



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**VOLADURA CONTROLADA MEDIANTE EL DISEÑO DE MALLA
Y FACTOR DE CARGA EN LA CANTERA PRESA DE RELAVES
EL PORVENIR**

EXAMEN DE SUFICIENCIA DE COMPETENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

Bach. URIEL PLACIDO JACHO PACHA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2019



DEDICATORIA

La concepción de este proyecto está dedicada a mis padres Cesar y Alicia, pilares fundamentales en mi vida. Sin ellos, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para mis hermanas y familia en general.

A mis hermanas Nory, Dina y Katherine, por sus acertadas orientaciones y por estar siempre a mi lado y apoyarme durante mis estudios y en la vida diaria.

Uriel



AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater, Universidad Nacional del Altiplano Puno, a la Facultad de Ingeniería Minas, en cuyas aulas forjé mi carrera profesional y en especial a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, por haberme transmitido sus conocimientos y experiencias.

Se expresa un profundo agradecimiento a la empresa PEVOEX CONTRATISTAS S.A.C. Por permitir y promover estas investigaciones en los diferentes proyectos que se tiene.

Uriel



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ACRONIMOS	
RESUMEN	6
ABSTRACT	6
I. INTRODUCCIÓN	7
1.1 OBJETIVOS.....	7
II. MATERIALES Y MÉTODOS	9
2.1 MATERIALES	9
2.2 METODOS.....	10
2.2.1 Perforación	10
2.2.2 Variables en perforación.....	10
2.2.3 Factor de carga	12
2.2.4. Diseño de voladuras de pre-corte.....	12
2.2.5. Control de vibraciones.....	13
2.2.6. Voladura amortiguada	13
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
IV. CONCLUSIONES	17
V. REFERENCIAS	18

ÁREA: Ingeniería de Minas

LÍNEA: Diseño y Planeamiento en Minería

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20 de noviembre del 2019



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Parámetros de perforación	11
Tabla 2.	Parámetros de voladura.....	16

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Diseño de malla.....	14
Figura 2.	Vía nacional.....	15
Figura 3.	Diseño de carga.....	15
Figura 4.	Post voladura.....	17

ÍNDICE DE ACRONIMOS

m	: Metro
pulg.	: Pulgada
B	: Burden
Dex	: Densidad explosivo gr/cm ³
Dro	: Densidad de la roca gr/cm ³
De	: Diámetro del explosivo (mm)
S	: Espaciamiento
Ton	: Tonelada
Kg	: Kilogramo
m³	: Metro cubico
min	: Minut



Voladura controlada mediante el diseño de malla y factor de carga en la cantera presa de relaves El Porvenir

Blasting controlled by the mesh design and load factor in the El Porvenir tailings quarry

Bach. Uriel Placido, Jacho Pacha

Facultad de Ingeniería de Minas, UNA – Puno

uriel.placido25@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-7928-4074>

RESUMEN

El presente trabajo describe, controlar la voladura mediante el diseño de malla y factor de carga, el objetivo es controlar el fly rock y la caída de material a la vía principal en la cantera de presa de relaves de la unidad minera El Porvenir. La metodología se empleó mediante el diseño de mallas adicionando taladros a la malla de voladura, taladros de alivio y buffer para amortiguar la voladura. El diseño se realizó teniendo en cuenta las variables de perforación como el burden, espaciamiento, taco, carga explosiva, factor de carga, deck, densidad de la roca, entre otras, de los cuales se define hacer una malla de 2.6 m x 3.0 m, con la perforación de taladros de alivio reduciendo en su espaciamiento a 1.5 m y dejando sin carga, y para los taladros de producción y buffer se hace con carga espaciada de 3.3 m inferior y de 1.7 m superior con un deck de 1.5 m para tener una granulometría adecuada, los resultados de la voladura son las siguientes se tiene una granulometría adecuada aproximado del 75% y 25% de bolonería en los taladros de producción, en los taladros de alivio y buffer se tiene una granulometría de 20% y bolonería de 80% con la cual se tiene en un 0% caída de material a la vía nacional de Pasco a Huánuco.

