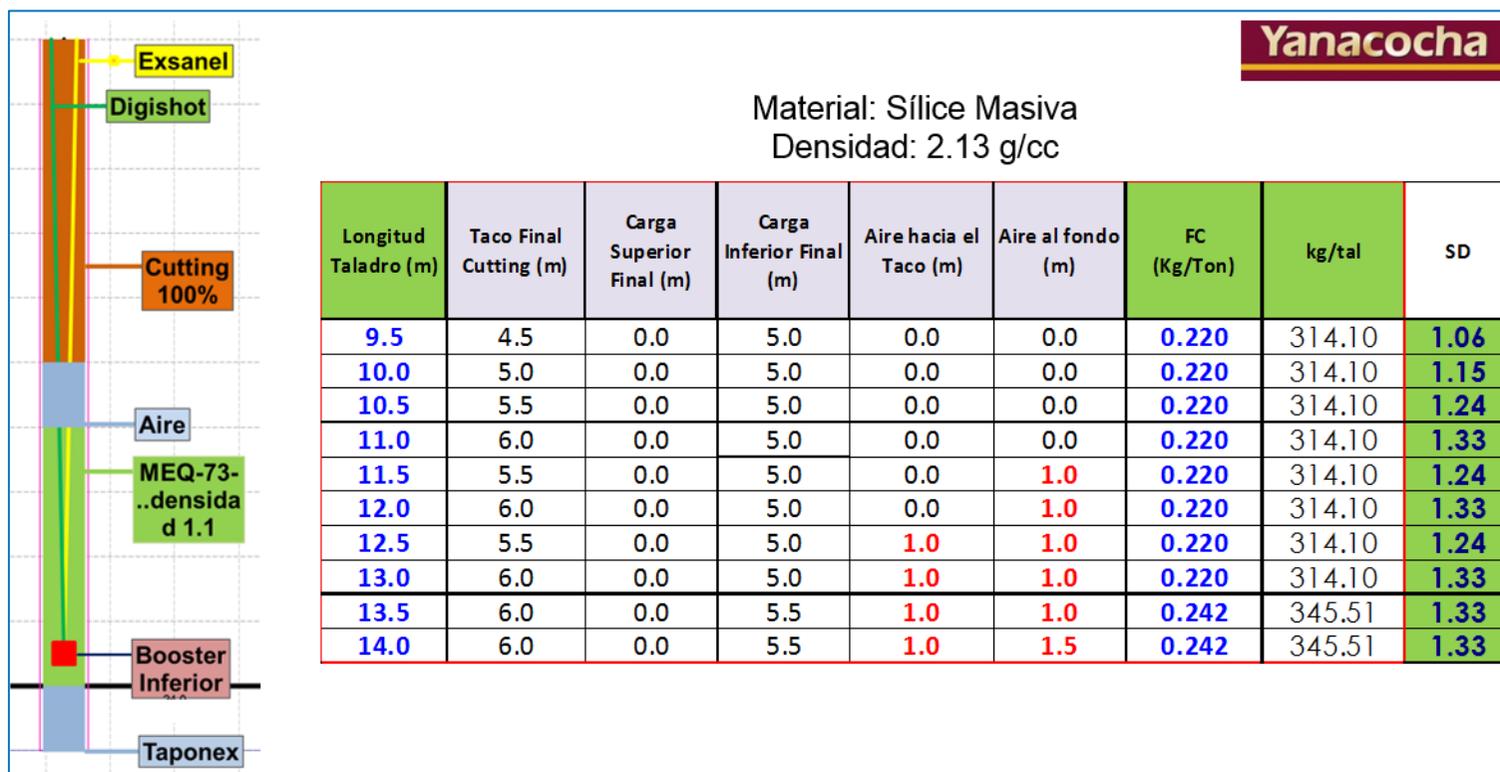


Figura 30. Especificaciones técnicas en la carga de taladros de voladura – Tajo Quecher Main.

Fuente: MYSRL, 2018.

En la Figura 31 se muestra la vista en planta de las mallas de voladura en el nivel 4080, el material argílico (línea continua anaranjada) contiene a la malla 030 y el material sílice masiva (línea continuas roja) contiene a las mallas 030, 031, 032, 033 y 034. La cantidad de carga indicada como 326 kg/tal y 251 kg/ton se han cargado solamente a los taladros delimitados por las líneas punteadas roja y anaranjada, los demás taladros se han cargado de acuerdo al diseño de carga mostrado en las Figuras 29 y 30.

