



Estudio de viabilidad en diseños de voladura para inclinado 1 a yacimiento de esmeraldas del título minero NKN 08152 ubicado en el municipio de Gachalá, vereda mesitas perteneciente al departamento de Cundinamarca

Diego Rubio¹, John Rincon² y Ricardo Carvajal³

RESUMEN

En minería subterránea, uno de los ítems importantes a cuantificar y que incide en los indicadores de rendimiento en los proyectos mineros es la fragmentación de la roca volada, ya que la granulometría puede limitar o aumentar los rendimientos en el cargue y transporte hasta los botaderos o escombreras. Por tanto, predecir un modelo de fragmentación ayuda a que la elección de una configuración de barrenos se pueda ajustar en sus dos parámetros geométrico como es el caso de Burden y Espaciamiento en función de una fragmentación que mejore el rendimiento y la eficiencia de la voladura. En este artículo se da a conocer un análisis comparativo de las metodologías tanto para el diseño de la malla de perforación y voladura como el ajuste a un Modelo de predicción de fragmentación de Kuz-Ram, Svedefo y Larsson teniendo en cuenta las características del explosivo y la distribución de los barrenos en el frente del túnel.

El título minero NKN 08152 se encuentra ubicado en el municipio de Gachalá, vereda mesitas perteneciente al departamento de Cundinamarca, el cual hace parte del cinturón esmeraldífero oriental CEOR, en donde se diseñan las labores de acceso apropiadas para el aprovechamiento racional del recurso en mención.

Una vez determinada las labores de acceso se plantea un diseño de la malla de perforación y voladura que permita un óptimo rendimiento en el avance del túnel y a su vez controlando vibraciones, proyecciones, sobreexcavación en el túnel y obtener un área de la sección trasversal de laboreo acorde a la normatividad vigente, lo que significa para la empresa un ahorro considerable de tiempo y recursos.

PALABRAS CLAVE: Diseño de voladuras, explosión en túneles, optimización del diseño de malla de perforación y voladura, predicción de la fragmentación.

ABSTRACT

In ground mining, one of the important items to quantify and that affects the performance indicators in mining projects is the fragmentation of the blasted rock, since the granulometry can limit or increase the performance in loading and transport to the dumps or waste dumps. Therefore, prediction a fragmentation model helps the choice of an auger configuration can be adjusted in its two geometric parameters such as Burden and Spacing according to a fragmentation that improves the performance and efficiency of blasting. This article presents a comparative analysis of the methodologies for both the design of the drilling and blasting mesh and the adjustment to a Kuz-Ram, Svedefo or Larsson fragmentation prediction model, taking into account the characteristics of the explosive and the distribution of the blast holes in the tunnel face.

The mining title NKN 08152 is located in the municipality of Gachalá, Mesitas village belonging to the department of Cundinamarca, which is located in the eastern emerald

belt CEOR, where the appropriate access works are designed for the rational use of the resource in question. Once the access works are determined, a design of the drilling and blasting mesh is proposed that allows an optimum performance in the tunnel advance and at the same time controlling vibrations, projections, over-excavation in the tunnel and obtaining an area of the cross section of the workings according to the current regulations, which means for the company a considerable saving of time and resources.

KEYWORDS: Blasting design, blasting in tunnels, optimization of drill and blast mesh design, fragmentation prediction.

-
- 1 Ingeniero de Minas, Estudiante Especialización Técnicas de Voladura en Obras de Ingeniería Civil y Militar Escuela de Ingenieros Militares. Bogotá, Colombia. diegoandresrc@ufps.edu.co
 - 2 Ingeniero industrial, Asesor disciplinario, Especialista en Técnicas de Voladura en Obras de Ingeniería Civil y Militar Escuela de Ingenieros Militares. Bogotá, Colombia. john.rincon@esing.edu.co
 - 3 Licenciado en Filosofía e Historia, Magíster en Educación, Asesor metodológico de la investigación, Escuela de Ingenieros Militares. Bogotá, Colombia. r.carvajal@esing.edu.co

Introducción

La utilización de material explosivo y accesorios de voladura es posiblemente la actividad más utilizada para el fracturamiento de las rocas. Así mismo, una forma de ajustar los diseños de malla de perforación y voladura en minería subterránea es a través de un modelo predictivo de fragmentación para evitar la presencia de sobre tamaños en la pila de material volado y así impedir la ejecución de voladuras secundarias o la necesidad de romper los tamaños mediante medios neumáticos como el martillo M33, sumando al sobre costo proyectado e incurriendo en demoras en los tiempos planeados en la ejecución de labores. Un parámetro que va a precisar el resultado de una voladura es la granulometría del material fracturado y la forma de cuantificarlo, es a través del índice de fragmentación medio X50, que se obtiene mediante las propuestas de los investigadores Kuzram, Svedeffo y Larsson, la mejor opción será la que facilite el acarreo del material hasta los botaderos del proyecto minero. La presente investigación pretende Analizar las metodologías para el diseño de la malla de perforación y voladura aplicables a la minería subterránea y su incidencia en los resultados de la fragmentación teórica en función de las características del Indugel Pm y los parámetros geométricos de diseño teniendo en cuenta las propuestas de los investigadores el Dr. Konya, Dr. Holmberg y el Dr. Pearse.