Palabras clave: burden, alivio, buffer, deck, granulometría.

ABSTRACT

The present work describes, controlling the blasting through the design of mesh and load factor, the objective is to control the fly rock and the fall of material to the main road in the tailings dam quarry of the El Porvenir mining unit. The methodology is used through the design of meshes adding holes to the blast mesh, relief holes and buffer to



cushion the blast. The design is carried out taking into account the drilling variables such as burden, spacing, block, explosive load, load factor, deck, rock density, among others, of which it is defined to make a mesh of 2.6 mx 3.0 m, with the drilling of relief holes reducing their spacing to 1.5 m and leaving no load, and for the production and buffer holes it is done with a spacing of 3.3 m lower and 1.7 m higher with a deck of 1.5 m to have a granulometry adequate, the results of the blasting are as follows: there is a suitable granulometry of approximately 75% and 25% of bolonería in the production holes, in the relief and buffer holes there is a granulometry of 20% and bolonería of 80% with which has a 0% drop in material to the national highway from Pasco to Huánuco.

Keywords: burden, relief, buffer, deck, granulometry

I. INTRODUCCIÓN

Las voladuras controladas son similares a las voladuras de producción, los cuales detonan para producir el efecto de liberación violenta de energía, por razones de seguridad el rompimiento excesivo de la roca cerca a los taludes trae una consecuencia en el tema de costos, en este caso de la investigación nos trae una consecuencia social puesto que la vía es transitada por los pobladores y turistas.

Las voladuras controladas se hicieron en diversos campos como la minería y construcción, empleando pre-corte para cuidar el talud de los tajos y diseñando voladuras amortiguadas en accesos, tajos y canteras reduciendo el factor de carga en los últimos taladros que golpea el talud, estas generalmente se encuentran cercanas a los pueblos o comunidades.

1.1 OBJETIVOS.

- Diseñar mallas de perforación y voladura, teniendo en cuentas el factor de carga.
- Controlar el fly rock y la caída de material a la vía principal.

Las actividades de perforación y voladura de rocas son inevitables en actividades mineras y civiles, es necesario determinar que el objetivo es realizar voladuras controladas para evitar la caída de material a un distinto nivel en este caso una vía nacional que se encuentra en la parte inferior de la cantera. El plan de voladura comienza con el estudio del macizo rocoso, a partir de eso el diseño de malla y el factor de carga.



Se hicieron diversos métodos en las voladuras amortiguadas y controladas de los que más sobresale fue las voladuras con precorte, y para las voladuras amortiguadas se hicieron taladros de alivio dejándolos sin carga.

Carrillo, L. (2003) menciona en voladuras controladas se utilizan varios métodos para reducir el exceso rompimiento: sin embargo, todos tienen un objetivo común: disminuir y distribuir mejor las cargas explosivas para reducir al mínimo los esfuerzos y la fractura de la roca, más allá de la línea mismo de la excavación.

Calcina, Y. (2015) menciona que hay diversas técnicas para el arranque de las rocas. En el Perú se utiliza tanto en excavaciones subterráneas como a cielo abierto la voladura con explosivos.

Diaz,, M Guarín, A., Jimenez, B.(2012) para el diseño de las voladuras es necesario realizar ciertos cálculos matemáticos y tener en cuenta varias consideraciones, que hacen de este, una operación compleja,

Alfaro, S. (2016) menciona que el diseño de malla es una actividad de mayor impacto en las operaciones de perforación, por lo tanto, el diseño de la malla se debe hacer con modelos matemáticos que permitan la evaluación de la mayor cantidad de variables.

Ortega, R., Jaramillo, G., Molina, E.(2016) menciona que del espaciamiento existen ciertos factores que pueden favorecer la eficiencia de las voladuras, como lo son la variación en la cantidad de explosivo en los barrenos y las secuencias de detonación de estos, por ejemplo, detonaciones en “V”. Estos parámetros también pueden traer beneficios en la granulometría, a menores afectaciones a la roca encajante

Choque, V. (2016) menciona que para conseguir una voladura eficiente la perforación es tan importante como la selección del explosivo por lo que este trabajo debe efectuarse con buen criterio y cuidado.

