

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“DISEÑO DE LA MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA
PARA OPTIMIZAR LA FRAGMENTACIÓN DE LA ROCA
CALIZA EN LA CANTERA CLAUDINA 8, CAJAMARCA 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

Autores:

Carlos Saul Lopez Eugenio

Nicolas Miranda Mori

Asesor:

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán

Cajamarca - Perú

2022

DEDICATORIA

Dedicado con todo mi amor y cariño:

A ti Dios que me diste la oportunidad de vivir y darme unos padres maravillosos.

A mis padres, ellos siempre han sido y serán el mejor ejemplo de vida a seguir, yo les rindo este homenaje a su grandiosa labor como padres y amigos agradeciéndoles la fé que han puesto en mí.

A mis docentes por mi formación profesional y amigos que siempre estuvieron presentes para brindarme toda ayuda incondicional.

Carlos

Dedico con amor y cariño

A ti Dios que me diste la oportunidad de vivir y de darme el gran progreso de la sabiduría.

Con mucho cariño, principalmente a mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en la mejor etapa de mi vida, por darme aspiraciones y enseñar valores elementales que me ayudo crecer.

Gracias a esas tres personas importantes en mi vida, que siempre han estado listos para ayudarme totalmente.

Nicolás

AGRADECIMIENTO

A Dios, quien nos ha dado la vida, por permitirnos que hoy se cumpla nuestra meta de partida, pidiéndole que derrame su bendición sobre las familias del jurado calificador que nos brindaron todo su apoyo.

A nuestros Docentes a quienes les debemos gran parte de nuestros conocimientos, gracias a su paciencia, enseñanza, tiempo brindado y dedicación, para obtener el mejor rendimiento de nosotros.

A la Universidad Privada del Norte la cual ha abierto sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de mucho bien.

A nuestros Padres y Familiares por brindarnos su apoyo incondicional, moral y económico con el objetivo de culminar nuestra carrera profesional y lograr la meta trazada.

A todos aquellos que colaboraron con nosotros en la realización de este trabajo de investigación.

Carlos y Nicolás

Tabla de contenido

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
RESUMEN.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. Realidad problemática.....	8
1.2. Formulación del problema	25
1.3. Objetivos	25
1.3.1. Objetivo general.....	25
1.3.2. Objetivos específicos	25
1.4. Hipótesis.....	25
1.4.1. Hipótesis general.....	25
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	26
2.1. Tipo de investigación	26
2.2. Población y muestra	27
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	27
2.4. Procedimiento.....	31
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	35
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	50
REFERENCIAS.....	55
ANEXOS.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de diseño de voladura de cantera de caliza.....	15
Tabla 2. Parámetros de diseño de voladura de cantera de caliza abril 2012	17
Tabla 3. Comparación de análisis químico de la caliza en tres laboratorios; Error! Marcador no definido.	
Tabla 4. Instrumento 1: Guía de observación características de la voladura; Error! Marcador no definido.	
Tabla 5. Instrumento 2: Guía de Experimentación Diseño de cargas	28
Tabla 6. Instrumento 3: Guía de Experimentación Tamaño de la caliza fragmentada.....	30
Tabla 7. Instrumento 4: Guía de Estadística descriptiva de la caliza fragmentada	31
Tabla 8. Características geomecánicas del macizo rocoso del banco 3984 de la cantera	35
Tabla 9. Medición en campo de las propiedades de las discontinuidades.....	35
Tabla 10. Clasificación del macizo rocoso RMR – Bieniawski 89	36
Tabla 11. Clasificación de la calidad de la roca según el RMR	37
Tabla 12: Primer diseño de cargas del proyecto de voladura del banco 3984_16/01/2021	37
Tabla 13. Segundo diseño de cargas del proyecto de voladura del banco 3984_16/01/2021 ..	39
Tabla 14. Características de la voladura en la cantera Claudina 8	39
Tabla 15. Tamaño del producto volado a diferentes porcentajes pasantes.....	42
Tabla 16. Cuadros de distribución de frecuencia del tamaño de la caliza fragmentada a un porcentaje pasante P20.....	45
Tabla 17. Cuadros de distribución de frecuencia del tamaño de la caliza fragmentada a un porcentaje pasante P50.....	46
Tabla 18. Cuadros de distribución de frecuencia del tamaño de la caliza fragmentada a un porcentaje pasante P80.....	47
Tabla 19. Cuadros de distribución de frecuencia del tamaño de la caliza fragmentada a un porcentaje pasante P90.....	47
Tabla 20. Cuadros de distribución de frecuencia del tamaño de la caliza fragmentada a un porcentaje pasante P100.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Columna estratigráfica de la cantera Claudina 8.....	18
Figura 2. Muestras de cores de la cantera Claudina 8.	19
Figura 3. Delimitación por bloques de la cantera Claudina 8. .	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4. Mezcla explosiva Quantex.	22
Figura 5. Esquema de carga.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 6. Primer diseño de cargas para taladros de 10 m de altura.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7. Plano de carguío banco 3984.	40
Figura 8. Fotos de pre voladura del banco 3984.	41
Figura 9. Tamaño de la caliza fragmentada a diferentes porcentajes pasantes.	43
Figura 10. Estadística descriptiva del tamaño de la caliza fragmentada a diferentes porcentajes pasantes.....	44
Figura 11. Costo de las mezclas explosivas.	48

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado Diseño de la malla de perforación y voladura para optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera Claudina 8, Cajamarca 2021; se basa en la problemática que, la antigua malla de voladura fue de $B \times E = 4.5 \text{ m} \times 4.8 \text{ m}$ y diámetro de perforación de 9”, utilizando explosivo HA 46, la voladura proporciona un producto muy fragmentado, con p80 de 90.69% $-3/4$ ”, perdiéndose mucho material fino de roca caliza, en lugar de destinarlo a producción. La granulometría deseada en la Planta de cal de la empresa en estudio, es de 6” y 19 $1/2$ ” con un valor promedio de 12 $3/4$ ” y un porcentaje de finos -200 mallas del 20% como máximo. La investigación de acuerdo a su finalidad es Aplicada, por su alcance es predictiva, por su enfoque es cuantitativa con diseño Experimental del tipo Cuasi experimental. La muestra está constituida por el total de las reservas minables en el banco 3984 de la cantera Claudina 8. Las técnicas de recolección de datos fueron la observación directa, el análisis documental y la experimentación. Se realizó la evaluación granulométrica de la fragmentación de la roca por medio del software Metrics Manager Pro, obteniendo datos estadísticos del porcentaje pasante de 19 imágenes de los correspondientes tamaños previstos por una escala granulométrica. Luego se realizó un análisis estadístico descriptivo del tamaño de la roca fragmentada vs porcentaje pasante, para luego a través de las tablas de distribución determinar la granulometría de la roca caliza con el nuevo diseño de malla de voladura. Se concluye que al diseñar la nueva malla de perforación y voladura a $B \times E = 5.5 \text{ m} \times 6.5 \text{ m}$ y del diámetro de perforación a 9 $7/8$ ”, utilizando explosivo MEQ 73 de 1.10 gr/cc, la voladura proporciona un producto de mayor tamaño con un P100, donde el 68.42 % de los fragmentos tienen un tamaño desde 12.33” a menos de 14.05”. Se concluye que el costo por tonelada de la mezcla explosiva MEQ 73 es 614.2 US\$/TM, en comparación con HA 46, cuyo costo es de 674.0 US\$/TM, que representa una diferencia de 59.80 US\$/TM.

Palabras clave: Cantera, Caliza, fragmento, MEQ 73, P80, P100.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El proceso de perforación y voladura es la etapa más importante durante la extracción del mineral en distintos tipos de yacimientos, donde incluyen los mayores costos y presupuestos; es preciso estudiar, organizar y controlar cada etapa de perforación y voladura, así como sus variables dependientes. El resultado de una buena fragmentación está en función del diseño de malla, diseño de explosivo (carga) y diseño del amarre del disparo, estructura geológica, tipo de roca, caracterización estructural.

La voladura de rocas es un trabajo en el cual para determinar la carga se aplican diseños matemáticos y ajustes experimentales, ya que genera un gran efecto operacional que son como, mala fragmentación, bolonerías, altas vibraciones en el macizo rocoso, proyección de fragmento de roca (fly rocks), inestabilidad de taludes.

En la cantera Claudina 8, con la voladura efectuada en abril del 2012 por el área de Voladura de Conga, se obtuvo una granulometría de caliza menor al requerido por la Planta de de cal de Claudina 8, entre 6” y 19 ½”.

El área de operación de Claudina 8 se ubica en el distrito La Encañada, provincia de Cajamarca, Región Cajamarca, donde la empresa minera Yanacocha opera la cantera y una planta de cal por lo menos hasta el año 2026, para producir la cal y cal hidratada que se requiere para adicionar a los pads de lixiviación y a las plantas de tratamiento de agua. De la cantera Claudina 8 se extraen, en la actualidad, aproximadamente 40,000 t/mes de caliza, de las cuales 9,000 t/mes son destinadas a la producción de cal viva, una parte de la producción es transportada hacia las áreas en rehabilitación como material alcalino y la diferencia se almacena en el depósito de desmonte correspondiente. Actualmente, la zona de cantera y depósitos de desmonte ocupan una extensión de aproximadamente 6.08

hectáreas. La producción de cal se realiza en la planta de cal que se ubica en la misma área de operación Claudina 8 (Minera Yanacocha, 2008).

Según Guamán G. y Mendieta G. (2013), en su tesis Evaluación geomecánica del macizo rocoso en la cantera Las Victorias, en Cuenca – Ecuador, en sus objetivos específicos menciona describir las características geológicas de la zona objeto de estudio, estudiar la calidad del macizo rocoso Las Victorias, basados en los estudios de los sistemas de clasificación geomecánica: RQD, RMR, Q, SMR Y GSI; se concluye que la calidad del macizo rocoso está controlado por variables litológicas esfuerzos in su meteorización y resistencia a la compresión uniaxial y las múltiples familias de discontinuidades.” También se concluye que: “En todos los métodos analizados se estimó el tamaño medio de fragmentación de roca esperada producto de la voladura, en tal caso se observó que, aumentando la cantidad de sustancia explosiva por taladro, el tamaño de fragmentación disminuye para una separación entre taladros constantes, así como también se pudo verificar que a medida que aumenta la separación entre taladros el tamaño de fragmentación será mayor”.

En la tesis de Caguana (2013), cuyo objetivo principal consistió en analizar los parámetros de perforación y voladura de rocas utilizados en la cantera Las Victorias en Cuenca, Ecuador; concluye que, “el diámetro del taladro de 36 mm no es recomendable, para los tipos de trabajos que se realizan en la cantera. Para obtener los parámetros de perforación y voladura se estableció que el modelo matemático López Jimeno es el más óptimo, por tal motivo fue necesario reducir la distancia entre taladros y disminuir la cantidad de energía explosiva para lograr la fragmentación adecuada.

En el informe de tesis de Mendoza (2014), identifiqué la mala voladura que se realizaba en Paraíso (Unidad Minera – Ecuador), debido a que el material fragmentado es inadecuado para lo que requiere la chancadora, la cantidad de material producto de la voladura es inferior o mayor a lo esperado y el avance requerido por disparo no era el ideal era menor de lo esperado. Lo que ocasionó bajo rendimiento en los equipos (transporte y acarreo), tiros cortados ocasionando voladuras secundarias y el incremento del costo de voladura.

En Venezuela, Choqueña, (2017) presentó su tesis para obtener el título de Ingeniero de minas con el tema titulado “Optimización de la fragmentación de roca mediante las características geo mecánicas y doble iniciación no electrónica en la perforación y voladura de bancos”. La investigación fue no experimental, utilizó como población los diferentes proyectos de voladura. El objetivo de esta investigación fue optimizar la fragmentación de roca, debido a que encontró bloques con medidas de 80 cm. Tales bloques, después del proceso de voladura, dificultaban el proceso de carguío y acarreo por lo que era necesario optimizar la fragmentación rocosa, por lo que propone la aplicación del sistema p80 con apoyo del software wip frag 2010, basado en las características geo mecánicas y doble iniciación no electrónica en la perforación y voladura de bancos. Los resultados de evaluación geo mecánicas indicaron que se trata de una andesita alterada, su RQD fue de 92 %, esta roca es sílice alunita chay, propilítico sílice granular y sílice masiva con RCU de 23 MPA (según Bieniewiski, 1989, el RMR básico es 52 de calidad regular). Para optimizar la fragmentación de roca consideró los siguientes parámetros: prueba de fragmentación con wip frag, 2010 el p80 es 4.03 pulgadas, 3.58 pulgadas y 5.38 pulgadas en macizo rocoso con RMR de 52 en 13 pruebas el promedio de P80 fue de 3.40 pulgadas un tamaño óptimo para el proceso de minado.

La conclusión de la investigación indica que en la parte operativa mejoró el dig-rate de los equipos de acarreo en un rango del 5% por lo que la empresa aceptó el uso de doble iniciación en el proceso de voladura de rocas.

