

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

“SIMULACIÓN DE LA MALLA DE PERFORACIÓN
Y VOLADURA MEDIANTE EL SOFTWARE JK
SIMBLAST 2D FACE PARA MEJORAR LA CARGA
EXPLOSIVA, LA LIBERTAD-2023”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Miguel Jesus Alvarez Cornejo

Asesor:

Ing. Eduardo Manuel Noriega Vidal
<https://orcid.org/0000-0001-7674-7125>

Trujillo - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Jorge Omar Gonzales Torres	43703713
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Wilson Gómez Hurtado	18900541
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Ronald Antonio Alvarado Obeso	44562630
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

Tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%	18%	1%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	dspace.esoch.edu.ec Fuente de Internet	5%
2	bibliotecas.unsa.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	vsip.info Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
5	docplayer.es Fuente de Internet	1%
6	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%
9	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%

DEDICATORIA

*A Dios por protegerme, cuidarme y bendecirme
con la salud necesaria en este tiempo donde las
dificultades están prevaleciendo, pero nos guía
por un buen camino lleno de salud y felicidad.*

Al profesor e ingeniero

Julio Cesar Matute Calderón,

por darme las pautas necesarias

para poder lograr y concluir de

una manera satisfactoria mi

proyecto; además de brindarnos

la confianza necesaria.

A mi familia, sobre todo a mi madre, padre

Y hermana, por ser el soporte emocional

en mi vida diaria ofreciéndome

el cariño que necesitamos.

Alvarez Cornejo, Miguel Jesús

AGRADECIMIENTO

*Agradezco a la Universidad Privada del Norte,
por brindarme la oportunidad de culminar
mis estudios universitarios otorgándome
los recursos, así como las herramientas necesarias
para realizar un buen aprendizaje de la carrera de ingeniería de minas.
También quiero agradecer los docentes de
la facultad de ingeniería, carrera de Ingeniería de Minas;
en especial al Ingeniero Julio Cesar Matute Calderón
por las enseñanzas y experiencias brindadas,
en el transcurso del curso, para finalizar de manera
exitosa el proyecto planteado.*

TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR.....	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO.....	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	10
INDICE DE ECUACIONES	12
RESUMEN	14
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. Realidad problemática	15
1.2. Formulación del problema.....	26
1.3. Objetivos.....	26
1.3.1. Objetivo General	26
1.3.2. Objetivo Específico	27
1.4. Hipótesis	27
1.4.1. Hipótesis general	27
1.4.2. Hipótesis nula	27
CAPITULO II: METODOLOGÍA	28
2.1. Tipo y diseño de investigación.....	28
2.2. Población y muestra	29

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	29
2.4. Análisis y procedimiento de recolección de datos.....	30
2.4.1. Análisis de los datos.....	30
2.4.2. Procedimiento de recolección de datos	31
CAPITULO III: RESULTADOS	32
3.1. Realizar el análisis geomecánico del macizo rocoso	32
3.2. Diseñar la malla de perforación y voladura en el software minero JK Simblast 2D Face	34
3.3. Analizar la carga explosiva mediante la distribución de energía en los taladros e isotiempos	35
3.4. Determinar los costes totales de la perforación y voladura.....	36
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	38
CONCLUSIONES	42
RECOMENDACIÓN	44
REFERENCIAS	45
ANEXOS	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cálculo de RMR.....	32
Tabla 2 Cuadro resumen de los costos de la perforación y voladura	37
Tabla 3 Matriz de operacionalización de variables	48
Tabla 4 Matriz de consistencia	49
Tabla 5 Guía de observación	51
Tabla 6 Guía de análisis documental.....	52
Tabla 7 Ensayos de compresión simple (UCS).....	62
Tabla 8 Parámetros de la malla de perforación	62
Tabla 9 Volumen a ser volado.....	63
Tabla 10 Diseño de la malla de perforación y voladura	63
Tabla 11 Taladros en arrastres.....	64
Tabla 12 Taladros en cuadradores	64
Tabla 13 Taladros en corona	64
Tabla 14 Taladros auxiliares en cuadradores	65
Tabla 15 Taladros auxiliares en corona.....	65
Tabla 16 Resumen del número de taladros.....	65
Tabla 17 Carga explosiva	66
Tabla 18 Resumen de la cantidad de carga explosiva para la voladura	67
Tabla 19 Factor de la carga explosiva	67
Tabla 20 Parámetros de la galería de estudio	73

Tabla 21 Cálculo de los costos de voladura	75
Tabla 22 Costos unitarios de mano de obra.....	76
Tabla 23 Accesorios de voladura.....	77
Tabla 24 Supervisión de la voladura	77
Tabla 25 Implementos de seguridad en la voladura	78
Tabla 26 Herramientas usadas en voladura	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Diseño de la malla de perforación y voladura en la galería de estudio.....	35
Figura 2	Distribución de la energía y escala de rangos	36
Figura 3	Distribución de la malla de perforación.....	54
Figura 4	Distribución de burden en el cuadrante 1.....	55
Figura 5	Distribución del burden y espaciamiento en el cuadrante 2.....	58
Figura 6	Distribución de burden y espaciamiento, cuadrante 3	59
Figura 5	Distribución de burden y espaciamiento, cuadrante 4	60
Figura 8	Parámetros de entrada para el diseño de la galería	68
Figura 9	Carguío de taladros	69
Figura 10	Malla de perforación con taladros cargados.....	69
Figura 11	Carguío de taladros (Delay, conectores y primers).....	70
Figura 12	Malla de perforación con Downhole Delays.....	70
Figura 13	Amarres de los explosivos con mecha lenta	71
Figura 14	Simulación de la voladura.....	71
Figura 15	Líneas de isotiempo después de la simulación de la voladura.....	72
Figura 16	Cantidad de carga vs. tiempo de la detonación.....	72
Figura 17	Análisis de la distribución de energía de la voladura.....	73
Figura 18	Ubicación espacial de la malla.....	80
Figura 19	Tipos de arcos de voladura.....	80
Figura 20	Diálogo de perforación.....	81

Figura 21 Tipos de corte.....	81
Figura 22 Perforación de taladros en una línea	82
Figura 23 Simulación de la detonación de la carga explosiva.....	82
Figura 24 Parámetros para la detonación	83
Figura 25 Simulación y análisis de isotiempos	83
Figura 26 Licencia del JK Simblast 2D Face	84

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Longitud de perforación	53
Ecuación 2 Diámetro equivalente.....	53
Ecuación 3 Profundidad real de la voladura.....	53
Ecuación 4 Burden cuadrante 1.....	54
Ecuación 5 Burden práctico.....	55
Ecuación 6 cuantificación del error de la perforación	55
Ecuación 7 Consumo específico del explosivo	56
Ecuación 8 Constante del material rocoso.....	56
Ecuación 9 Factor de roca del material rocoso	56
Ecuación 10 Cuantificación de la carga lineal.....	56
Ecuación 11 Longitud de carga explosiva.....	57
Ecuación 12 Profundidad del taco	57
Ecuación 13 Número de cartuchos por taladro.....	57
Ecuación 14 Burden cuadrante 2.....	57
Ecuación 15 Distancia de los taladros del cuadrante 1	58
Ecuación 16 Burden práctico B2.....	58
Ecuación 17 Burden cuadrante 3.....	58
Ecuación 18 Burden teórico	59
Ecuación 19 Distancia de entre taladros Ah2.....	59
Ecuación 20 Burden cuadrante 4.....	59

Ecuación 21 Arrastres.....	60
Ecuación 22 cantidad de taladros en zapatas.....	60
Ecuación 23 Espaciamiento en arrastres	61
Ecuación 24 Espaciamiento de los taladros de corona.....	61
Ecuación 25 Tamaño del arco.....	61
Ecuación 26 Burden de taladros en corona.....	61

RESUMEN

La investigación tuvo como principal objetivo Simular la malla de perforación y voladura en la mina San Cayetano–La libertad, 2023.

Los resultados obtenidos dieron que el tipo de roca es granodiorita y que la resistencia a la compresión simple varía de 142,68 a 171,63 MPA, con una densidad promedio de 2.6 g/cm³. El RQD fue de 91, pero se usó RQD recomendado de 90.

La cantidad de taladros totales fue 43. La longitud de la columna explosiva fue de 1.35m. y longitud de taco de 0.45m. En total se usaron 60.02 kg de dinamita y el factor de carga explosiva de 2.34 kg/t. El costo total de perforación y voladura fue de S./ 2193.76.

Se concluyó que la cantidad de la carga explosiva detonada fue de 0.7 kg en 1020 m/s, y 0.6 kg de la carga explosiva es detonada a 18082.22 m/s en los contornos. La distribución de la energía final de la carga explosiva es de 0.767 a 1.433 kg/m³ y en el arranque de 1.433 a 2.1 kg/m³. Los resultados del análisis de la simulación demostraron que la cantidad de la carga explosiva es adecuada para la voladura de la galería.

PALABRAS CLAVES: Carga explosiva, simulación, energía, compresión simple, taladros.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La operación de perforación y voladura es una de las actividades operativas de mayor importancia en el proceso de desarrollo y producción de la mina. En la actualidad, existen muchos modelos matemáticos que pueden realizar esta operación, pero existen diferentes fallas con notable margen de error en la perforación y voladura, esto ha conllevado pérdidas económicas considerables a las empresas mineras. En la actualidad la gran y mediana minería emplea una fila de instrumentos, técnicas y métodos de perforación para minimizar las fallas en el área, evitando pérdidas económicas y elevados costos de operación (Kumar et al., 2020).

El estudio presenta una justificación ya que en gran parte de las empresas mineras la perforación y voladura es uno de los procesos con mayores costos, en consecuencia, se acredita económicamente el desarrollo de este estudio. Ante ello, se ha realizado la simulación del software JK donde se ha decidido simular la malla de perforación y voladura para disminuir los errores presentes en las operaciones. Además, presenta una justificación teórica ya que se buscará toda información bibliográfica en base a las variables de estudio, asimismo una justificación metodológica porque gracias a los instrumentos empleados se obtendrá información para plasmar en los resultados en base a los objetivos.

La mala distribución de explosivos en la malla de la Compañía Minera San Cayetano es una consideración muy importante porque provocará una fragmentación excesiva, aumento de costos, debilitamiento del terreno y generará enormes pérdidas económicas a largo plazo.

El problema que surgió en la empresa minera fue la distribución desigual de explosivos debido a la falta de cálculos necesarios para el ejercicio. Esto provocará muchas pérdidas económicas, distorsión del plan minero y aumentó la dilución de minerales. Es por eso que el enfoque de la investigación es analizar la distribución de los explosivos utilizando el software JKSimblast 2D Face para simular las cargas explosivas de la malla.

Ramírez & Sandoval (2020) En su trabajo, mostró deficiencias en la perforación y voladura, lo que derivó a altos costos de dinero. Además, durante los meses de 2008, hubo fallas en octubre, noviembre de 2009 y enero de 2009. Estas fallas incrementaron los costos operativos de las actividades unitarias.

Cano (2019) El punto más importante a considerar durante la voladura es: la roca debe triturarse a un nivel apropiado para minimizar el costo total en las operaciones de carga, transporte, trituración y molienda de la roca. Al desdeñar el daño al entorno rocoso, se puede lograr un funcionamiento sin riesgos. Para cumplir estos dos requerimientos contradictorios, se necesita una salida viable. Las opciones de los explosivos, cuántos explosivos deben cargarse; de lo contrario, el daño de los explosivos al entorno explosivo debe ser mínimo.

Barrios (2019) Los avances tecnológicos actuales, la incorporación de actuales leyes y recientes estándares nos obligan a implementar tecnologías mineras modernas responsables, utilizando tecnologías y procesos avanzados, como nuevos algoritmos y modelos matemáticos para optimizar la operación de las unidades de perforación y voladura. La administración del modelo matemático de Roger Holmberg reduce los costos operativos. Una perforación y voladura insuficientes pueden causar daños, lo que incrementa los costos de carga, transporte, trituración y conservación.

Otrilla & Romero (2018) Durante las operaciones unitarias de la empresa se descubrieron problemas de perforación y voladuras. En los meses siguientes se registraron un promedio de 7 taladros cortados, 4 anillados, 9 taladros sopladados y 16 taladros taqueados. De manera similar, el pobre efecto de voladura da como resultado un mayor consumo de acero para garantizar la estabilidad de trabajo. Asimismo, el desempeño del incremento lineal de PU (precio unitario) también se verá afectado, el uso desmedido de explosivos y la baja eficiencia de perforación son las razones del continuo aumento de costos. Redujo el funcionamiento del dispositivo de voladura de la misma manera.

Bravo (2018) tuvo como objetivo investigar sobre la vibración provocada por explosión en diferentes unidades geotécnicas de Minera Spence, con la esperanza de minorizar el daño transmitido al compacto rocoso y prevenir futuros deslizamientos de tierra. Tuvo como resultados que los distintos procedimientos de perforación y voladura de Minera Spence se desarrollan con normalidad, lo que significa el bajo costo requerido para mejorar el control de daños. Las propuestas de mejora estándar aumentan los costes de perforación y voladura, lo que reducirá la incidencia de deslizamientos de tierra locales en casi un 35%, lo que favorece la seguridad, reduce los costos de mantenimiento y mejora el rendimiento operativo para reducir los deslizamientos de tierra. Tiempo perdido. Concluyó que, en términos generales, la investigación de la obra ilustra los estándares utilizados por Minera Spence, operaciones de perforación y voladura, y evaluación de diversas variables que pueden afectar el desempeño de la operación.

Castillo y Zelaya (2023) tuvo como finalidad realizar una propuesta referente al diseño de malla de perforación mediante el modelo Holmberg y Pearse con el propósito de disminuir la dilución del mineral en labores ya mencionadas en la Unidad Minera Poderosa. La investigación es de tipo aplicada (simuló la malla en el software JKSimblast), asimismo

es de diseño preexperimental ya que evaluó la dilución con y sin la malla diseñada. Los resultados mostraron que con la nueva malla se obtienen 36.88t, con lo cual la dilución es de 59.8% a comparación de lo que se obtenía antes (45,53t) con una dilución del 67,5%. De esta manera se concluyó con la prueba de hipótesis la que mostró diferencia significativa entre a malla actual y la nueva diseñada.