Gómez, M. (2016) menciona en su tesis. La tendencia a utilizar explosivos de gran potencia hace que también sea una necesidad la aplicación de nuevas técnicas para el diseño de mallas de perforación y voladura.



Carillo, L. (2003) menciona que por muchos años la barrenación en línea fue el único procedimiento utilizado para controlar en rompimiento excesivo, la barrenación en línea o de límite, simplemente consiste en una serie de barrenos en línea, vacíos, a corta distancia unos de otros y a lo largo de la línea misma de excavación, proporcionando así un plano de debilidad que la voladura pueda romper con facilidad.

Montesinos, P. (2017) menciona en sus tesis. Con la aplicación del método de voladura controlada se logró reducir la rotura de la pared final del talud, obteniendo también ventajas como menor proyección de rocas, reducción de vibraciones propias a la voladura y la disminución de los costes en movimiento de tierras en el proyecto carretera Lima - Canta - La Viuda Unish.

Oviedo, N. (2017) menciona en sus tesis. Para nuestro caso de estudio el uso del doble deck de carga, no significó un impacto significativo en la mejora de la fragmentación, y se optó por aumentar el Powder Factor a través de la reducción de los parámetros de perforación (burden y espaciamiento).

Gaona, G. (2015) menciona que, con el cambio de mallas para diferentes tipos de rocas, la malla triangular se aplica en roca dura la cual es muy efectiva ya que proporciona la mejor distribución de la energía del explosivo en la roca. En ejecución de su trabajo rompedor eliminando voladuras secundarias y granulometría excesiva no planeada.

Catacora, J. (2015) menciona en su tesis. Con los espaciamientos de aire se consigue que la energía producida al detonarse la MEC sea mejor distribuida y por ende los esfuerzos serán mejor distribuidos, con lo cual se evita triturar la roca que se encuentra alrededor del taladro

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MATERIALES

- 02 Rock drill Junjin JD 1400
- Explosivo Exagel 65 y Examon P
- Programa Jk Simblast, uso para el diseño de la malla.

La presente investigación es tipo explicativo y aplicativo, debido a que se explica el porqué de los hechos, estableciendo relaciones de causa y efecto, además se han



identificado variables dependientes e independientes y se utiliza el método de la voladura controlada

Esta investigación se desarrolló en la cantera presa de relaves de la Unidad Minera El porvenir que pertenece al distrito de San Francisco de Yarusyacan, provincia y departamento de Pasco, está situada a 16 km al NE de la localidad de Cerro de Pasco. Geográficamente, la Unidad Minera El Porvenir está ubicada en el tramo de la cordillera central que forma el nudo de Pasco, en el flanco Este de la gran falla Milpo - Atacocha, entre los ríos tingo y Huallaga, a una altura promedio de 4200 m.s.n.m.

2.2 METODOS

2.2.1 Perforación

Es la operación unitaria que da inicio al proceso de minado, consiste en hacer orificios en el terreno los cuales posteriormente alojaran la carga explosiva. Esta operación se lleva a cabo con perforadoras Rock Drill, haciendo perforaciones de 8 m con un diámetro de 4 pulg.

2.2.2 Variables en perforación.

Diámetro del taladro. - Es uno de los parámetros más importantes, ya que influye directamente sobre el rendimiento del explosivo y la amplitud de la malla de perforación, todo explosivo tiene un diámetro crítico; por debajo de ese diámetro no detona.

Longitud de taladro. - La longitud de taladro tiene una directa influencia en el diseño total de la voladura y es un factor determinante en el diámetro, burden y espaciamiento.

Cuando la relación, Longitud/Burden (H/B) es grande la deformación y desplazamiento de la roca es fácil, particularmente en el centro del banco.