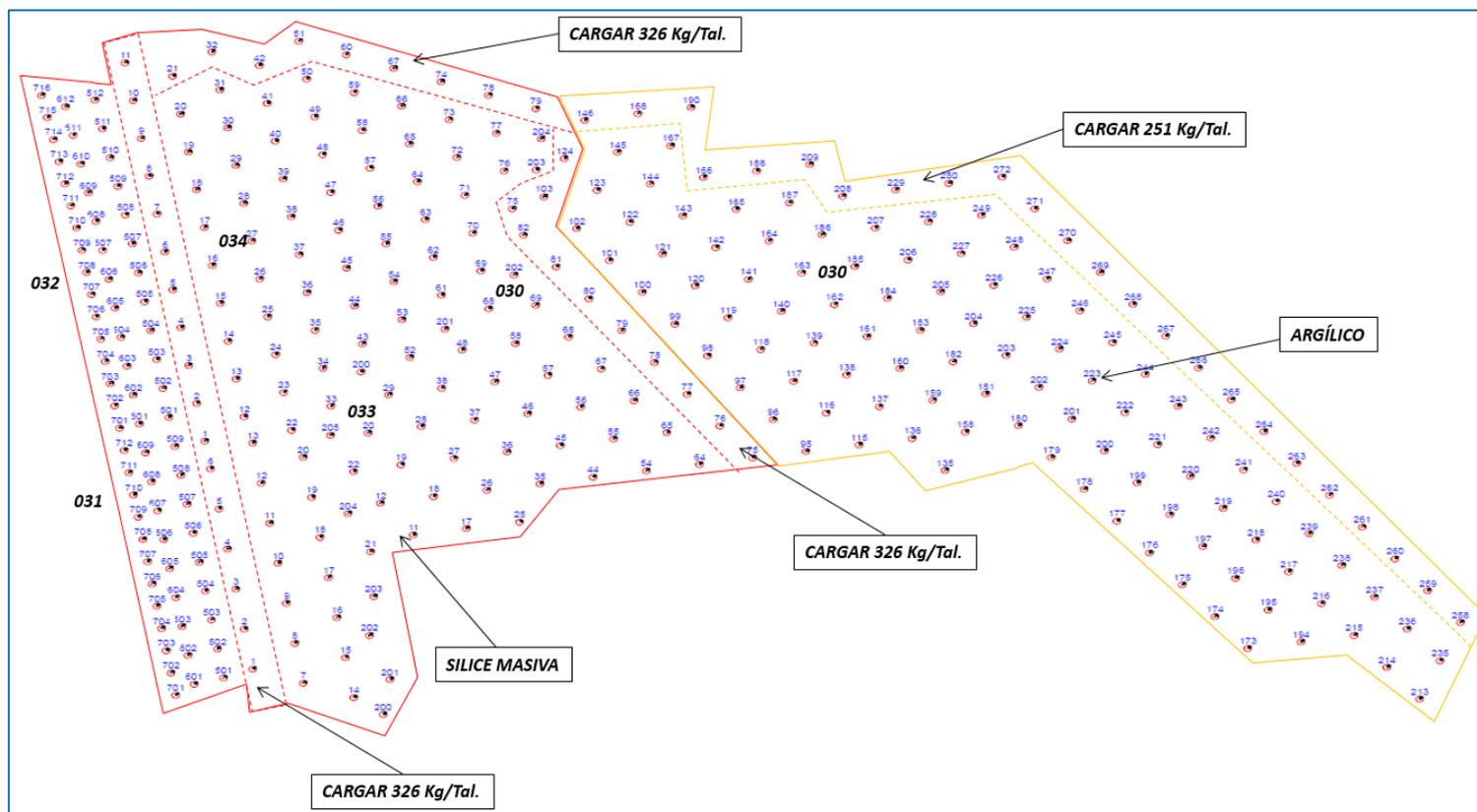


Figura 31. Vista en planta de las mallas de voladura en el nivel 4080 – Tajo Quecher Main.

Fuente: MYSRL, 2018.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. PRUEBA DE VOLADURA N° 1

En esta Prueba N° 1 se analizó el porcentaje de finos que existe en el Nivel de Banco 4090 del Tajo Quecher Main antes de la implementación con cámaras de aire que es la pre voladura y después de la voladura con el uso de cámaras de aire, finalmente se realizó un comparativo de ambos resultados para determinar el porcentaje de disminución de finos.

4.1.1. Porcentaje de finos en calicatas pre voladura

Se realizaron tres (03) calicatas en el Tajo Quecher Main, Nivel de Banco 4090 y de cada una de ellas se muestreó 25 kg de material de suelo, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 03 y según el análisis granulométrico el muestreo de la Calicata 1 tiene 32,8% de finos, Calicata 2 tiene 54,3% de finos y la Calicata 3 tiene 9,2% de finos. Además también se presenta los porcentajes de arenas, gravas y humedad en las respectivas muestras.

Tabla 03. Porcentaje de determinación pre voladura – Nivel de Banco 4090, Tajo Quecher Main.

PORCENTAJE DE DETERMINACIÓN DE FINOS - TAJO QUECHER MAIN, MINERA YANACOCHA											
GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO ASTM D-422. ENSAYO DE LABORATORIO - GEOTECNIA											(%)
Fecha de muestreo	Hora	Este	Norte	Banco	Alteración Geológica	Polígono	% Finos (<0.075mm)	% Arenas (<4.75 y >0.075mm)	% Gravas (<75 y >4.75mm)	Total (%)	Contenido de Humedad ASTM D-2216
27-jun-18	11:20	18183	27330	4090	SG 1	Calicata 1	32,8	33,9	33,3	100	6,8
27-jun-18	11:20	18197	27319	4090	SG 2	Calicata 2	54,3	24,6	21,1	100	11,5
27-jun-18	11:20	18273	27288	4090	SM	Calicata 3	9,2	17,3	73,5	100	3,9

Fuente: MYSRL, 2018.

4.1.2. Porcentaje de finos post voladura

Se realizaron dos (02) muestreos en el Tajo Quecher Main correspondiente a la georeferenciación de los puntos de Calicatas 1 y 2, Nivel de Banco 4090, de cada una de ellas se muestreó 25 kg de roca triturada y se envió a laboratorio de geotecnia para su análisis granulométrico, con respecto a la Calicata 3 no se realizó el muestreo post voladura debido a que tenía bajo contenido de finos (9,2%) y se consideró como anómalo.

Los resultados obtenidos para las muestras 01 y 02 se muestran en la Tabla 04 y según el análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422, la Muestra 01 tiene 10,6% de finos y la Muestra 02 tiene 15,9% de finos. Además de la determinación de finos también se halló el porcentaje de arenas y gravas contenidas en cada una de las muestras; así como, el contenido de humedad según la norma ASTM D-2216, muestra 01 (3,1%) y muestra 02 (5,5%).

Tabla 04. Porcentaje de determinación de finos post voladura – Nivel de Banco 4090, Tajo Quecher Main.

PORCENTAJE DE DETERMINACIÓN DE FINOS - TAJO QUECHER MAIN, MINERA YANACOCHA											
GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO ASTM D-422. ENSAYO DE LABORATORIO - GEOTECNIA										Total (%)	Contenido de Humedad ASTM D-2216 (%)
Fecha de muestreo	Hora	Este	Norte	Banco	Alteración Geológica	Polígono	% Finos (<0.075mm)	% Arenas (<4.75 y >0.075mm)	% Gravas (<75 y >4.75mm)		
10-jul-18	16:12	18183	27330	4090	SG 1	Muestra 01	10,6	20,5	68,9	100	3,1
10-jul-18	16:10	18197	27319	4090	SG 2	Muestra 02	15,9	16,7	67,4	100	5,5

Fuente: MYSRL, 2018

4.1.3. Comparativo de resultados antes y después de la voladura

La profundidad de la Calicata 1 (2.20 m) y la Calicata 2 (1.80m) comparado con la altura de banco (10 m) es muy bajo, por lo que el porcentaje de disminución de finos fue muy alto debido a que no se realizó en toda la muestra de 10 m de profundidad.

En la Tabla 05 y Gráfico 02 se muestra la comparación de resultados pre voladura (sin la implementación de cámaras de aire) y post voladura (con la implementación de cámaras de aire), para la Muestra 01 ha disminuido los finos en 22,2% y para la Muestra 02 ha disminuido en 38,4%.

Tabla 05. Comparativo de resultados pre y post voladura.