En la investigación de Yahuana (2015), se mencionan tres problemas principales en la voladura de la roca caliza en la cantera Cerro Negro en Piura. La fragmentación inadecuada que presenta la cantera, genera voladura secundaria, es decir hay un incremento de costos operacionales. La altura de apilamiento del material que es muy alto, genera desprendimientos al momento del carguío de mineral. La proyección de fragmentos de roca debido al mal diseño de voladura, debe ser controlado puesto que ocasiona daños a las instalaciones, equipos y poblaciones aledañas, donde la empresa perdería horas de trabajo y paradas de equipos al igual que ser responsable a los daños ocasionados a los sectores aledaños. En la cantera Proven III, se logra apreciar similitud a los distintos problemas mencionados el trabajo de investigación de Yahuana. Actualmente los modelos matemáticos y las tecnologías disponibles generan un adecuado diseño de voladura, lo cual permite controlar estos problemas operacionales, ajustando mediante técnicas en el área de estudio.

En la tesis de Alfaro (2016) la cual tiene como objetivo principal: determinar el diseño de la malla de perforación y voladura en la Cantera Sur de caliza para producir roca escollera en la Cía. Minera El Brocal – Cerro de Pasco, para generar enrocado; se concluye que, el cálculo de los parámetros fue mediante la fórmula Pearse, burden 4 m y espaciamiento 4 m, para bancos de 6 m de altura con una resistencia compresiva de la roca de 45 MPa (6 526,69 PSI), densidad de roca de 2.6 g/cm³, utilizando una perforadora Rock Drill, Ranger DX -700 con diámetro del taladro 4”; se obtiene una fragmentación con tamaños

en promedio de 1,00 m y el tamaño característico es 44 cm a un 63 %, donde el 37 % del material retenido son de sobre tamaño mayores a 44 cm. Se utilizó un iniciador Emulsión Emulex 80 en la base a 0.30 m, una longitud de carga de la columna Lc de 2.80 m, taco de 3.50 m, necesiéndose una dotación de ANFO de 6.49 kg/m de explosivo, 18 kg/taladro de explosivo con un factor de carga de 0.19 kg/m³.

Cáceres y Depaz (2016) cuya investigación tuvo por objetivo Diseñar la Malla de Perforación aplicando la Geomecánica en la GA-475E del Nivel 2050 de la Unidad Alpacay, MYSAC Año 2016; concluyen que los atributos geomecánicos hallados, permitió el diseño de malla de perforación y el correcto marcado. Para que ésta aplicación sea aceptable, debemos realizar evaluaciones geomecánicas constantes en las labores mineras después de cada voladura. Los parámetros geomecánicos hallados permitió una aplicación aceptable en el diseño de la malla de perforación y voladura de rocas, demostrando que, al reconocer la calidad del macizo rocoso por medio de la geomecánica, ha influido en la reducción de problemas en la voladura.

Miranda y Vergara (2019) cuya investigación tuvo por finalidad diseñar un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos para optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera PROVEN III en cerro Collique – Zaña; mencionan que existen múltiples métodos y modelos para ayudar a diseñar dichas mallas de perforación de manera eficiente, como por ejemplo los modelos matemáticos que se pueden encontrar en una gran variedad dentro de algunos manuales, como son manual López Jimeno, Konya, Enaex, Exsa; los cuales calculan las variables de diseño para el desarrollo eficiente de un sistema de perforación y voladura de rocas. La investigación permitió concluir que el diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas mediante

el modelo matemático Konya optimizó la fragmentación de la roca caliza conforme al P80 de 6.71 pulgadas (17.04 cm).

En la tesis de Mendoza (2020), la investigación tuvo como objetivo principal, optimizar la fragmentación y costos de voladura utilizando el explosivo HA 64 y ME Quantex 73 en la cantera de caliza Cuadratura de la localidad de Hualgayoc departamento de Cajamarca. La caracterización del macizo rocoso de la cantera Cuadratura, obtuvo un valor de RMR=67 identificándose como una roca de clase II – calidad buena, y en el ensayo de compresión uniaxial tuvo como resultado 124.21 Mpa (roca Muy dura). Para esta calidad de macizo rocoso se necesitó una densidad del explosivo ME Quantex 73 hasta 1.10 y 1.15 gr/cc. Se concluye que con estos resultados el diseño de la malla de voladura para el proyecto 3880 es de $B \times E = 3.7 \times 4.3$ con taladros de $\varnothing = 7 \frac{7}{8}$ ” y una longitud de carga de 6.5 metros. Para el diseño de la malla de voladura para el proyecto 3900 es de $B \times E = 6.24 \times 7.2$ con taladros de $\varnothing = 7 \frac{7}{8}$ ” y una longitud de carga de 6.0 metros. El análisis de la fragmentación obtenida por el ME Quantex 73, indicó un p80 de 114.3 mm (4.5”). Se concluye que el agente explosivo ME Quantex 73 optimiza la fragmentación en el P80 del material volado, ya que su granulometría es menor y con mayor porcentaje de finos que con el HA 64. Se concluye que con el nuevo diseño de carga y con el uso del agente explosivo ME Quantex 73, se obtiene un ahorro de \$ 19.21 por taladro en comparación con el Heavy Anfo en el proyecto de voladura del banco 3880. En el proyecto de voladura del banco 3900 se obtiene un ahorro de 4.03 \$/taladro.

Las propiedades mecánicas de las rocas restringen la efectividad de la fragmentación requerida producido por la voladura en una operación minera. A continuación, se presentan las principales propiedades físicas y mecánicas que son empleadas en el

modelamiento de voladura de rocas y deben ser estudiadas (Ramírez O. P. 2004, Mecánica de Rocas):

Litología.

Propiedades físico-mecánicas (St , Sc , pr).

Caracterización geomecánica. (RMR, RQD y GSI).

Parámetros de resistencia de la roca. (cohesión y ángulo de fricción interna ϕ_i).

Constantes elásticas de la roca. (E , μ).

Propiedades sísmicas (velocidad de propagación: V_p , V_s).

Por tanto, el macizo rocoso y la mezcla explosiva comercial son determinantes para obtener una adecuada fragmentación como resultado de la voladura de rocas.

Para definir una malla de perforación, es preciso tener en cuenta parámetros fijos y parámetros variables. Los parámetros fijos llamados también operativos, son los que no se pueden variar fácilmente: características de la roca, altura de banco, ancho de berma y ángulo de perforación. Los parámetros variables son aquellos que pueden ser modificados: malla de voladura (burden y espaciado), energía del explosivo, secuencia de encendido, consumo específico de explosivo. El diámetro del taladro es función del parámetro fijo de la altura de banco y su relación con el equipo de carguío (Manual López Jimeno, 2014).

Las propiedades tanto químicas y físicas del macizo rocoso, como la dureza, densidad, entre otras, así como también la geología en la depositación de los estratos, fallas, tipos de mineral, son parámetros no controlables esenciales en la elaboración de un diseño de malla de perforación y voladura de rocas. También existen parámetros controlables como

las propiedades de los explosivos, características geométricas del área de explotación, modelos matemáticos, simulaciones computarizadas (Correa, 2017).

En la investigación de Chávez (2015), da a conocer la importancia de la caliza, menciona que al transcurrir el tiempo este mineral ha ido en crecimiento en las agroindustrias y las distintas inversiones mineras un ejemplo de ellos es el sector minero y metalúrgico de Cajamarca. La caliza es una roca muy abundante, constituye más del 10% del conjunto de rocas sedimentarias de nuestro planeta. Lamentablemente su riqueza no es aprovechada al 100% debido a distintos factores al momento de ser explotada.

Mamani (2016), menciona en su tesis que, para la construcción de accesos, voladura en canteras, minas a tajo abierto y todo tipo donde se realice voladura, se necesita realizar estudios previos y tener en cuenta las variables las cuales son de ayuda para la toma de decisiones de grandes proyectos, como por ejemplo el explosivo óptimo, el tiempo de operación de minado, modelos matemáticos. En gran parte de las operaciones mineras, la voladura se encarga de obtener una fragmentación óptima del macizo rocoso en términos de adecuación secuencial de minado para que este material pueda ser transportado y procesado de manera eficiente.

En la investigación de Carhuancho (2011), indica que la voladura existe con el fin de fragmentar el macizo rocoso, pero si esta no se desarrolla de manera adecuada la fragmentación no será óptima, por lo tanto, en la obligación de realizar la fragmentación de manera óptima se es necesario realizar voladuras secundarias, estas generan un gran costo al proceso. Por tal motivo es importante realizar estudios previos.

En la investigación de Correa (2016), señala que el Perú cuenta con grandes extensiones de roca caliza, por lo tanto, se puede entender la riqueza que posee el país, estas extensiones son aprovechadas por empresas de gran dimensión las cuales se dedican en su mayoría a la fabricación de cemento. Pero existe un problema que afecta considerablemente a su extracción y es que los procesos de extracción en su mayoría son muy convencionales por lo tanto los esquemas que desarrollan para la perforación y voladura no son lo todo satisfactorios, los cuales provocan gastos innecesarios, contaminación al medio ambiente, debilidad en la roca.

Tomando como referencia un estudio de determinación de los parámetros óptimos para una voladura en cantera de caliza realizada en Turquía, se realiza una comparación de los principales parámetros de voladura obteniendo lo siguiente:

Tabla 1

Parámetros de diseño de voladura de cantera de caliza

Parámetro	Estudio Turquía	Parámetros PV Cantera China Linda
Tipo de roca	Caliza	Caliza
Altura de taladro	6 m	7 m
Longitud de zona de explosivo	7 m	8 m
Espaciamiento entre taladros	4.5 m	4.8 m
Espaciamiento entre filas (Burden)	4 m	4.5
Diámetro del taladro	115 mm (4.5")	228 mm (9")
Volumen de roca fracturada por taladro	$6 \times 4.5 \times 4 = 108 \text{ m}^3$	$7 \times 4.8 \times 4.5 = 151.2 \text{ m}^3$
Longitud de carga de ANFO	5m	4.7m
Peso de la carga de ANFO	40kg	40kg
Peso de incrementador de presión por taladro	1kg	1kg

Fuente: Empresa Minera en estudio

Nota: En la tabla 1, se observa que el diámetro de taladro (228 mm) es notablemente superior (casi el doble) al del estudio Turquía (115 mm) los demás parámetros sin embargo son muy similares.

Del reporte que se tienen sobre las voladuras realizadas en Claudina 8, del mes de abril del 2012, se indican en la tabla 2.

Tabla 2

Parámetros de diseño de voladura de abril 2012 en la cantera de Claudina 8

Parámetro	Voladura Abril 2012
Malla de B x S	4 m x 4.3 m
Diámetro del taladro (pulgadas)	5 ¼”
Tipo de explosivo	HA-46
Tipos de taladros	L8
Deck	Uno
Sub Drill	+1m

Fuente: Empresa Minera en estudio

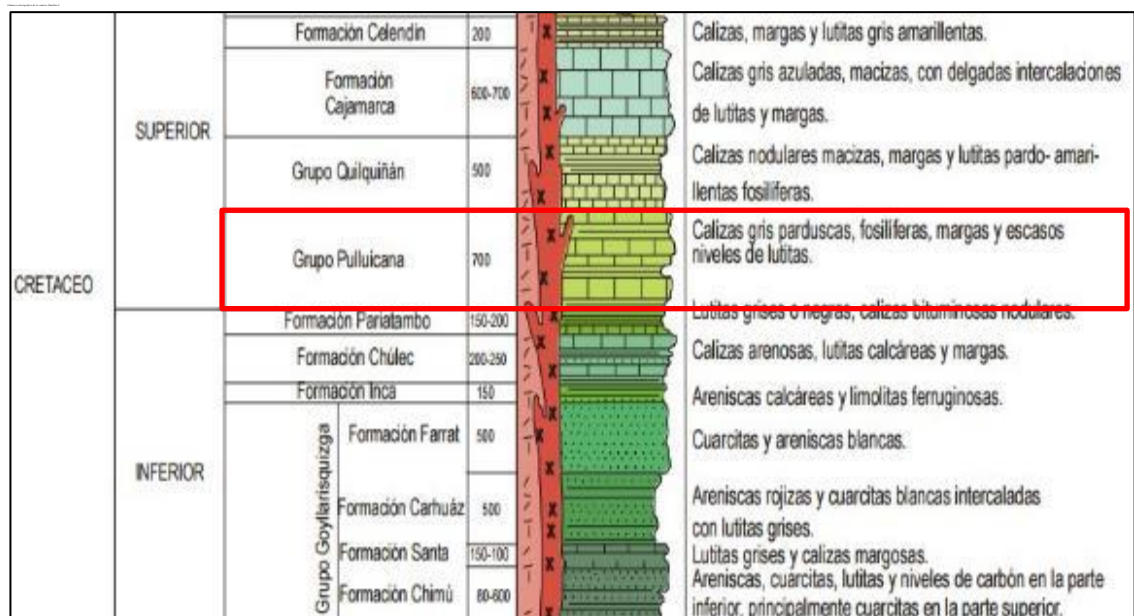
Nota: En la tabla 2 se observa que, en el mes de abril del 2012, la malla de perforación fue de 4 m x 4.3 m y el diámetro del taladro es de 5 ¼”. Por lo que estos parámetros deben ser modificados y la malla debe ser más amplia, de igual manera el diámetro del taladro debe ser de 9”, con objetivo de aliviar la fuerza de detonación del explosivo.