Taco. - El taco es la longitud de barreno que en la parte superior se rellena con un material inerte y tiene la misión de confinar y retener los gases producidos en la explosión para permitir que se desarrolle por completo el proceso de fragmentación de la roca. Si el retacado es insuficiente se producirá un escape prematuro de los gases a la atmosfera, generándose problemas de onda aérea y riesgo de proyecciones. Por lo contrario, con un retacado excesivo se obtendrá gran cantidad de bloques en la parte alta del banco, poco



esponjamiento de la pila de material y un nivel de vibración elevado. Se debe considerar el tipo y tamaño del material, como también la longitud de la columna.

Burden. - El Burden es la distancia mínima desde el eje de un Barreno a la cara libre. Esta variable depende básicamente del diámetro de perforación, de las propiedades de las rocas y de los explosivos, de la Longitud de Taladro y del grado de fragmentación y desplazamiento del material deseado.

Espaciamiento. - El espaciamiento es la distancia entre taladro de una misma fila (perpendicular al Burden). Esta variable depende básicamente del diámetro de perforación, de las propiedades de las rocas y de los explosivos, de la altura de un banco y del grado de fragmentación y desplazamiento del material deseado.

Malla. – Es El conjunto de taladros que se perforan por sección que se quiere volar, estando compuesto taladros de: producción, buffer y alivio.

El parámetro de perforación se presenta en la tabla 1, en donde el espaciamiento entre los taladros de alivio es de 1.5 m.

Tabla 1. Parámetros de perforación

PARAMETROS DEPERFORACIÓN		
Altura de banco	m.	8.0
Diámetro de broca	Pulg	4.0
Malla		Triangular
Espaciamiento	m.	3.0
Burden	m.	2.6
Sub drilling	m.	1.0
Deck	m.	1.0
Altura de taladro	m.	0.0
Taco	m.	2.5

Para el cálculo de burden y espaciamiento, generalmente al llegar a una zona nueva donde aún no se hizo trabajos, se considera la densidad de la roca, la densidad del explosivo a usar, como se emplea en el siguiente calculo.

$$B = 0.012 \left(\left(\frac{2dx}{dro} \right) + 1.50 \right) De$$



$B = \text{Burden (m)}$

$D_{ex} = \text{Densidad explosivo gr/cm}^3$

$D_{ro} = \text{Densidad de la roca gr/cm}^3$

$D_e = \text{Diametro del explosivo (mm)}$

$$B = 0.012 \left(\left(\frac{2 * 0.82}{2.7} \right) + 1.5 \right) 101.6$$

$$B = 2.60 \text{ m}$$

Para los cálculos de espaciamiento (S) se puso de acuerdo a la siguiente formula.

$$S = 1.2 * B$$

De donde se tiene el siguiente resultado

$$S = 1.2 * 2.60$$

$$S = 3.00 \text{ m}$$

2.2.3 Factor de carga

Es la cantidad de explosivo necesaria para fragmentar 1 m³ de roca. Se expresa en kg/m³.

$$FC = (\text{Total de explosivo (Kg)}) / (\text{Total de m}^3 \text{ rotos})$$

El factor de carga es una excelente unidad referencial para el cálculo de la carga total de un disparo, pero no es el mejor parámetro de por sí, ya que la distribución de este explosivo en la masa de la roca mediante los taladros tiene gran influencia en los efectos de fragmentación y desplazamiento, es decir, en el resultado de la voladura. Así, la igualdad de carga específica, una voladura efectuada con taladros de pequeño diámetro

2.2.4. Diseño de voladuras de pre-corte

El pre-corte tiene por finalidad generar una línea de debilidad tras una voladura, esto debido a una serie de taladros en una sola fila, con el objeto de generar una discontinuidad o plano de fractura. Los taladros son generalmente del mismo diámetro y sin sobre perforación.

Los beneficios del pre-corte son:

- Formación de una pared de banco más estable.



- Generar el límite de penetración de la excavadora.
- Obtener las bermas programadas.
- Crear una percepción de seguridad.

El pre-corte debe permitir fracturar un plano para atenuar vibraciones en la voladura principal, lo anterior depende mucho de la calidad de las fracturas que se formen. Las vibraciones serán menores, mientras éstas crucen fracturas lo más abiertas y limpias posibles.