Este trabajo de investigación clasifico la metodología en los principios de Hernández Sampieri en su libro [1] de los cuales se determinó que el enfoque de la investigación es mixto por la combinación del enfoque cuantitativo y el cualitativo, así mismo, el alcance que puede lograr la investigación es descriptivo, explicativo y comparativo, ya que, fundamentalmente busca describir los detalles y características demostrables de la aplicación de diferentes teorías sobre técnicas de voladura que permiten plantear varios diseños de malla de perforación y comparar estos mismos de acuerdo a indicadores teóricos de fragmentación. Así, la investigación se desarrolla en 5 fases para cumplir con cada uno de los objetivos trazados en la investigación. En la fase I Exploración geológica del suelo y subsuelo comprende las visitas de campo realizadas al título minero NKN 08152, en donde se efectúa un reconocimiento del área de estudio, realizando una caracterización geomecánica, así mismo observando un macizo rocoso sedimentario diaclasado, afectado por 3 o 4 familias de discontinuidades como se aprecia en el afloramiento 1 y 2, antes de llegar a el sitio conocido como el Alto de la divisa como se observa en las figuras 1 [2],2 [3]

En la fase II Planteamiento de Labores de acceso al yacimiento El planeamiento minero debe realizarse teniendo en cuenta la viabilidad técnica, económica, social y ambiental. En relación a lo anterior, se debe considerar el diseño de la explotación, la programación de la producción, la gerencia o administración de la operación minera y el plan de cierre y abandono de las Bocas minas que puede ser de forma total, parcial o progresiva. En este orden de ideas los proyectos mineros deben abordar un enfoque social en el que se promulguen acuerdos con la comunidad y a su vez, exista una oportunidad de aprendizaje continuo y desarrollo conjunto de los habitantes de los corregimientos, veredas y municipios aledaños al proyecto minero. De igual forma se tiene en cuenta la viabilidad ambiental para dar un adecuado manejo y disposición de sobrantes con su respectiva disposición final, cuidado y preservación de los recursos hídricos presentes en el proyecto como lo son: caño chichorro, caño colorado, la ubicación de las dos Bocaminas se observa en la figura 3.



Figura 1. Afloramiento 1 Antes del alto de la divisa.
Fuente: [2]



Figura 2. Afloramiento 2 Antes del alto de la Divisa. Fuente:
[3]



Figura 3. Ubicación de Pozo 1 e inclinado 1.
Fuente: [13]

En la fase III Comparación de los resultados, en la figura 4 se presenta una vista transversal del tunel inclinado 1, sobre el cual se presenta el diseño de las mallas de voladura.

Se comparan el trabajo que se hizo en el campo, el mapeo geomecánico, los resultados obtenidos muestran una estratificación principal dominante y dos familias de discontinuidades que tienen una longitud entre 5 y 10 cm. Las propiedades estructurales del macizo rocoso son las que más condicionan la perforación y voladura. Las características geomecánicas del macizo rocoso son un conjunto de propiedades no controlables en el diseño de la voladura, el diseño que se debe acomodar a dichas propiedades de manera ideal, esto se alcanza calculando parámetros de la roca, y de perforación.

SECCION TRANSEVERSAL TUNEL

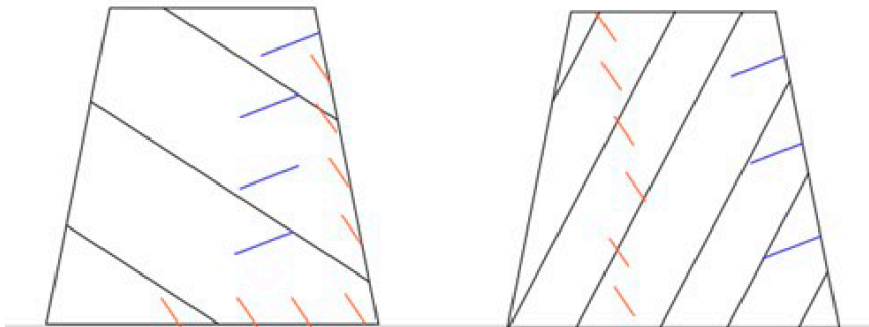


Figura 4. Vista transversal de túnel inclinado 1.