El yacimiento de la cantera Claudina 8 se encuentra estratigráficamente en las calizas que conforman los Pisos Superior e Inferior del Miembro Inferior de la Formación Superior del Grupo Puyllucana, del Cretáceo Medio (Figura 1). El área donde se ubica la planta de

cal y las instalaciones auxiliares está conformada por roca volcánica Huambo (Minera Yanacocha, 2008).

Actualmente en la cantera se trabaja en bancos de 8 m de alto con rampas de 10 m cada dos bancos como máximo, generando un ángulo talud/banco de 80°. La roca que aflora en la cantera Claudina 8 es una caliza compuesta principalmente de carbonato de calcio con algún contenido menor de carbonato de magnesio, sílice, alúmina, óxido de fierro y otros elementos cuyo aporte porcentual es inferior al 0.1%. Esta caliza se caracteriza por tener contenidos de azufre menor a 0.05% y por lo tanto no tiene potencial para generar drenaje ácido de roca. La reserva de caliza (95.5% carbonato de calcio) en las canteras fue estimada en 10'622,460 TM (Minera Yanacocha, 2008).

Figura 1



Fuente: INGEMMET

Geológicamente las calizas de Claudina 8 corresponden al grupo Puyllucana (Albiano Superior) de edad cretácea, son calizas de color gris a gris parduzcas, fosilíferas con margas y escasos niveles de lutitas.

En el Sur (lado Este) se encuentra afectado por un alto grado de fracturamiento que ha sido rellenado por precipitación de calcita en estas fracturas, así como el emplazamiento de diques de naturaleza andesítica, los que generalmente son sub verticales y tienen dirección NS. En la parte Norte la caliza está afectada por el tectonismo en menor grado, los diques aquí son NS y NW y sub verticales en ambos casos.

Por razones estructurales y geomorfológicas, el yacimiento de calizas de Claudina 8 fue dividida en 5 zonas: Claudina 8 al Sur, Piedras Gachas al Oeste, Totorá Cocha al centro, Pampa el buitre al este y Cerro El Buitre al Norte.

Figura 2

Muestras de cores de la cantera Claudina 8



Foto A: Muestra de core Claudina 8 Este Foto B: Muestra de core Pampas Claudina 8.

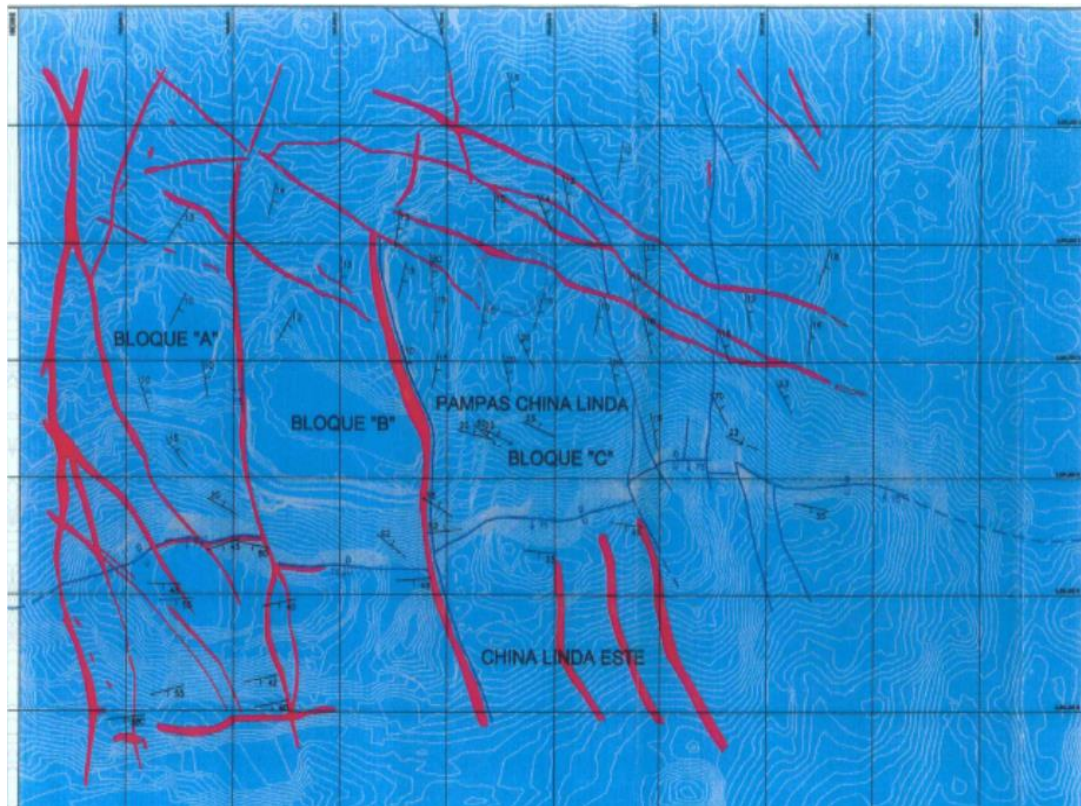
- Sector Cerro Claudina 8 Oeste, es el sector de la cantera actual sobre la cual sólo se realizó muestreos superficiales en el año 1995 y una columna de muestreo superficial en su parte este el año 2000.

- Sector Cerro Claudina 8 Este, en el cual se realizó perforación diamantina en el año de 1998, determinándose 2'610,503 TM con 94.29% CaCO₃, 81.44% de CaO útil y 40.90% de pérdida por calcinación.
- Sector Cerro Picota Norte, el cual tiene calizas de muy baja calidad y altos contaminantes no aptas para la fabricación de cal.
- Sector Pampas de Claudina 8 sobre el cuál se ha desarrollado perforaciones diamantinas y los resultados muestran potencias de 0.40 m hasta 3.90 m, siendo, los más representativos los de 0.50 m hasta 1.20 m de espesor.

Por la presencia de dos diques que cortan la caliza de este último sector, se le ha dividido en tres bloques A, B y C. Sobre estos bloques de caliza se ha efectuado la campaña de perforación diamantina de 12 sondajes cortos. La potencia de los estratos varía de 0.5 m a 4.0 m con predominancia de 1.2 metros. El trabajo geológico de Claudina 8 se ha completado con buenas oportunidades de tener caliza de buena calidad dentro de las zonas operativas actuales, como el área de Pampas Claudina 8 (Bloque C). Los bloques A y B de actual explotación se encuentran abiertos hacia el Norte lo que se prolongaría el minado de estos bloques a futuro.

Figura 3

Delimitación por bloques de la cantera Claudina 8.



Fuente: Empresa Minera en estudio

Una comparación de los análisis químicos de las muestras de caliza realizados en los laboratorios de ALS Chemex, SGS y Claudina 8 muestran los siguientes resultados.

Tabla 3

Comparación de análisis químico de la caliza en tres laboratorios

Compuestos	ALS	SGS	CHL
SiO ₂ %	9.81	10.00	9.87
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ %	4.20	4.00	4.40
CaO %	45.50	46.30	44.50
MgO %	0.80	0.90	1.00
Otros %	0.60	0.70	0.70
LQI %	37.8	37.49	35.00

Fuente: Empresa Minera en estudio

Según EXSA S.A. (2016), el explosivo gasificado ME Quantex 73 está conformada por la emulsión Q, Nitrato de Amonio y un agente sensibilizante en base a nitrito, semejante a las proporciones de mezcla explosiva en base a un ANFO pesado 73 (70% de emulsión y 30% de ANFO), de acuerdo a los estudios realizados las proporciones de la mezcla son las más estables y las que tiene mejor efecto rompedor. La mezcla explosiva 70/30 con nitrato de amonio grado técnico carece de sensibilidad, es por ello que necesita ser gasificado, con la finalidad de generar los suficientes puntos calientes para sostener y propagar la reacción del explosivo. El nitrato de amonio de alta densidad requiere el 3% de diésel para obtener un apropiado balance de oxígeno. El Quantex 73 reúne las principales características de ambos agentes de voladura que lo componen, alta generación de energía, buena generación de gases y una óptima resistencia a la humedad y al agua. Además de ello es más económica frente a otras mezclas explosivas convencionales. Su uso puede traducirse en un ahorro de hasta el 20% (menor costo de adquisición y aplicación) (EXSA S.A., 2016).

Figura 4

Mezcla explosiva Quantex



Fuente: EXSA S.A., 2016

Uno de los resultados a estudiar después de obtenidos los datos de la voladura, es la granulometría del material volado, constituyendo una herramienta básica dentro de los procesos de optimización de las voladuras. La medición de la fragmentación permite evaluar el trabajo de diferentes explosivos, esquemas y secuenciación de las voladuras. La representación gráfica de la granulometría obtenida se describe con una curva granulométrica que representa el porcentaje acumulado en masa del material que pasa por un tamiz de abertura de malla determinada (Barona, 2014).

Cuando apareció la manera de medir los resultados de fragmentación con la curva granulométrica, se tiene como referencia el valor promedio de medida para el análisis granulométrico, es decir el P50 (es decir el tamaño para un tamaño pasante del 50%); sin embargo, por abajo y encima del 50% existe gran movilidad en el tamaño de los fragmentos, por lo que a través del tiempo, se estimó que el excelente acercamiento para calcular la eficacia de la fragmentación, es validar la medida 50 en un participación mayor de aproximación, que en este caso se refiera al parámetro del P80, que es el 80% de material característico que pasa por un determinado tamiz o abertura. Este último es un indicador del consumo de energía y rendimiento de la chancadora primaria. Hoy los investigadores quieren plasmar los estudios en función al P90, cuya definición estaría referida al porcentaje del 90%. (Quispe, 2018).

Debido a que la obtención de la curva granulométrica completa de los fragmentos de una voladura es inviable por métodos convencionales, se utilizan métodos basados en el análisis digital de imágenes de roca fragmentada. Se utilizan Programas de análisis digital como el Split Online, el WipFrag y el Metrics Manager Pro. Estos programas utilizan una imagen de la roca fragmentada y lo convierten en una imagen digital con el

escombro delineado a partir del cual, el programa puede obtener una curva granulométrica. El programa Split online y el WipFrag tienen una serie de limitaciones en las que destaca entre otros, el hecho de que a partir de una imagen (con datos en 2 dimensiones) extrapola volúmenes (Barona, 2014).

El Coeficiente de Variación (CV) es una medida de dispersión que describe la cantidad de variabilidad en relación con la media. Puesto que el coeficiente de variación no se basa en unidades, se puede utilizar en lugar de la desviación estándar para comparar la dispersión de los conjuntos de datos que tienen diferentes unidades o diferentes medias. Walpole y Myers (2007)

La Media Aritmética o Promedio es aquella medida que se obtiene al dividir la suma de todos los valores de una variable por la frecuencia total. En palabras más simples, corresponde a la suma de un conjunto de datos dividida por el número total de dichos datos. Devore (2008).

En la voladura de la cantera de Claudina 8, en abril del 2012 se utilizó una malla B x E de 4 m x 4.3 y ahora se va a ampliar la malla a 5.5 m x 6.5 m con diámetro de perforación de 9 7/8” en lugar de 5 1/4”. Como explosivo se utilizó la mezcla explosiva Quantex 73 en lugar del HA-46, para que al se realizó una comparación de la granulometría de la roca caliza entre los datos obtenidos de ambos, lo cual permitió determinar la fragmentación más adecuado para el proceso de voladura y que contribuirá a la reducción de los costos generados en el proceso, sin afectar la calidad de la fragmentación del material. La granulometría deseada en la Planta de Claudina 8 es de

6” y 19 ½” con un valor promedio de 12 ¾” y un porcentaje de finos -200 mallas del 20% como máximo.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo se puede optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera Claudina 8, Cajamarca 2020?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar la malla de perforación y voladura para optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera Claudina 8.

1.3.2. Objetivos específicos

Evaluar las características geomecánicas del macizo rocoso del banco 3984 de la cantera Claudina 8.

Diseñar la nueva malla y la carga explosiva en los taladros de producción desde 6 m a 10 m de longitud de taladro, utilizando como explosivo Quantex 73 (MEQ 73).

Analizar la granulometría de la roca caliza con el nuevo diseño de malla de perforación y voladura para obtener fragmentos de 6” y 19 ½”

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Diseñando una Malla producción con (B x E) 5.5 m x 6.5 m utilizando taladros de Φ 9 7/8” y explosivo Quantex 73, permitirá optimizar la fragmentación de la roca caliza a un p80 adecuada a menor costo de P/V.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La investigación de acuerdo a su finalidad es Aplicada, por su alcance es predictiva, por su enfoque es cuantitativa con diseño Experimental del tipo Cuasi experimental.

Según Vargas (2009), el tipo de investigación aplicada se centra en el análisis y solución de problemas de varias índoles de la vida real, así como también se nutre de avances científicos y se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos. Indica que el tipo de investigación Aplicada es una forma de conocer las realidades con una prueba científica; requiere obligatoriamente de un marco teórico, sobre el cual se basará para generar una solución al problema específico que se quiera resolver.

Paella y Martins (2012) menciona que el tipo de investigación con enfoque cuantitativo tiene como características el medir y cuantificar fenómenos, usa la estadística, emplea la experimentación; el proceso es deductivo, secuencial, probatorio, es objetiva y analiza la realidad. Asimismo, el diseño experimental es aquel según el cual el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y porque causa se produce o puede producirse un fenómeno. Busca predecir el futuro, elaborar pronósticos que una vez confirmados, se convierten en leyes y generalizaciones tendentes a incrementar el cúmulo de conocimientos pedagógicos y el mejoramiento de la acción educativa” (p.86). Asimismo, es con diseño Cuasi experimental debido a que se tiene un grupo de control que es la roca caliza del banco 3984 y el explosivo Quantex 73; toma datos de un antes y después para al final comparar los resultados obtenidos al implementar un nuevo diseño en la malla de perforación y voladura.

2.2. Población y muestra

La población está constituida por el total de las reservas minables en la cantera Claudina 8.

La muestra está constituida por el total de las reservas minables en el banco 3984 de la cantera Claudina 8.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En esta investigación se ha utilizado para la primera variable (Diseño de la malla de perforación y voladura) la técnica de la observación directa y como instrumento, la guía de observación; como segunda técnica el método de análisis documental. También se ha utilizado para la segunda variable (Optimizar la fragmentación de la roca caliza) la técnica de la observación directa y como instrumentos la guía de observación y guía de experimentación. Se presentan los siguientes instrumentos:

Tabla 4

Instrumento 1: Guía de observación Características de la voladura

Características de la voladura
Tajo:
Banco:
Fecha:
Hora programada:
Hora del disparo:
Tipo de disparo:
Tipo de iniciación:
Carguío:
Explosivo utilizado:
Tipo de malla:
Malla de producción:
Diámetro del taladro:
N° de mallas de producción:
Taladros disparados:

Tabla 5

Instrumento 2: Guía de Experimentación Diseño de cargas del proyecto de voladura del banco 3984

Longitud taladro (m)	Taco final Cutting (m)	Carga superior final (m)	Carga inferior final (m)	Factor de potencia (kg/ton)	kg/taladro	SD	Carga inferior inicial (m)	Taco inicial cutting (m)
6.0								
6.5								
7.0								
7.5								
8.0								
8.5								
9.0								
9.5								
10.0								

Observación directa

La técnica de la observación mediante la visita a la cantera se pudo chequear los bancos de caliza donde se viene realizando la voladura, en la cual se pudo visualizar in situ el material fragmentado de la última voladura con tamaños de piedra caliza menores a 6” en su mayoría, con gran cantidad de finos que son perjudiciales al horno de calcinación. La mezcla de diferentes tamaños de caliza no permite la disociación del dióxido de carbono con el óxido de calcio y aumenta la presión del horno, cuando se alimentan roca caliza de 4” a 1”.

Se tomaron fotos del banco 3984 previas a la voladura, fotos de las casas (pre voladura); después de la voladura se tomaron fotos del material fragmentado y fotos de las casas (post voladura).

Análisis documental

El análisis documental permitió a través de las bibliografías encontradas y los reportes de la cantera, la información para diseñar la carga explosiva. De igual

manera con esta técnica se recolectó información de los parámetros de voladura, fragmentación y costos de los explosivos. Del mismo modo se revisó informes relacionados al desempeño del explosivo Quantex 73 en canteras de caliza para tener referencias de su comportamiento ante la presencia de canteras de caliza.

Experimentación

Esta técnica permitió la captura de imágenes para luego insertarlas en el software Metrics Manager Pro. Se escogen aleatoriamente veinte imágenes por voladura de buena calidad, es decir no se estudian imágenes que estén borrosas o tengan muchas zonas sombreadas. Después de la elección de las imágenes aptas para el estudio se procede a la apertura de las imágenes desde el software.

Para el posterior estudio y obtención de la curva granulométrica es necesario realizar un escalado de imágenes, en la cual se establece una escala para las imágenes, debido a la posición de la cámara que toma fotos en la cantera. La escala a utilizar debe ser 0.5 pix/mm (500 pix/m). Los pasos siguientes son generar el mallado automático, edición del mallado y almacenamiento de resultados.

2.3.2 Técnicas e instrumentos de análisis de datos

Se obtiene de la curva granulométrica proporcionada por el software Metrics Manager Pro de cada una de estas imágenes y los datos obtenidos se recogieron en el programa Excel. Mediante cuadros y gráficos proceso la información correspondiente al tamaño de la caliza fragmentada a diferentes porcentajes pasantes con el nuevo diseño de malla de perforación y voladura. Se presentan los siguientes instrumentos de análisis de datos:

Tabla 6

Instrumento 3: Guía de Experimentación Tamaño de la caliza fragmentada a diferentes porcentajes pasantes

N° de medición	Fecha y hora	P20	P50	P80	P90	P100
		tamaño de caliza fragmentada (pulgadas)				
1	2021/11/19 @ 09:21:11					
2	2021/11/19 @ 09:21:21					
3	2021/11/19 @ 09:21:39					
4	2021/11/19 @ 09:21:46					
5	2021/11/19 @ 09:22:30					
6	2021/11/19 @ 09:22:38					
7	2021/11/19 @ 09:24:00					
8	2021/11/19 @ 09:24:44					
9	2021/11/19 @ 09:24:51					
10	2021/11/19 @ 09:25:21					
11	2021/11/19 @ 09:25:32					
12	2021/11/19 @ 09:25:44					
13	2021/11/19 @ 09:26:10					
14	2021/11/19 @ 09:26:31					
15	2021/11/19 @ 09:26:42					
16	2021/11/19 @ 09:26:47					
17	2021/11/19 @ 09:27:02					
18	2021/11/19 @ 09:27:12					
19	2021/11/19 @ 09:27:16					

Tabla 7

Instrumento 4: Guía de Estadística descriptiva de la caliza fragmentada a diferentes porcentajes pasantes

Estadística descriptiva	Tamaño del producto volado (pulgadas) a diferentes porcentajes pasantes				
	P20	P50	P80	P90	P100
Tamaño mínimo (pulgadas):					
Tamaño máximo (pulgadas):					
Tamaño promedio (pulgadas):					
Desviación estándar (pulgadas):					
Coefficiente de variación (%):					

2.4. Procedimiento

2.4.1 Etapa de pre-campo (en gabinete):

Consistió en la búsqueda de antecedentes, estudios previos, referentes al tema de investigación en el ámbito internacional, nacional y local, motivo por el cual se recurrió a los repositorios virtuales de Universidades. Luego se busco bibliografía de la geología de Claudina 8 y del explosivo Quantex 73 utilizado en la voladura.

2.4.2 Etapa de campo:

Después de lo recolectado en la etapa de gabinete se contrastó en campo lo analizado en la bibliografía con ayuda de equipos de la empresa minera y se realizó el reconocimiento de las unidades lito estratigráficas, geomorfológicas y estructurales de la cantera.

Luego se realizó el estudio de las características geomecánicas del macizo rocoso del banco 3984 de la cantera Claudina 8. Este estudio fue de gran importancia para el diseño de la malla de perforación y voladura, debido a que se determinó la calidad del macizo rocoso por medio de estudios realizados en campo, así como

de ensayos a la roca caliza para determinar su resistencia de tal modo que se logró tener un análisis de rotura para la perforación y voladura. El ensayo de Resistencia a la compresión uniaxial de la roca se llevó a cabo con la picota o martillo de geólogo. Los materiales utilizados fueron tablas geomecánicas y libretas de campo y los equipos utilizados fueron la picota, brújula y EPPs.

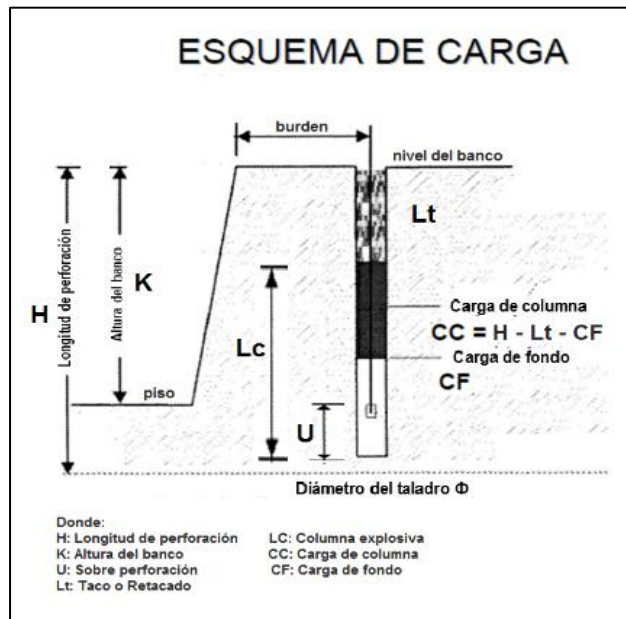
2.4.3 Etapa de gabinete:

Se realizó el diseño de la voladura en el banco 3984 a partir de los indicadores en campo de acción de la perforación y voladura, lo cual se realizó a través de una simulación mostrando los resultados que se desean obtener para su aplicabilidad. Estos parámetros se obtuvieron mediante las fórmulas que establecen los modelos matemáticos. Estos parámetros como taladros perforados, factor de potencia, secuencia de salida y sistema de iniciación, influyen en la cantidad de explosivo. La información de los parámetros de la malla fue recopilada del área de voladura. El número de taladros, detonadores y material total volado fue contabilizado cada día en nuestros formatos y esta información se comparó con los datos proporcionados por el área de voladura.

Se partió del siguiente esquema:

Figura 5

Esquema de carga



Fuente: Artigas, 2012.

2.4.4 Etapa de campo:

Se moldeó la nueva malla de perforación y voladura en el banco 3984 que permitió la optimización de la fragmentación y minimización de costos.

2.4.5 Etapa de gabinete:

Se realizó la evaluación granulométrica de la fragmentación de la roca por medio del software Metrics Manager Pro, obteniendo datos estadísticos del porcentaje pasante de 19 imágenes de los correspondientes tamaños previstos por una escala granulométrica. Luego se realizó un análisis estadístico descriptivo del tamaño de la roca fragmentada vs porcentaje pasante, para luego a través de las tablas de distribución determinar la granulometría de la roca caliza con el nuevo diseño de malla de voladura.

Posteriormente se obtuvo los reportes de los costos de perforación y voladura y se comparó con los nuevos costos del nuevo diseño.

2.5. Aspectos éticos

Los aspectos éticos que se tomó en cuenta para el desarrollo de nuestra investigación consistió principalmente en proteger la propiedad intelectual de los autores, respecto a las teorías y conocimientos diversos, citándolos apropiadamente y precisando las fuentes bibliográficas y estricta privacidad y confidencialidad en el manejo de la información, además de garantizar la validez de la tesis se incluirán técnicas de análisis adecuados para producir datos fiables. De la misma manera, el diseño metodológico fué adecuado a los objetivos que se proponen, que se seleccionen oportunamente los contextos y los informantes y que se interpreten apropiadamente los resultados.

Además, el presente trabajo se realizó de acuerdo con el formato que maneja la Universidad Privada del Norte, por ello el investigador en primer lugar está sujeto a cumplir la normatividad institucional (en este caso se asumieron datos de una empresa, los cuales han sido modificados al no contar con los permisos y respetando el derecho de confidencialidad de la empresa) que rigen una investigación como derechos de autor.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Características geomecánicas del macizo rocoso del banco 3984 de la cantera Claudina 8.