A parte de las vibraciones, el empuje de gases de explosión generados en las voladuras también es responsable de los daños producidos en la pared final, por lo tanto, la línea de fractura generada por el pre-corte también debe actuar como zona de evacuación de gases.

Los métodos utilizados Tipo de explosivo - Factor de carga - Nivel de vibraciones
- Costos

2.2.5. Control de vibraciones

Una de las principales variables de control de las voladuras controladas es el control de vibraciones y éstas deben estar por debajo de los niveles máximos permisibles. Los estándares vigentes en este ámbito son: - Guía Ambiental para la Perforación y Voladuras en Operaciones Mineras. (Ministerio de Energía y Minas - 1995) - Norma Alemana DIN 4150- 1999. - Norma Norteamericana USBM RI 8507- 1980. Las normas más exigentes son las normas alemanas y norteamericanas.

2.2.6. Voladura amortiguada

Las voladuras amortiguadas son muy semejantes a las voladuras convencionales, por el hecho de que estas solo se denominan así porque se han modificado el diseño a la última fila, en donde su función es amortiguar el golpe de la voladura principal y así lograr una voladura más controlada. El esquema geométrico de esta voladura es más reducido como en las cargas de los explosivos los cuales suelen ser menores y desacoplados, el disparo se procura hacer en una sola etapa. La voladura amortiguada en minería a cielo abierto consiste en una hilera de taladros alternadamente grandes y pequeños con carga explosiva liviana sólo en las grandes, o una de taladros igual al

diámetro con cargas alternadas de cartuchos delgados continuos, disparadas después de la voladura principal.

En el diseño de malla se da de la siguiente manera teniendo taladros de producción, buffer y alivio este último quedando sin carga. Los diseños de perforación para la voladura controlada, deben considerar taladros de pre-corte y taladros de amortiguación “buffer y/o alivio”.