Ramírez & Sandoval (2020) tuvo como objetivo evaluar de manera técnica la perforación y voladura en Cajamarca 2020 para disminuir costos operativos de minas subterráneas. Tuvo como resultados que la parte de la galería (2,00 m x 2,50 m) permanecerá sin cambios, pero la relación lineal de 1 a 1,16 m y el volumen de materiales de 5×3 a $5,8 \times 3$ se incrementará de antemano. La red de perforación y voladura recientemente propuesta aumentará la eficiencia en un 95%, además de reducir la perforación en el frente de la galería. Durante el estudio se observaron de repente espárragos de 10, 15 y 20 cm. El diseño de malla perforada ayuda a distribuir los agujeros. Según la experiencia, no existe una especificación de perforación. Como resultado, esto ha llevado a mayores costos operativos. El costo de perforación por ronda es de \$ 65,96 por ronda, el coste de perforación con voladura es de \$ 109,868 por ronda y la inversión total de perforación y voladura es de USD 175,831 por ronda. Concluyó que, con ayuda de los siguientes modelos matemáticos de Pearse y Holmberg, se diseñó una nueva red perforada y la galería adoptó este nuevo diseño de red perforada. La perforación requiere 37 agujeros / disparo, el siguiente diseño: 2 agujeros de alivio de presión, 4 inicios, 4 cuadrantes I, 4 cuadrantes II, 4 cuadrantes III, 5 arrastres, 6 cuadrantes (caja), 5 coronas, 3 coronas auxiliares.

Butamante (2019) tuvo como objetivo diseñar con algoritmo de Roger Holmberg y teoría de vibraciones para modelado, con el fin de optimizar la cantidad de explosivos y reducir el sobreimpulso por vibración. Tuvo como resultados que, la cantidad de dureza de

las variedades de rocas son: buena roca RMR 75, buena roca RMR 65, roca convencional RMR 55 y roca convencional RMR45. El PPV de la roca buena RMR 75 se determina en 9.0 mm / s; para la roca buena RMR 65, 9,3 mm / s; para la roca convencional RMR 55, es de 9,3 mm / s; la roca convencional RMR 55 es de 9,3 mm / s, la roca inferior 16,2 milímetros. Concluyó que de acuerdo con la energía generada por la explosión, el método de Holmberg se puede utilizar para optimizar la rejilla de perforación para diferentes áreas con anticipación, lo que demuestra que no hay daño en la corona o el clavo de la corona. La vibración provocada por la voladura y el saber de la geomecánica del compacto rocoso nos admite valorar la posibilidad de daños en el macizo rocoso. Los niveles por encima del límite de vibración pueden perjudicar a la roca, crear frescas grietas y agrandar las que ya existen, porque a través de los resultados anteriores, mantendrán la roca estable.

Cano (2019) tuvo como objetivo, Seleccionar el mejor explosivo estudiando la vibración de Selene-Compañía Minera Ares S.A.C. Filial de Hochschild. Tuvo como resultados que aunque el coste por caja de emulsión (\$ 52,65) es menor que el de los explosivos (\$ 55,78), cuando obtenemos el costo de por caja de munición, encontramos que los explosivos son más baratos en US \$ 0,19 por caja, mientras que el costo de la emulsión es de \$ 0,25 / cartucho. Esto se debe a que debido a la cantidad de cartuchos de cada caja. Asimismo, en ambos casos, cada agujero contiene el mismo número de cajas, y aunque los agujeros se reducen, el costo por lado de la emulsión es mayor. En comparación con los explosivos, su costo de uso es de 33,80 USD, que es más económico. Concluyó que, en la prueba de hipótesis, debido al aumento en el número de muestras, es decir, debido al número de explosiones en los tres límites (1 explosión única en cada lado), la desviación estándar es entre 1579,83 y 246,32. La situación ideal es hacer más voladuras. La explosión está un poco apagada. Por tanto, esta hipótesis fue rechazada. En ambos casos (es decir, explosivos y

emulsiones), ambos son cero, pero también notamos que las estadísticas experimentales para explosivos y emulsiones son -0,818 y 2.,2, respectivamente, y en ningún caso excedieron el punto crítico de 2,92 . Entonces, es ideal utilizar explosivos. Esta es una conclusión sobre las posibles vibraciones y roturas en el compacto rocoso. Es imperante tomar en cuenta otros puntos, como varios factores y el coste de ventilación, ya que este es crucial para el factor decisivo.

Barrios (2019) tuvo como objetivo evaluar la viabilidad del uso del modelo matemático Roger H. para optimizar los costos operativos de perforación y voladura de CIMAFEJ S.A.C. Tuvo como resultados que si se aplica el modelo matemático optimizado, es posible reducir el costo de 225,06 dólares estadounidenses / metro a 197,47 dólares estadounidenses / metro, y aumentar la eficiencia de explosión de 1,30 m a 1,42 m / proyectil, o de 85% a 93%, lo que minoriza a gran escala la tasa de explosión. Para su malla, su diámetro equivalente es de 0,053, la longitud de perforación es de 1,84 m y la longitud de alimentación es de 1,75 m. El número de cartuchos utilizados en cada ejercicio es de 5,27, lo que equivale a 6, y el peso del cartucho es de 0,081 kg. La malla de perforación anterior se diseñó como: alivio 2, arranque 4, 1-arrancador auxiliar 4. 2-arrancador auxiliar 4, cuadrado 8, cuadradores 10, subalza 3, sub arrastre 4, corona 3 y arrastre zapata 4, hay 46 hoyos en total. La cuadrícula sugerida es: alivio 2, arranque 4, 1-ayuda 4, 2-ayuda 4, Sub cuadrador 8, cuadrador 11, corona 4 y zapatas 4, para un total de 41 hoyos. El metro anterior tiene 62,9 m de largo. Y los 54,7m propuestos. Concluyó que, para estudiar la aplicación de modelos matemáticos en el futuro, se sugiere utilizar más variables, como valores geomecánicos, adicionar factores en número de corrección y realizar la comparación con otros modelos matemáticos para obtener los mejores resultados. También se concluye que la implementación de la red de perforación propuesta es factible.

Riveros (2020) tuvo como objetivo aplicar el software 2d face para de éste modo optimizar los estándares de perforación voladura en la rampa en cuestión. Los resultados mostraron que en cuanto a fragmentación, lo habrá problemas ya que es de 5,76cm, y está muy por debajo del estándar (20cm); en cuanto al avance lineal (con eficiencia al 95% de disparo) es de 3,82m, lo cual es óptimo ya que lo requerida es de 3,4m; referente a las vibraciones se obtuvo que serían de 8.7 mm/s (<50 mm/s) (velocidad pico partícula). De esta manera se concluyó que al implementar los estándares de perforación de acuerdo al modelo de R. Holmberg y Conminución se pueden tener mejores resultados que cumplen con los estándares de la empresa.

Mamani (2023) tuvo como principal objetivo realizar la optimización del proceso de perforación y voladura por medio de la simulación del software JKSimblast 2d face en los frentes de la minera mencionada. De acuerdo con la metodología, la investigación es aplicada, de diseño descriptivo simple. Los resultados mostraron una optimización, en cuanto a la rampa negativa 783 el avance por disparo aumentó de 2,95m a 3,10m, las vibraciones disminuyeron de 13,9mm/s a 9,9mm/s, los costos también se optimizaron, en cuanto a los explosivos (por disparo) pasó de \$299,47 a \$292,68 y de los aceros de perforación de \$32,53 a \$29,91; por otro lado, en cuanto a las ventanas mineralizadas, el avance por disparo pasó de 3,05m a 3,15m, las vibraciones disminuyeron de 14.9mm/s a 8.5mm/s, además, los costos de aceros de perforación bajar a \$22,56 de \$26,24 al igual que el costo del explosivo a \$213,48 de \$214,33 por disparo. De esta manera se concluyó que en ambos casos se optimizaron los estándares de PV utilizando el algoritmo de Holmberg mediante su simulación en JKSimblast 2D Face, en donde también se observó que al disminuir la cantidad de taladros, la sobrerotura también fue controlada ya que la energía se distribuyó correctamente.

Otrilla & Romero (2018) se propuso como objetivo enriquecer los indicadores de perforación y voladura para optimizar los costes operativos de la Compañía Minera Santa Luisa S.A.-Fuerza Palka. Tuvo como resultados que el indicador de carga se incrementó de $3,51 \text{ kg/m}^3$ a $2,38 \text{ kg/m}^3$, reduciendo así la utilización de explosivos y teniendo un ahorro de \$ 15 por disparo. Luego de la actualización, se obtuvieron 34,000 toneladas de minerales en el segundo semestre de 2017; en el último semestre, su contenido mineral fue de 28,400 toneladas. Por tanto, la producción obtenida se incrementó en 5.600 Tn, lo que equivale a un incremento del 8%, lo que supone un beneficio para la minera. Estos indicadores de producción se deben a un aumento de 218,7 millones de rupias en recibidos en el segundo semestre de 2017. Concluyó que al minorizar el coste operativo de la unidad Palka, se estandarizó la red de perforación con una sección transversal de $4,00 \text{ m} \times 3,80 \text{ m}$ y la profundidad de perforación fue de 3,9 m. Asignación a largo y corto plazo de 35 pozos de producción y 3 pozos de descarga.

Según Córdova (s.f.), la geomecánica se considera una ciencia que tiene como objetivo estudiar las propiedades mecánicas de los materiales rocosos. Esta disciplina se basa en términos e hipótesis de la mecánica de rocas y suelos relacionados con el comportamiento de una formación en presencia de diversas fuerzas.

Según Mamani (2017), El macizo rocoso es un conjunto de formación rocosa con discontinuidades. Debido a su naturaleza, frecuencia y dirección con respecto a la superficie de discontinuidad, presenta características no homogéneas, con comportamiento discontinuo generalmente anisotrópico, determinando su comportamiento hidráulico y geomecánico.

Según Lujan (2017), Los pozos y las trayectorias de la rejilla de voladura son un conjunto de pozos perforados en la roca, estos pozos cuentan con una posición, sentido,

inclinación y profundidad específicas. El propósito de la línea de producción es minimizar los costos de perforación y la cifra de explosivos, hacer un notable progreso, conservar uniforme la dimensión del bloque o la pieza y hallar la jerarquía de los orificios y salidas.

Según Vilca (2019), El factor de potencia se produce cargando explosivos entre varias toneladas de mineral a soplar. Este factor es muy importante porque nos permite medir el daño causado a las rocas rotas..

Según Vilca (2019), la carga explosiva es la cantidad de explosivo que será utilizada en los taladros, teniendo en cuenta que no es la misma distribución para todos ellos.

Según Sanchez (2020), El software JK Simblast 2D FAcE es considerado un "software desarrollado" basado en años de experiencia del Centro Australiano de Investigación de Minería Julius Kruttschnitt (JKMRC), quién puede diseñar, analizar, gestionar y evaluar explosivos. El software JKSimblast es un grupo de instrumentos que nos facilita diseñar, simular y analizar voladuras en terraplenes (superficie, carretera, minería subterránea, etc.) así como voladuras subterráneas.

Según JK Simblast (s.f.), Isotiempos es parte de la simulación de la secuencia de inicio retardado basada en la simulación de Monte Carlo, y también se genera un perfil de tiempo o diagrama isócrono, para que pueda verificar intuitivamente si la secuencia de encendido es correcta y si la carga puede ver si el explosivo previamente detonado es un seguimiento. Deje suficiente espacio para explosivos.

Según Orellana (s.f.), el costo unitario son los valores monetario de manera desglosada de un producto elaborado. Generalmente, se halla el valor dividiendo el coste de producción de todos los bienes entre el número de bienes producidos.

Según Westreicher (s.f.), el costo total de un producto o de la producción de una empresa es la sumatoria de todos los costos presenten que no dependen de la cantidad de la

producción establecida, de tal manera que los costos variables crecen o menguan según el número de unidades que han sido fabricadas.

Montoya & Vilchez (2019) el método Holmberg es un prototipo que utiliza fórmulas matemáticas para relacionar diferentes variables, parámetros y ciertos límites, en este caso el parámetro más importante es el tipo de roca y dureza utilizada en la perforación, nivelación y clasificación. Los explosivos en la red y simulaciones deben estar correctamente distribuidos: posición, profundidad, pendiente y carga explosiva. El propósito de la red de perforación es reducir el costo de perforación y reducir la carga explosiva, mantener el tamaño de la pieza, obtener el tamaño de la pieza, obtener suficientes fragmentos y obtener el avance necesario.

Montoya & Vilchez (2019) mencionan que el avance o fracaso de las voladuras en los diferentes proyectos mineros subterráneos mayormente están relacionados con los tipos de tratamientos de las caras libres, esto quiere decir que: el arranque (zona A) deben diseñarse cuidadosamente y se permite cortar la incisión llamada taladro hueco aumenta gradualmente el tamaño hasta que el agujero en el área auxiliar tenga una cara libre. Los parámetros establecidos por el modelo son los siguientes: "cálculo de avance", "cálculo de corte", "primer cuadrante", "segundo cuadrante", "tercer cuadrante", "cuarto cuadrante", "arrastres", "taladros en hastiales", "zapatas o arrastres".

En los anexos, desde la ecuación se muestran las fórmulas del Modelo Matemático de Holmberg.

JK Tech (2008), Las mallas de perforación pueden ser creadas a partir de poligonales cerrados existentes o el usuario puede crearlas individualmente. Para crear a partir de un polígono ya creado, el usuario debe activar el icono del modo Plano circular/Posición de

conducción/Perforación y luego hacer clic en el icono crear contorno de elemento. Luego, el usuario puede hacer clic en la cadena de carácter más cercana como unidad de perforación. Cabe señalar que la cadena debe cerrarse y el límite de la unidad se convierte en un nuevo polígono cerrado.

La opción "Curva de Bézier" Producirá un arco cuya altura está determinada por las opciones "Tamaño" (Ah) y "Hombro redondeado" (selector "Redondeado"). Utilice el tamaño como radio y luego intente ajustar el "cuarto de círculo" al selector de "radio de arco" (Ar). Si el radio del selector de círculo es mayor que la mitad del ancho de la celda, el radio del círculo se ajustará al área superior.

JK Tech (2008), La creación y el posicionamiento de los taladros se pueden completar accediendo a la función del modo de ejercicio proporcionada en el menú "Modo + Ejercicio" o haciendo clic en el icono del modo de perforación. Antes de crear un pozo, primero debe crear "propiedades del pozo" accediendo al cuadro de diálogo "Perforación". Debe pasar por el menú de parámetro + exploración o hacer clic en el icono del parámetro del modo actual (modo de parámetro actual). 2DFace contiene opciones para definir tipos de orificios específicos, que incluyen: carga de liberación de corte, carga del cabezal de corte, orificio en el techo, orificio en la pared, perforación de piso / elevación y perforación auxiliar. Las propiedades del pozo, como el diámetro y la longitud, se pueden ajustar para estos diferentes tipos de brocas.

JK Tech (2008), Puede agregar el horario al esquema y seleccionar la opción "cortar etiqueta". Aquí, puede elegir entre una variedad de cortes existentes y guardarlos en la carpeta JKSimblast \ 2Dface \ Cuts.

JK Tech (2008), Seleccione el tipo de agujero apropiado e ingrese los atributos requeridos. También asegúrese de que el icono del modo "Escaneo continuo" (haga clic en la línea) esté encendido. Seleccione la pestaña "Poroso" y luego seleccione el estándar de perforación. Vaya al diseño y haga clic cerca del área de interés en el dispositivo. De esta forma, aparecerá un cuadro de confirmación indicando que se debe adjuntar al área y al espacio intermedio.

JK Tech (2008), También puede ser utilizada para desarrollar una distribución de energía de explosión 3D. Tanto el taladro de arranque como el auxiliar están equipados con el mismo explosivo.

JK Tech (2008), La simulación de la secuencia de inicio de voladura se puede ejecutar en 2DFace, permitiendo a los usuarios ver e informar la secuencia de explosión. Esta función puede ser activada mediante las siguientes opciones: desde el menú modo + detonación, y luego haciendo clic en el icono de detonación. Una vez que se activan el diseño y el método de explosión, se simula la curva de explosión y tiempo. Se puede calcular y visualizar fácilmente. Para hacer esto se debe hacer clic en el icono calcular cuadrícula de estándar de tiempo.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo es la simulación de la malla de perforación y voladura mediante el software JK Simblast 2D Face, La Libertad – 2023?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Realizar la simulación de la malla de perforación y voladura mediante el software JK Simblast 2D Face, La Libertad – 2023

1.3.2. Objetivo Específico

Realizar el análisis geomecánico del macizo rocoso de la galería GL180S.

Diseñar la malla de perforación y voladura en el software minero JK Simblast 2D face.

Analizar la carga explosiva mediante la distribución de energía en los taladros e isotiempos.

Determinar los costes totales de la perforación y voladura en la galería GL180S.

1.4.Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Mediante el software JK Simblast 2D Face, se podría realizar la simulación de la malla de perforación y voladura

1.4.2. Hipótesis nula

Mediante el software JK Simblast 2D Face, no se podría realizar la simulación de la malla de perforación y voladura

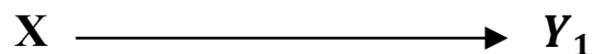
CAPITULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es aplicada dado que tiene como objetivo utilizar estándares y conocimientos teóricos para resolver los problemas de investigación descubiertos. El enfoque de la investigación es cuantitativo porque se maneja diferentes parámetros para medir los efectos y explicar por qué sucede dicho suceso, ya que para la empresa es esencial generar la más mínima dilución, reducir las pérdidas económicas y una fragmentación adecuada. Asimismo, según Sánchez, (2019) menciona que una investigación cuantitativa se llama así porque trata de fenómenos que se pueden medir mediante el uso de técnicas estadísticas para analizar los datos recopilados.

La investigación es no experimental, con diseño descriptivo transversal y método cuantitativos, porque puede medir el fenómeno de investigación y puede utilizar datos estadísticos como herramienta para analizar e interpretar los resultados. La investigación es de nivel correlacional porque su propósito es evaluar la relación entre dos o más variables.

Presentando el siguiente esquema:



Donde:

X: Simulación de la malla de perforación y voladura

Y: Análisis de la distribución de la carga explosiva

2.2. Población y muestra

Unidad de estudio: San Cayetano.

Población: Todas las labores de la empresa minera San Cayetano.

Muestra: Galería GL180S es donde el estudio se desarrolló.

Unidad de análisis: Carga explosivas.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Técnicas:

Observación directa: La técnica de observación se considera un proceso de recopilación de datos en el sitio para probar y almacenar los datos para su análisis.

Análisis documental: Las fuentes bibliográficas se relacionan con temas de investigación, como libros, manuales o manuales, informes en papel, revistas y artículos científicos. Esto se logró visitando y consultando la base de datos de universidades nacionales y extranjeras (Alicia del Concytec y Google Academic) para apoyar el desarrollo de esta investigación. Por otro lado, se utilizó los estándares y procedimientos mineros que fueron obtenidos del área de planificación, operación y costos de la empresa minera.

Instrumentos:

Guía de observación: Teniendo en cuenta lo anterior, la herramienta que se utilizará será una guía de observación, en la que se recopilará información in situ sobre las variables y objetivos de la investigación (Ver **Tabla 24**)

Tabla 5 en (ANEXO).

Guía de análisis documental: Esta guía de análisis de documentos se utilizará como herramienta porque se revisarán los documentos del departamento de operaciones de la mina. Este instrumento está diseñado para registrar información (Ver **Tabla 6** en ANEXO).

Instrumentos, materiales y equipos

Laptop: Se utilizó para procesar y analizar datos, los cuales fueron usados: JK

Simblast 2D Face, Microsoft Word, Excel.

Libreta de campo y lapicero: para anotar los datos tomados en campo.

2.4. Análisis y procedimiento de recolección de datos

2.4.1. Análisis de los datos

Método sistemático: Este método se utilizó porque se empleó como base el modelo matemático de Roger Holmberg, lo cual requiere la investigación ayudando a correlacionar los hechos y variables utilizadas, como la malla de perforación, voladura y la distribución de la carga explosiva, haciendo posible la simulación en el software JK Simblast.

Método de procesamiento de datos: Se recolectará toda la información necesaria mediante los instrumentos planteados, luego se procesarán y analizarán mediante el software Microsoft Excel. Una vez obtenidos los resultados del cálculo, se utilizará el software JK Simblast para simular voladuras para analizar la distribución de explosivos.

2.4.2. Procedimiento de recolección de datos

El desarrollo de la investigación abarcó las siguientes etapas: preliminar, de campo y gabinete

Etapas preliminar

En esta etapa, se indagaron y analizaron materiales bibliográficos como informes de perforación, voladuras, tipos de mallas, factores de carga, tipos de explosivos y dureza de roca en relación a la investigación. Además, se revisó los procedimientos de la voladura en la minera San Cayetano.

Etapas de campo

En esta etapa, la comprensión general del lugar de estudio se desarrolló en el lugar con visitas de campo. De tal manera se actualizaron los datos geomecánicos. Así mismo, para determinar el problema de investigación, se realizó una cuidadosa observación de las operaciones de perforación y voladura.

Etapas final de gabinete

En esta etapa, se seleccionó y organizó la información recolectada para analizar la distribución del explosivo. En esta etapa también se cuantificó y documentó gráficamente el análisis de los resultados obtenidos ayudando a comprender y mejorar la información. De tal manera los datos obtenidos in situ se procesaron en Microsoft Excel para un mejor análisis.

CAPITULO III: RESULTADOS

3.1. Realizar el análisis geomecánico del macizo rocoso

Los resultados se muestran en la **Tabla 7**. Se recolectaron 10 muestras para este ensayo, teniendo como tipo de roca la granodiorita. La resistencia a la compresión varía de 142.68 a 171.63 MPA y con una densidad promedio de 2.6 g/cm³.

Tabla 1

Cálculo de RMR

S I S T E M A R M R											
PARÁMETROS		VALOR	RANGO							VALOR	
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)		191.00	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)			12	
RQD (%)		90.60	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)			20	
Espaciamiento de discontinuidades (cm)		2 . 0 0	>2m (20)	0,6-2 m (15)	0,2-0,6m (10)	0,06-0,2m (8)	<0,06m (5)			15	
CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES											
Familia	Buz.	D. Buz	f / m	Persistencia	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4	
				Abertura	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	6	
				Rugosidad	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.rug osa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	3	
Agua subterránea					Seco (15)	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	10	
Orientación											

Rumbo perpendicular al eje de la excavacion				Rumbo paralelo al eje de excavacion		-5	
Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento					
Bz	Bz	Bz	Bz	Bz	Bz		
45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°		
Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable	Regular		
0	-2	-5	-10	-12	-		
J R C (B A R T O N B A N D I S)	RMR	100 - 81	8 0 6 1	6 0 4 1	4 0 - 2 1	2 0 - 0	65
	DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA	

En el análisis del RQD el resultado se obtuvo mediante lectura lineal, dando que el RQD es 91, pero se usó el RQD recomendado de 90.

El resultado final mostró que la RMR de la roca presente en el estudio fue de 65. Estos resultados indican que la clase de roca presente en el estudio es un buen tipo II.

3.2. Diseñar la malla de perforación y voladura en el software minero JK Simblast 2D

Face

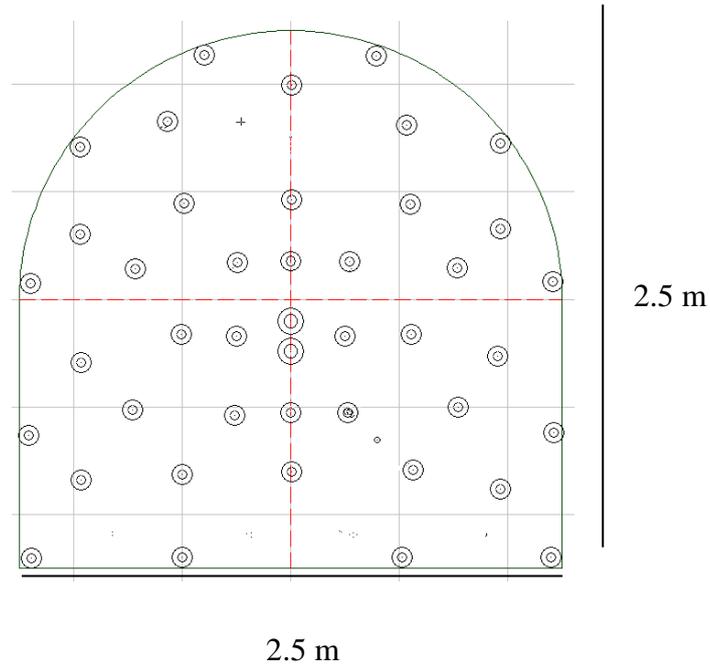
Los resultados de los cálculos de la perforación y voladura con malla utilizando el software de minería JK Simblast 2D se muestran en los anexos, en la **Tabla 8** hasta la **Tabla 18**. En la **Tabla 16**, El número de taladros de liberación es 2, taladros de inicio 16, taladros de arrastre 4, taladros cuadrados 4, taladros 4, taladros auxiliares 6 del taladro cuadrado, taladros auxiliares del anillo 3 y relleno 4. Finalmente, el número de taladros es 41 y el número total de taladros es 43.

En la **Tabla 17**, Expone la cifra de explosivo utilizado en cada columna del ejercicio de producción. La longitud de la columna de explosión es de 1.35m. y una longitud de taco de 0.45m. En total se hizo uso de 60.02 kg de dinamita. El volumen removido fue de 9.84 m³ equivalente a 25.58 toneladas, la efectividad del disparo fue de 95% y el facto de carga explosiva fue de 2.34 kg/t o 6.1 kg/m³.

El diseño de la cuadrícula de perforación y voladura en el software JK Simblast es de la siguiente manera:

Figura 1

Diseño de la malla de perforación y voladura en la galería de estudio



Nota. Elaborado mediante JK Simblast 2D Face

3.3. Analizar la carga explosiva mediante la distribución de energía en los taladros e isotiempos

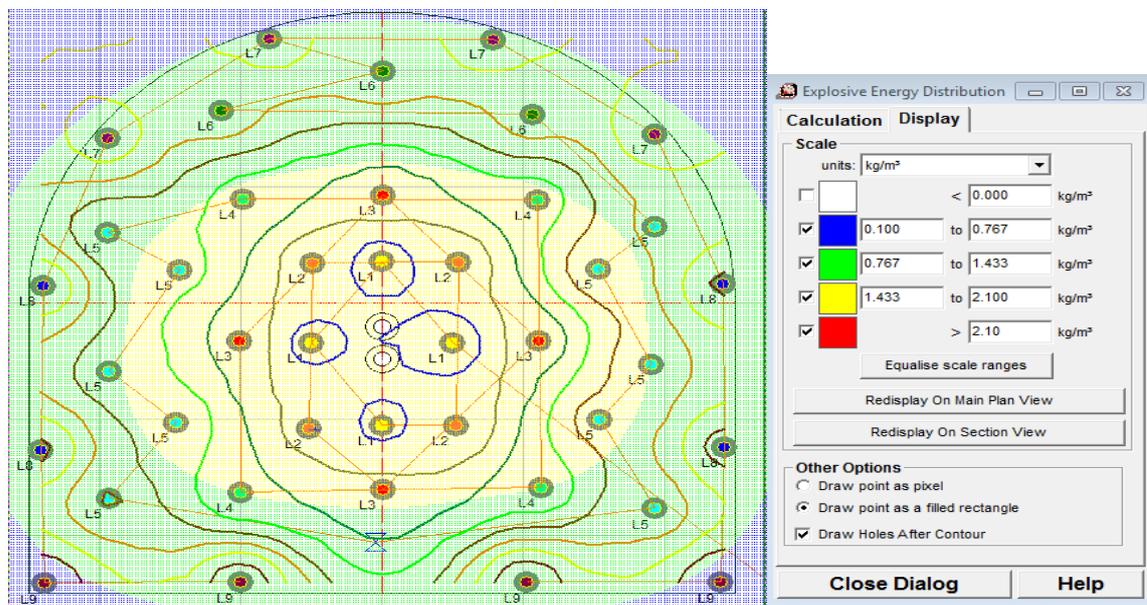
Mediante el uso del software JK Simblast 2D Face, se analizó la carga explosiva a través de la distribución de energía en taladros e isotiempo, y se obtuvo el resultado. Por esta razón, es necesario cargar explosivos en la malla de perforación para su posterior simulación y análisis, como se indica en anexos, en la **Figura 9** hasta la **Figura 17**.

En anexos (**Figura 15**), La velocidad explosiva de la carga al inicio es 3448,88 m / s, y en el contorno es 18082,22 m / s. Estos resultados obtenidos muestran que el orden y distribución de explosivos es suficiente

En anexos (**Figura 16**) se observó que la cantidad de explosivo explotó a 1020 m / s con de 0,7 kg, y también se puede observar que 0,6 kg de explosivo explotó a 18082,22 m / s. Esto se debe a que el explosivo está más bajo en la corona, zapatas y cuadradores.

Figura 2

Distribución de la energía y escala de rangos



Nota. Elaborado mediante JK Simblast 2D Face

En la **Figura 2**, Los explosivos de cada detonador están bien distribuidos. La distribución de energía final del explosivo es de 0,767 a 1,433 kg / m³ y de 1,433 a 2,1 kg / m³ en el arranque. Los resultados muestran que la carga explosiva está bien distribuida y no afecta el macizo rocoso fuera de la malla establecida.

3.4. Determinar los costes totales de la perforación y voladura

El costo total de los resultados de perforación y voladura se expone en los anexos desde **Tabla 16** hasta la **Tabla 26**.

Tabla 2

Cuadro resumen de los costos de la perforación y voladura

Resumen de los costos de perforación y voladura								
Mano de obra	Accesorios de voladura	Supervisión de la voladura	Implementos de seguridad	Herramientas usadas	Costo de perforación por disparo	Costo de voladura	Costo total de perforación y voladura	
(S./m)	(S./m)	(S./m)	(S./día)	(S./día)	(S./disparo)	(S./disparo)	(S./disparo)	(S./disparo)
116.16	67.46	65.05	9.34	5.19	36.25	1680.24		
(S./disparo)	(S./disparo)	(S./disparo)	(S./disparo)	(S./disparo)	(S./disparo)	(S./disparo)		(S./)
209.08	121.42	117.09	6.22	3.46	36.25	1680.24	2193.76	

En la **Tabla 2**, el costo obtenido es mano de obra, costo de accesorios de voladura, costo de supervisión de voladuras, costo de equipo de seguridad, costo de herramientas utilizadas, costo por taladro y costo de voladura. Los cuales sus costos por disparo fueron: 209.08 (S./disparo), 121.42 (S./disparo), 117.09 (S./disparo), 6.22 (S./disparo), 3.46 (S./disparo), 36.25 (perforación/disparo) y 1680.24 (S./disparo), respectivamente. El costo total fue de S./2193.76.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Según la malla de simulación de perforación y voladura para analizar el objetivo general de la distribución de carga explosiva de empresa Santa Cayetano en La Libertad 2023, el resultado es que la carga explosiva es de 0,7 kg en 1020 m/s, y 0.6 kg de la carga explosiva es detonada a 18082.22 m/s en los contornos. La distribución de la energía final de la carga explosiva es de 0.767 a 1.433 kg/m³ y en el arranque de 1.433 a 2.1 kg/m³. Estos resultados al ser comparados con Choque (2017) cuyo título de investigación fue "Diseño de perforación y voladura por el método Roger Holmberg para reducir las incidencias de voladuras deficientes en CÍA minera ARES S.A.C.-U.U.Arcata", los resultados que obtuvo fueron que la eficiencia de voladura se logra mediante propulsión lineal, desde una media de 2,33 m/disparo hasta una media de 2,97 m/disparo. Los productos se observan en el volumen de ejecución en cada mes de la explosión programada. A través del actual boceto de perforación y voladura, Roger Holmberg adoptó un método mejorado porque pudo reducir las estadísticas de defectos de voladuras de un promedio de defectos de voladuras a un promedio de 61 informes por mes y un promedio de 4 informes por mes. Está comprobado que el uso de la cantidad adecuada de explosivos en taladros y redes explosivas puede reducir diferentes factores, como el aumento de costos, las desviaciones diarias de producción y el aumento de la inestabilidad del macizo rocoso. De esta manera, se utiliza un software de simulación para determinar los posibles resultados de las voladuras.

Según el objetivo específico: realizar el análisis geomecánicos del macizo rocoso, los resultados obtenidos al recolectar 10 muestras muestran que el tipo de roca es granodiorita, y la resistencia a la compresión simple varía entre 142.68 y 171.63 MPA, y la densidad promedio 2,6 g / cm³. En la **Tabla 12** Calculo del RMR se muestran los resultados obtenidos del análisis RQD mediante lecturas lineales y las ecuaciones de Prist y Hudson, el resultado

es un RQD de 91, pero el RQD recomendado es 90. Como resultado final se obtuvo que el RMR de la labor de estudio es 65 tal como se muestra en la. estos resultados indican que el tipo de roca presente en la obra es buena tipo II. Estos resultados al ser comparados con los Butamante (2019) cuyo título de investigación fue "Optimización del diseño de malla aplicando la teoría de daño por vibraciones y el método de Holmberg" los resultados que obtuvo fueron que el nivel de dureza de los diferentes tipos de rocas es: roca buena RMR 75, roca buena RMR 65, para roca convencional RMR 55 y para roca convencional RMR 45. El PPV de Roca Buena RMR 75 se determina en 9.0 mm/s; 9.3 mm/s para Good Rock RMR 65; 9.3 mm/s para roca convencional RMR 55; 9.3 mm/s para roca convencional RMR 55 hasta 16.2 mm/s. para roca mala. Se comprueba que los resultados adquiridos en la investigación son similares a los obtenidos por el autor, por lo que se determina el rango de RMR relacionado con el tipo de roca. Para obtener el RMR de la roca se debe realizar el tipo de prueba y lectura lineal, de esta manera el autor no solo confirma el número RMR de la roca, sino que también confirma el PPV volado a través de ella.

Según el objetivo específico diseñar la malla **Tabla 11** de perforación y voladura en el software minero JK Simblast 2D Face, los resultados en la, El número de taladros de liberación es 2, inicio 16, arrastre 4, cuadrador 4, corona 4, auxiliar cuadrado 6, auxiliar de corona 3 y relleno 4. Finalmente, la salida de estos es 41, y el número total es 43. En la **Tabla 13**, muestra la cantidad de explosivo utilizado en cada columna de producción. La longitud de la columna de explosión es de 1.35m. y una longitud de taco de 0.45m. En total se hizo uso de 60.02 kg de dinamita. El volumen removido fue de 9.84 m³ equivalente a 25.58 toneladas, la efectividad del disparo fue de 95% y el facto de carga explosiva fue de 2.34 kg/t o 6.1 kg/m³. Estos resultados al ser comparados con Barrios (2019) obtuvo para su malla de perforación fueron: diámetro equivalente de 0.053, una longitud de perforación de 1.84m,

y la longitud de avance de 1.75m. El número de cartuchos usados por taladro fue de 5.27 equivalente a 6 con un peso por cartucho de 0.081kg. La malla sugerida es alivio 2, inicio 4, primer auxiliar 4, segundo auxiliar 4, subcuadrado 8, cuadrado 11, corona 4 y zapata 4, un total de 41 taladros, lo que indica que el resultado está relacionado con el diseño y Se obtuvieron recomendaciones que cambiaron el tamaño del trabajo de investigación. El autor menciona que la longitud de perforación es de 1,84 m, que es muy similar a la longitud de perforación de 1,80 m, mientras que la longitud de perforación es de 1,75 m y la longitud de perforación es de 1,71 m. Por otro lado, utilizó la misma cantidad de taladros de alivio, un total de 41, muy cerca de los 43 obtenidos en los resultados de la investigación.

Según el objetivo específico analizar la carga explosiva mediante la distribución de energía en los taladros e isotiempos, El resultado obtenido es que la velocidad explosiva en el momento de la detonación es de 3448,88 m / s, y en el contorno de la malla (corona, arrastre y cuadrador) es de 18082,22 m/s. Estos resultados obtenidos indican que la distribución de explosivos es suficiente. La cantidad de explosivo explotó a 1020 m / s fue de 0,7 kg, y también se puede observar que 0,6 kg de explosivo explotó a 18082,22 m / s. Esto se debe a que el explosivo está más bajo en la corona, zapata y cuadrador. Los explosivos de cada detonador están bien distribuidos. La distribución de la energía final de la carga explosiva es de 0.767 a 1.433 kg/m³ y en el arranque de 1.433 a 2.1 kg/m³. Estos resultados al ser comparados con Otrilla & Romero (2018) donde los resultados que obtuvo fueron que el factor de carga se incrementó de 3.51 kg/m³ a 2.38 kg/m³, reduciendo así el consumo de explosivos y teniendo un ahorro de \$15 por disparo. Luego de la mejora, se obtuvieron 34,000 toneladas de minerales en el segundo semestre de 2017; en el último semestre, su contenido mineral fue de 28,400 toneladas. Por tanto, la producción obtenida se incrementó en 5.600 Tn, lo que equivale a un incremento del 8%, lo que supone un

beneficio para la minera. Demostrando que, el autor optimizó su factor de carga explosiva en un 32.19%, siendo comparado al resultado obtenido en la investigación, ya que aumentó en 46.47%, Estos están muy cerca del porcentaje de cargas explosivas.

Según el objetivo específico determinar los costes totales de la perforación y voladura, los resultados obtenidos fueron que personal laboral, costo de piezas de voladura, costo de supervisión de voladuras, costo de equipo de seguridad, costo de herramientas de segunda mano, costo por broca y costo de voladura. Los cuales sus costos por disparo fueron: 209.08 (S./disparo), 121.42 (S./disparo), 117.09 (S./disparo), 6.22 (S./disparo), 3.46 (S./disparo), 36.25 (perforación/disparo) y 1680.24 (S./disparo), respectivamente. El costo general de perforación y voladura fue de S./2193.76. Estos resultados al ser comparados con Quezada (2017) con los nuevos diseños de mallas de perforación y voladura, el costo total de voladura lineal es de US \$ 536,31 / metro. En comparación con el autor, el costo de perforación y voladura es muy cercano. El resultado del coste total de perforación y voladura en el estudio es más alto porque el tipo de roca es más dura y se utilizan más explosivos. El costo del autor es menor porque su tipo de roca es II.

CONCLUSIONES

La cantidad de carga explosiva detonada es de 0.7 kg en 1020 m/s, y 0.6 kg de la carga explosiva es detonada a 18082.22 m/s en los contornos. De tal manera que la distribución de la energía final de la carga explosiva es de 0.767 a 1.433 kg/m³ y el arranque de 1.433 a 2.1 kg/m³.

La roca es de tipo granodiorita cuya resistencia a la compresión uniaxial se encuentra entre los rangos de 142.68 MPa a 171.63 MPa, con una densidad promedio de 2.6 g/cm³. Los resultados obtenidos del análisis RQD mediante la lectura lineal y la ecuación de Prist y Hudson, dio como resultado 91, pero se usó el RQD recomendado de 90. Estos resultados indicaron que el tipo de roca presente en la labor es buena de tipo II, con una cohesión de 3-4 kg/cm² y un ángulo de rozamiento de 35 a 45°.

Teniendo en cuenta la configuración de la malla de perforación la distribución de taladros es de la siguiente manera, 02 taladros de alivio, 16 taladros de arranque, 04 taladros de arrastre, 04 taladros cuadradores, 06 taladros auxiliares cuadradores, 03 taladros auxiliares de corona y 04 taladros de relleno. Los taladros de producción fueron 41 y la cantidad de taladros totales fue de 43. La longitud de la columna explosiva fue de 1.35m. y una longitud de taco de 0.45m. En total se hizo uso de 60.02 kg de dinamita. El volumen removido fue de 9.84 m³ equivalente a 25.58 toneladas, la efectividad del disparo fue de 95% y el facto de carga explosiva fue de 2.34 kg/t o 6.1 kg/m³.

La velocidad explosiva en el momento de la detonación es de 3448.88 m/s, y en los contornos de la malla (taladros de corona, arrastre y cuadradores) es de 18082.22 m/s. Estos resultados obtenidos mostraron que el secuenciamiento y el reparto de los explosivos es la adecuada. La cantidad de la carga explosiva detonada es de 0.7 kg en 1020 m/s, así mismo

se pudo observar que 0.6 kg de la carga explosiva es detonada a 18082.22 m/s. La distribución de la energía final de la carga explosiva es de 0.767 a 1.433 kg/m³ y en el arranque de 1.433 a 2.1 kg/m³.

El valor total de la perforación y voladura de S./2193.76

RECOMENDACIÓN

Se recomienda considerar si el factor de carga de voladura afecta la velocidad máxima de la onda expansiva y estudiar el daño causado por la voladura al macizo rocoso.

Se recomienda realizar estudios geomecánicos de manera periódica en las labores puesto que el tipo de roca puede ir variando generando que la malla de perforación y voladura sufra alteraciones, así como también de la cantidad de carga explosiva.

Considerando que el tipo de roca cambiará, se recomienda continuar trabajando en la investigación geomecánica, que cambiará directamente el boceto de la malla y la cifra de explosivos.

Se recomienda realizar un estudiar detalladamente los parámetros de la malla de perforación y voladura para su posterior optimización.

Se recomienda monitorear constantemente los diversos costos que involucra las operaciones de perforación y voladura con el objetivo final de optimizar el proceso y generando mayor rentabilidad a las unidades mineras.

REFERENCIAS

- Barrios Quispe, G. (2019). *Optimización del diseño de mallas de perforación y voladura de frentes aplicando el modelo matemático de Roger Holmberg*. Puno, Perú.
- Bravo Sánchez, I. (2018). *Estudio de vibraciones inducidas por tronadura en minera Spence*. Santiago de Chile.
- Butamante Cárdenas, F. (2019). *Optimización del diseño de malla aplicando la teoría de daño por vibraciones y el método de Holmberg*. Arequipa, Perú.
- Cano Mucha, J. (2019). *Estudio de vibraciones para la selección de explosivo óptimo en la unidad operativa Selene-Compañía minera Ares S.A.C. Filial de Hochschild*. Cerro de Pasco, Perú.
- Choque Velarde, E. (2017). *Diseño de perforación y voladura por el método Roger Holmberg para reducir las incidencias de voladuras deficientes en CÍA minera ARES S.A.C.-U.U.Arcata*. Puno, Perú.
- Contreras Pérez, W. (s.f.). *Selección del explosivo adecuado y carga máxima por retardo usando el monitoreo, modelamiento y análisis de vibraciones*. Lima, Perú.
- Córdova, D. (s.f.). *¿Qué es la geomecánica?* Obtenido de Geomecánica en Weebly: <https://mineria-in.weebly.com/introduccioacuten.html>
- JK Simblast. (s.f.). *¿Por qué utilizar JK Simblast en mi faena?* Obtenido de Spliteng: <http://www.spliteng.com/downloads/PorqueutilizarJKSimBlast.pdf>
- Lujan Ojeda, A. (8 de abril de 2017). *Diseño de malla de perforación y voladura*. Obtenido de SlideShare: <https://es.slideshare.net/anderssonlujanojeda/diseo-de-malla-de-perforacin>

- Mamani, A. (2017). *Definición del macizo rocoso*. Obtenido de SlidePlayer:
<https://slideplayer.es/slide/13538521/>
- Montoya Castillo, G., & Vilchez Tello, R. (2019). *Diseño de malla de perforación utilizando modelo matemático Holmberg para mejorar fragmentación de la voladura - Mina Santa Clotilde 7 – Chongoyape*. Chiclayo, Perú.
- Orellana Nirian, P. (s.f.). *Coste unitario*. Obtenido de Economipedia:
<https://economipedia.com/definiciones/coste-unitario.html>
- Otrilla Aguirre, G., & Romero Chávez, J. (2018). *Mejora en los parámetros de perforación y voladura para optimizar costos operacionales en la compañía minera Santa Luisa S.A.-Unidad Pallca*. Cajamarca, Perú.
- Quezada Jacobo, W. (2017). *Optimización de perforación y voladura aplicando el modelo matemático de Roger Holmberg en frentes de 3.5mx3m en roca tipo II veta Papagayo mina Poderosa 2017*. Trujillo, Perú.
- Ramírez Malca, W., & Sandoval Rivera, J. (2020). *Evaluación técnica de perforación y voladura para reducir costos operativos de una mina subterránea en Cajamarca-2020*. Cajamarca, Perú.
- Sánchez, F. (2019). Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: consensos y disensos. *Revista digital de investigación en docencia universitaria*, 13(1), 1-10. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-25162019000100008

Sanchez, V. (marzo de 2020). *Curso de JK Simblast* . Obtenido de Minería de cursos y libros:

<https://www.mineriadelibrosycursos.com/2020/04/curso-gratis-de-jk-simblast-2d-becnh-2d-face.html>

Vilca callata, Y. (2019). *Voladura controlada y reducción porcentual de dilución y costos en tajeo con uso de exsablock en la minera aurífera Retamas S.A. Puno, Perú.*

Westreicher, G. (s.f.). *Coste total*. Obtenido de Economipedia:

<https://economipedia.com/definiciones/coste-total.html>

ANEXOS

Tabla 3

Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Simulación de la malla de perforación y voladura mediante el software JK Simblast 2D Face	Según Lujan (2017), La trayectoria de la mala es un conjunto de agujeros perforados en la roca, estos agujeros tienen una posición, dirección, inclinación y profundidad específicas. El propósito de la línea de producción es reducir los costos de perforación y la cantidad de explosivos, obtener una buena alimentación, mantener el tamaño del bloque o la uniformidad de la pieza y determinar el orden de perforaciones y salidas. (p.1).	La simulación de la malla de perforación y voladura es un método de simulación que permite interpretar mejor los resultados de las voladuras en tiempo real, verificar y analizar la distribución de carga de los pozos, el tiempo de detonación y su secuencia. Daño a masas rocosas causado por la velocidad de las ondas.	Perforación	Longitud y diámetro del barreno (m)	Escala Razón
			Voladura	Diseño de la malla de perforación	
				Número de taladros	
Geomecánica	Cantidad del explosivo kg/m ³	RMR	Resistencia del macizo (Mpa)		
				RQD %	
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Distribución de la carga explosiva	Según Vilca (2019), la carga explosiva es la cantidad de explosivo a utilizar por taladros, teniendo en cuenta que no es	Considerando que la cantidad de explosivos para cada taladro es diferente, depende de la ubicación de los explosivos, que es la cantidad de explosivos que	Cantidad de carga explosiva	Masa kg)	Escala Razón

la misma distribución para todos (p.54).
se necesitan o se deben cargar.

Tabla 4

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	TIPO DE INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN	TÉCNICAS	MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS
¿Mediante el uso de la simulación de la malla de perforación y voladura mediante el software JK simblast 2D Face, se podrá analizar la distribución de la carga explosiva de la mina Santa Cayetano?	<p>General:</p> <p>Realizar la simulación de la malla de perforación y voladura en la mina San Cayetano–La libertad, 2023.</p> <p>Específico :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Realizar el análisis geomecánico del macizo rocoso. -Diseñar la malla de perforación y voladura mediante el software minero JK Simblast 2D face -Analizar la carga explosiva mediante la distribución de energía en los taladros e isotiempos - Determinar los costos totales de 	<p>La simulación de la malla de perforación y voladura permitirá analizar la distribución de la carga explosiva en la mina San Cayetano-La Libertad, 2023.</p>	<p>Variable Independiente:</p> <p>Simulación de la malla de perforación y voladura mediante el software JK simblast 2D face</p> <p>Variable Dependiente:</p> <p>Distribución de la carga explosiva</p>	<p>Aplicada</p> <p>DISEÑO</p> <p>No experimental transversal</p> <p>Nivel: Descriptivo</p>	<p>Galerías de la empresa minera</p> <p>MUESTRA</p> <p>Galería o subnivel donde se desarrollará el estudio.</p>	<p>Observación</p> <p>Análisis de datos</p> <p>INSTRUMENTOS</p> <p>Guía de observación</p> <p>Guía de análisis de datos</p>	<p>Método Analítico</p> <p>Este método se utilizará porque la causa y el efecto se pueden observar en función de la situación real del problema .</p> <p>Método sistemático</p> <p>El soporte de las diferentes teorías que sustentan la investigación ayudará a correlacionar los hechos y las variables a utilizar.</p>

la
perforación
y
voladura

Tabla 5
Guía de observación

Guía de observación				
Objetivo: Realizar el análisis geomecánico del macizo rocoso				
Instrucciones: Recolectar los datos de acuerdo con la guía de observación.				
Item	Calidad del macizo rocoso	Indicador	Resultados obtenidos	Observación realizada
1	RQD	%		
2	Separación entre diaclasas	m		
3	Longitud de la discontinuidad	m		
4	Abertura	m		
5	Relleno	mm.		
6	Alteración	escala		
7	Caudal de agua	l/m.		
8	Dirección y buzamiento	Ángulo		
9	Cohesión	Kp/cm ²		
10	Orientación de las discontinuidades	Dirección		
11	Excavación en contra o a favor de buzamiento			
12	Dimensiones de la labor	m		
13	Profundidad de la labor	m		
14	Presencia de daño a la labor			

Tabla 6
Guía de análisis documental

Guía de análisis documental				
Objetivo: Analizar documentos relacionados con el tema de investigación para lograr los objetivos planteados.				
Instrucción: Recopilar información según los Items establecidos.				
Item	Dimensión	Indicador	Análisis de los parámetros técnicos	Fuente documental
1	Perforación	Longitud y diámetro de barreno Diseño de malla de perforación		
2	Voladura	Número de taladros Cantidad del explosivo Eficiencia de la voladura		
3	Geomecánica	Resistencia del macizo rocoso RQD		
4	Costos totales	Costos unitarios de adquisición Costos unitarios de operación Costos unitarios variables		

Ecuación 1*Longitud de perforación*

$$L = 0.15 + 34.1\phi_2 - 39.4\phi_2^2$$

Fuente: Manual Exsa

Donde:

H: Longitud de perforación promedio (m)

 ϕ : Diámetro del taladro vacío (m)**Ecuación 2***Diámetro equivalente*

$$\phi_2 = \phi_2 \sqrt{NT}$$

Fuente: Manual Exsa

Donde: ϕ_2 = Diámetro del taladro de producción ϕ^2_2 = Diámetro del taladro hueco o vacío \sqrt{NT} = cantidad de taladros huecos o vacíos

Se debe encontrar la cantidad del avance real para cada intervalo dentro del rango efectivo del 95% de la profundidad perforada.

Ecuación 3

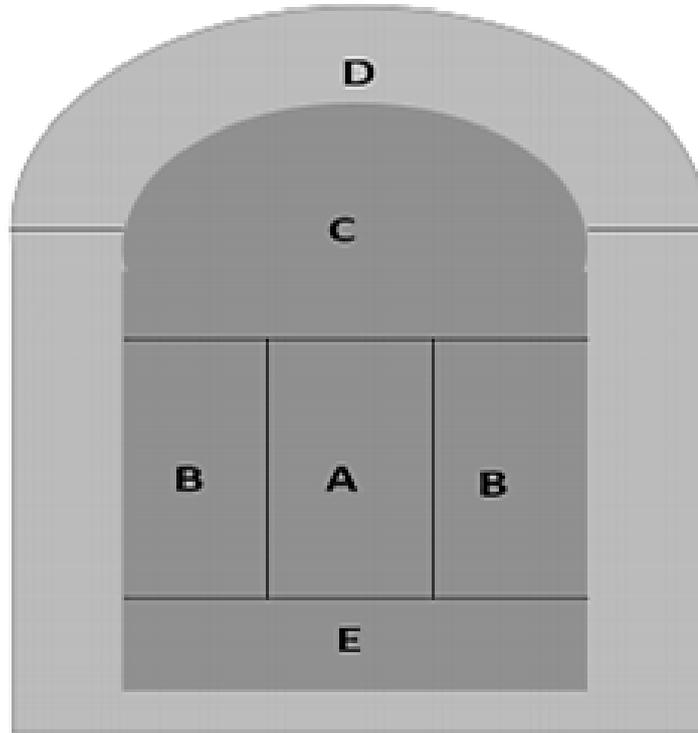
Profundidad real de la voladura

$$L = (\text{profundidad del taladro}) * 95\%$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Figura 3

Distribución de la malla de perforación



Ecuación 4

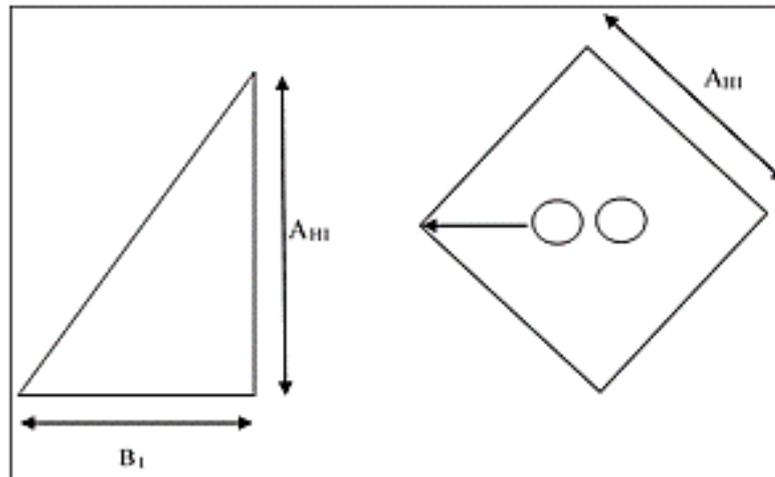
Burden cuadrante 1

$$B_1 = 1.7\phi$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Figura 4

Distribución de burden en el cuadrante 1



Ecuación 5

Burden práctico

$$Bp_1 = B_1 - Ep$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Ecuación 6

cuantificación del error de la perforación

$$Ep = (\alpha * L + e)$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Donde:

Ep = Error de perforación (m)

α = Desviación angular (m/m)

E = Profundidad de taladros (m)

e = Error del emboquillado (m)

Ecuación 7

Consumo específico del explosivo

$$C.E = \frac{0.56 * pr * \tan\left(\frac{GSI + 15}{2}\right)}{\sqrt[3]{\frac{115 - RQD}{3.3 \text{ kg/m}^3}}}$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Ecuación 8

Constante del material rocoso

$$C = 0.874 * (CE) + 0.052 \text{ kg/m}^3$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Ecuación 9

Factor de roca del material rocoso

$$A = 96.667(CE)^3 - 138.5(CE)^2 + 75.883(CE) - 4.41$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Ecuación 10

Cuantificación de la carga lineal

$$q1 = 55 * \phi 1 \left(\frac{B}{\phi 2}\right)^{1.5} * \left(B - \frac{\phi 2}{2}\right) * \left(\frac{C}{0.4}\right) * \left(\frac{1}{RWS_{anf o}}\right)$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Donde:

q1= Cuantificación lineal de la carga (kg/m)

Ø1= Diámetro de los taladros de producción

Ø2= Diámetro de los taladros huecos (m)

B= Burden (m)

C= Constante del material rocoso

$RWSanfo$ = Potencia relativa en peso del explosivo ANFO

Ecuación 11

Longitud de carga explosiva

$$Lc = \text{Profundidad del taladro} - \text{longitud de taco}$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Ecuación 12

Profundidad del taco

$$Lt = 10\phi 1$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Ecuación 13

Número de cartuchos por taladro

$$N \text{ cartuchos} = \left(\frac{q1 * lc}{\text{Peso del cartucho}} \right)$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Ecuación 14

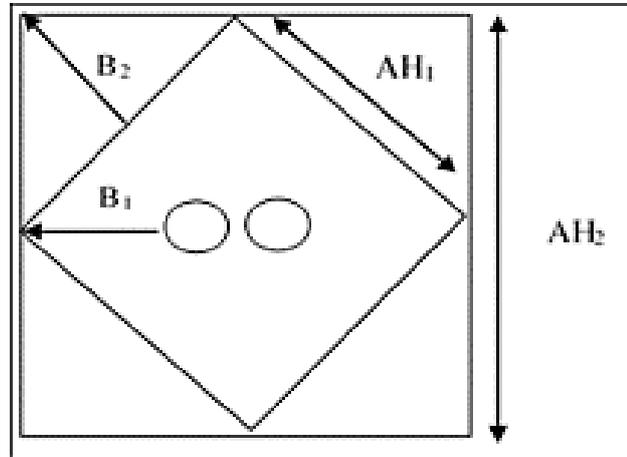
Burden cuadrante 2

$$B2 = 8.8 * 10^{-2} \sqrt{\frac{ah1 * q1 * RWSanfo}{\phi 1 * c}}$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Figura 5

Distribución del burden y espaciamiento en el cuadrante 2



Ecuación 15

Distancia de los taladros del cuadrante 1

$$Ah1 = \sqrt{2}(B - EP)$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Ecuación 16

Burden práctico B2

$$ah2 = \sqrt{2}\left(\frac{Ah1}{2} + B2\right)$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Ecuación 17

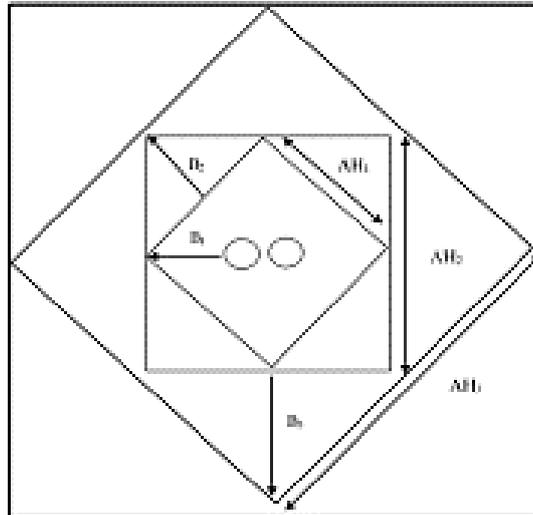
Burden cuadrante 3

$$B3 = 8.8 * 10^{-2} \sqrt{\frac{Ah2 * q1 * RWSanfo}{\varnothing1 * c}}$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Figura 6

Distribución de burden y espaciamento, cuadrante 3



Ecuación 18

Burden teórico

$$Bp3 = B3 - Ep$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Ecuación 19

Distancia de entre taladros Ah2

$$Ah3 = \sqrt{2} \left(\frac{Ah2}{2} + B3 \right)$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Ecuación 20

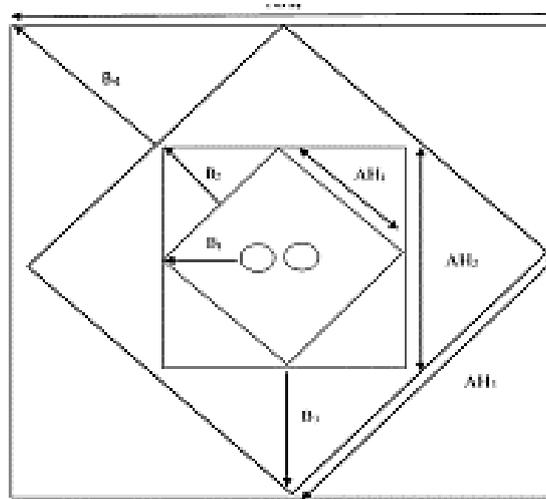
Burden cuadrante 4

$$B4 = 8.8 * 10^{-2} \sqrt{\frac{Ah3 * q1 * RWSanfo}{\emptyset1 * c}}$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Figura 7

Distribución de burden y espaciamiento, cuadrante 4



Ecuación 21

Arrastres

$$B = 0.9 \sqrt{\frac{q1 * RWSanfo}{C * f\left(\frac{S}{b}\right)}}$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Donde:

f= factor fijación.

S/B= relación del espaciamiento con respecto al burden =1

C= Corrección de la constante de roca.

C= c+0.05 burden ≥1.4.

C= c+0.05 burden <1.4.

Ecuación 22

cantidad de taladros en zapatas

$$NT = \left(\frac{Al + 2xL * seny}{B} + 2 \right)$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Donde:

L= Distancia de la perforación con 95%.

B= Burden en zapatas.

AI= Potencia de la labor (m)

Ecuación 23

Espaciamiento en arrastres

$$SA = \frac{\text{Ancho de tunel}(m)}{N^{\circ} \text{ de taladros} - 1}$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Ecuación 24

Espaciamiento de los taladros de corona

$$SC = k\phi 1$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Donde:

K= 15.

$\phi 1$ = Diámetro del taladro con carga explosiva.

Ecuación 25

Tamaño del arco

$$Lacont = \frac{\pi}{3} * \text{altura del tunel}(m)$$

Fuente: Manual de voladura Exsa

Ecuación 26

Burden de taladros en corona

$$B = \frac{Sc}{0.8} - L * \text{sen}3^{\circ} - 0.043$$

Fuente: Manual Exsa

Resultados

OE1:

Tabla 7

Ensayos de compresión simple (UCS)

Número de muestras	Tipo de roca	Resistencia a la compresión simple (MPA)	Densidad de la roca (g/cm3)
1	Granodiorita	170.12	2.61
2	Granodiorita	130.21	2.58
3	Granodiorita	141.35	2.56
4	Granodiorita	149.99	2.57
5	Granodiorita	164.52	2.64
6	Granodiorita	160.90	2.57
7	Granodiorita	147.21	2.61
8	Granodiorita	152.72	2.59
9	Granodiorita	159.91	2.55
10	Granodiorita	155.28	2.67

OE2:

Tabla 8

Parámetros de la malla de perforación

PARÁMETROS DE LA MALLA DE PERFORACIÓN	
Ancho de labor	2.5 m
Altura de labor	2.5 m
Radio de curvatura	1.25 m
Área Total	5.75 m ²
Perímetro	9.11 m

Tabla 9

Volumen a ser volado

VOLUMEN A SER VOLADO	
Taladros de Alivio (n)	2 unidades
Diámetro del T. de Alivio (DTH)	mm
Diámetro del T. Ficticio	127.28 mm
Long. de perforación (H)	1.80 m
Densidad de la roca	2.60 Ton/m ³
Efectividad del disparo	95 %
Long. Efectiva de avance	1.71 m
Volumen Teórico	10.36 m ³
Volumen Real	9.84 m ³
Masa Teórica	26.92 Ton
Masa Real	25.58 Ton

Tabla 10

Diseño de la malla de perforación y voladura

DISEÑO DE LAMALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA	
Roca	Dura
Diámetro del Taladro de Producción (D)	45 mm
Criterio de Ash	333.75 mm
Burden 1	0.14 m
Espaciamiento 1	0.20 m
Burden 2	0.14 m
Espaciamiento 2	0.33 m
Burden 3	0.23 m
Espaciamiento 3	0.57 m

Burden 4	0.40 m
Espaciamiento 4	0.96 m
Longitud Efectiva	1.31 m
Cantidad de cuadrantes	4

Tabla 11

Taladros en arrastres

Factor de rotura (k)	0.7
Densidad de explosivo	1.18
Velocidad de detonación (VOD)	5600 ms
N° de Taladros en el piso (Arrastres)	4
Espaciamiento real entre Arrastres	0.83 m
Burden entre Arrastres	0.72 m

Tabla 12

Taladros en cuadradores

Densidad de explosivo	1.14
Velocidad de detonación (VOD)	5600 ms
N° de Taladros cuadradores	2
N° de Taladros cuadradores Total	4
Burden	0.48 m

Tabla 13

Taladros en corona

Long. Del arco	2.96 m
N° de Taladros en la corona	4

Espaciamiento real en la corona	0.99 m
Burden	0.86 m

Tabla 14

Taladros auxiliares en cuadradores

PD Dinamita	43124.08 kg/cm2
N° de Taladros Auxiliares Caja	3
N° de Taladros Auxiliares Caja Total	6
Espaciamiento real en T. Auxiliares Caja	0.37 m
Burden en T. Auxiliares Caja	0.32 m
N° de filas	2
N° de columnas	2
Espacio entre columnas	0.29 m

Tabla 15

Taladros auxiliares en corona

Espacio disponible	-0.28 m
N° de Taladros Auxiliares Corona	3
Espaciamiento Auxiliares Corona	0.74 m
Burden Auxiliares Corona	0.64 m

Tabla 16

Resumen del número de taladros

NÚMERO DE TALADROS	
Tal. De Alivio	2
Tal. De Arranque	16

Tal. De Arrastre	4
Tal. Cuadradores	4
Tal. De Corona (Alzas)	4
Tal. Aux. Cuadradores	6
Tal. Aux. Arrastre	0
Tal. Aux. Corona	3
Tal. Relleno	4
TOTAL TAL. PRODUCCIÓN	41
TOTAL TALADROS	43

Tabla 17

Carga explosiva

VOLADURA		
Long. De Perforación	1.80	m
Taco	0.45	m
Columna explosiva	1.35	m
ARRANQUE - RELLENO - AUX. CUADRADORES		
Carga del taco	0.32	m
Cantidad de explosivo en la columna	1.03	m
Volumen de Carga/Columna	0.001638144	m ³
Tal Arranque+Relleno+Aux. Cuadradores	26	
Explosivo Equivalente Dinamita 1	44.67684214	Kg Dinamita
AUX. CORONA		
Carga de fondo	0.64	m
Carga de columna	0.71	m
Tal Corona	3.00	
Explosivo Equivalente Dinamita 2	4.51	Kg Dinamita
ARRASTRES		
Carga de fondo	0.32	m
Carga de columna	1.03	m
# Cartuchos	7.00	

Kg de Semigelatina Eq. Dinamita	1.68	Kg Dinamita
# Tal Arrastres	4	
Explosivo Equivalente Dinamita 3	6.72	Kg Dinamita
CORONA - CUADRADORES - AUX. ARRASTRE		
Carga de fondo	0.64	m
Carga de columna	0.71	m
Carga columna Eq. Dinamita	0.27	Kg
Carga explosiva Eq. Dinamita	0.51	Kg
# Tal Corona+Cuadradores+Aux.Arastre	8.00	
Explosivo Equivalente Dinamita 4	4.11	Kg

Tabla 18

Resumen de la cantidad de carga explosiva para la voladura

RESUMEN		
Explosivo Eq. Dinamita 1	44.68	Kg
Explosivo Eq. Dinamita 2	4.51	Kg
Explosivo Eq. Dinamita 3	6.72	Kg
Explosivo Eq. Dinamita 4	4.11	Kg Dinamita
Explosivo Eq. Dinamita TOTAL	60.02	Kg Dinamita

Tabla 19

Factor de la carga explosiva

FACTOR DE CARGA		
Volumen en m3 a extraer	9.84	m3
Volumen en tonelaje a extraer	25.58	Ton
Total de la cantidad del explosivo en el Frente	60.0226932	Kg
Eficiencia de disparo %	95	%
Volumen a extraer por taladro en m3	2.3466906	Kg/Ton

Figura 8

Parámetros de entrada para el diseño de la galería

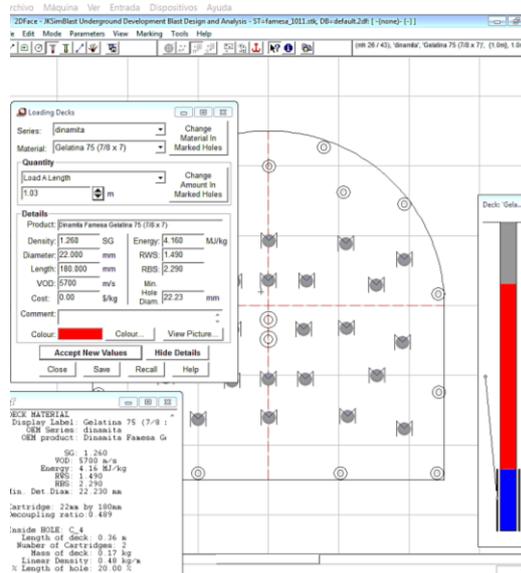
The image shows a software dialog box titled "Make Drive Outline". It contains the following fields and options:

- Drive Label:** Galería X1
- Geology:** ore
- Orientation** and **Shape** tabs are visible.
- Position** and **Dimensions** sub-sections are present.
- Drive Size:**
 - Width: 2.5 m
 - Height: 2.5 m
- Distance To Drive's:**
 - Left Wall: 1.25 m
 - Floor: 1.25 m
- Internal Drilling Region Size:**
 - Activate
 - From Left Wall: 0.000 m
 - From Right Wall: 0.000 m
 - From Back: 0.000 m
 - From Floor: 0.000 m
- Buttons: **Make Drive**, **Close**, **Help**

OE3:

Figura 9

Carguío de taladros



Se cargó los taladros con los explosivos de acuerdo con los resultados obtenidos de los cálculos anteriores.

Figura 10

Malla de perforación con taladros cargados

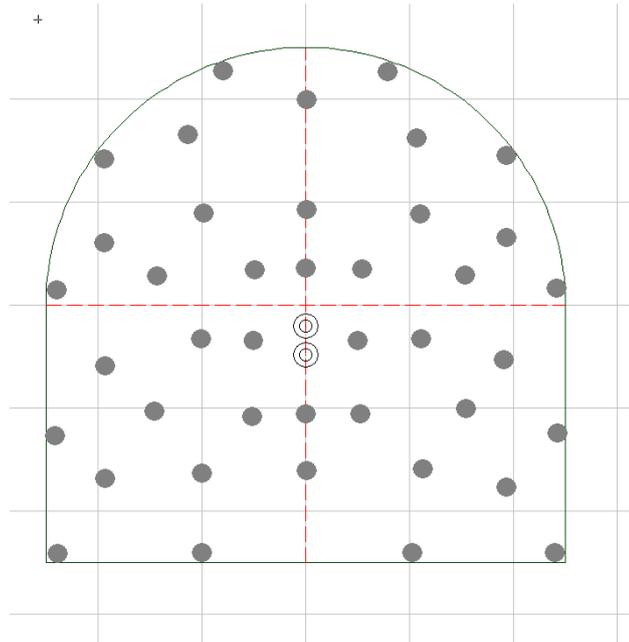


Figura 11

Carguío de taladros (Delay, conectores y primers)

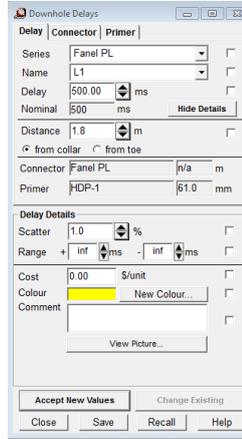


Figura 12

Malla de perforación con Downhole Delays

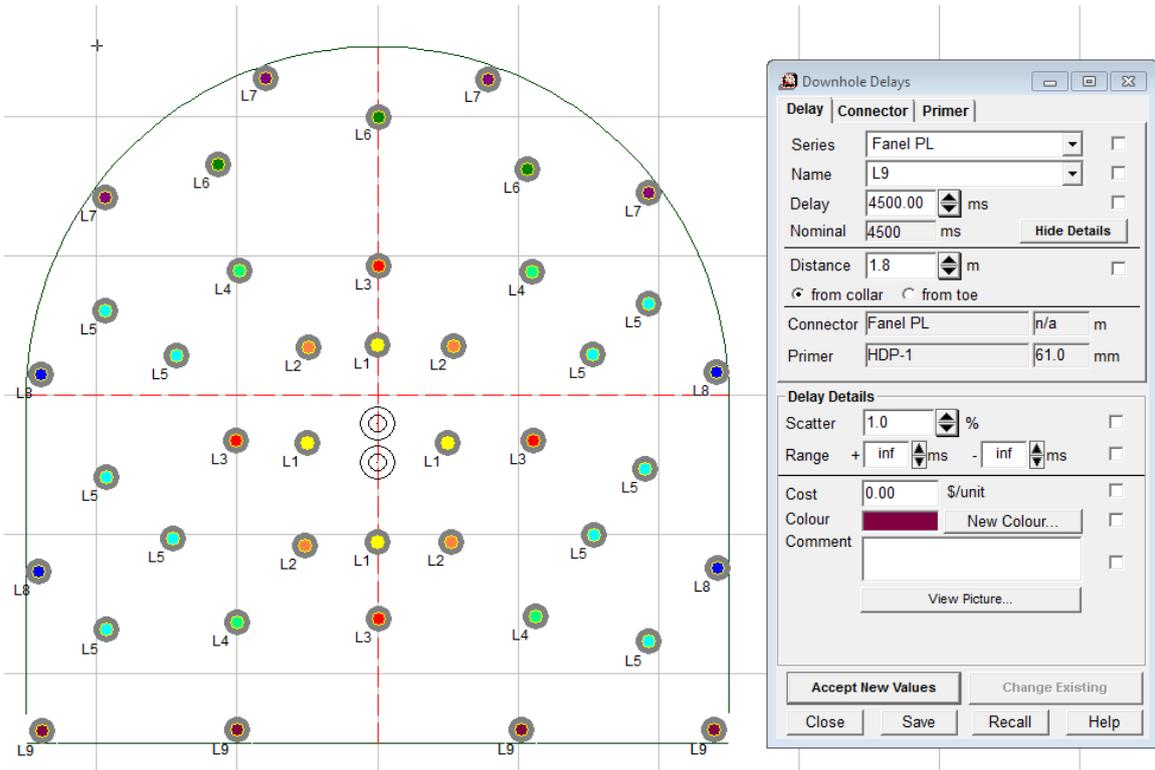


Figura 13

Amarres de los explosivos con mecha lenta

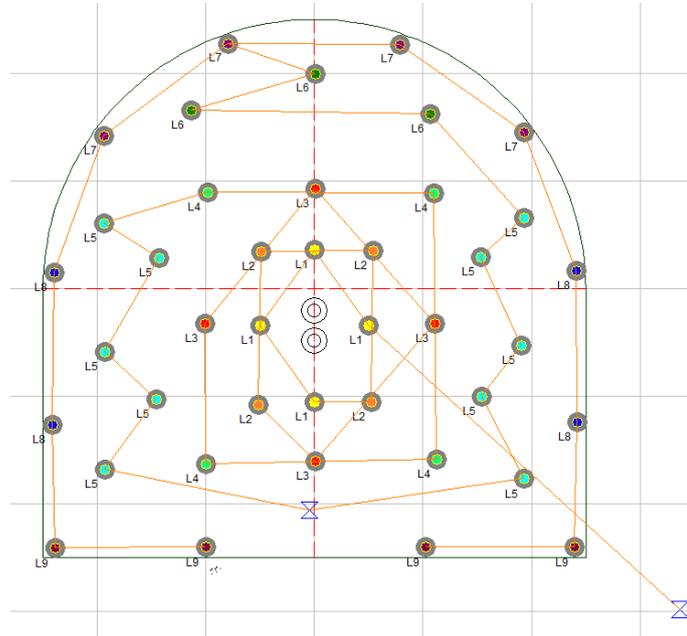


Figura 14

Simulación de la voladura

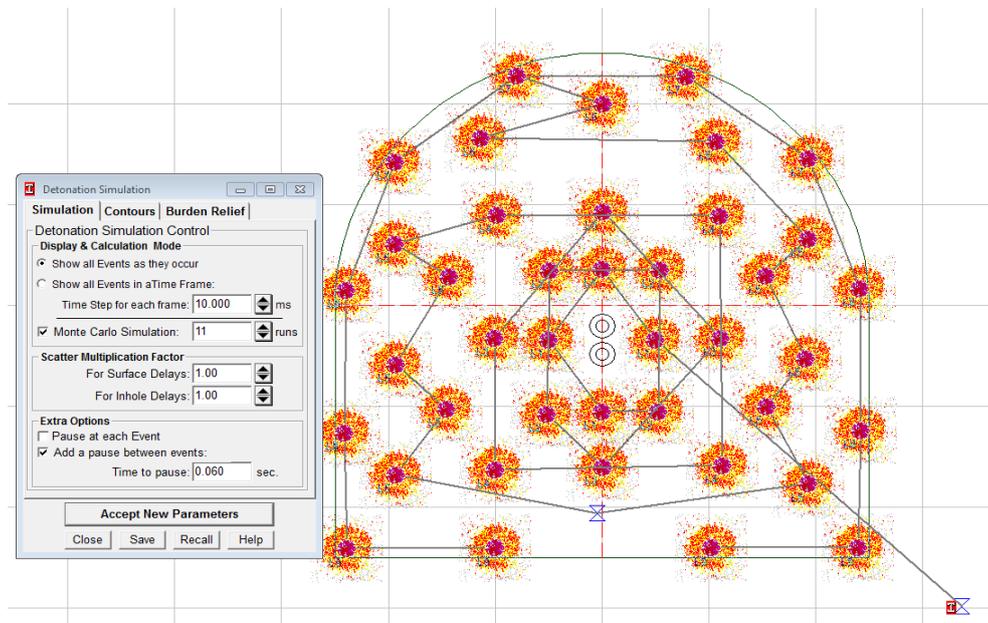


Figura 15

Líneas de isotiempo después de la simulación de la voladura

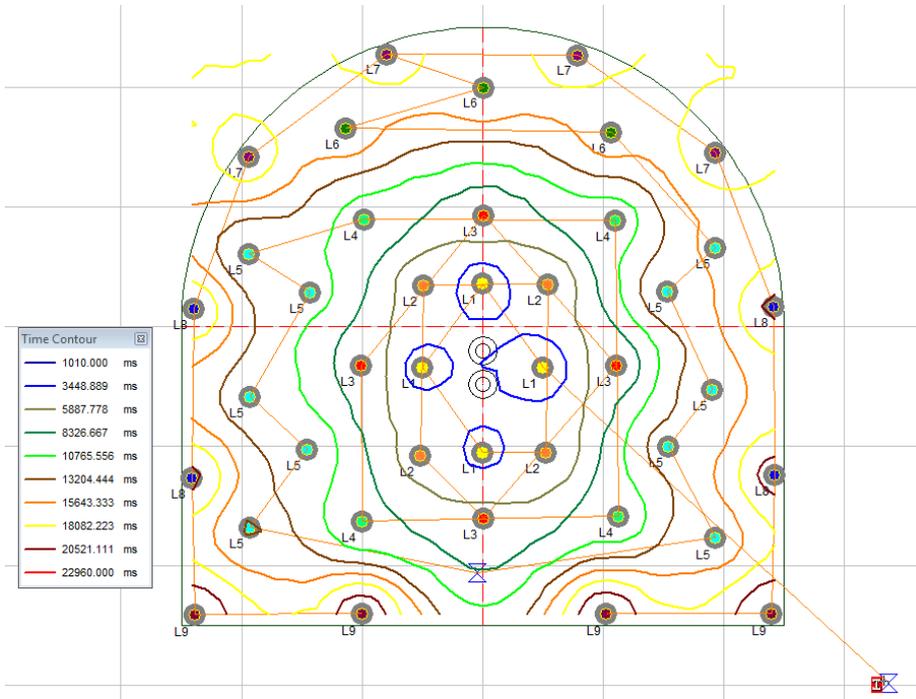


Figura 16

Cantidad de carga vs. tiempo de la detonación

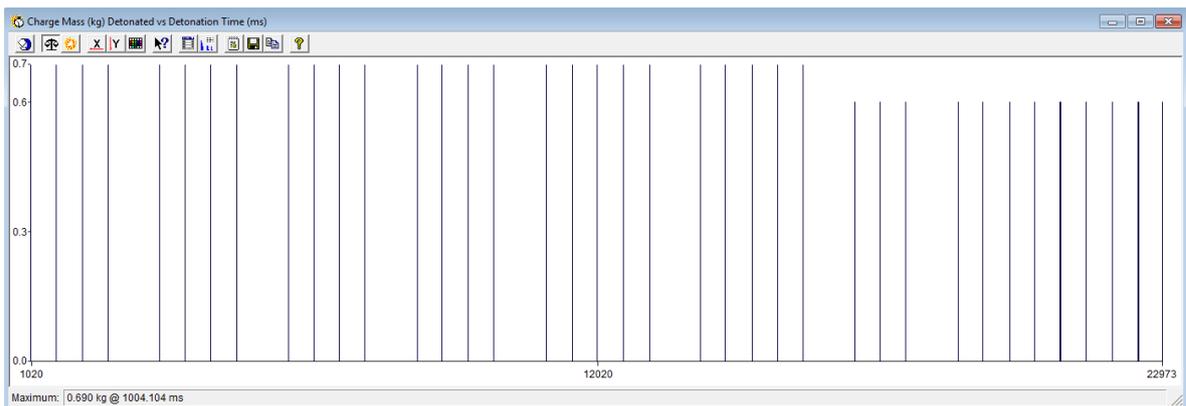
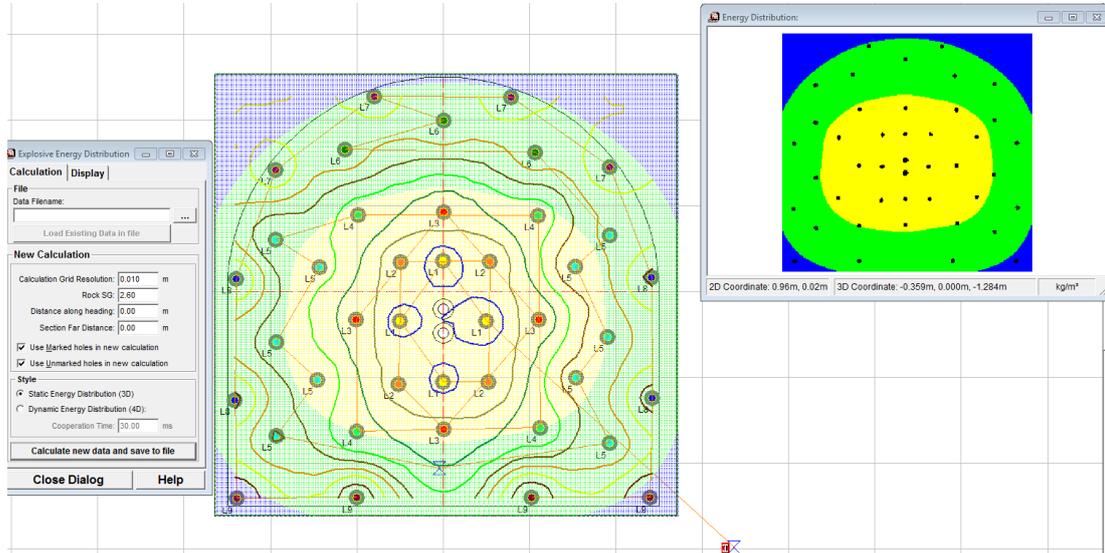


Figura 17

Análisis de la distribución de energía de la voladura



OE4:

Tabla 20

Parámetros de la galería de estudio

Galería de estudio	
Parámetros	
Taladros perforados	43
Taladros cargados	41
Avance	1.71
Tamaño del taladro	1.8
Tipo de roca	Granodiorita
Tipo de explosivo	Dinamita
N° de carmex	30

3.4.1. Costos de perforación

3.4.1.1. Cálculo de la cantidad de pies perforados:

Pies perforados = (Número de taladros cargados + Número de taladros vacíos) x Longitud de perforación x Eficiencia de perforación.

$$\text{Pies perforados} = (41+2) \times 5.7 \times 95\%$$

$$\text{Pies perforados} = 232.84 \text{ pies}$$

3.4.1.2. Precios para la perforación:

Máquina perforadora: S/. 14221

Aceite para perforación: 5.5 gl

Barreno integral de 6 pies: S/. 180

Alambre N° 15: S/. 0.20

Manguera 1 pulgada (25 m): S/. 55

Manguera ½ pulgada (25 m): S/. 30

3.4.1.3. Soles por pie

Para máquina perforadora:

soles por pie = precio de máquina perforadora/vida útil de máquina perforadora

$$\text{soles por pie} = 15570/100000$$

$$\text{soles por pie} = 0.1557 \text{ soles/pie}$$

3.4.1.4. Costos de perforación

Costo de perforación = Soles por pie x pies perforados

Costo de perforación = 0.1557 soles/pie x 232.84 pies

Costo de perforación = 36.25 soles/disparo

Los costos de la perforación se repartieron en la cantidad de pies perforados, los precios de la perforación y la cantidad de soles por pie perforado, los cual dieron como resultado final que el costo de perforación es de 36.25 soles por disparo.

3.4.2. Cálculo de costos de voladura

Tabla 21

Cálculo de los costos de voladura

Item	cantidad	indicador	Precio unitario (US\$)	Costo (US\$)	Costo (S./)
Explosivo Eq. Dinamita 1	44.68	Kg Dinamita	2.11	94.27	339.37
Explosivo Eq. Dinamita 2	4.51	Kg Dinamita	2.11	9.51	34.23
Explosivo Eq. Dinamita 3	6.72	Kg Dinamita	2.11	14.17	51.01
Explosivo Eq. Dinamita 4	4.11	Kg Dinamita	2.11	8.67	31.21
Total de explosivo	60.02	Kg Dinamita	2.11	126.62	455.82
Carmex 2.10m	30	metros	0.70	21	756
Mecha lenta	7	metros	0.5	3.5	12.6
Costo total de voladura			11.75	277.74	1680.24

En la **Tabla 21** el costo total de voladura es de 1680.24 soles, que se mide por la cantidad de explosivo utilizado en cada tipo de malla de perforación, el uso de Carmex y la mecha son 30 metros y 7 metros, respectivamente.

Tabla 22

Costos unitarios de mano de obra

Item	Remuneración por día (S/.)	Leyes sociales	Costo unitario (s/. /m)
Perforista	57.54	2.5	33.64
Ayudante Perforista	45.6	2.5	26.66
Ayudante Perforista 2	45.6	2.5	26.66
Compresorista	48	2.5	3.2
Motorista	53	2.5	3.5
Ayudante Motorista	48	2.5	2.7
Carrillero	54	2.5	3.5
Almacenero	52	2.5	3.1
Bodeguero	52	2.5	3.1
Chofer 1	50	2.5	3.3
Chofer 2	50	2.5	3.3
Mecánico	55.8	2.5	3.5
Total			116.16

Como se observa en la **Tabla 22**, el costo total de mano de obra de perforación y voladura es de 116.16 S./m, el cual se incluyeron los costos del perforista, ayudantes perforista 1, ayudante perforista 2, compresorista, motorista, ayudante motorista, carrillero, lamacenero, bodeguero, chofer 1, chofer 2 y mecánico, en la cual se puntúa su remuneración diaria en dichas operaciones.

Tabla 23

Accesorios de voladura

Item	Cantidad/disparo	Precio S/.	Avance (m)	Costo unitario (s/. /m)
carmex 3.00 Mts	30	2.15	1.71	64.5
Mecha lenta	4	1.35	1.71	2.96
SUBTOTAL				67.46

Tabla 24

Supervisión de la voladura

Item	Remuneración por día(S/.)	Leyes sociales	Costo unitario (s/. /m)
Ing. Residente	250	2.5	28.2
Ing. jefe de guardia	115	2.5	10.20
Ing. Seguridad	180	2.5	19.15
Capataz	85	2.5	7.5
Total			65.05

En la **Tabla 24**, muestra el costo unitario del personal responsable de supervisar las operaciones de perforación y voladura. El ingeniero residente, ingeniero jefe de guardia, ingeniero de seguridad y capataz tienen un costo unitario de 28.2, 10.20, 19.15 y 7.5 S/m, respectivamente. El costo unitario total fue de 65.05 S/m.

Tabla 25

Implementos de seguridad en la voladura

Item	Precio (S/.)	VIDA (Días)	Cantidad de trabajadores	Costo unitario (S./día)
Botas de jebe (par)	10.5	185	3	0.17
Chalecos	46	92	3	1.5
Pantalón de jean	37	92	3	1.21
Guantes de cuero (par)	15	92	3	0.49
Mameluco	65	185	3	1.05
Casco minero	35	185	3	0.57
Correa porta Lampara	10.5	271	3	0.12
Respirador polvo	65	365	3	0.53
Filtro polvo (par)	25	30	3	2.50
Tapones de oído	1.5	92	3	0.05
Lentes de seguridad	3.5	365	3	0.03
Tafilete para casco	10	185	3	0.16
Barbiquejo	1	185	3	0.02
Guantes de jebe (par)	28.5	90	3	0.95
SUBTOTAL				9.34

En la **Tabla 25**, se observa que el costo unitario total de las herramientas de seguridad utilizadas para las operaciones de perforación y voladura es de 9.34 S/. día, según los ítems tomados.

Tabla 26

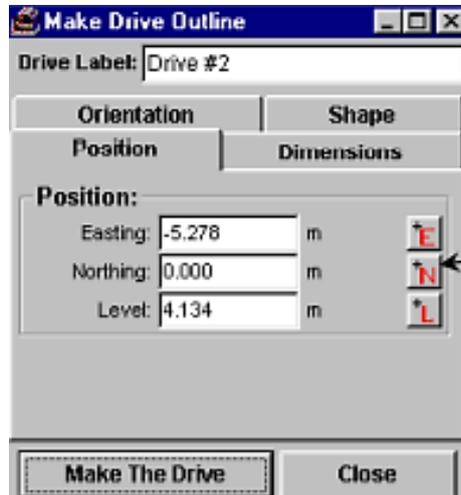
Herramientas usadas en voladura

Item	Precio (S/.)	Vida (Días)	Costo unitario (S/. /día)
Llave Stilson 12``	35	250	0.14
Pico con mango	25	35	0.71
Lampa	20.50	35	0.59
Barretilla 4`	23	23	1.
Barretilla 5`	28	23	1.22
Saca Barrenos	17.30	110	0.16
Comba 6 libras	35	165	0.21
Atacador 1"x 2.5 Mts.	15	25	0.6
Hoja de sierra	5	35	0.14
Cucharilla 6`	15	45	0.33
Punzon	1.5	28	0.05
Cuchilla	1	34	0.03
Total			5.19

En la **Tabla 26**, demostraron que el costo unitario total de las herramientas utilizadas para perforación y voladura fue de 5,19 S / día según el proyecto tomado.

Figura 18

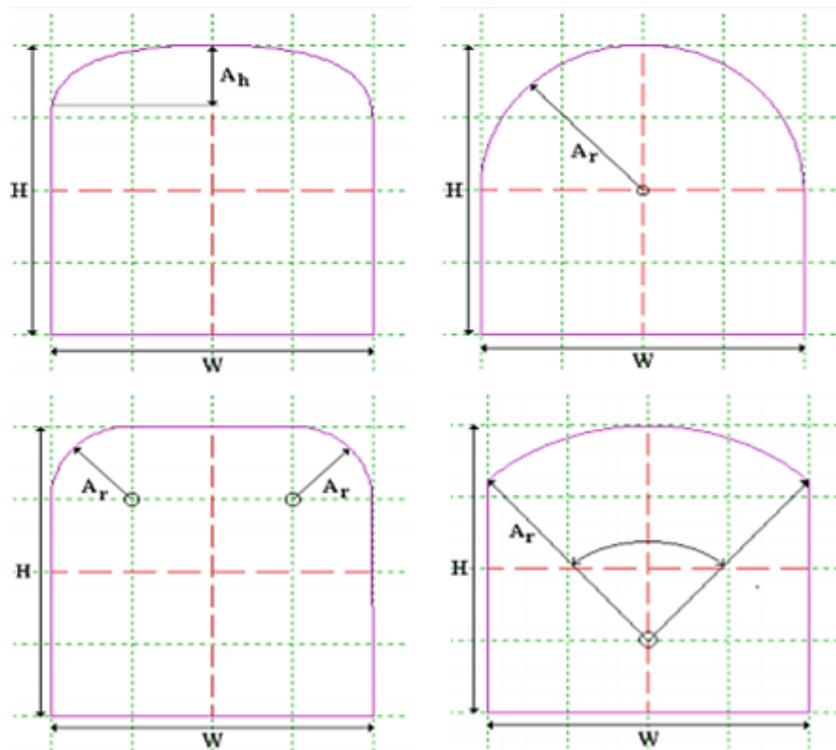
Ubicación espacial de la malla



Nota. Obtenido del JK Simblast 2D Face manual usuario

Figura 19

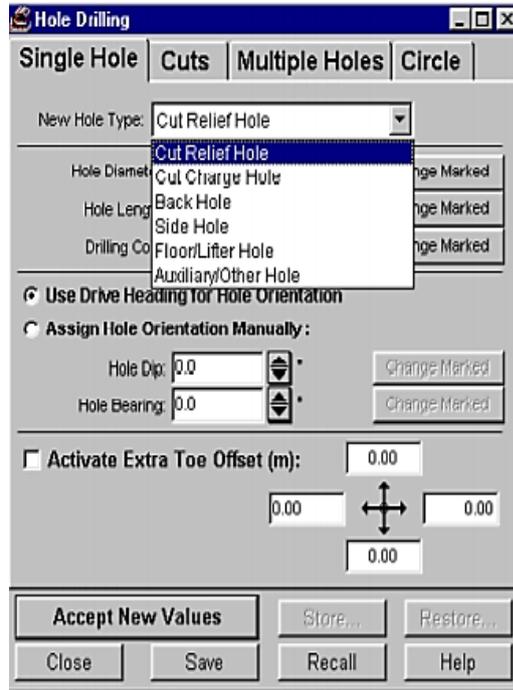
Tipos de arcos de voladura



Nota. Obtenido del JK Simblast 2D Face manual usuario

Figura 20

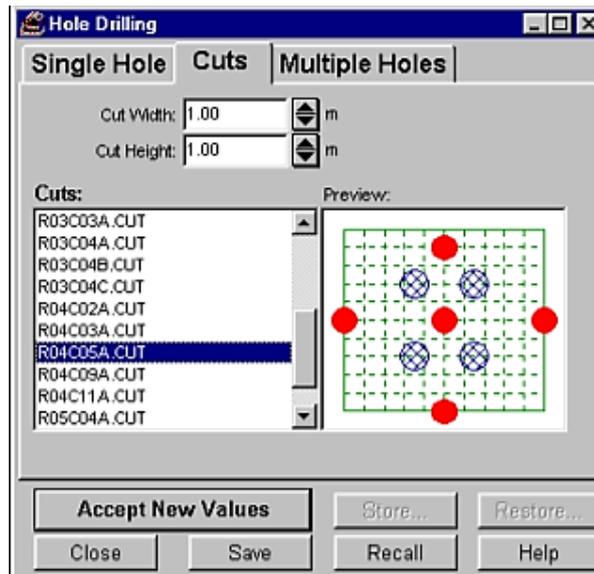
Diálogo de perforación



Nota. Obtenido del JK Simblast 2D Face manual usuario

Figura 21

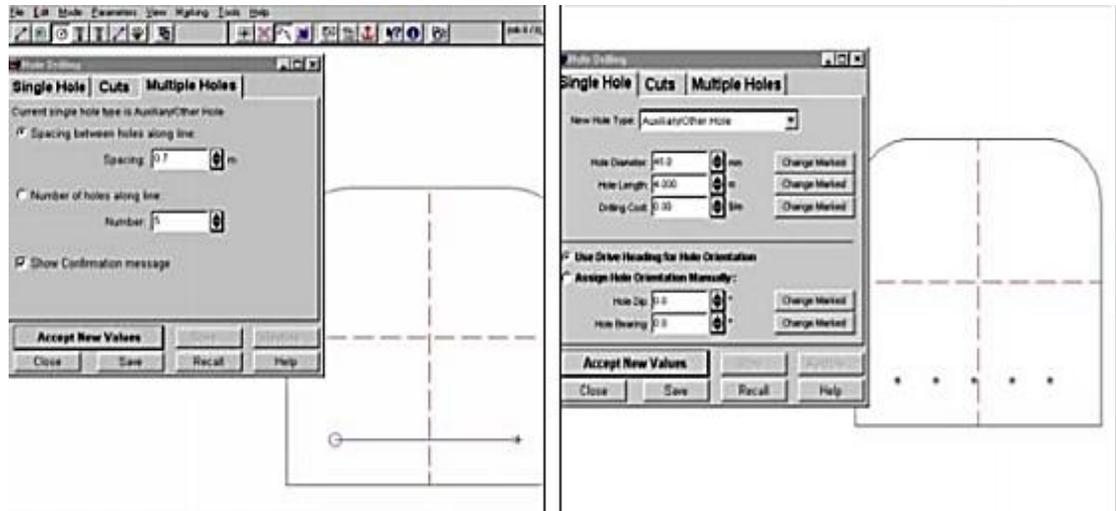
Tipos de corte



Nota. Obtenido del JK Simblast 2D Face manual usuario

Figura 22

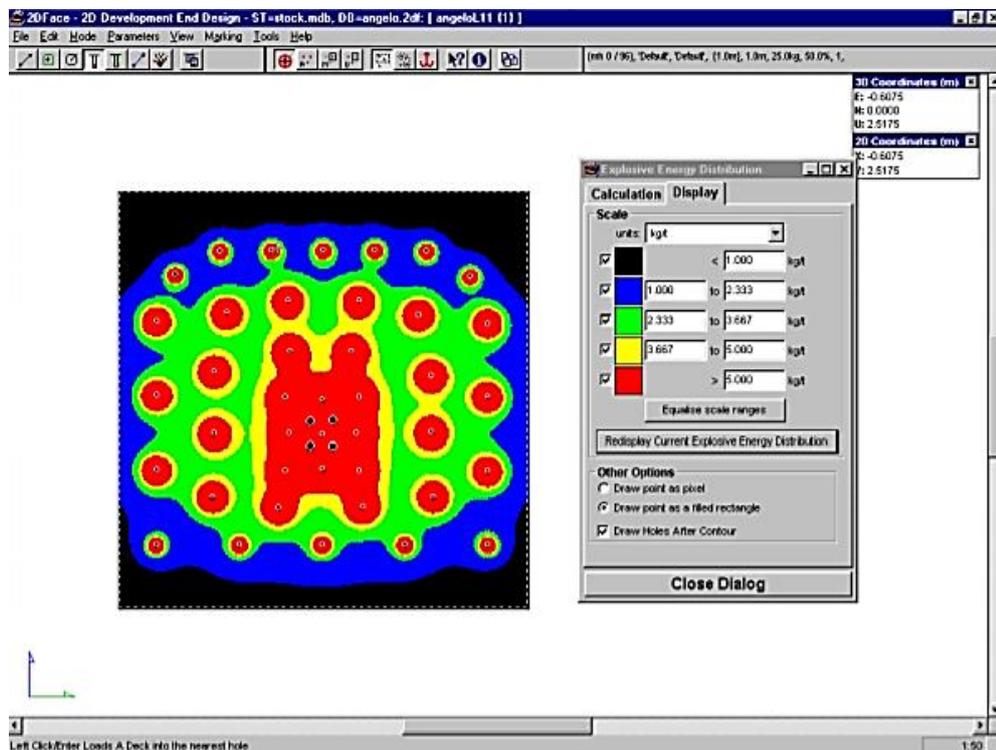
Perforación de taladros en una línea



Nota. Obtenido del JK Simblast 2D Face manual usuario

Figura 23

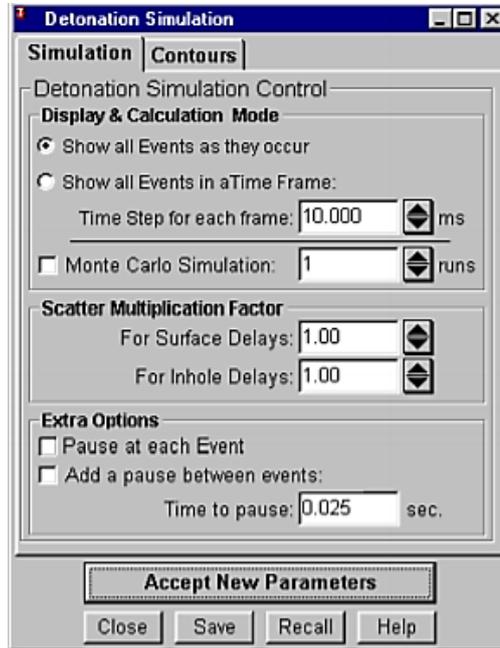
Simulación de la detonación de la carga explosiva



Nota. Obtenido del JK Simblast 2D Face manual usuario

Figura 24

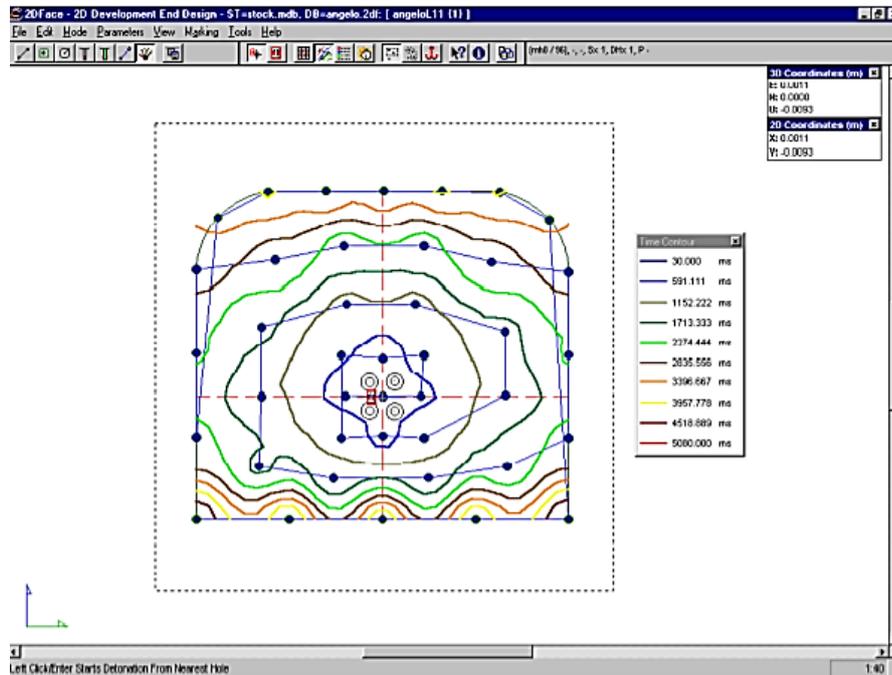
Parámetros para la detonación



Nota. Obtenido del JK Simblast 2D Face manual usuario

Figura 25

Simulación y análisis de isotiempos



Nota. Obtenido del JK Simblast 2D Face manual usuario

Figura 26

Licencia del JK Simblast 2D Face



Nota. Obtenido del JK Simblast 2D Face manual usuario