ENSAYOS DE LABORATORIO – GEOTECNIA			
Muestreo	% Finos (< 0.075mm)		
	Pre voladura	Post Voladura	Disminución
Muestra 01	32,8	10,6	22,2
Muestra 02	54,3	15,9	38,4

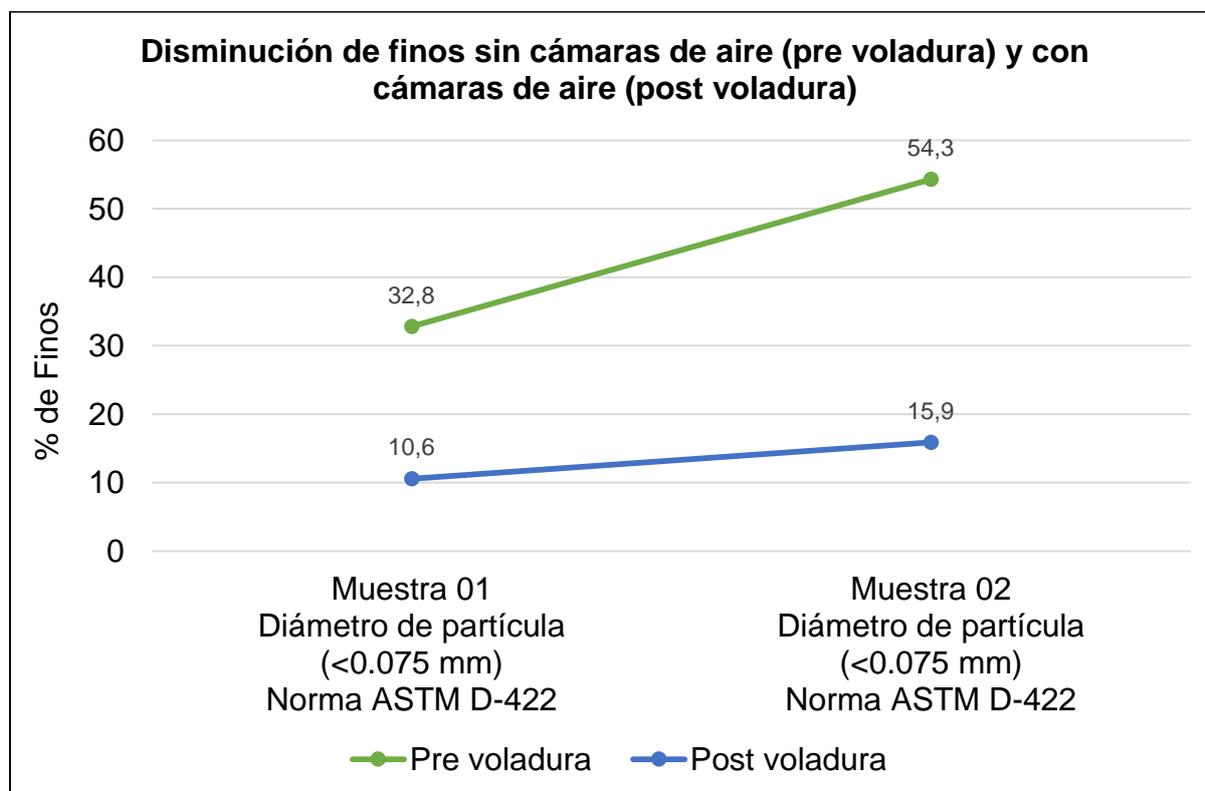


Gráfico 02. Disminución de finos en el Nivel de Banco 4090 según la granulometría por tamizado ASTM D-422 considerando que los finos tienen un diámetro de partícula menor a 0.075 mm – Tajo Quecher Main.

4.2. PRUEBA DE VOLADURA N° 2

En esta Prueba N° 2 se analizó el porcentaje de finos que existe en el Nivel de Banco 4080 del Tajo Quecher Main antes de la implementación con cámaras de aire que es la pre voladura y después de la voladura con el uso de cámaras de aire, finalmente se realizó un comparativo de ambos resultados para determinar el porcentaje de disminución de finos.

4.2.1. Porcentaje de finos en detritus de perforación de taladros

Se realizaron cinco (05) muestreos en blastholes (BH) en el Tajo Quecher Main, Nivel de Banco 4080, sin la implementación con cámaras de aire, en cada uno de ellas se obtuvo 25 kg de detritus de perforación y se envió a laboratorio de geotecnia, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 06 y según análisis granulométrico el porcentaje de finos mediante detritus de perforación es: Taladro 09 (60,1%), Taladro 20 (36,2%), Taladro 31 (23,7%), Taladro 42 (31,9%) y Taladro 51 (29,1%). Se incluye porcentaje de arenas y gravas según norma ASTM D-422.

Tabla 06. Porcentaje de determinación de finos pre voladura – Nivel de Banco 4080, Tajo Quecher Main.

PORCENTAJE DE DETERMINACIÓN DE FINOS - TAJO QUECHER MAIN, MINERA YANACOCHA									
GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO ASTM D-422. ENSAYO DE LABORATORIO - GEOTECNIA									
Fecha de muestreo	Hora	Este	Norte	Banco	Taladro	% Finos (< 0.075mm)	% Arenas (< 4.75 y >0.075mm)	% Gravas (< 75 y >4.75mm)	Total (%)
28-sep-18	7:30	18229.30	27446.36	4080	09	60,1	38,9	1	100
28-sep-18	7:30	18236.82	27442.14	4080	20	36,2	62,3	1,5	100
28-sep-18	7:30	18244.34	27437.93	4080	31	23,7	72,1	4,2	100
28-sep-18	7:30	18251.86	27433.71	4080	42	31,9	60,9	7,2	100
28-sep-18	7:30	18259.38	27429.50	4080	51	29,1	55,9	15	100

Fuente: MYSRL, 2018

4.2.2. Porcentaje de finos post voladura

Se realizaron cinco (05) muestreos después de la voladura en el Tajo Quecher Main correspondiente a la georeferenciación de los cinco taladros (blastholes) muestreados en Nivel de Banco 4080, cada uno de ellos con 25 kg de detritus de perforación se envió a laboratorio de geotecnia, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 07 y Según el análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422 y con la implementación de cámaras de aire el porcentaje de disminución de finos es: Taladro 09 (32%), Taladro 20 (30,2%), Taladro 31 (8,9%), Taladro 42 (14,3%) y Taladro 51 (25,7%). Además se incluye información del porcentaje de arenas y gravas.

Tabla 07. Porcentaje de determinación de finos post voladura – Nivel de Banco 4080, Tajo Quecher Main.

PORCENTAJE DE DETERMINACIÓN DE FINOS - TAJO QUECHER MAIN, MINERA YANACOCHA									
GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO ASTM D-422. ENSAYO DE LABORATORIO - GEOTECNIA									
Fecha de muestreo	Hora	Este	Norte	Banco	Taladro	% Finos (< 0.075mm)	% Arenas (< 4.75 y >0.075mm)	% Gravas (< 75 y >4.75mm)	Total (%)
11-oct-18	17:40	18229	27446	4080	09	32	50,7	17,3	100
19-oct-18	15:10	18236	27442	4080	20	30,2	60,1	9,7	100
20-oct-18	14:25	18244	27437	4080	31	8,9	41,8	49,3	100
21-oct-18	14:10	18251	27433	4080	42	14,3	50,1	35,6	100
21-oct-18	14:10	18259	27429	4080	51	25,7	60,5	13,8	100

Fuente: MYSRL, 2018.

4.2.3. Comparativo de resultados antes y después de la voladura

La profundidad de los taladros (10 m) comparado con la altura de banco (10 m) es similar, por lo que el porcentaje de disminución de finos dio mayor credibilidad. La Tabla 08 y el Gráfico 03 muestra la comparación de resultados pre voladura (sin la implementación de cámaras de aire) y post voladura (con la implementación de cámaras de aire), la disminución en porcentaje de finos es: Taladro 09 (28,1%), Taladro 20 (6%), Taladro 31 (14,8%), Taladro 42 (17,6%), Taladro 51 (3,4%).

Tabla 08. Comparativo de resultados pre y post voladura.

ENSAYOS DE LABORATORIO – GEOTECNIA			
Muestreo	% Finos (< 0.075 mm)		
	Pre voladura	Post Voladura	Disminución
Taladro 09	60,1	32	28,1
Taladro 20	36,2	30,2	6
Taladro 31	23,7	8,9	14,8
Taladro 42	31,9	14,3	17,6
Taladro 51	29,1	25,7	3,4

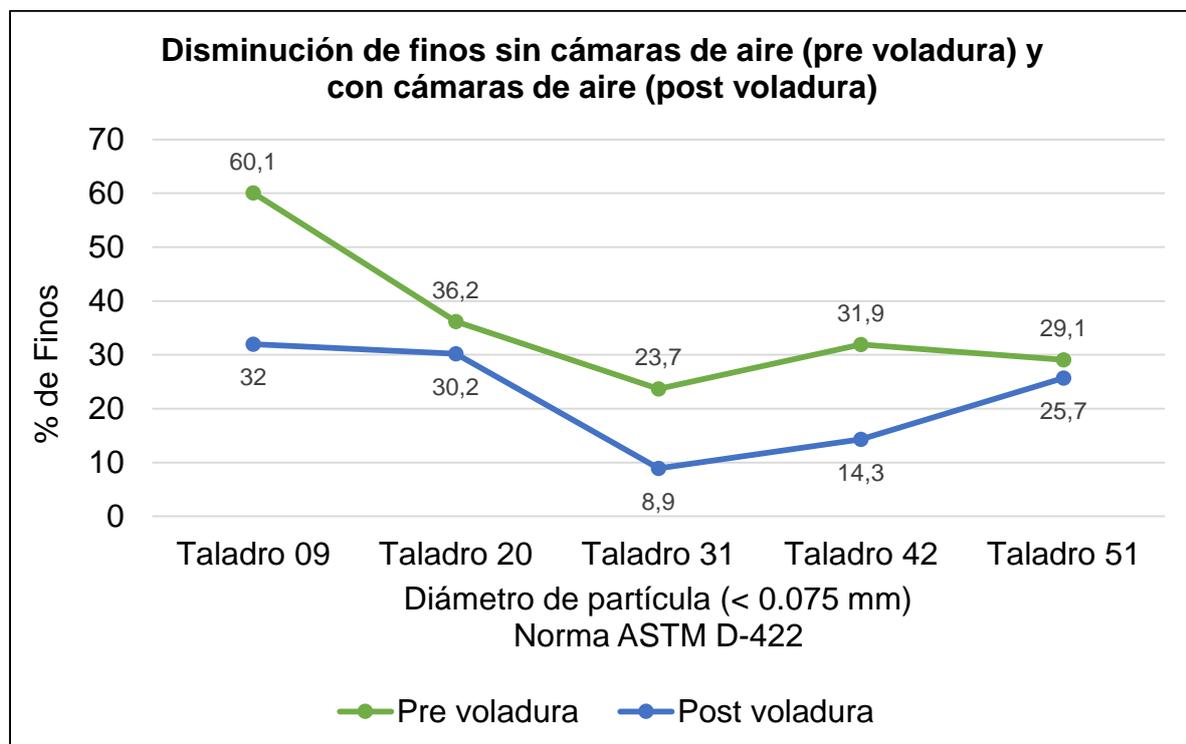


Gráfico 03. Disminución de finos en el Nivel de Banco 4080 considerando que los finos tienen un diámetro de partícula menor a 0.075 mm según norma ASTM D-422 – Tajo Quecher Main.

4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

En la investigación realizada se demostró que las cámaras de aire ayudan en la disminución del porcentaje de finos. En la primera prueba de voladura realizada se disminuye en 22,2% para la muestra 1 y en 38,4% para la muestra 2. La segunda prueba de voladura constó de cinco muestreos en los cuales el porcentaje mínimo de disminución de finos fue de 3,4% y un máximo de 28,1%. Con los resultados obtenidos se comprobó la hipótesis planteada de reducir en 5% los finos (diámetro < 0.075 mm) mediante el uso de cámaras de aire y si se encuentra dentro de los valores obtenidos en laboratorio de geotecnia.

Por lo tanto se demuestra que el uso de cámaras de aire en los procesos de voladura ayuda a reducir el porcentaje de finos en el material volado, además de ello se redujo la cantidad de explosivo por taladro permitiendo una fragmentación homogénea y una mayor distribución granulométrica del material para la alimentación a las plantas de tratamiento de minerales en Minera Yanacocha S.R.L.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El porcentaje de disminución de finos en el Tajo Quecher Main perteneciente a Minera Yanacocha S.R.L. aplicando el uso de cámaras de aire en taladros de voladura es de 3.4% como mínimo y un máximo de 38.4% según las dos pruebas realizadas.

La disminución porcentual de finos por efecto de las cámaras de aire, Prueba N° 1 realizada en el Nivel de Banco 4090 – Tajo Quecher Main, corresponde a 22.2% para la Muestra 01 y 38.4% para la Muestra 02.

La disminución porcentual de finos por efecto de las cámaras de aire, Prueba N° 2 realizada en el Nivel de Banco 4080 – Tajo Quecher Main, correspondiente al Taladro 09 es (28,1%), Taladro 20 (6%), Taladro 31 (14,8%), Taladro 42 (17,6%) y Taladro 51 (3,4%).

Las cámaras de aire ayudaron a reducir el consumo de explosivo en los taladros de perforación por el espacio vacío generado, y con ello se ha disminuido los costos por voladura beneficiando a la compañía.

5.2. RECOMENDACIONES

Minera Yanacocha debe realizar pruebas de voladura con cámaras de aire al centro de los taladros con el fin de evaluar la disminución de finos en los bancos de minado del Tajo Quecher Main.

Minera Yanacocha debe realizar pruebas de voladura con cámaras de aire en la parte superior y junto al taco de los taladros con el fin de evaluar la disminución de finos en los bancos de minado del Tajo Quecher Main.

Minera Yanacocha debe continuar con el estudio del uso de la técnica de cámaras de aire en los bancos de minado del Tajo Quecher Main para así tener mayor información del efecto que tiene en la disminución del porcentaje de finos y concluir con resultados mucho más específicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bernaola et al. 2013. Perforación y Voladura de Rocas en Minería. Madrid, España. 256 p.
- Cebrián, B. 2007. Técnicas Especiales de Voladuras: Accesorios especiales de voladura: bolsas autoinflables (Baif). 3 p.
- Chanduvi, M. A. 2010. Análisis Técnico-Ecológico-Económico con la Aplicación de Explodeck para Reducir el Consumo de Mezcla Explosiva en la Compañía Minera Barrick Misquichilca-Lagunas Norte. Tesis Lic. Lima, Perú, Universidad Nacional de Ingeniería. 232 p.
- Chiappetta, R. F. 2004. New Blasting Technique to Eliminate Subgrade Drilling, Improve Fragmentation, Reduce Explosive Consumption and Lower Ground Vibrations. International Society of Explosives Engineers. 27 p.
- Cumpa, J. L. 2016. Efecto de las Cámaras de Aire en Taladros de Producción para Mejorar la Fragmentación del Material y Reducir el Nivel de Vibraciones por Voladura en Minería a Tajo Abierto en el Norte del Perú, 2016. Tesis Lic. Cajamarca, Perú, Universidad César Vallejo. 83 p.
- DYNO. 2001. Manual de Entrenamiento: Sistemas de iniciación de voladuras. 2 ed. Chile. 100 p.
- EXSA S.A. 2013. Manual de Voladura. 4 ed. Lima, Perú. 358 p.
- EXSA S.A. 2019. Manual Práctico de Voladura. 5 ed. Lima, Perú. 361 p.
- González de Vallejo, L. 2002. Ingeniería Geológica. Madrid, España, PEARSON EDUCACIÓN. 744p.
- Guerreros, P; Peralta, J. 2016. Quecher Main Project Geology Report Stage 3. Cajamarca, Perú, MYSRL. 38 p.
- IGME. 1994. Manual de Perforación y Voladura de Rocas. 2 ed. Madrid, España. 541 p.
- ISEE. 2008. Manual del Especialista en Voladura. 17 ed. Ohio, USA. 678 p.

- Medina, R. O. 2014. Evaluación Técnico-Económica-Ecológica de los Resultados de las Pruebas Realizadas Usando Emulsiones Gasificadas en Cuajone – Southern Perú. Tesis Lic. Lima, Perú, Universidad Nacional de Ingeniería. 171 p.
- Melnikov, N. V. 1971. Effective Methods of Applications of Explosion Energy in Mining and Construction. 12th Symposium Dynamic Rock Mechanics. 390 p.
- Mercado et al. 2004. Taponex, una alternativa para voladuras de producción. Antofagasta, Chile. 25 p.
- Montiel, N. E. 2014. Optimización del Diseño de Perforación y Voladura Aplicando Cámara de Aire con el Explosivo Fortis Extra, Mina Paso Diablo, Carbones del Zulia S.A, estado Zulia. Tesis Lic. Caracas, Venezuela, Universidad Central de Venezuela. 132 p.
- Paredes, E. 2002. Evaluación e Implementación de Cámara de Aire en el fondo del taladro de Voladura. Moquegua, Perú. 18 p.
- Poma, J. L. 2012. Importancia de la Fragmentación de la Roca en el Proceso Gold Mill (Caso Minera Yanacocha). Tesis Lic. Lima, Perú, Pontificia Universidad Católica del Perú. 84 p.
- Quispe, J. A. 2014. Reducción de Costos en Perforación y Voladura por la Aplicación de Cámaras de Aire en la U.M. Constancia - Hudbay Peru S.A.C. Tesis Lic. Arequipa, Perú, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 104 p.
- Sazid, M., Singh, T. N. 2013. Mechanism of air deck technique in rock blasting-a brief review. Indorock 2013. Conferencia llevada a cabo en la Fourth Indian Rock Conference, India. 9 p.
- Southern Copper. 2021. Glosario de términos. Consultado el 21 jun. 2021. Disponible en <http://www.southernperu.com/ESP/opinte/Pages/PGGlosario.aspx#top>
- UNCP. 2021. Norma ASTM D-422. Consultado el 21 jun. 2021. Disponible en <https://www.coursehero.com/file/p2makba0/NORMA-ASTM-D-422-Es-el-m%C3%A9todo-para-determinar-cuantitativamente-los-porcentajes/>
- Vergne, J. 2012. Diccionario Técnico de Mineros y Petroleros. Ottawa, Canadá. 378 p.

Cajamarca, 05 de abril del 2021.

Ing. Marco Hoyos Saucedo
Director de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería de Minas
Universidad Nacional de Cajamarca.
Presente. –

De nuestra consideración:

Sirva la presente para saludarlo y manifestarle nuestro agradecimiento a nombre de Minera Yanacocha por habernos considerado como una opción para el desarrollo y crecimiento profesional de sus estudiantes.

Respecto a la solicitud, recibimos frecuentemente formatos de su representada referidos al otorgamiento de autorización para el uso de información de Minera Yanacocha en la elaboración de temas de tesis en curso ante ustedes, en tal sentido queremos aprovechar la oportunidad para precisarles que en cualesquiera de tales casos, debido a su carácter privilegiado o confidencial, *autorizamos el uso de la información para fines académicos*, debiéndose guardar la reserva correspondiente, a salvo del acto público de sustentación. En igual sentido, desde ya hacemos notar que la publicación o divulgación por cualquier medio de la tesis, en tanto maneja información que nos es privativa, requerirá el consentimiento escrito y expreso de Minera Yanacocha S.R.L. para lo cual el/la tesista deberá suscribir con nuestra empresa el compromiso correspondiente conforme a nuestros formatos.

Asimismo, quisiéramos confirmar que mi representada, ha decidido aceptar el desarrollo del tema de tesis "Uso de Cámaras de aire para reducción de finos aplicado al Tajo de Quecher Main Yanacocha S.R.L, 2018" área de Perforación y Voladura, elaborada por su estudiante, Bachiller de la carrera de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de Cajamarca:

- Wily Mejía Barboza – DNI N° 76973935

La referida aceptación se ha formulado en el marco de lo señalado precedentemente con las limitaciones expresadas.

Igualmente debemos expresarle que, con fines de uniformizar la gestión de las referidas autorizaciones, estas deberán ser solicitadas ante nuestra área de Políticas Públicas y Relaciones Gubernamentales, para un adecuado control de estas, mediante una acreditación de su representada.

Finalmente queremos reiterarle nuestro agradecimiento por su interés en considerarnos como parte de sus opciones de colaboración con la formación de sus estudiantes, y le extendemos nuestros deseos de éxito y consideración.

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Nahil Hirsh Carrillo".

Nahil Hirsh Carrillo
Directora de Asuntos Externos
Yanacocha



Universidad Nacional de Cajamarca
Norte de la Universidad Peruana



FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

La que suscribe, Directora de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca certifica la originalidad de la tesis “USO DE CÁMARAS DE AIRE PARA REDUCCIÓN DE FINOS APLICADO AL TAJO QUECHER MAIN YANACOCCHA S.R.L. 2018”, elaborada por el bachiller en Ingeniería de Minas WILY MEJÍA BARBOZA, de acuerdo al análisis realizado por el asesor MCs. Ing. ROBERTO SEVERINO GONZALES YANA, con el software antiplagio Urkund que reporta 19% de índice de similitud y le asigna el código D111043757.

La Unidad de Investigación expide el presente, para los fines convenientes.

Cajamarca, 09 de Agosto del 2021

Dra. Rosa Haydee LLique Mondragón
DIRECTORA UNIDAD INVESTIGACIÓN FI