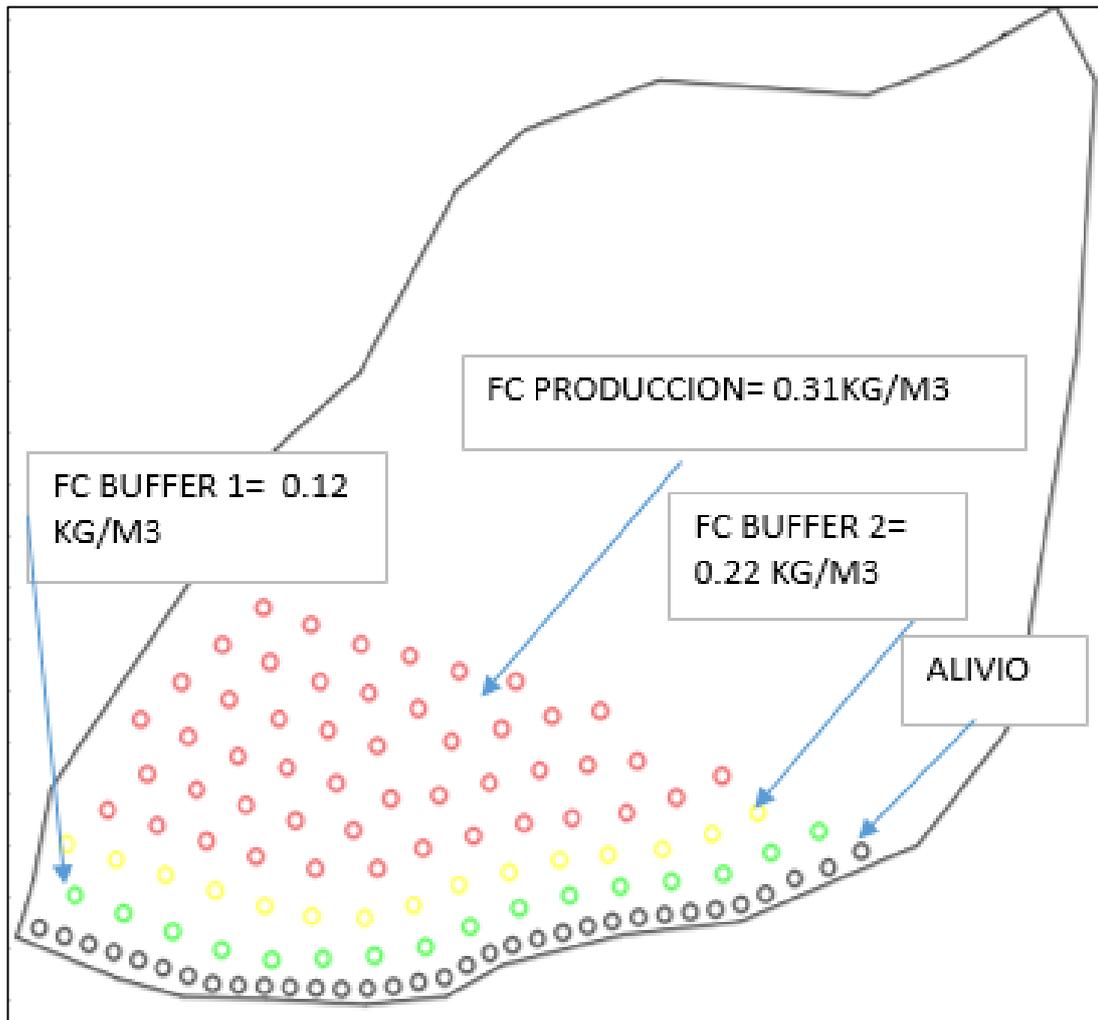


Figura 1. Diseño de malla.

Se realiza el diseño de carga para cada tipo de taladro en donde se busca, que el material no se deslice a la carretera como se ve en la imagen 2, se tuvo en cuenta los tiempos de salida de cada taladro con los faneles para retardar los taladros y haciendo una simulación de la voladura con software minero.