Fuente: [14]

En la fase IV Diseños propuestos de la malla de voladura. En minería subterránea la roca se encuentra confinada, por tanto, se debe generar una cara libre paralela al eje de los barrenos. La segunda cara libre se produce por la detonación o salida de barrenos que generan un corte en el frente del túnel, de acuerdo a la distribución, el diámetro y dirección de los barrenos del cuele.

Para el análisis de perforación y voladura se utilizó las fórmulas propuestas por el método de Konya; en el cual se tienen en cuenta parámetros como el diámetro del taladro, las propiedades de la roca, propiedades del explosivo, condiciones de la sección trapezoidal de túnel. El esquema de tiro es la ubicación en el frente del túnel de los barrenos que se van a perforar, la convención para los barrenos cargados y el orden en que se va a hacer detonar cada barreno, planeándose antes del inicio de la obra con base a la experiencia y a una serie de fórmulas empíricas. Posteriormente, a lo largo del avance del túnel, se va ajustando en función de los resultados obtenidos en cada voladura como se observa en las figuras 5,6 y 7.

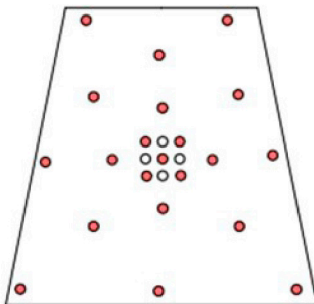


Figura 5. Diagrama de tiros inclinado 1. Método de Konya.
Fuente: [15]



Figura 6. Diagrama de tiros inclinado 1. Método de Holmberg.
Fuente: [16]

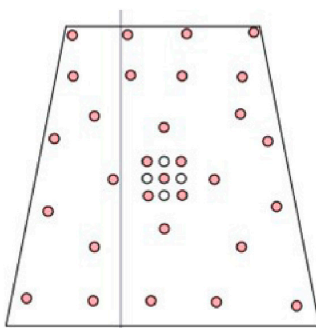


Figura 7. Diagrama de tiros inclinado 1. Método de Peras.
Fuente: [17]

Un esquema de perforación es una representación gráfica en donde se indica la disposición de los distintos barrenos que tiene por propósito crear una excavación de dimensiones requeridas. Para el diseño de la malla de perforación se utilizará la metodología de diseño de geometría y cargas basado en fórmulas empíricas obtenidas a partir de investigaciones y experiencias realizadas por diferentes autores.

Los esquemas de voladuras de interior son muy reducidos, por dos razones: una, porque las voladuras tienen difícil salida, y la otra, por ser necesario obtener granulometrías pequeñas acorde con los medios de carga y transporte utilizado, apto para interior. Otra particularidad, a considerar entre el conjunto de labores de interior y a cielo abierto, es la toxicidad de los gases de voladura que, en interior, adquiere una gran importancia y en definitiva selecciona el tipo de explosivo a utilizar. [4]

Metodologías para el diseño de mallas de perforación y voladura en túneles: Holmberg

Según la metodología de Holmberg se puede calcular la longitud de la perforación en función del diámetro equi- valente mediante (1):

$$L = 0,15 + 34,10 * D - 39,40 * 2 \quad (1)$$

donde:

L = Profundidad (m)

DH = Diámetro del Barreno (mm). Konya

La profundidad de los barrenos, los cuales romperán hasta un 95% o más de su profundidad total. puede ser determinado con (2) [5]

$$L = (D_H+1651)/41,67 \quad (2)$$

donde:

L = Profundidad (m)

DH = Diámetro del Barreno (mm).

Calculo de las dimensiones del arranque

En la figura 8 se observa la distribución geométrica de un cuele a cuatro secciones.

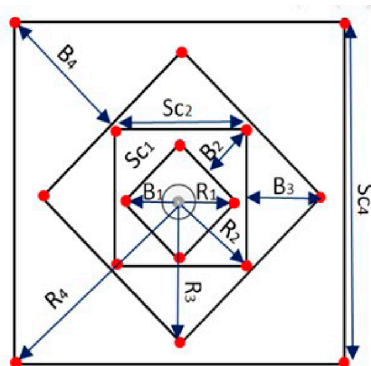


Figura 8. Gr\u00e1fico cuadrantes metodol\u00f3g\u00eda Konya.

Fuente: [6]

Para el c\u00e1lculo del primer burden y el espaciamiento para el cuele tipo corte quemado a cuatro secciones, el Dr. Holmberg propuso (3) y (4):

$$Bt1 = 1.5 * \varnothing v - Ep \quad (3)$$

D\u00f3nde:

Ep = error de perforaci\u00f3n (m).

α = Es la desviaci\u00f3n angular (m/m).

H = Profundidad del taladro en (m).

β = Denota la desviaci\u00f3n en el collar o error de emboquille (m).

$$Ah1 = Bt1 * \sqrt{2} \quad (4)$$

As\u00ed mismo el Dr. Konya realizo aportes importantes para el dise\u00f1o del arranque, en el cual se puede aplicar las f\u00f3rmulas de la tabla 1.

Tabla 1. F\u00f3rmulas para el c\u00e1lculo de cuadrantes Konya

Burden	Radio
$B1 = 1,50 Dh$	$R1 = 1,50 Dh$
$B2 = 2,12 * Dh$	$R2 = 3,18 Dh$
$B3 = 4,50 Dh$	$R3 = 6,75 Dh$
$B4 = 9,54 Dh$	$R4 = 14,31 Dh$
Espaciamiento	Taco
$Sc1 = 2,12 Dh$	$T1 = 1,50 Dh$
$Sc2 = 4,50 Dh$	$T2 = 1,06 Dh$
$Sc3 = 9,54 Dh$	$T3 = 2,25 Dh$
$Sc4 = 20,23 Dh$	$T4 = 4,77 Dh$

Fuente: Tomado de manual de Konya [19]

Predicción de la fragmentación:

En la figura 9 se observa la gráfica esquema de una curva granulométrica, la cual indica en el eje X, representada por el tamaño de la partícula y un porcentaje pasante Fu que está en función de estos tamaños de partícula X. El punto de intersección se refiere al tamaño medio X50 del material pasante, o dicho de otro modo el tamaño que pasa el 50 % del acumulado.

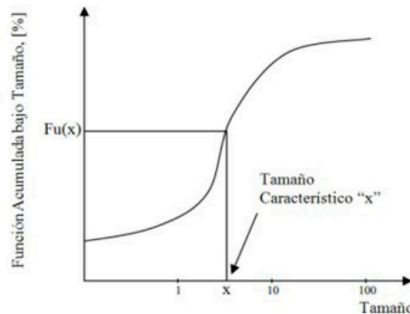


Figura 9. Ejemplo de curva granulométrica
Fuente: [7]

Modelos matemáticos de fragmentación

Ecuación de Kuznetsov

Kuznetsov (1973) presentó una ecuación que predecía un tamaño promedio de los fragmentos resultantes de una voladura con un determinado mallado y tipo de explosivo. [8].

$$X_m = AK^{-0.8} Q^{1/6} \left(\frac{115}{RWS_{ANFO}} \right)^{19/20} \quad (4)$$

Donde:

X_m= Tamaño medio de las partículas (cm)

A= Factor de roca

K = Consumo específico (kg/m³)

Q= Masa de explosivo por barreno (kg)

115= RWS (Relative Weigth Strength) Potencia relativa en peso del TNT respecto al ANFO

RWS ANFO= Potencia relativa en peso del explosivo en cuestión respecto al ANFO

Trabajo de campo

Visita de campo al título minero NKN 08152

Para ubicarse en campo y realizar un reconocimiento de las estructuras geológicas se descargó previamente un archivo pdf de la plancha 229 de la página web Geoportal del Servicio Geológico Colombiano SGC a escala 1:25000 y una imagen satelital Lantsad, las cuales posteriormente fueron cargadas a la App Avenza Maps como se observa en [9].

Avenza Maps™ es una aplicación de mapas para móviles que te permite descargar mapas para usarlos en tu smartphone, Utiliza el GPS integrado de tu dispositivo para seguir tu ubicación en cualquier mapa. Traza y registra información sobre ubicaciones, importa y exporta marcas de posición, mide la distancia y área, e incluso traza fotos [10].

En la figura 10 se observa el afloramiento 5, caño colorado donde se observan 3 familias de discontinuidades, forman lajas o láminas de roca areniscas, lutitas y calizas de grano fino. En la figura 11 se puede apreciar una panorámica de los 5 drenajes principales en el area de estudio: caño colorado, caño espejo, caño chincro, caño lajas .

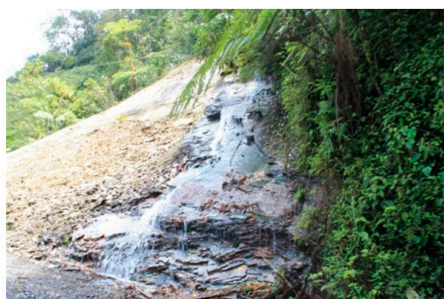


Figura 10. Perspectiva 1 de afloramiento 5, después de túnel los Helechos. Fuente: [11]

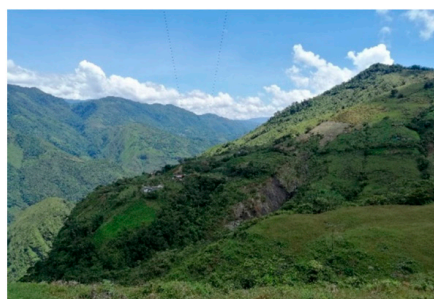


Figura 11. Panorámica drenajes principales Fuente: [12]

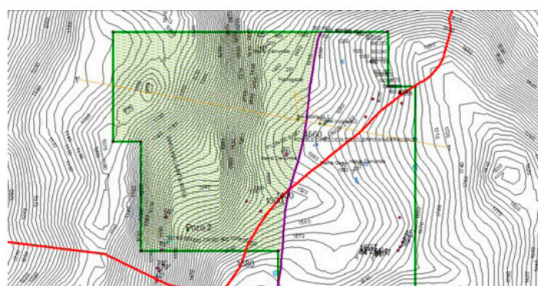


Figura 12. Plano Topográfico superficie Fuente: [18]

Diseño y planeamiento minero

El planeamiento minero interrelaciona el diseño de las labores mineras y los insumos a utilizar en el avance de frentes de túneles con la unidad de tiempo que convenga al proyecto, trazando así objetivos y estableciendo los mejores medios para alcanzarlos. Así mismo, considerar los inconvenientes que se puedan presentar en el desarrollo normal del proyecto en forma anticipada, proyectando posibles soluciones, con procedimientos necesarios para alcanzar de manera eficiente la igualdad entre lo proyectado y lo ejecutado. En la figura 12 se observa el plano topográfico de superficie con las trazas de afloramientos y el campo de reservas. En la figura 13 se encuentra un perfil transversal en donde se observa el túnel inclinado 1.

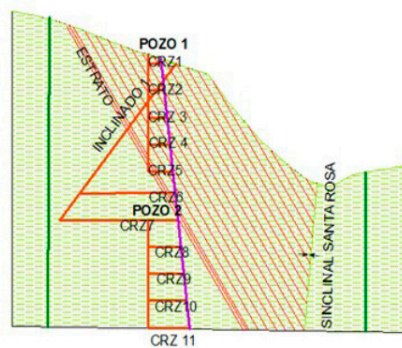


Figura 13. Perfil transversal 1-1'
Fuente: [18]

Discusión de Resultados

En la tabla 2 se observa el resumen de los datos de fragmentación calculados para los tres diseños propuestos teniendo en cuenta las metodologías propuestas por Dr. Konya, Dr. Holmberg y el Dr. Pearse, según esto ofrece mejores condiciones de fragmentación el diseño 3, pero se desconoce de forma teórica cuanto es el avance por voladura y aumenta el número de barrenos, lo que es significativo para considerar un diseño con sobre costo. Por tanto, se toman en cuenta el diseño 1 y el diseño 2.

Tabla 2. Resumen de fragmentación

Clasificación	Kram	Svedefo	Larsson
	X50	X50	X50
Diseño 1	5,080	0,006101	0,0124
Diseño 2	4,610	0,006071	0,0090
Diseño 3	4,040	0,005415	0,0051

Fuente: Adaptación propia, datos tabulados para los 3 diseños propuestos [20]

Como se observa en la figura 14 análisis comparativo de fragmentación teórica se ilustra a través de un gráfico de barras la variación de la fragmentación según los postulados de Kuzram, Svedeffo y Larsson para los diseños propuestos siguiendo los aportes realizados por el Dr. Konya, el Dr. Holmberg y el Dr. Perase. No existe una variación significativa entre los valores de la fragmentación en función de las cantidades de explosivos, pero sí existe una diferencia entre el avance obtenido, como resultados tenemos el avance según Dr. Konya 1,88 metros y el Dr. Holmberg 2,88 metros, esa diferencia de 1 metro, conlleva a un gasto adicional de material explosivo y accesorios de voladura, por tanto, se considera el diseño 2 metodología de Holmberg como el diseño más viable en resultados de fragmentación y de costos por voladura.



Figura 14. Análisis comparativo de fragmentación teórica
Fuente: [21]

En la tabla 3 se presenta el resumen de los datos de consumo de explosivo calculados para los tres diseños, se calcula el número de geles por barreno, se divide la longitud de carga entre la longitud de cada barra de Indugel o cartucho, el cual está en presentación de 25 cm. Los Kilogramos por barreno se hace se determina con el producto del número de geles y el peso de cada cartucho, el cual está en presentación de 245 gramos. Como se aprecia en la figura 15 análisis comparativo consumo de explosivos, a través de barras horizontales se compara la cantidad de explosivo por barreno Kg/barreno, el número de geles o cartuchos y el factor de carga en Kg/m³. se aprecia una diferencia representativa en el número de geles por barreno entre el diseño 1 y 2, pero se obtienen mejores resultados en el avance del diseño 2, metodología de Holmberg.

Tabla 3. Resumen consumo de explosivo

Clasificación	Total, Kg	Total, Geles
Diseño 1	23,738184	146,532
Diseño 2	26,8497504	165,7392
Diseño 3	35,7982416	220,9768

Fuente: Adaptación propia, consumo de explosivo para cada uno de los diseños [22]

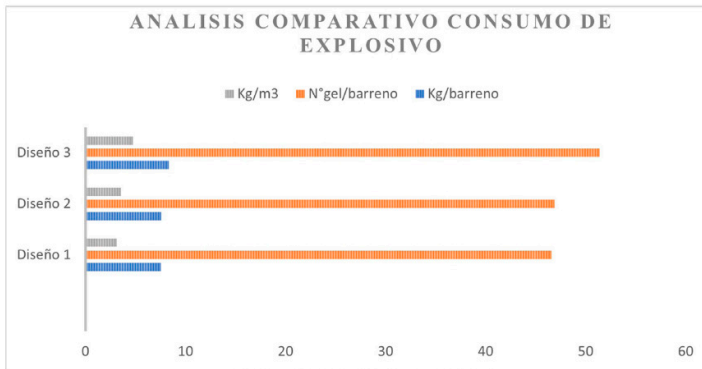


Figura 15. Análisis comparativo consumo de explosivo de los 3 diseños
Fuente: [23]

En la figura 16 consumo de explosivos según la ubicación del barreno, se puede apreciar, que en el arranque; el cuadrador 2, los barrenos de piso y los barrenos auxiliares presentan un mayor consumo de material explosivo para el diseño 1. En la figura 17 consumo de explosivos según la ubicación del barreno, se puede apreciar, que, en los barrenos de techo, los barrenos de piso y los barrenos de pared presentan un mayor consumo de material explosivo para el diseño 2. En la figura 18 consumo de explosivos según la ubicación del barreno, se puede apreciar, que en el arranque; el cuadrador 2, los barrenos de piso y los barrenos auxiliares presentan un mayor consumo de material explosivo para el diseño 3. Los modelos matemáticos para predecir la fragmentación dan un punto de partida para la mejora continua de los diseños de malla de perforación y voladura se pueden ajustar el diseño 2 en el cargue del barreno, del cual solo se cargue el 40% de la longitud del barreno de manera que disminuya el factor de carga y que se encuentre dentro del rango de fragmentación de 5 a 10 cm requerido para mejorar rendimientos de cargue del material a las vagonetas.

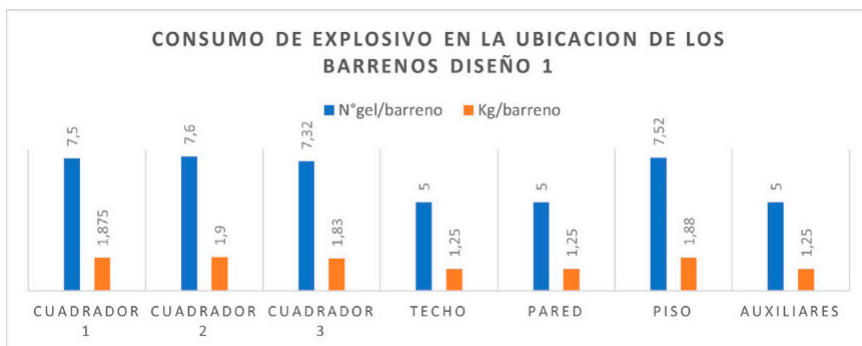


Figura 16. Consumo de explosivo por ubicación de barrenos diseño 1
Fuente: [25]

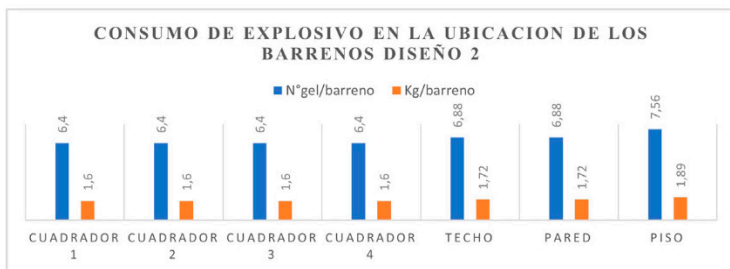


Figura 17. Consumo de explosivo por ubicación de barrenos diseño 2
Fuente: [26]



Figura 18. Consumo de explosivo por ubicación de barrenos diseño 3
Fuente: [27]

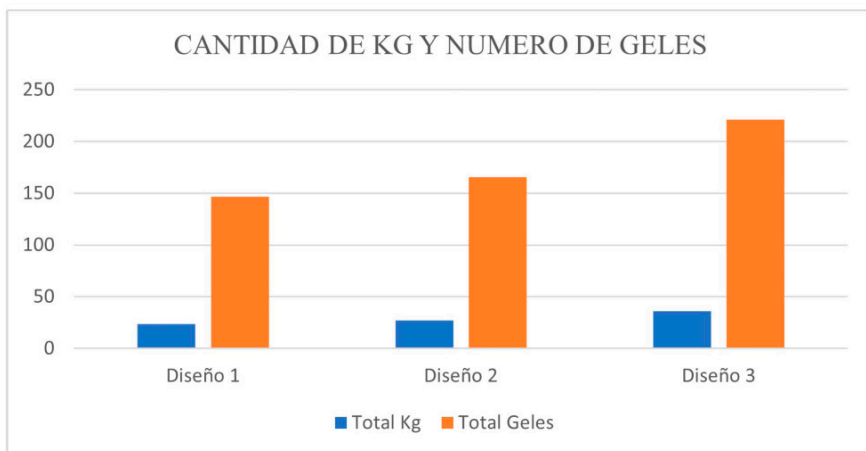


Figura 19. Kg de explosivo y cantidad de geles
Fuente: [28]

En la tabla 4. Resumen de cantidad de explosivo en Kg y numero de cartuchos para los tres diseños; se presenta la relación de los datos de la cantidad de explosivo en Kg y el equivalente en número de geles para los 3 diseños propuestos de malla de voladura.

Tabla 4. Resumen cantidad de kg de explosivo y numero de geles

Clasificación	Total, Kg	Total, Geles
Diseño 1	23,73	146,53
Diseño 2	26,84	165,73
Diseño 3	35,79	220,97

Fuente: Adaptación propia, cantidad de explosivo en Kg y cantidad equivalente en número de geles [128]

En la figura 19 Cantidad de explosivo y de numero de geles se observa un gráfico de barras con el fin de comparar los 3 diseños, se muestra un alto consumo en el diseño 3. En el diseño 2 se consume más material, pero se obtiene mejores resultados en el avance; es decir, que para avanzar los mismo 2,83 metros el diseño 1 consume 36,50 Kg, lo que equivale.

Conclusiones

En la ejecución de la investigación, se logró concluir lo siguiente:

Con este estudio se demostró que, partiendo de métodos sencillos de cálculo, puede llegar a optimizarse las operaciones de voladuras en macizos rocosos competentes como es el caso de limonitas de grano fino, lutitas y areniscas con estratificación principal predominante interceptadas por pequeños planos de discontinuidades que forman 3 familias principales. Se identificó los principales drenajes de escorrentía a través de un hidrogeo- lógico realizado por la empresa y se investigó sobre factores fisiográficos de los proyectos mineros, esto ayuda en la adecuada selección del tipo de explosivo y en el correcto almacenamiento de el mismo.

Se analizó de manera visual la mineralogía presente y la alteración de algunas rocas conforme se realizaba el recorrido de campo y se propone 2 Bocaminas de acceso al cuerpo mineralizado, con las cuales se tiene planeado ocultar de manera subterránea a través de diferentes niveles de explotación. Las labores de acceso se denominaron Inclinado 1 y Pozo 1 con coordenadas elipsoidales Latitud $4^{\circ}45'30.96''N$ y Longitud $73^{\circ}24'20.30''O$, a su vez Latitud $4^{\circ}45'30.80''N$ y longitud $73^{\circ}24'19.35''O$ respectivamente. La investigación reveló que los diseños propuestos según las metodologías del Dr. Konya y el Dr. Holmberg se debe disminuir la longitud cargada en los barrenos del piso, techo y paredes, se recomienda cargar el 40% de longitud cargada. En el diseño del Dr. Pearse se debe disminuir el número de barrenos y disminuir la cantidad de explosivos en el contorno de la excavación, con el fin de disminuir costos e incrementar el rendimiento de cargue a la vagoneta. Esta investigación concluye que deben tener en cuenta los tres modelos matemáticos como herramienta para observar la tendencia de la frag-

mentación e ir ajustando la malla de perforación y voladura. Las ventajas de utilizar Kuzram es que esta en función de las propiedades del explosivo y del tipo de roca a volar, como desven- taja no considera la sinergia y armoni- zación de energía a través de los tiempos de detonación y el efecto del retacado en los resultados de la voladura. Las ventajas de las metodologías de Svedeffo y Larsson las cuales tienen en cuenta parámetros geométricos, retacado y consumo específico, pero no considera la cantidad de explosivo total, en próximas investigaciones se debe confirmar la valides de estos dos métodos con respecto a una fragmentación real obtenida.

Este estudio concluye que el rediseño de las mallas de perforación y voladura va orientado a lograr una deto- nación óptima; un parámetro del diseño que afecta los resultados en la fragmentación es el burden y se debe de considerar las desviaciones del taladro para acercarnos al burden correcto y poder estandarizar el diseño. Se recomienda tener un programa de inspección a la perforación manual en el que se incluya la socia- lización del procedimiento de trabajo seguro para realizar dicha función junto con el manual de operación del equipo Jackleg. La investigación ultima instruir de manera correcta a los colaboradores de la empresa minera en el proceso de cargue de barrenos, para evitar posibles tiros cortados.

Referencias

- [1] R Hernández, C Fernández, P Baptista, "Metodología a la investigación", Libro, 6 edición, 2014
- [2] D. Rubio, "Evidencia tomada en trabajo de campo, en compañía Bióloga Mag. Catalina Vargas e Ingeniero Esp. John Rincón", 2021.
- [3] D. Rubio, "Evidencia tomada en trabajo de campo, en compañía Bióloga Mag. Catalina Vargas e Ingeniero Esp. John Rincón", 2021.
- [4] N Quispe, "diseño de mallas de perforación y voladura y su incidencia en los costos unitarios en la unidad minera chahuane", tesis de grado, facultad de geología, geofísica y minas, universidad nacional de san Agustín de Arequipa, Perú 2019.
- [5] onya, "Manual de voladura de Konya"; https://www.sqminingsociety.com/2021/04/blog-post_4.html.
- [6] A. Pérez, "ppt Voladuras subterráneas"; Escuela de Ingenieros militares ESING, 2020.
- [7] C. E. Lastra, 2005, Ejemplo de una Curva granulométrica, Figura 1, Tesis de grado Universidad de Chile "efectos en el macizo rocoso y en la fragmentación inducidos por tronadura en túneles"
- [8] F Leite, "desarrollo de una herramienta de diseño de voladuras en túneles", tesis de grado, facultad de ingeniería, Universidad do Porto FEUP, Porto, Brasil Julio de 2013.

- [9] D. Rubio, "Evidencia tomada en trabajo de campo, se observa Bióloga Mag. Catalina Vargas tomando puntos con App Avenza", 2021.
- [10] Goe, Ge oíl energy, descripción de software, <https://www.geoilenergy.com/es/software/geosoluciones/avenza>.
- [11] J Rincón, "Evidencia tomada en trabajo de campo, en compañía Bióloga Mag. Catalina Vargas e Ingeniero Diego Rubio", 2021.
- [12] D Rubio, "Evidencia tomada en trabajo de campo, en compañía de Bióloga Mag. Catalina Vargas e Ingeniero Esp. John Rincón", 2021
- [13] D Rubio, "ubicación de la BM de acceso", Google Earth, 2021
- [14] D Rubio, "sección transversal túnel inclinado 1", Autocad, 2021
- [15] D Rubio, "Diagrama de tiros y cargue de barrenos inclinado 1 método Konya", AutoCAD , 2021
- [16] D Rubio, "Diagrama de tiros y cargue de barrenos inclinado 1 método Holmberg", AutoCAD , 2021
- [17] D Rubio, "Diagrama de tiros y cargue de barrenos inclinado 1 método Pearse", AutoCAD , 2021
- [18] D Rubio, "plano topografía superficial con proyección estructural y perfil 1-1", Arcgis, 2021
- [19] Konya, "Manual de voladura de Konya", https://www.sqminingsociety.com/2021/04/blog-post_4.html
- [20] D Rubio, "resumen de fragmentación", Excel, 2021
- [21] D Rubio, "Análisis comparativo de fragmentación teórica" Excel, 2021
- [22] D Rubio, "resumen consumo de explosivo" Excel, 2021
- [23] D Rubio, "Análisis comparativo consumo de explosivo de los 3 diseños" Excel, 2021
- [24] D Rubio, "Resumen consumo de explosivo y numero de geles de los 3 diseños" Excel, 2021
- [25] D Rubio, "Consumo de explosivo por ubicación de barrenos diseño 1" Excel, 2021

-
- [26] D Rubio, "Consumo de explosivo por ubicación de barrenos diseño 2" Excel, 2021
- [27] D Rubio, "Consumo de explosivo por ubicación de barrenos diseño 3" Excel, 2021
- [28] D Rubio, "gráfico de barras de cantidad en Kg y el número de geles para tres diseños" Excel, 2021