Se localizó en campo el lugar adecuado para tomar la estación geomecánica en un talud de roca caliza:

Tabla 8
Resistencia a la compresión uniaxial de la roca

GRADO	DESCRIPCIÓN	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	RANGO APROX. MPA
R1	Roca muy débil	Desmenuzable bajo golpes firmes con la punta de un martillo de geólogo, puede desconcharse con una navaja.	1.0– 5.0
R2	Roca débil	Puede desconcharse con dificultad con una navaja, se puede hacer marcas poco profundas golpeando firmemente con el martillo de geólogo.	5.0 – 25
R3	Roca medianamente dura	No se puede rayar o desconchar con una navaja, las muestras se pueden romper con un golpe firme del martillo de geólogo.	25 – 50
R4	Roca fuerte	Se requiere más de un golpe con el martillo de geólogo para romper la muestra.	50 – 100
R5	Roca muy fuerte	Se requieren varios golpes con el martillo de geólogo para romper la muestra.	100 – 250
R6	Roca extremadamente resistente	Solo se puede romper esquirlas de la muestra con el martillo de geólogo.	250

Tabla 9
Medición en campo de las propiedades de las discontinuidades

PARÁMETROS	TIPO DE DISCONTINUIDAD		
	ESTRATO	DISC 1	DISC 2
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAxIAL	70 MPa	70 MPa	70 MPa
ORIENTACIÓN (D/DD)	40/210	75/101	72/182
ESPACIADO (m)	0.70	0.60	0.40
PERSISTENCIA (m)	18	1.20	0.78

ABERTURA (mm)	5	6	5
RUGOSIDAD	Lig. Rugoso	Lig. rugoso	Lig. rugoso
RELLENO	Arcilla	Arcilla	Arcilla
METEORIZACIÓN	Moderadamente alterado	Moderadamente alterado	Moderadamente alterado
AGUA	Seco	Seco	Seco

Tabla 10

Clasificación del macizo rocoso RMR – Bieniawski, 89

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10 – 4	4 – 2	2 - 1	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	> 250	250 – 100	100 - 50	50 - 25	25 – 5	5 – 1	< 1
	Puntuación	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD (%)	90 - 100	75 – 90	50 - 75	25 – 50	< 25			
	Puntuación	20	17	13	6	3			
3	Espaciamiento	> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	0.06-0,2 m	< 0.06 m			
	Puntuación	20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Persistencia	< 1 m	1 – 3 m	3 - 10 m	10–20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 l/min	10 –25 l/min	25 – 125 l/min	> 125 l/min		
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación	15	10	7	4	0			

$$RMR = 7+17+10+4+0+3+2+3+15= 61$$

Fuente: (Gonzales de Vallejo, 2002)

Tabla 11

Clasificación de la calidad de la roca según el RMR

CLASE	RMR	CALIDAD DE LA ROCA
I	81 - 100	Muy buena
II	61 – 80	Buena
III	41 – 60	Regular
IV	21 – 40	Mala
V	0 – 20	Muy mala

Fuente: (Gonzales de Vallejo, 2002)

De la tabla 10 y 11, el RMR tiene una puntuación de 61, entonces la tabla 3 clasifica la roca de Claudina 8 como una Clase II de calidad Buena.

Se ha calculado el peso específico de las calizas de 2.5 TM/m^3

3.2 Diseño de la nueva malla y la carga explosiva en los taladros de producción desde 6 m a 10 m de longitud de taladro, utilizando como explosivo Quantex 73 (MEQ 73).

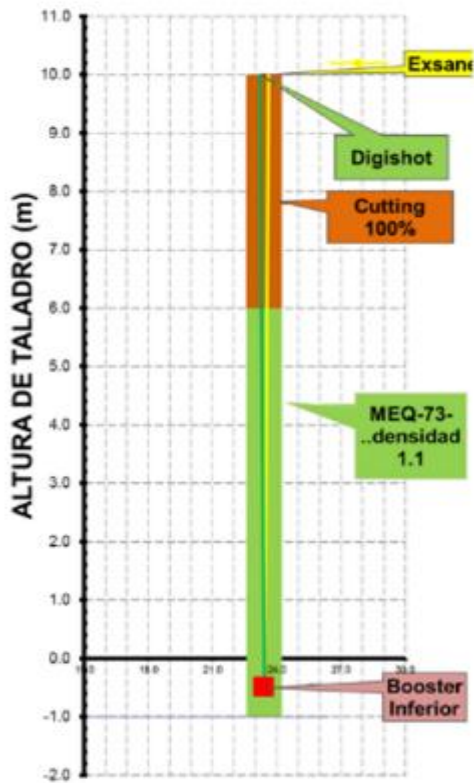
Tabla 12

Primer Diseño de cargas del proyecto de voladura del banco 3984_16/01/2021

Longitud taladro (m)	Taco final Cutting (m)	Carga superior final (m)	Carga inferior final (m)	Factor de potencia (kg/ton)	kg/taladro	SD	Carga inferior inicial (m)	Taco inicial cutting (m)
6.0	3.6	0.0	2.4	0.149	133.37	0.94	2.0	4.0
6.5	3.6	0.0	2.9	0.180	161.15	0.94	2.4	4.1
7.0	3.6	0.0	3.4	0.211	188.94	0.94	2.8	4.2
7.5	4.0	0.0	3.5	0.218	194.49	1.02	2.9	4.6
8.0	4.0	0.0	4.0	0.249	222.28	1.02	3.3	4.7
8.5	4.0	0.0	4.5	0.280	250.06	1.02	3.7	4.8
9.0	4.0	0.0	5.0	0.311	277.85	1.02	4.1	4.9
9.5	4.0	0.0	5.5	0.342	305.63	1.02	4.5	5.0
10.0	4.5	0.0	5.5	0.342	305.63	1.12	4.5	5.5

Figura 6

Primer Diseño de cargas para taladros de 10 m de altura



4

En la tabla 12 y figura 5 se describe el diseño de cargas para altura de taladros de 10 m de altura con 9 7/8” de diámetro, para taladro de producción cargados con mezcla explosiva Quantex 73 (MEQ-73) con una densidad de 1.10 gr/cm³ y SD desde 0.94 hasta 1.02; el diseño de carga de estos taladros es acorde a los diámetros de perforación.

Tabla 13

Segundo Diseño de cargas del proyecto de voladura del banco 3984_16/01/2021

Longitud taladro (m)	Taco final Cutting (m)	Carga superior final (m)	Carga inferior final (m)	Factor de potencia (kg/ton)	kg/taladro	SD	Carga inferior inicial (m)	Taco inicial cutting (m)
6.0	4.0	0.0	2.0	0.124	111.14	1.02	1.7	4.3
6.5	4.0	0.0	2.5	0.155	138.92	1.02	2.1	4.4
7.0	4.0	0.0	3.0	0.187	166.71	1.02	2.5	4.5
7.5	4.0	0.0	3.5	0.218	194.49	1.02	2.9	4.6
8.0	4.0	0.0	4.0	0.249	222.28	1.02	3.3	4.7
8.5	4.5	0.0	4.0	0.249	222.28	1.12	3.3	5.2
9.0	4.5	0.0	4.5	0.280	250.06	1.12	3.7	5.3
9.5	5.0	0.0	4.5	0.280	250.06	1.21	3.7	5.8
10.0	5.0	0.0	5.0	0.311	277.85	1.21	4.1	5.9

En la tabla 13 y figura 5 se describe el diseño de cargas para altura de taladros de 10 m de altura con 9 7/8” de diámetro, para taladro de producción cargados con mezcla explosiva Quantex 73 (MEQ-73) con una densidad de 1.10 gr/cm³ y SD desde 1.02 hasta 1.21; el diseño de carga de estos taladros es acorde a los diámetros de perforación.

Las características de la voladura se visualizan en la tabla 14.

Tabla 14

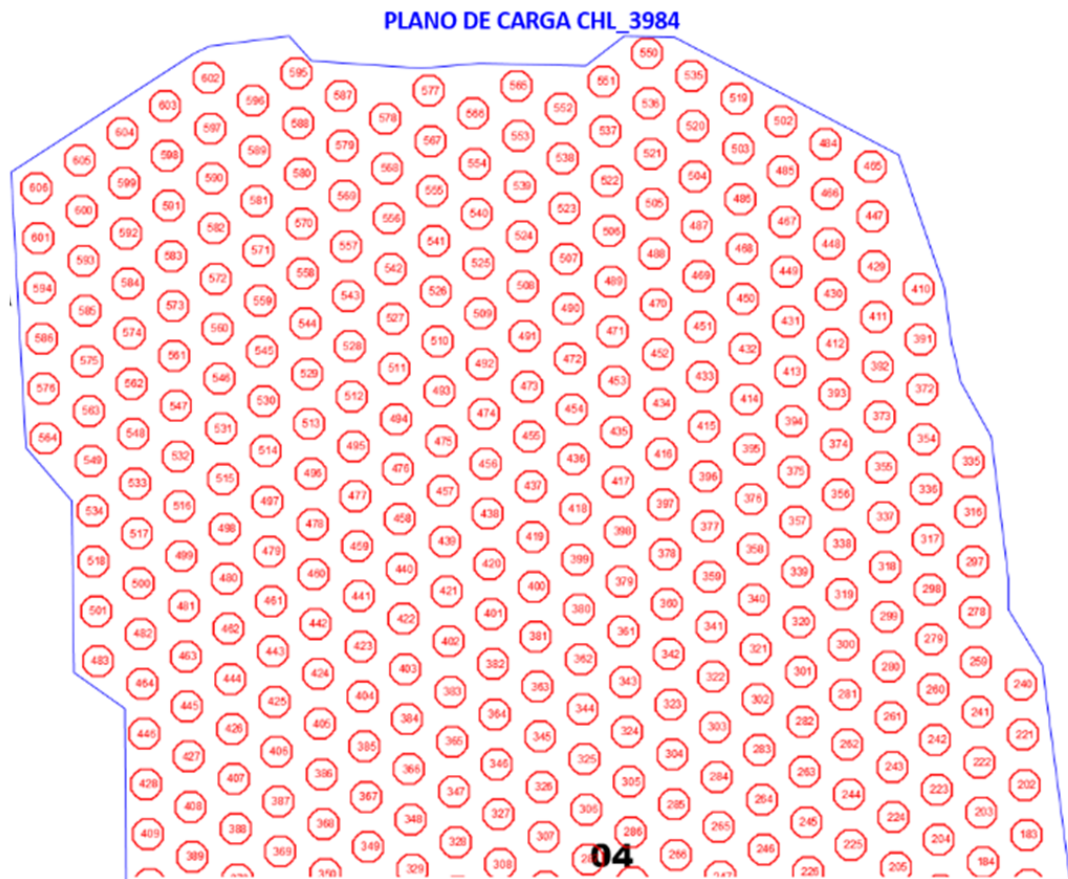
Características de la voladura en la Cantera Claudina 8

Características de la voladura	
Tajo:	Chinalinda
Banco:	3984
Fecha:	16/01/2021
Hora programada:	15:00 horas
Hora del disparo:	16:40 horas
Tipo de disparo:	Electrónico
Tipo de iniciación:	Electrónico
Carguío:	Día
Explosivo utilizado:	MEQ 73, con densidad de 1.10 g/cm ³
Tipo de malla:	Producción
Malla de producción:	04 con (B x E) 5.5 m x 6.5 m (BXS);
Diámetro del taladro:	9 7/8"
N° de mallas de producción:	4
Taladros disparados:	294

Nota: Los taladros fueron tapados stemming. Se evacuaron al 100% a las personas y animales dentro del radio de influencia.

Figura 7

Plano de carguío banco 3984



De la tabla 14 y figura 6, se observa que se cargaron 294 taladros con ME Quantex 73 (densidad 1.10), en una malla B x E = 5.5 m x 6.5 m con taladros de $\varnothing = 9 \frac{7}{8}$ " y con diseño de cargas para altura de taladros de 10 m de altura.

Figura 8

Fotos de pre voladura del banco 3984



3.3 Análisis de la granulometría de la roca caliza con el nuevo diseño de malla de perforación y voladura

Tabla 15

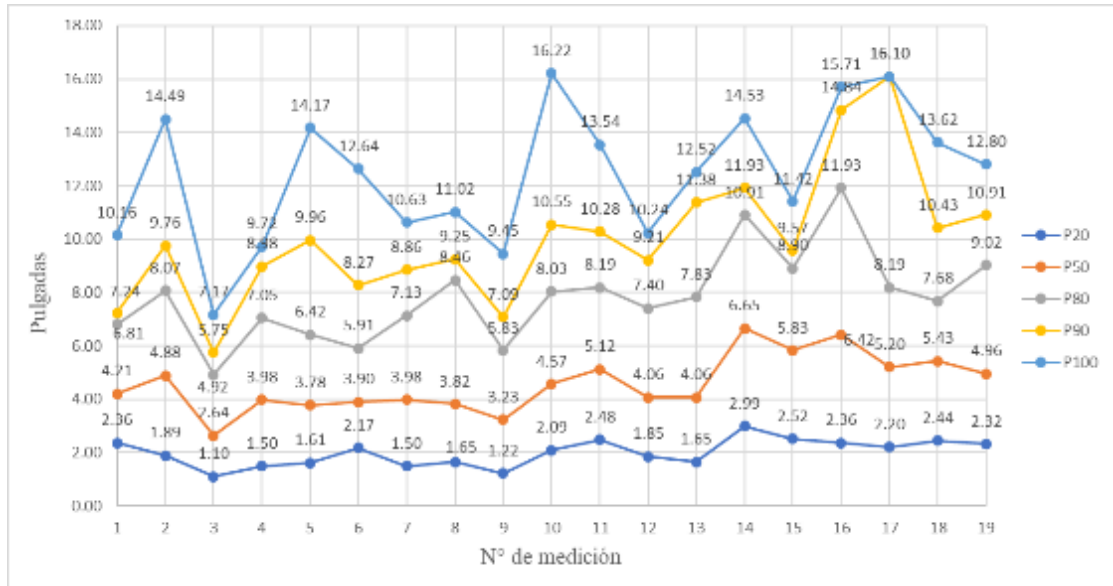
Tamaño del producto volado (pulgadas) a diferentes P (porcentajes pasantes)

N° de medición	Fecha y hora	P20	P50	P80	P90	P100
		tamaño de caliza fragmentada (pulgadas)				
1	2021/11/19 @ 09:21:11	2.36	4.21	6.81	7.24	10.16
2	2021/11/19 @ 09:21:21	1.89	4.88	8.07	9.76	14.49
3	2021/11/19 @ 09:21:39	1.10	2.64	4.92	5.75	7.17
4	2021/11/19 @ 09:21:46	1.50	3.98	7.05	8.98	9.72
5	2021/11/19 @ 09:22:30	1.61	3.78	6.42	9.96	14.17
6	2021/11/19 @ 09:22:38	2.17	3.90	5.91	8.27	12.64
7	2021/11/19 @ 09:24:00	1.50	3.98	7.13	8.86	10.63
8	2021/11/19 @ 09:24:44	1.65	3.82	8.46	9.25	11.02
9	2021/11/19 @ 09:24:51	1.22	3.23	5.83	7.09	9.45
10	2021/11/19 @ 09:25:21	2.09	4.57	8.03	10.55	16.22
11	2021/11/19 @ 09:25:32	2.48	5.12	8.19	10.28	13.54
12	2021/11/19 @ 09:25:44	1.85	4.06	7.40	9.21	10.24
13	2021/11/19 @ 09:26:10	1.65	4.06	7.83	11.38	12.52
14	2021/11/19 @ 09:26:31	2.99	6.65	10.91	11.93	14.53
15	2021/11/19 @ 09:26:42	2.52	5.83	8.90	9.57	11.42
16	2021/11/19 @ 09:26:47	2.36	6.42	11.93	14.84	15.71
17	2021/11/19 @ 09:27:02	2.20	5.20	8.19	16.10	16.10
18	2021/11/19 @ 09:27:12	2.44	5.43	7.68	10.43	13.62
19	2021/11/19 @ 09:27:16	2.32	4.96	9.02	10.91	12.80
Tamaño mínimo (pulgadas):		1.10	2.64	4.92	5.75	7.17
Tamaño máximo (pulgadas):		2.99	6.65	11.93	16.10	16.22
Tamaño promedio (pulgadas):		1.99	4.56	7.83	10.02	12.43
Desviación estándar (pulgadas):		0.50	1.04	1.67	2.46	2.51
Coeficiente de variación (%):		24.96	22.82	21.32	24.51	20.18

La tabla 15 muestra que, de las 19 mediciones por granulometría de la roca caliza fragmentada por voladura, el tamaño P50 presenta un tamaño mínimo y máximo de 2.64 y 6.65 pulgadas respectivamente. El tamaño promedio registra un valor de 4.56 pulgadas, presentando la lista de datos, valores heterogéneos (CV=22.82%, mayor al 5% de aceptación). Por otro lado, el tamaño P80 presenta un tamaño mínimo y máximo de 4.92 y 11.93 pulgadas respectivamente. El tamaño promedio registra un valor de 7.83 pulgadas, presentando la lista de datos, valores heterogéneos (CV=21.32%, mayor al 5% de aceptación). Asimismo, todos los porcentajes pasantes (P20, P50, P80, P90 y P100) registran valores del CV entre el 20.18 % y 24.96%, presentando la lista de datos, valores heterogéneos (CVs mayores al 5% de aceptación).

Figura 9

Tamaño de la caliza fragmentada a diferentes porcentajes pasantes

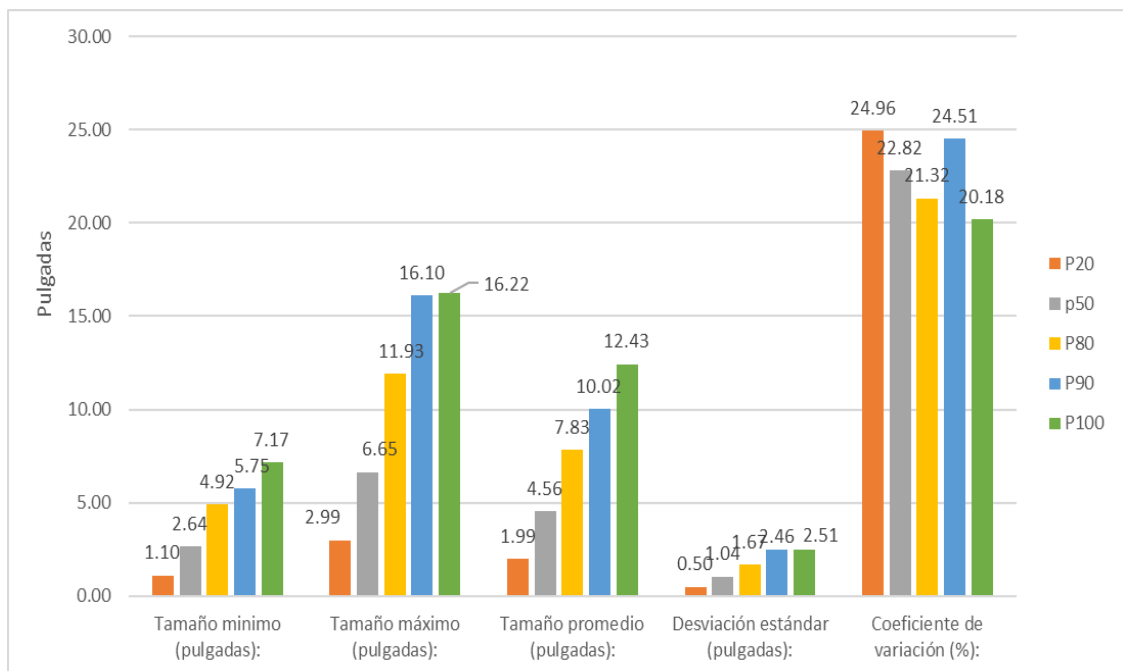


La figura 9 muestra que, de las 19 mediciones por granulometría realizadas al tamaño de la caliza fragmentada a diferentes pasantes, todos los porcentajes pasantes P20, P50, P80, P90 y P100 tienen curvas con un recorrido muy variable, debido a la granulometría muy heterogénea en los fragmentos; pero ligeramente con menos variabilidad lo muestra

el porcentaje pasante P100 con respecto a las demás curvas (CV=20.18%), debido a la granulometría menos heterogénea en los fragmentos gruesos (CVs mayores al 5% de aceptación).

Figura 10

Estadística descriptiva del tamaño de la caliza fragmentada a diferentes porcentajes pasantes



La figura 10 muestra el análisis estadístico descriptivo, donde se puede observar que, de las 19 mediciones por análisis granulométrico realizadas al tamaño de la caliza fragmentada a diferentes pasantes:

El tamaño mínimo de todos los porcentajes pasantes varía desde 1.10” hasta 7.17” que corresponden a los P20 y P100 respectivamente.

El tamaño máximo de todos los porcentajes pasantes varía desde 2.99” hasta 16.22” que corresponden a los P20 y P100 respectivamente.

El tamaño promedio de todos los porcentajes pasantes varía desde 1.99” hasta 12.43” que corresponden a los P20 y P100 respectivamente.

La desviación estándar de todos los porcentajes pasantes varía desde 0.50” hasta 2.51” que corresponden a los P20 y P100 respectivamente.

La desviación estándar en el P20 indica que los fragmentos en este tamaño pasante presentan una variabilidad del 0.50 pulgadas, respecto a su promedio.

La desviación estándar en el P50 indica que los fragmentos en este tamaño pasante presentan una variabilidad del 1.04 pulgadas, respecto a su promedio.

La desviación estándar en el P80 indica que los fragmentos en este tamaño pasante presentan una variabilidad del 1.67 pulgadas, respecto a su promedio.

La desviación estándar en el P90 indica que los fragmentos en este tamaño pasante presentan una variabilidad del 2.46 pulgadas, respecto a su promedio.

La desviación estándar en el P100 indica que los fragmentos en este tamaño pasante presentan una variabilidad del 2.51 pulgadas, respecto a su promedio.

Los Coeficientes de Variación de los porcentajes pasantes, están entre 20.18% y 24.96%, lo que nos indica que el tamaño de la caliza fragmentada es muy heterogéneo (CVs mayores al 5% de aceptación).

Tabla 16

Cuadro de distribución de frecuencia del tamaño de la caliza fragmentada a un porcentaje pasante P20

Intervalos	Tamaños (pulgadas)	xi	fi	hi%	Fi	Hi%
Int 1	(1.10, 1.46)	1.28	2	10.53	2	10.53
Int 2	(1.46, 1.82)	1.64	5	26.32	7	36.84
Int 3	(1.82, 2.18)	2.00	4	21.05	11	57.89
Int 4	(2.18, 2.54)	2.36	7	36.84	18	94.74
Int 5	(2.54, 2.99)	2.77	1	5.26	19	100.00
			19	100.00		

La tabla 16 tiene la siguiente interpretación:

- f4: De las 19 mediciones, siete de ellos tienen un tamaño de fragmento desde 2.18" a menos de 2.54 "
- h3%: Del total de mediciones, el 21.05 % de ellos tienen un tamaño de fragmento, desde 1.82" a menos de 2.18"
- F3%: De las 19 mediciones, 11 tienen un tamaño de fragmento, desde 1.82" a menos de 2.18"
- H4%: Del total de mediciones, el 94.74 % de ellos tiene un tamaño de fragmento, desde 2.18" a menos de 2.54 "

Tabla 17

Cuadro de distribución de frecuencia del tamaño de la caliza fragmentada a un porcentaje pasante P50

Intervalos	Tamaños (pulgadas)	xi	fi	hi%	Fi	Hi%
Int 1	(2.64, 3.40)	3.02	2	10.53	2	10.53
Int 2	(3.40, 4.16)	3.78	7	36.84	9	47.37
Int 3	(4.16, 4.92)	4.54	3	15.79	12	63.16
Int 4	(4.92, 5.68)	5.30	4	21.05	16	84.21
Int 5	(5.68, 6.65)	6.17	3	15.79	19	100.00
			19	100.00		

La tabla 17 tiene la siguiente interpretación:

- f4: De las 19 mediciones, cuatro de ellos tienen un tamaño de fragmento desde 4.92" a menos de 5.68 "
- h3%: Del total de mediciones, el 15.79 % de ellos tienen un tamaño de fragmento, desde 4.16" a menos de 4.92"
- F3%: De las 19 mediciones, 12 tienen un tamaño de fragmento, desde 4.16" a menos de 4.92"
- H4%: Del total de mediciones, el 84.21 % de ellos tiene un tamaño de fragmento, desde 4.92" a menos de 5.68 "

Tabla 18

Cuadro de distribución de frecuencia del tamaño de la caliza fragmentada a un porcentaje pasante P80

Intervalos	Tamaños (pulgadas)	xi	fi	hi%	Fi	Hi%
Int 1	(4.92, 6.26)	5.59	3	15.79	3	15.79
Int 2	(6.26, 7.60)	6.93	5	26.32	8	42.11
Int 3	(7.60, 8.94)	8.27	8	42.11	16	84.21
Int 4	(8.94, 10.28)	9.61	1	5.26	17	89.47
Int 5	(10.28, 11.93)	11.11	2	10.53	19	100.00
			19	100.00		

La tabla 18 tiene la siguiente interpretación:

- f4: De las 19 mediciones, una de ellas tiene un tamaño de fragmento desde 8.94" a menos de 10.28 "
- h3%: Del total de mediciones, el 42.11 % de ellos tienen un tamaño de fragmento, desde 7.60" a menos de 8.94"
- F3%: De las 19 mediciones, 16 tienen un tamaño de fragmento, desde 7.60" a menos de 8.94"
- H4%: Del total de mediciones, el 89.47 % de ellos tiene un tamaño de fragmento, desde 8.94" a menos de 10.28 "

Tabla 19

Cuadro de distribución de frecuencia del tamaño de la caliza fragmentada a un porcentaje pasante P90

Intervalos	Tamaños (pulgadas)	xi	fi	hi%	Fi	Hi%
Int 1	(5.75, 7.72)	6.74	3	15.79	3	15.79
Int 2	(7.72, 9.69)	8.71	7	36.84	10	52.63
Int 3	(9.69, 11.66)	10.68	6	31.58	16	84.21
Int 4	(11.66, 13.63)	12.65	1	5.26	17	89.47
Int 5	(13.63, 16.10)	14.87	2	10.53	19	100.00
			19	100.00		

La tabla 19 tiene la siguiente interpretación:

- f4: De las 19 mediciones, una de ellas tiene un tamaño de fragmento desde 11.66" a menos de 13.63 "
- h3%: Del total de mediciones, el 31.58 % de ellos tienen un tamaño de fragmento, desde 9.69" a menos de 11.66"
- F3%: De las 19 mediciones, 16 tienen un tamaño de fragmento, desde 9.69" a menos de 11.66"
- H4%: Del total de mediciones, el 89.47 % de ellos tiene un tamaño de fragmento, desde 11.66" a menos de 13.63"

Tabla 20

Cuadro de distribución de frecuencia del tamaño de la caliza fragmentada a un porcentaje pasante P100

Intervalos	Tamaños (pulgadas)	xi	fi	hi%	Fi	Hi%
Int 1	(7.17, 8.89)	8.03	1	5.26	1	5.26
Int 2	(8.89, 10.61)	9.75	4	21.05	5	26.32
Int 3	(10.61, 12.33)	11.47	3	15.79	8	42.11
Int 4	(12.33, 14.05)	13.19	5	26.32	13	68.42
Int 5	(14.05, 16.22)	15.14	6	31.58	19	100.00
			19	100.00		

La tabla 20 tiene la siguiente interpretación:

- f4: De las 19 mediciones, cinco de ellas tiene un tamaño de fragmento desde 12.33" a menos de 14.05 "
- h3%: Del total de mediciones, el 15.79 % de ellos tienen un tamaño de fragmento, desde 10.61" a menos de 12.33"
- F3%: De las 19 mediciones, 8 tienen un tamaño de fragmento, desde 10.61" a menos de 12.33"
- H4%: Del total de mediciones, el 68.42 % de ellos tiene un tamaño de fragmento, desde 12.33" a menos de 14.05"

Figura 11

Costo de las mezclas explosivas



Fuente: EXSA

El costo por tonelada de la mezcla explosiva ME Quantex 73 es 614.2 US\$/TM, en comparación con el HA 46, cuyo costo es de 674.0 US\$/TM, que representa una diferencia de 59.80 US\$/TM.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

En la tabla 10, se puede observar la clasificación del macizo rocoso del banco 3984 de la Cantera Claudina 8, basado en el RMR según Bieniawski 89, se obtuvo un valor de 61, identificándose como una roca de clase II – calidad buena (tabla 11). Los resultados de resistencia a la compresión uniaxial de la roca caliza mediante un análisis de identificación en campo, clasifico a la roca con un grado R4, que describe a una Roca fuerte. Para esta calidad de macizo rocoso se necesita una densidad del explosivo MEQ 73 hasta 1.10 y 1.15 gr/cc. Con estos resultados el diseño de la malla de voladura para el banco 3984 es de B x E = 5.5 x 6.5 con taladros de $\varnothing = 9 \frac{7}{8}$ ” y una longitud de carga de 6m a 10m de longitud de taladro. Los resultados fortalecen la investigación de Mendoza (2020), que tuvo como objetivo principal, optimizar la fragmentación y costos de voladura utilizando el explosivo HA 64 y ME Quantex 73 en la cantera de caliza Cuadratura de la localidad de Hualgayoc departamento de Cajamarca. La caracterización del macizo rocoso de la cantera Cuadratura, obtuvo un valor de RMR=67 identificándose como una roca de clase II – calidad buena, y en el ensayo de compresión uniaxial tuvo como resultado 124.21 Mpa (roca Muy dura). Para esta calidad de macizo rocoso se necesitó una densidad del explosivo ME Quantex 73 hasta 1.10 y 1.15 gr/cc. Se concluye que con estos resultados el diseño de la malla de voladura para el proyecto 3880 es de B x E = 3.7 x 4.3 con taladros de $\varnothing = 7 \frac{7}{8}$ ” y una longitud de carga de 6.5 metros. Para el diseño de la malla de voladura para el proyecto 3900 es de B x E = 6.24 x 7.2 con taladros de $\varnothing = 7 \frac{7}{8}$ ” y una longitud de carga de 6.0 metros. La calidad de la roca de clase II roca buena, determinó el factor de carga, en términos de resistencia del macizo rocoso para ser fragmentado y así evitar tiros sopladados y mala fragmentación; los resultados de la investigación se concuerda lo afirmado por Cáceres

(2018), al señalar que los parámetros geomecánicos hallados permitió una aplicación aceptable en el diseño de la malla de perforación y voladura de rocas, demostrando que al reconocer la calidad del macizo rocoso por medio de la geomecánica, ha influido en la reducción de problemas en la voladura. El resultado de la investigación se concuerda lo afirmado por Cáceres y Depaz (2016), al señalar que los parámetros geomecánicos hallados permitió una aplicación aceptable en el diseño de la malla de perforación y voladura de rocas, demostrando que, al reconocer la calidad del macizo rocoso por medio de la geomecánica, ha influido en la reducción de problemas en la voladura.

En la tabla 12 y figura 5 se describe el diseño de cargas para altura de taladros de 10 m de altura con 9 7/8” de diámetro, para taladro de producción cargados con mezcla explosiva Quantex 73 (MEQ-73) con una densidad de 1.10 gr/cm³ y SD desde 0.94 hasta 1.02; el diseño de carga de estos taladros es acorde a los diámetros de perforación. En la tabla 13 y figura 5 se describe el diseño de cargas para altura de taladros de 10 m de altura con 9 7/8” de diámetro, para taladro de producción cargados con mezcla explosiva Quantex 73 (MEQ-73) con una densidad de 1.10 gr/cm³ y SD desde 1.02 hasta 1.21; el diseño de carga de estos taladros es acorde a los diámetros de perforación.

La figura 8 muestra que, de las 19 mediciones por granulometría realizadas al tamaño de la caliza fragmentada a diferentes pasantes, todos los porcentajes pasantes P20, P50, P80, P90 y P100 tienen curvas con un recorrido muy variable, debido a la granulometría muy heterogénea en los fragmentos; pero ligeramente con menos variabilidad lo muestra el porcentaje pasante P100 con respecto a las demás curvas (CV=20.18%), debido a la granulometría menos heterogénea en los fragmentos gruesos (CVs mayores al 5% de aceptación).

La tabla 15 muestra que el tamaño promedio de la roca fragmentada a un P80, el valor promedio es 7.83” y para un P100, el valor es 12.43”. Asimismo, la tabla 20 muestra el Cuadro de distribución de frecuencia del tamaño de la caliza fragmentada a un porcentaje pasante P100, donde el H4% indica que, del total de mediciones, el 68.42 % de ellos tienen un tamaño de fragmento desde 12.33” a menos de 14.05”. Nuestros resultados están en desacuerdo con lo investigado por Mendoza (2020), quién concluye que el análisis de la fragmentación obtenida por el Heavy Anfo 64 y ME Quantex 73, indicó una mejora en el P80 utilizando el ME Quantex 73 como agente explosivo en el proceso de voladura de la caliza, siendo el p80 de 114.3 mm (4.5”) en el minado de la cantera Cuadratura. Se concluye que el agente explosivo ME Quantex 73 optimiza la fragmentación en el P80 del material volado, ya que su granulometría es menor y con mayor porcentaje de finos que con HA 64, por ende existe menor cantidad de espacios vacíos entre fragmentos de roca.

En la presente investigación el costo por tonelada de la mezcla explosiva ME Quantex 73 es 614.2 US\$/TM, en comparación con el HA 46, cuyo costo es de 674.0 US\$/TM, que representa una diferencia de 59.80 US\$/TM. No se concuerda con lo mencionado por Calcina (2015) donde indica que su malla de perforación y voladura de rocas (B = 2m y E = 2.5m) pudo cumplir con el objetivo de optimizar la fragmentación donde obtuvo una reducción de los costos de 2.57 US\$ /TM. Por lo tanto, se tiene más ahorro que en la investigación realizada por Calcina.

4.2 Conclusiones

Lo realizado en nuestra investigación confirma la hipótesis planteada: “Diseñando una Malla producción con (B x E) 5.5 m x 6.5 m utilizando taladros de Φ 9 7/8” y explosivo Quantex 73, permitirá optimizar la fragmentación de la roca caliza a un p80 adecuada a menor costo de P/V”. Para la producción de cal viva en la empresa minera en estudio, se necesita que el tamaño de la piedra caliza que ingresa a los hornos de calcinación tenga un P100 en el rango de 6” a 19 1/2” con un tamaño promedio de 12 3/4”. Se concluye que, de las 19 mediciones de la roca fragmentada a un P100, el 68.42 % de ellos tienen un tamaño de fragmento desde 12.33” a menos de 14.05”, el cuál es un tamaño óptimo de fragmentación con el nuevo diseño de malla de perforación y voladura implementado.

Se concluye que, geológicamente las calizas de Claudina 8 corresponden al grupo Puyllucana (Albiano Superior) de edad cretácea, son calizas de color gris a gris claro con textura micríticas, con presencia de material pardo oscuro (carbonáceo). En el Sur (lado Este) se encuentra afectado por un alto grado de fracturamiento que ha sido rellenado por precipitación de calcita en estas fracturas, así como el emplazamiento de diques de naturaleza andesítica, los que generalmente son sub verticales y tienen dirección NS. En la parte Norte la caliza está afectada por el tectonismo en menor grado, los diques aquí son NS y NW y sub verticales en ambos casos. La potencia de los estratos varía de 0.5 m a 4.0 m con predominancia de 1.2 metros. La caracterización del material rocoso medido con el RMR según Bieniawski 89, se obtuvo un valor de 61, identificándose como una roca de clase II – calidad buena. Los resultados de resistencia a la compresión uniaxial de la roca caliza mediante un análisis de identificación en campo, clasifico a la roca con un grado R4, que describe a una Roca fuerte. Se concluye

que para esta calidad de macizo rocoso se necesita una densidad del explosivo MEQ 73 de 1.10 a 1.15 gr/cc. Con estos resultados el diseño de la malla de voladura para el banco 3984 es de $B \times E = 5.5 \times 6.5$ con taladros de $\varnothing = 9 \frac{7}{8}$ ” y una longitud de carga de 6m a 10m de longitud de taladro.

La antigua malla de voladura fue de $B \times E = 4.5 \text{ m} \times 4.8 \text{ m}$ y del diámetro de perforación a 9”, utilizando explosivo HA 46 la voladura proporciona un producto muy fragmentado, con p80 de 90.69% $^{-3/4}$ ”, perdiéndose este material en lugar de destinarlo a producción. Se concluye que, al cambiar malla de $B \times E = 5.5 \text{ m} \times 6.5 \text{ m}$ y del diámetro de perforación a $9 \frac{7}{8}$ ”, utilizando explosivo MEQ 73 de 1.10 gr/cc, la voladura proporciona un producto de mayor tamaño con un P100, donde el 68.42 % de los fragmentos tienen un tamaño desde 12.33” a menos de 14.05”. Se concluye que el costo por tonelada de la mezcla explosiva ME Quantex 73 es 614.2 US\$/TM, en comparación con el HA 46, cuyo costo es de 674.0 US\$/TM, que representa una diferencia de 59.80 US\$/TM.

REFERENCIAS

- Alfaro, Rene (2016). *Diseño de malla de perforación y voladura en la cantera Sur para producción de roca escollera en la Cia Miera El Brocal, Cerro de Pasco*. Tesis (Título profesional de ingeniero de minas). Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú.
- Barona, Alejandro (2014). *Evaluación del funcionamiento de sistemas de análisis digital de imágenes Wipfrag (edición manual) y Split on line*. Tesis (Título profesional de ingeniero técnico de minas). Universidad Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía, Madrid – España.
- Bieniawski, Z.T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. John Wiley and sons, Inc.
- Cáceres, Carlos y Depaz, Lizeth (2016). *Geomecánica aplicada al diseño de malla de perforación de la GEA – 475E del nivel 2050 en la unidad Alpacay, MYSAC año 2016*. Tesis (Título profesional de ingeniería de minas). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo- Huáraz.
- Carhuancho, Erwin (2011). *Optimización de la fragmentación aplicando valores de energía en voladura al tajo Vidal, nivel 4190 cantera de caliza Cerro Palo Cemento Andino*. Tesis (Título profesional de ingeniero de minas). Huancayo: Universidad nacional del centro del Perú, 2011. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3161>
- Choqueña Jubel (2017). *Optimización de la fragmentación de la roca mediante las características geomecánicas y doble iniciación no electrónica en la perforación y voladura de bancos - U. M. Apumayo S.A.C*. Tesis (Título profesional de ingeniero de minas). Universidad Nacional del Altiplano. Disponible en:

[file:///C:/Users/ACER/Downloads/Choque%C3%B1a_Ccallata_Jose_Jubel.p
df](file:///C:/Users/ACER/Downloads/Choque%C3%B1a_Ccallata_Jose_Jubel.pdf)

Correa, Donny (2016). *Factibilidad económica de la explotación de roca caliza para producir Oxido de calcio en la concesión minera no metálica José Gálvez, Bambamarca, Cajamarca*. Tesis (Título profesional de ingeniero de minas). Cajamarca: Universidad privada del norte, 2016. Disponible en:

<http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/7578>

Devore, Jay (2008). “*Probabilidad y Estadística, para Ingeniería y Ciencias*”, International Thomson Editores Séptima Edición. México.

EXSA S.A. (2016). *Tecnología Quantex. Recuperado el Enero de 2018, de Exsa - soluciones exactas para fragmentación de roca, voladura y explosivos:*

[http://www.exsasoluciones.pe/exsa-yla-tecnologia-quantex-en-el-
pdac-2016/](http://www.exsasoluciones.pe/exsa-yla-tecnologia-quantex-en-el-pdac-2016/)

EXSA S.A. (2018). *Manual de voladura EXSA*. Lima. Ficha técnica del Quantex 73, recuperado de:

<https://www.exsa.net/image/pdf/QUANTEX%2073.pdf>

Konya, C., & Albarrán, E. (1998). “*Diseño de voladuras*”. Cuicatl.

Mamani, I. (2016). *Análisis y optimización de costos de perforación y voladura en la construcción del canal San Antonio de Miña*. (Tesis pregrado).

Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.

Mendoza G. (2019). *Optimización de la fragmentación y costos de voladura utilizando el explosivo Heavy Anfo 64 y ME Quantex 73 en la cantera de caliza Cuadratura, Cajamarca 2019*. Tesis de pregrado para obtener el título de Ingeniero de Minas. Universidad Privada del Norte. Cajamarca-Perú.

Minera Yanacocha, (2008). *Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Claudina 8*. Cajamarca-Perú.

Miranda, A.; Vergara A. (2019). *Diseño de un sistema de perforación y voladura de rocas aplicando modelos matemáticos para optimizar la fragmentación de la roca caliza en la cantera PROVEN III en Cerro Collique - Zaña*. Tesis de pregrado para obtener el título de Ingeniero de Minas. Universidad César Vallejo. Chiclayo-Perú.


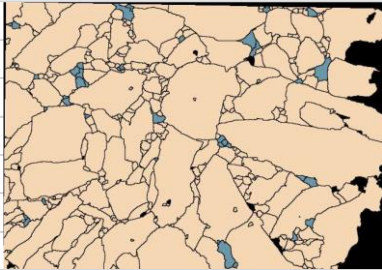

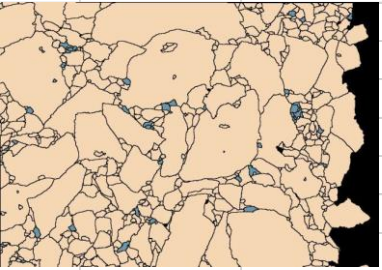

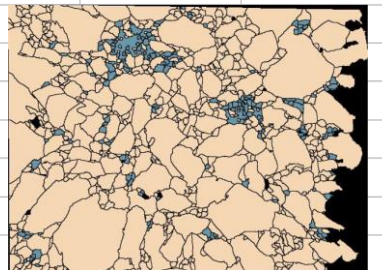

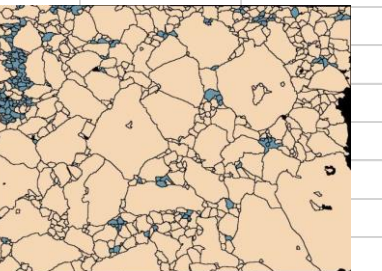

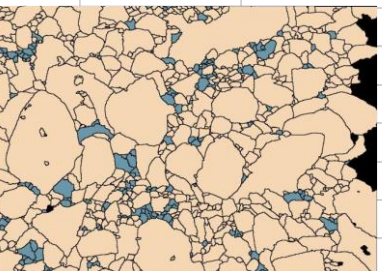
Quispe M. (2018). *Optimización de la fragmentación en la Mina Toquepala, mediante la aplicación de explosivo gasificado*. Tesis de pregrado para obtener el título de Ingeniero de Minas. Universidad Continental. Arequipa-Perú.


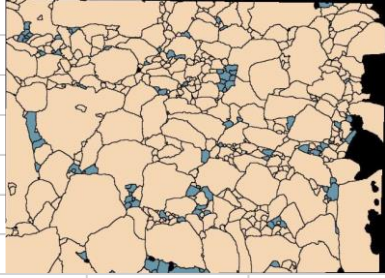

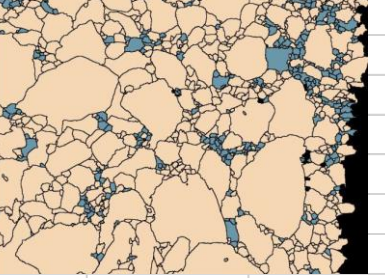

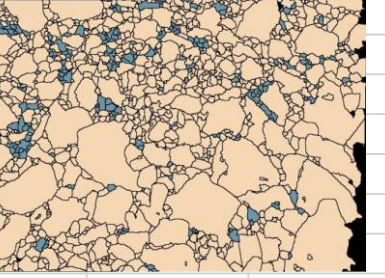

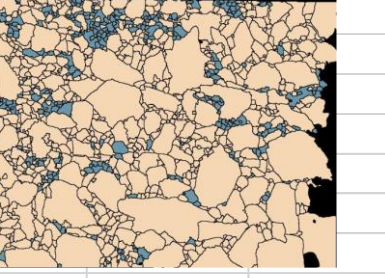

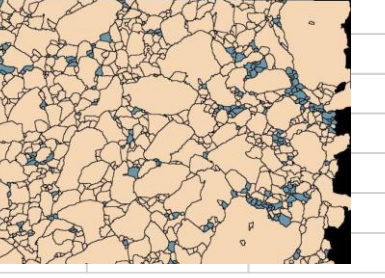
Walpole y Myers (2007). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*” PRENTICE HALL, INC. Octava Edición. México.


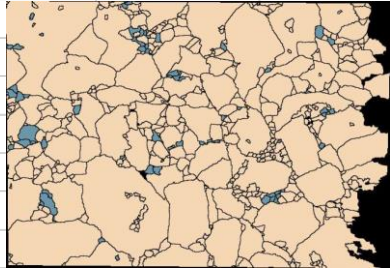

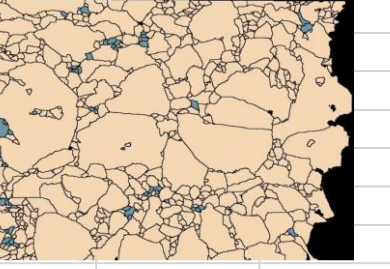

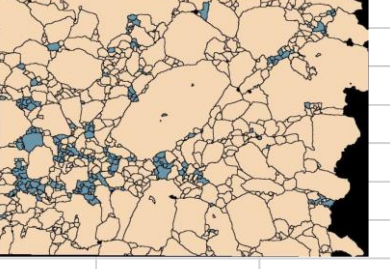

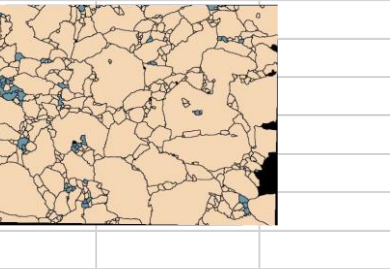

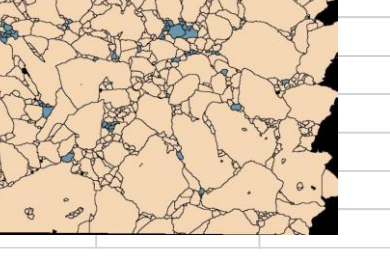
Yahuana, W. (2015). *Control de la fragmentación, proyección y apilamiento de roca en voladuras de canteras en la cantera Cerro Negro*. Tesis de pregrado para obtener el título de Ingeniero de Minas. Universidad Nacional de Piura. Piura-Perú.


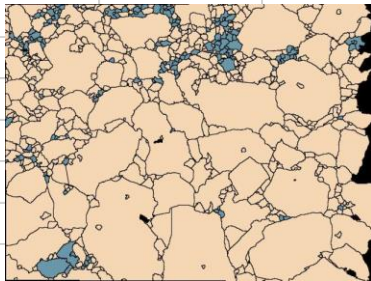

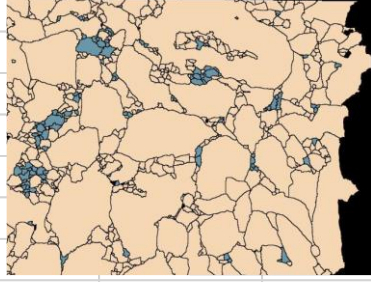

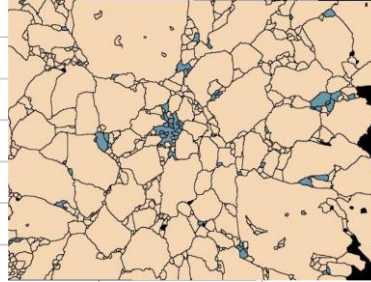

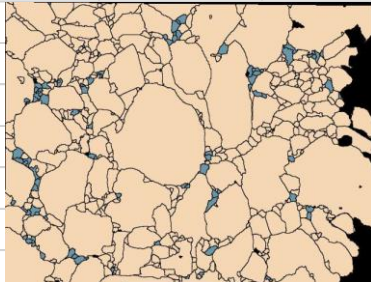
ANEXOS

Anexo N° 01: *Registro Porta metric del tamaño de la caliza fragmentada a diferentes porcentajes pasantes – Banco 3984*

EXSA_BANCO 3984			
2021/01/16 @ 09:21:11			
P100	10.16 in		
P90	7.24 in		
P80	6.81 in		
P50	4.21 in		
P20	2.36 in		
EXSA_BANCO 3984			
2021/01/16 @ 09:21:21			
P100	14.49 in		
P90	9.76 in		
P80	8.07 in		
P50	4.88 in		
P20	1.89 in		
EXSA_BANCO 3984			
2021/01/16 @ 09:21:39			
P100	7.17 in		
P90	5.75 in		
P80	4.92 in		
P50	2.64 in		
P20	1.10 in		
EXSA_BANCO 3984			
2021/01/16 @ 09:21:46			
P100	9.72 in		
P90	8.98 in		
P80	7.05 in		
P50	3.98 in		
P20	1.50 in		
EXSA_BANCO 3984			
2021/01/16 @ 09:22:30			
P100	14.17 in		
P90	9.96 in		
P80	6.42 in		
P50	3.78 in		
P20	1.61 in		

EXSA_BANCO 3984			
2021/01/16 @ 09:22:38			
P100	12.64 in		
P90	8.27 in		
P80	5.91 in		
P50	3.90 in		
P20	2.17 in		
EXSA_BANCO 3984			
2021/01/16 @ 09:24:00			
P100	10.63 in		
P90	8.86 in		
P80	7.13 in		
P50	3.98 in		
P20	1.50 in		
EXSA_BANCO 3984			
2021/01/16 @ 09:24:44			
P100	11.02 in		
P90	9.25 in		
P80	8.46 in		
P50	3.82 in		
P20	1.65 in		
EXSA_BANCO 3984			
2021/01/16 @ 09:24:51			
P100	9.45 in		
P90	7.09 in		
P80	5.83 in		
P50	3.23 in		
P20	1.22 in		
EXSA_BANCO 3984			
2021/01/16 @ 09:25:21			
P100	16.22 in		
P90	10.55 in		
P80	8.03 in		
P50	4.57 in		
P20	2.09 in		

EXSA_BANCO 3984		 
2021/01/16 @ 09:25:32		
P100	13.54 in	
P90	10.28 in	
P80	8.19 in	
P50	5.12 in	
P20	2.48 in	
EXSA_BANCO 3984		 
2021/01/16 @ 09:25:44		
P100	10.24 in	
P90	9.21 in	
P80	7.40 in	
P50	4.06 in	
P20	1.85 in	
EXSA_BANCO 3984		 
2021/01/16 @ 09:26:10		
P100	12.52 in	
P90	11.38 in	
P80	7.83 in	
P50	4.06 in	
P20	1.65 in	
EXSA_BANCO 3984		 
2021/01/16 @ 09:26:31		
P100	14.53 in	
P90	11.93 in	
P80	10.91 in	
P50	6.65 in	
P20	2.99 in	
EXSA_BANCO 3984		 
2021/01/16 @ 09:26:42		
P100	11.42 in	
P90	9.57 in	
P80	8.90 in	
P50	5.83 in	
P20	2.52 in	

EXSA_BANCO 3984			
2021/01/16 @ 09:26:47			
P100	15.71 in		
P90	14.84 in		
P80	11.93 in		
P50	6.42 in		
P20	2.36 in		
EXSA_BANCO 3984			
2021/01/16 @ 09:27:02			
P100	16.10 in		
P90	16.10 in		
P80	8.19 in		
P50	5.20 in		
P20	2.20 in		
EXSA_BANCO 3984			
2021/01/16 @ 09:27:12			
P100	13.62 in		
P90	10.43 in		
P80	7.68 in		
P50	5.43 in		
P20	2.44 in		
EXSA_BANCO 3984			
2021/01/16 @ 09:27:16			
P100	12.80 in		
P90	10.91 in		
P80	9.02 in		
P50	4.96 in		
P20	2.32 in		