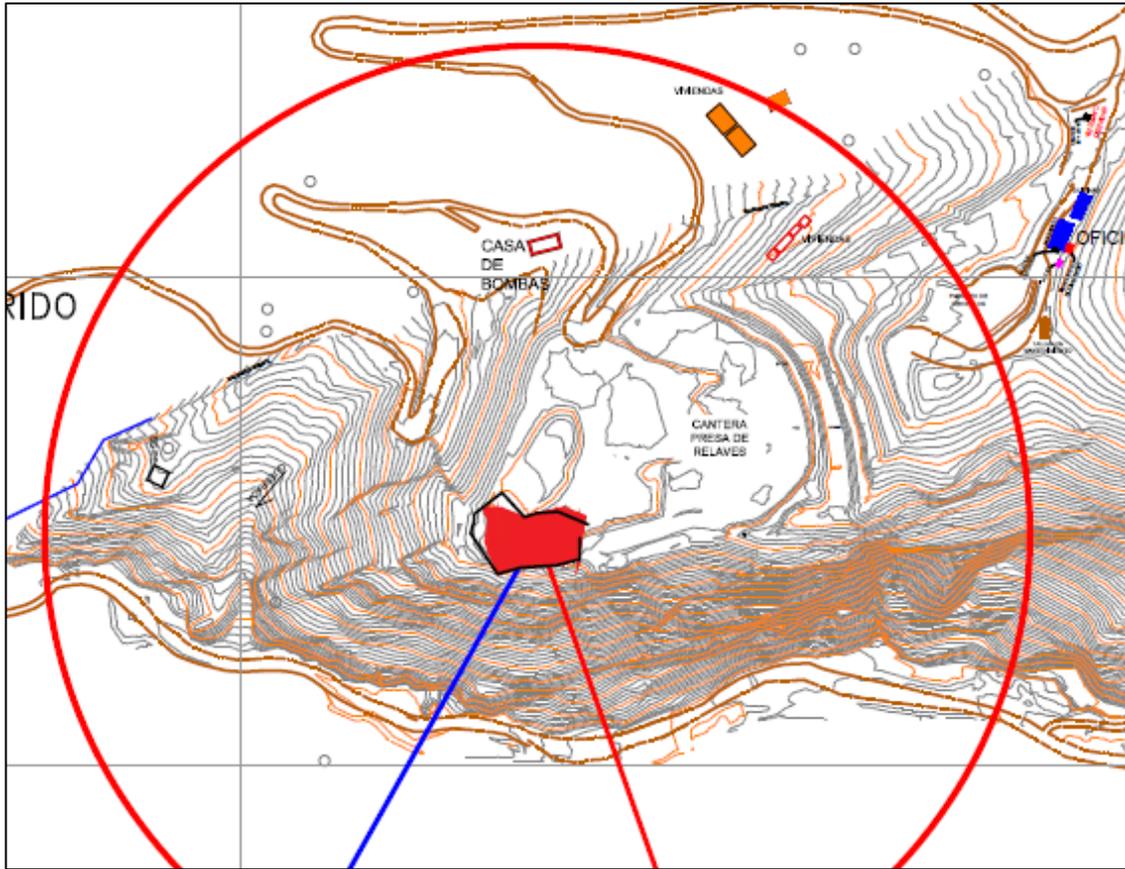


Figura 2. Vía nacional.

Se hicieron diseños de voladura con software minero para diseños de malla, para los taladros de producción y buffer, los taladros de producción y buffer por la altura que tiene se consideró poner con doble carga también para amortiguar con el deck.

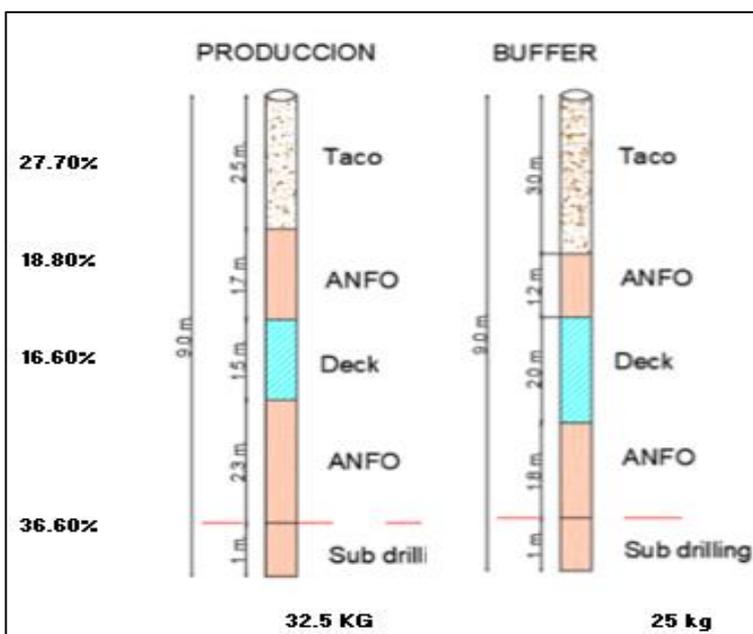


Figura 3. Diseño de carga

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se tenía previsto diseñar una malla de perforación y voladura reduciendo la carga en los taladros buffer.

De acuerdo al diseño de malla, factor de carga reducido en los taladros buffer y los taladros de alivio se tuvo una voladura esperada sin excesiva caída de rocas a la vía nacional.

En donde se consideraron los siguientes parámetros de voladura.

Tabla 2. Parámetros de voladura

PARAMETROS DE VOLADURA		
Explosivo	Kg.	Exagel 65 y Examon P
T. Esponjamiento	min	0
Densidad explosivo	gr/cc	0.82
Densidad linial	Kg/m.	6.5
Altura de carga	m.	5.0
Carga / Taladro (max)	Kg/Tal	32.50
Ensanchamiento	%	0
Carga / Taladro real	Kg/Tal	32.50
Tonelaje		
Volumen por taladro	m ³	76.0
Teórico	Ton.	197.60
Factor de Carga	Kg/m ³	0.28
Factor de Potencia	Kg/Ton	0.11

De los parámetros de voladura se tiene se tiene un factor de carga para cada tipo de taladro: los taladros de producción tienen un factor de carga de 0.31 Kg/m³, para los taladros de buffer 1 se tiene 0.22 Kg/m³, los taladros de buffer 2 tienen 0.12 Kg/m³ y los taladros de alivio quedan sin carga con el objetivo de amortiguar la voladura.

Con dichos parámetros, diseño de malla y factor de carga se obtiene una fragmentación adecuada en los taladros de producción y se llegó a controlar la caída de material a la vía nacional.



Figura 4. Post voladura

En la imagen 4 se puede observar el material acumulado después de la voladura, el efecto que tuvo los taladros de alivio en la cresta del talud fue de 80% bolonería, en los taladros de producción se tuvo 75% de granulometría óptima y 25% de bolonería con el cual amortiguó la voladura y controló la caída de rocas a la vía nacional de Pasco a Huánuco.

De acuerdo al estudio que realizó (Carrillo-leon, 2003), “uso de explosivos en demoliciones para voladuras controladas” indica que se debe realizar una perforación en línea, con diámetros pequeños y distancias cortas entre taladros y sin carga, se realizó la voladura con un principio similar, los taladros que se hicieron fueron del mismo tamaño de diámetro y se acortaron las distancias entre taladros a 1.5 m y se añadió los taladros buffer donde en las dos últimas filas se reduce el factor de carga, con el propósito de que las ondas no golpeen el talud.

Los cálculos de burden y espaciamiento nos dieron resultados favorables, del mismo modo los retardos usados en superficie que fueron faneles de 17 ms de taladro a taladro y en la troncal de 35 ms.

IV. CONCLUSIONES

Con el diseño de la malla de perforación y voladura triangular para homogenizar el impacto, se controló la sobre excavación en la cresta del talud por ende no se tuvo caída de material a la vía.



Para resolver el problema de la caída de rocas a la vía nacional por el efecto de la voladura, nos fue valido el diseño de la malla, la reducción del factor de carga en las últimas filas y la perforación de los taladros de alivio que se encargaron de amortiguar la voladura.

La voladura de rocas constituye un medio más económico en excavaciones de rocas duras, puesto que ayuda con el trabajo de manera más rápida.

V. REFERENCIAS

- Ortega, R., Jaramillo, G., Molina, E.(2016). Modificación de las mallas de perforación de voladuras a partir del índice de esfuerzo geológico (GSI), caso mina “La Maruja”, Colombia. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 40(Julio), 32–38.
- Díaz, M., Guarín, A., Jiménez, B.(2012). Análisis y diseño de la operación de perforación y voladuras en minería de superficie empleando el enfoque de la programación estructurada. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 32(32), 15–21.
- Carrillo, L.(2003). Uso de explosivos en demoliciones para voladuras controladas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 13(Julio), 109–115.
- Choque, V.(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.O. Arcata*” (Universidad Nacional del Altiplano).
- Gaona, G.(2015). “*Optimización de la voladura, mina La Virgen - de la compañía minera San Simón S.a. - Huamachuco Trujillo*” (Universidad Nacional de Piura).
- Gómez, M.(2016). *Diseño de malla de perforación basado en la energía de mezclas explosivas, para optimizar costos de perforación y voladura en Aruntani S.A.C.* (Universidad Nacional de Moquegua).
- Montesinos, P.(2017). *Voladura controlada para talud final en la construcción de la carretera Lima - Canta - La Viuda Unish* (Universidad Nacional del Altiplano).



Oviedo, N.(2017). *Diseño de mallas de perforación y voladura haciendo uso del software drill and blast vulcan 8.0 para obtener una óptima fragmentación en E.E Ajani unidad minera Anabi* (Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa).

Alfaro, S.(2016). *Diseño de malla de perforación y voladura en la cantera Sur para producción de roca escollera en la cía minera El Brocal Cerro de Pasco* (Universidad Nacional de Altiplano).

Calcina, Y.(2015). *Optimización de la voladura en la cantera caliza - Minsur* (Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann).