



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“DISEÑO DE LA MALLA DE PERFORACIÓN EN DOMINIOS DE SÍLICE MASIVA Y GRANULAR PARA REDUCIR LOS COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN UNA MINA A TAJO ABIERTO EN CAJAMARCA”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autor:

Bach. Gian Marco Romero Gálvez

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León

Cajamarca - Perú

2020

## **DEDICATORIA**

### **A MIS PADRES:**

Por su apoyo incondicional durante toda mi formación profesional, personal y moral, ya que gracias a los principios y valores que me inculcaron he podido salir adelante cada día.

Gian Marco

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme brindado la vida y salud para poder hacer realidad uno de mis proyectos de vida más importantes, y haber concluido con la elaboración y sustentación de la tesis.

A mi familia por su constante apoyo incondicional que me ayudo a superar las adversidades que se presentaron en el camino de mi formación profesional.

A la Universidad Privada del Norte y todos los docentes que me impartieron sus conocimientos en beneficio de mi formación.

Al Ing. Víctor Eduardo Álvarez León, por su apoyo, tiempo y paciencia brindada durante la asesoría para poder culminar la tesis de manera satisfactoria.

Gian Marco

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>6</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>8</b>
1.1. Realidad problemática .....	8
1.2. Formulación del problema .....	12
1.3. Objetivos .....	12
1.3.1. Objetivo general .....	12
1.3.2. Objetivos específicos .....	12
1.4. Hipótesis .....	13
1.4.1. Hipótesis general .....	13
1.4.2. Hipótesis específicas .....	13
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA</b> .....	<b>14</b>
2.1. Tipo de investigación .....	14
2.2. Población y muestra .....	15
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	15
2.4. Procedimiento .....	16
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS</b> .....	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b> .....	<b>26</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>29</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>31</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de pruebas para reducción de mallas en Minera la Zanja.....	11
Tabla 2. Diseño de carga con malla de voladura actual para dominio de sílice masiva.....	18
Tabla 3. Diseño de carga con malla de voladura actual para dominio de sílice granular.....	18
Tabla 4. Diseño de carga con una malla propuesta para dominio de sílice masiva.....	19
Tabla 5. Diseño de carga con una malla propuesta para dominio de sílice granular.....	19
Tabla 6. Ahorro en perforación y voladura con una malla propuesta para dominio de sílice masiva.....	20
Tabla 7. Ahorro en perforación y voladura con una malla propuesta para dominio de sílice granular.....	21

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Alteraciones actuales .....	9
Figura 2. Diseño de carga en el taladro para dominio de sílice masiva.....	20
Figura 3. Diseño de carga en el taladro para dominio de sílice granular.....	21
Figura 4. Halos de energía para dominio de Sílice Masiva en la malla actual de 8.0 x 9.0 m.....	22
Figura 5. Halos de energía para dominio de Sílice Masiva en la malla propuesta de 8.5 x 9.5 m.....	23
Figura 6. Comparativo diseños de cargas en malla de 8.5 m x 9.5m – Sílice Masiva.....	23
Figura 7. Halos de energía para dominio de Sílice Granular en la malla actual de 8.0 x 9.0 m.....	24
Figura 8. Halos de energía para dominio de Sílice granular en la malla propuesta de 8.5 x 9.5 m.....	25
Figura 9. Comparativo diseños de cargas en malla de 8.5 m x 9.5m – Sílice Granular.....	25

## RESUMEN

La investigación trata acerca de la solución a una problemática suscitada en una mina a tajo abierto en Cajamarca, la cual consistía en la presencia del dominio de alteraciones en sílice masiva y granular en el yacimiento epitermal de alta sulfuración lo cual permitió realizar nuevos diseños de la malla de perforación, debido a que este tipo de alteración es suave y deleznable, que con la malla de voladura actual de 8.0 m x 9.0 m, se obtiene un producto muy fino que causa problemas de percolación en el pad de lixiviación y bajas recuperaciones de oro, a un costo alto de perforación y voladura; por tal motivo fueron estudiadas las actividades de perforación y voladura para lograr el objetivo de Diseñar la malla de perforación que se adecúe a los dominios de sílice masiva y granular, para reducir los costos de perforación y voladura en una mina a tajo abierto en Cajamarca. El proyecto corresponde a una investigación Aplicada, del tipo Experimental con diseño cuasi experimental y la muestra que se tomó en cuenta fueron las mallas de perforación y voladura en dominios de sílice masiva y sílice granular en el nivel 4070 de la mina en estudio. De los resultados obtenidos se puede observar que ampliando la malla de voladura con burden y espaciamiento desde 8.0 m x 9.0 m a una malla propuesta de 8.5 m x 9.5 m en dominios de sílice masiva y granular, se reduce los costos de perforación y voladura, permitiendo un ahorro del 4.76% en el dominio de sílice masiva y del 3.74% en el dominio de sílice granular. Se concluye que la malla propuesta produce un fracturamiento intenso y zona de generación de grietas haciendo que la distribución de energía sea más homogénea con la cual se logra una adecuada fragmentación de la roca.

**Palabras clave:** malla de perforación, sílice masiva, sílice granular, factor de esponjamiento.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

La presencia del dominio de alteraciones en sílice masiva y granular en el yacimiento epitermal de alta sulfuración de la mina en estudio, obliga a realizar nuevos diseños de la malla de perforación porque este tipo de alteración es suave y deleznable, que con la malla de voladura actual de 8.0 m x 9.0 m, se obtiene un producto muy fino. El proceso de lixiviación en la empresa minera se realiza directamente con el mineral volado proveniente de los frentes de carguío, por ello es que la fragmentación es una variable importante en la percolación de la solución lixivante; por este motivo los resultados de recuperación de oro en el pad obtenidos con la actual malla de voladura son bajos; debido a este problema se contempla diseñar una nueva malla en el nivel 4060, a fin de mejorar la fragmentación y reducir los costos de perforación y voladura. Con este espaciamiento se propone llegar a un p80 de 3.5” el cuál es el estándar para buena percolación y recuperación de oro para el área Planta Pad Lixiviación.

En un principio se planteó la ampliación de la malla en una zona de Alunita (dato según modelo de alteración). A la fecha se ha desarrollado la perforación y en el mapeo por parte de Geología se ha encontrado alteraciones de Sílice Alunita y adicionalmente Sílice Masiva y Sílice Granular. En tal sentido, se está proponiendo en principio mantener el factor potencia en la malla ampliada para estos nuevos dominios y continuar con el dominio Alunita. Ver figura 1.



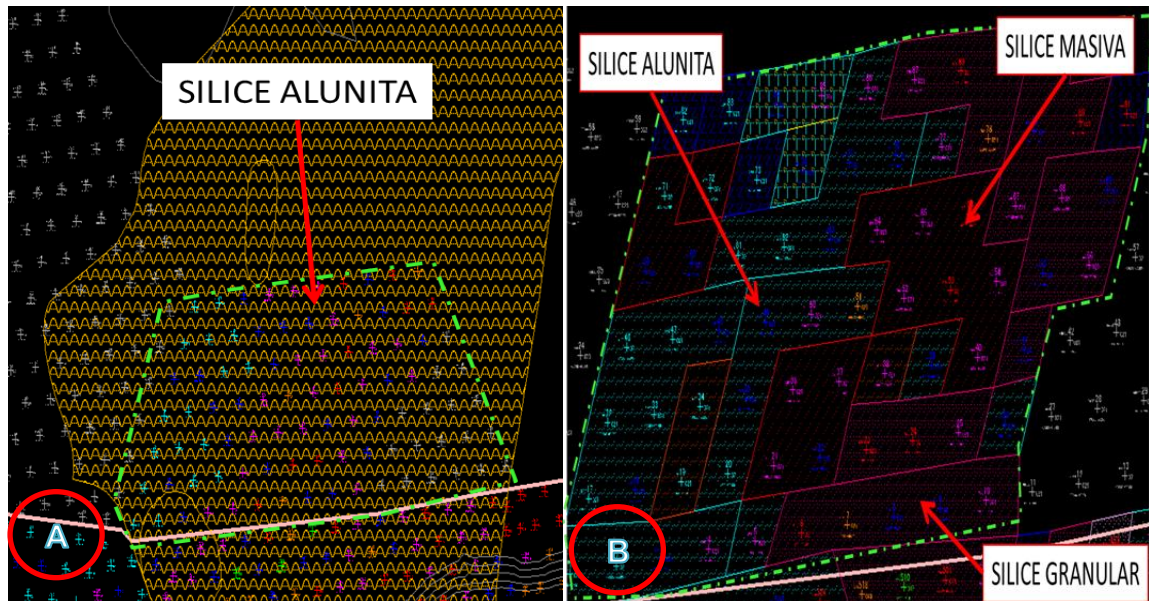


Figura 1. Alteraciones actuales.

A) Zona según modelo de alteración. B) Zona actual perforada

Fuente: Mapeo del Área de Geología.

La variabilidad del lugar donde se perfora afecta directamente a los costos de operación no es lo mismo perforar en una roca competente que una roca incompetente o realizar limpieza de material bien granulado y bolones de roca los cuales hacen que los equipos se esfuerces consuman más combustible y desgasten piezas de maquinarias prematuramente. (Reátegui, 2011).

Villero (2009), nos indica que las propiedades estructurales del macizo rocoso son las que más afectan la perforación y voladura el rendimiento de estas operaciones se ve afectado en gran proporción por la presencia de numerosas zonas críticas que disminuyen la velocidad de perforación y hacen excesivo el trabajo de carga de explosivos. Las características geomecánicas del macizo rocoso son un conjunto de propiedades que no podemos cambiar en el diseño de la voladura el esquema que se debe amoldar a dichas propiedades de manera que sea optimo, esto se logra calculando parámetros controlables de la voladura.

(Chávez, 2014), menciona que en Minera la Zanja desde principios del año se ha venido reduciendo paulatinamente la malla de perforación en coordinación con la empresa contratista SGyM. Se realizó una reducción en las mallas de (5.7 x 4.9) m, a (5.5 x 4.7) m, luego a (5.2 x 4.5) m, La variación de los parámetros de perforación traducidas en reducción de burden y espaciamiento significa el empleo de más explosivo en una misma área, lo cual se traduce en incremento de costos para la compañía, sin embargo desde un enfoque sistémico con un modelo de aproximación global del arranque y procesado de mineral, lograr resultados en estas actividades unitarias significará alcanzar una solución óptima para la fragmentación de la roca que maximizará el beneficio de la operación global (máximo valor por roca volada). También se concluye que el reducir la malla de perforación genera una mejor utilización de la energía del explosivo contenida en los taladros del proyecto, ya que los halos de energía tendrían una interacción mayor, por lo tanto, un mayor efecto favorable para la fragmentación. Debido a las dos reducciones de la malla de perforación hasta alcanzar el valor de 4.6 x 3.6m el factor de potencia se incrementó como se proyectó en un cálculo inicial. Los factores de potencia reales, obtenido de los protocolos de voladura tras ejecutarse los disparos, se han ploteado en forma conjunta con el P80 de los proyectos. Se puede apreciar que, para los cambios ejecutados, el P80 de los proyectos ha variado en forma inversa a los incrementos del factor de potencia. El factor de potencia promedio de los últimos disparos (0.47 Kg/Ton) significa un incremento de 38% respecto al promedio de los primeros 6 meses en el 2013 el cual es de 0.34 Kg/Ton. En la tabla 1 se presenta un resumen de pruebas de los proyectos.

Tabla 1

*Resumen de pruebas para reducción de mallas en Minera la zanja*

Mes de las Pruebas		Junio Pruebas 1	Agosto Pruebas 2	Noviembre Pruebas 3	Diciembre Pruebas 4
Banco		3402	3396	3378	3384
Proyecto		16	16	1	22
Diámetro	pulg	6 3/4	6 3/4	6 3/4	6 3/4
H Banco	m	6	6	6	6
Burden	m	4.7	4.7	3.6	3.6
Espaciamiento	m	5.5	5.5	4.6	4.6
Subdrilling	m	0.6	0.6	0.6	0.5
Taco	m	3	3	2.6	2.6
Iniciación		Electrónica	Electrónica	Electrónica	Electrónica
Mezcla		HA 64	HA 64	HA 64	HA 64
F.P	Kg/Ton	0.31	0.31	0.49	0.46
T entre taladros	ms	4	4	3	2.3
T entre filas	ms	70	70	110	110
P80	pulg	11.2	11.2	8.8	8.4

Fuente: Chávez, 2014

Según (Pacahuala, 2015) en el 2014, en la mina Volcán incrementaron los costos operativos en un 12% (US\$ 64/TM) respecto al 2013 (US\$ 57/TM). Expone que la causa de este aumento se debe primordialmente a problemas detectados durante las operaciones de perforación y voladura, como lo son el incumplimiento del diseño de malla de perforación, deficiencias en el modo de perforación, deficiencias en el secuenciamiento de los tiempos de retardo en la malla de voladura, inadecuada columna explosiva, mala distribución de la carga explosiva y voladura secundaria.

En la tesis: “Influencia de la Implementación de la tecnología QUANTEX en los costos de voladura en cerro corona, Hualgayoc, durante el año 2017” dice: Que en la actividad minera se busca la reducción constante de costos en las diferentes operaciones unitarias, principalmente los costos de voladura. Uno de los mayores problemas que afecta a los procesos de voladura es la mala fragmentación del macizo rocoso, incrementando de esta manera los costos operativos (Guzmán, 2018).

La importancia del estudio radica en lograr una reducción de costos del modo más rentable al ampliar la mala de voladura, con el objetivo de entregar el mineral fragmentado con una mejor distribución y uniformidad lo cual repercute directamente en la obtención de mejores recuperaciones del oro en el proceso de lixiviación en pilas.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cómo reducir los costos de perforación y voladura en dominios de sílice masiva y granular en una mina a tajo abierto en Cajamarca?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Diseñar la malla de perforación en dominios de sílice masiva y granular, para reducir los costos de perforación y voladura en una mina a tajo abierto en Cajamarca.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Evaluar el diseño de carga con malla de voladura actual para dominio de sílice masiva y sílice granular.
- Evaluar el diseño de carga con una malla propuesta de burden y espaciamiento 8.5 m x 9.5 m para dominio de sílice masiva y sílice granular.
- Comparar ambos diseños de carga y determinar el ahorro en Perforación y voladura.
- Evaluar y monitorear los halos de energía, fracturamiento intenso y zona de generación de grietas con la malla propuesta.

## 1.4. Hipótesis

### 1.4.1. Hipótesis general

Ampliando la malla de voladura con burden y espaciamiento 8.5 m x 9.5 m en dominios de sílice masiva y granular, se reduce los costos de perforación y voladura en una mina atajo abierto en Cajamarca.

### 1.4.2. Hipótesis específicas

- Al evaluar el diseño de carga con malla de voladura actual para dominio de sílice masiva y sílice granular, el factor de potencia es aproximadamente 0.246 y 0.228 kg/TM respectivamente con un costo en perforación y voladura de 0.189 y 0.187 \$/TM.
- Al evaluar el diseño de carga con una malla propuesta de burden y espaciamiento 8.5 m x 9.5 m para dominio de sílice masiva y sílice granular, el factor de potencia es aproximadamente 0.241 y 0.228 kg/TM respectivamente con un costo en perforación y voladura de 0.180 \$/TM.
- Al comparar ambos diseños de carga, se determina que el ahorro en Perforación y voladura para un diseño de carga con dominio de sílice masiva es aproximadamente de US\$/TM 0.0088; por otro lado, el ahorro en Perforación y voladura para un diseño de carga con dominio de sílice granular es aproximadamente de US\$/TM 0.0072
- Al evaluar y monitorear el diseño de carga con la malla propuesta, la distribución de energía es más homogénea con la cual se espera una adecuada fragmentación de la roca.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

El presente proyecto corresponde a una investigación Aplicada, del tipo Experimental con diseño cuasi experimental, el cual busca medir el efecto de la ampliación de la malla de perforación y voladura en dominios de sílice masiva y granular, mediante una medición inicial en campo, tomando datos para evaluar sus costos y con una segunda medición sobre este mismo objetivo, se comparó el antes y el después con respecto a los costos de perforación y voladura. Con los resultados obtenidos se determinó el ahorro en los costos de perforación y voladura en una mina a tajo abierto en Cajamarca.

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

Según Palella y Martins, (2012) “El diseño experimental es aquel según el cual el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y porque causa se produce o puede producirse un fenómeno. Busca predecir el futuro, elaborar pronósticos que una vez confirmados, se convierten en leyes y generalizaciones tendentes a incrementar el cúmulo de conocimientos pedagógicos y el mejoramiento de la acción educativa” (p.86). Asimismo, es con diseño Cuasi experimental porque se enfoca en medir los costos de perforación y voladura en una malla de 8.0 m x 9.0 m (antes), para luego tomar acciones evitando que el

mineral se fragmente demasiado y produzca finos indeseables aplicando una propuesta que se realiza en una malla más amplia de 8.5 m x 9.5 m (después).

## **2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)**

### **➤ Población:**

Mallas de perforación y voladura en dominios de sílice alunita, sílice masiva y sílice granular en todos los niveles de la mina en estudio.

### **➤ Muestra:**

La muestra que se tomara en cuenta son las mallas de perforación y voladura en dominios de sílice masiva y sílice granular en el nivel 4070 de la mina en estudio.

## **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

### **2.3.1. Técnica de Recolección de datos:**

Se utilizó la observación, la experimentación y el análisis documental. Se visualizó en campo los tres tipos de alteraciones presentes, guiándose del mapa del proyecto de voladura en el banco 4060. Luego se delimitó la malla de voladura con el soporte de topografía, la perforación, carga de taladros, voladura; tomándose datos del diseño de carga, factor de potencia, halos de energía, precio de perforación y voladura. En todo el proceso de toma de datos se utilizó el instrumento:

- Propuesta de diseño de carga (Anexo N° 01).

### **2.3.2 Técnica de Análisis de datos:**

Los datos que se obtuvieron en campo, se tabularon en los formatos digitales Excel, con la finalidad de procesarlos y realizar gráficos, para analizar de forma más concisa el ahorro en perforación y voladura.

## **2.4. Procedimiento**

El tipo de investigación que se utilizó en este trabajo es experimental, por lo cual se realizaron mediciones de un antes y después, viendo la relación de Causa-Efecto; de esta manera se pudo determinar si al aplicar la propuesta del nuevo diseño de malla y carga de explosivos, la variable costos se ve afectada de manera satisfactoria.

### **2.4.1. Gabinete:**

Inicialmente se procede a la revisión de antecedentes, estudios previos, realizados respecto al tema, en los diferentes ámbitos, tanto local, nacional como internacional, para lo cual se recurrió a los repositorios virtuales de varias universidades. Se seleccionó la información destacada con respecto al tema perforación y voladura controlada.

### **2.4.2. Campo:**

Se visitó el área donde se realiza los procesos de perforación y voladura de la mina a tajo abierto en estudio, cuyo propósito fué identificar la malla actual (8 m x 9 m) en los proyectos con dominio de sílice masiva y granular, para luego recolectar datos del diseño de carga, así como también las características de las alteraciones de sílice presentes. Asimismo, se utilizó la información recopilada para la realización de la propuesta de diseño cargas, adecuación de la nueva malla de perforación (8.5 m x 9.5 m) según zonas y toma de datos de la cantidad de explosivo utilizado e identificación de factor de potencia según alteración.

### **2.4.3. Gabinete:**

Se procesaron y tabularon de forma digital los datos obtenidos en campo, con ayuda del programa Excel, así mismo se elaboraron cuadros comparativos de costos y



gráficos de los análisis de los resultados y de los halos de energía con el software JKSimblast.

El Halo de Energía, es la concentración de energía que brindará la carga explosiva detonada. Los resultados pueden darse en densidad de energía o densidad de masa de explosivo y dar resultados expresados en megajoules por tonelada o metro cúbico, o el formulario más común de Kg/t. y Kg/m<sup>3</sup>. La resultante de los niveles de distribución de energía explosiva (envolvente esférica) alrededor de un taladro, es totalmente tridimensional y puede usarse como una herramienta (de diseño óptimo de voladura) para determinar la geometría del burden y espaciamiento o para verificar las cargas anómalas en un diseño de la voladura. (Vargas, 2006)

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

#### 3.1 Diseño de carga con malla de voladura actual para dominio de sílice masiva y sílice granular.

Tabla 2

*Diseño de carga con malla de voladura actual para dominio de sílice masiva*

ITEM	MALLA ACTUAL
Cantidad de explosivo (kg)	386.84
Factor de potencia (Kg/TM)	0.246
Precio de voladura (\$/TM)	0.152
Precio de perforación (\$/TM)	0.037
Precio de perforación y voladura (\$/TM)	0.189

Fuente: Datos experimentales de la prueba

Tabla 3

*Diseño de carga con malla de voladura actual para dominio de sílice granular.*

ITEM	MALLA ACTUAL
Cantidad de explosivo (kg)	316.8
Factor de potencia (Kg/TM)	0.228
Precio de voladura (\$/TM)	0.145
Precio de perforación (\$/TM)	0.042
Precio de perforación y voladura (\$/TM)	0.187

Fuente: Datos experimentales de la prueba

### 3.2 Diseño de carga con una malla propuesta de burden y espaciamiento 8.5 m x 9.5 m para dominio de sílice masiva y sílice granular.

Tabla 4

*Diseño de carga con una malla propuesta para dominio de sílice masiva*

ITEM	MALLA PROPUESTA
Cantidad de explosivo (kg)	429.97
Factor de potencia (Kg/TM)	0.241
Precio de voladura (\$/TM)	0.147
Precio de perforación (\$/TM)	0.033
Precio de perforación y voladura (\$/TM)	0.180

Fuente: Datos experimentales de la prueba

Tabla 5

*Diseño de carga con una malla propuesta para dominio de sílice granular*

ITEM	MALLA PROPUESTA
Cantidad de explosivo (kg)	355.43
Factor de potencia (Kg/TM)	0.228
Precio de voladura (\$/TM)	0.142
Precio de perforación (\$/TM)	0.038
Precio de perforación y voladura (\$/TM)	0.180

Fuente: Datos experimentales de la prueba

### 3.3 Comparación de ambos diseños de carga y determinación del ahorro en Perforación y voladura.

Tabla 6

*Ahorro en perforación y voladura con una malla propuesta para dominio de sílice masiva*

ITEM	MALLA ACTUAL	MALLA PROPUESTA
Cantidad de explosivo (kg)	386.84	429.97
Factor de potencia (Kg/TM)	0.246	0.241
Precio de voladura (\$/TM)	0.152	0.147
Precio de perforación (\$/TM)	0.037	0.033
Precio de perforación y voladura (\$/TM)	0.189	0.180
Ahorro (US\$/TM)		0.009
Ahorro (%)		4.76

Fuente: Datos experimentales de la prueba

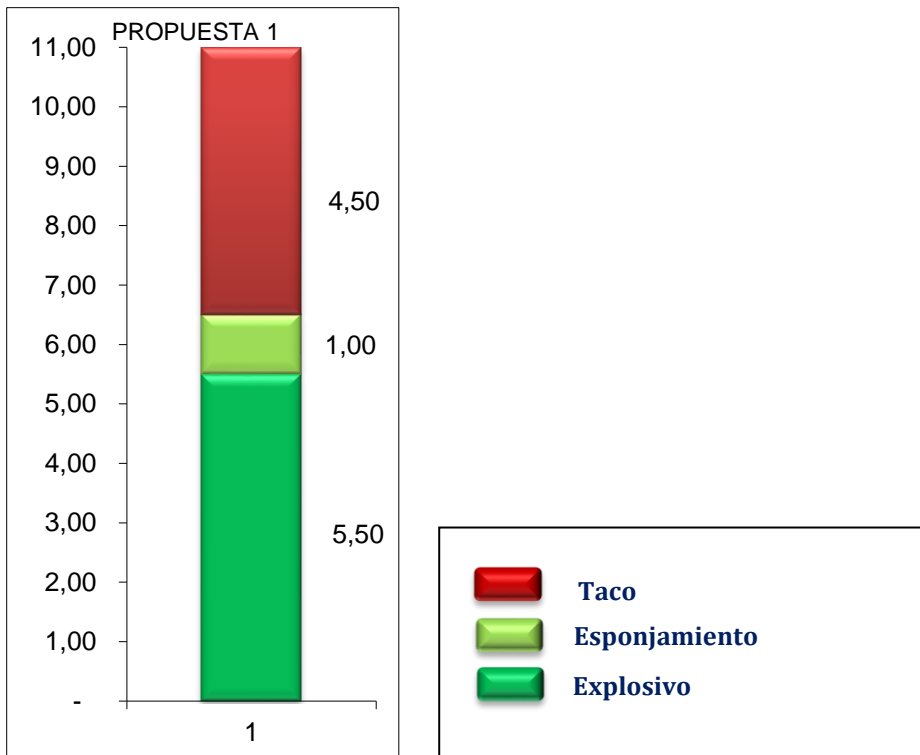


Figura 2. Diseño de carga en el taladro para dominio de sílice masiva.

Para una ampliación de 0.5 m en el diseño se propone mantener el factor Potencia al igual que una malla de 8.0 x 9.0, generando un ahorro en P&V del 4.76 % respecto a la inicial.

Tabla 7

*Ahorro en perforación y voladura con una malla propuesta para dominio de sílice granular*

ITEM	MALLA ACTUAL	MALLA PROPUESTA
Cantidad de explosivo (kg)	316.8	355.43
Factor de potencia (Kg/TM)	0.228	0.228
Precio de voladura (\$/TM)	0.145	0.142
Precio de perforación (\$/TM)	0.042	0.038
Precio de perforación y voladura (\$/TM)	0.187	0.180
Ahorro (US\$/TM)		0.007
Ahorro (%)		3.74

Fuente: Datos experimentales de la prueba

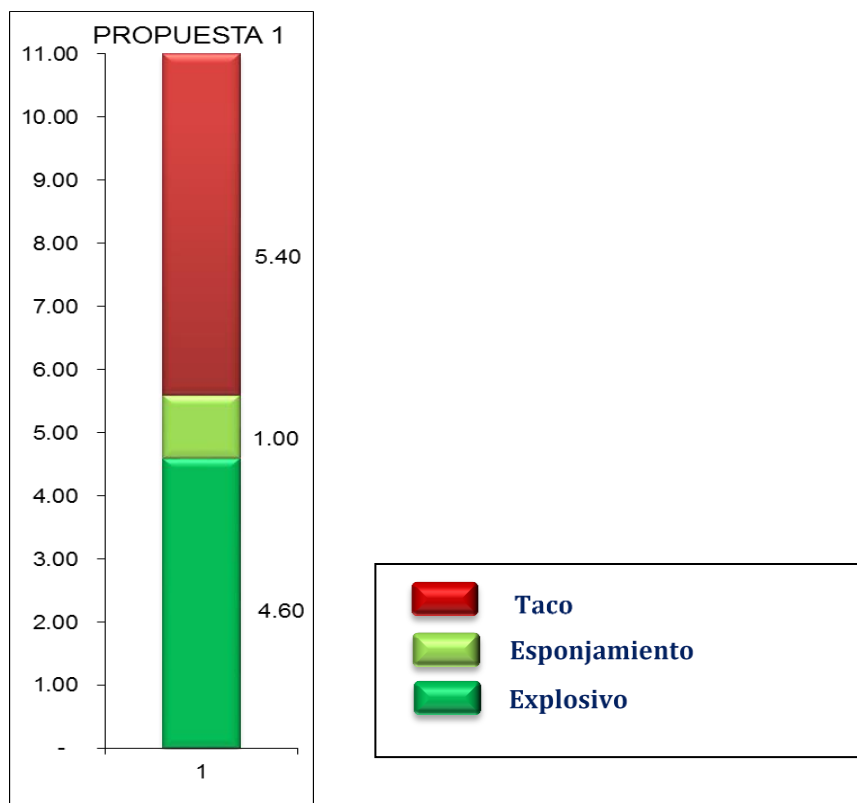


Figura 3. Diseño de carga en el taladro para dominio de sílice granular.

Para una ampliación inicial de 0.5m en el diseño se propone mantener el Factor Potencia al igual que una malla de 8.0 x 9.0, generando un ahorro en P&V del 3.74 % respecto a la inicial.

### 3.4 Evaluación y monitoreo de los halos de energía, fracturamiento intenso y zona de generación de grietas con la malla actual y la propuesta.

#### 3.4.1 Para dominio de Sílice Masiva

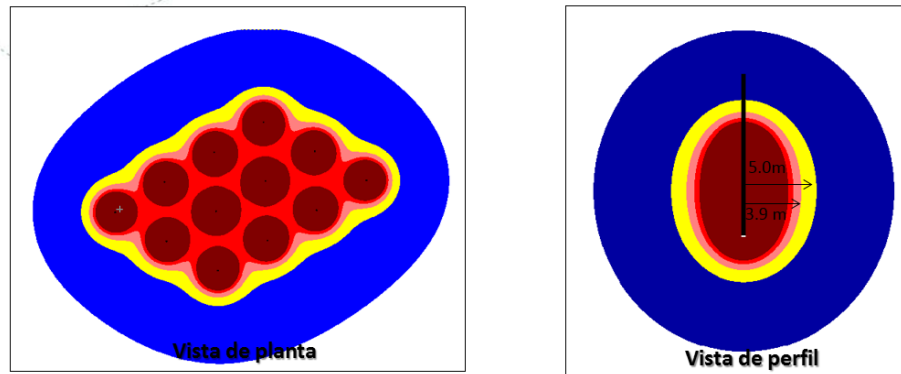


Figura 4. Halos de energía para dominio de Sílice Masiva en la malla actual de 8.0 x 9.0 m

Como se aprecia en la vista de planta, el diseño usado actualmente en una malla de 8.0 x 9.0 con un factor de carga de 0.246 Kg/ton, se logra observar que la distribución de energía es uniforme en todos los taladros.

En la vista de perfil se aprecia que la zona de fracturamiento intenso alcanza 3.9 m y la zona de generación de grietas alcanza 5.0 m.

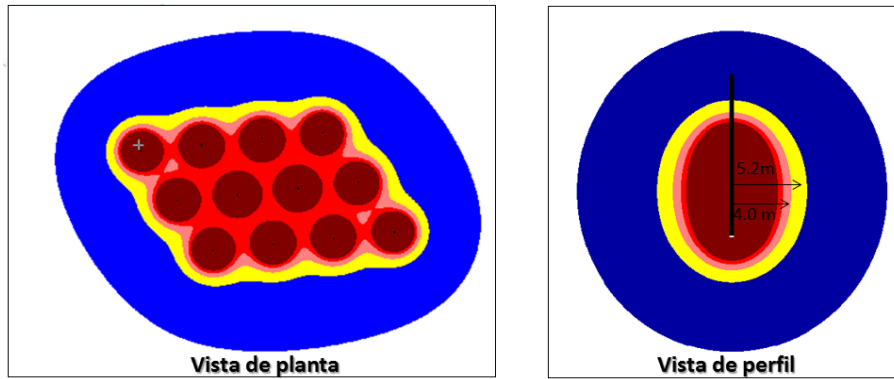


Figura 5. Halos de energía para dominio de Sílice Masiva en la malla propuesta de 8.5 x 9.5 m

Como se aprecia en la vista de planta, el diseño que se propone para una malla de 8.5 m x 9.5 m con un factor de carga de 0.241 Kg/ton, se logra obtener una distribución de energía uniforme en todos los taladros.

En la vista de perfil se aprecia que la zona de fracturamiento intenso alcanza 4.0m y la zona de generación de grietas alcanza 5.2 m.

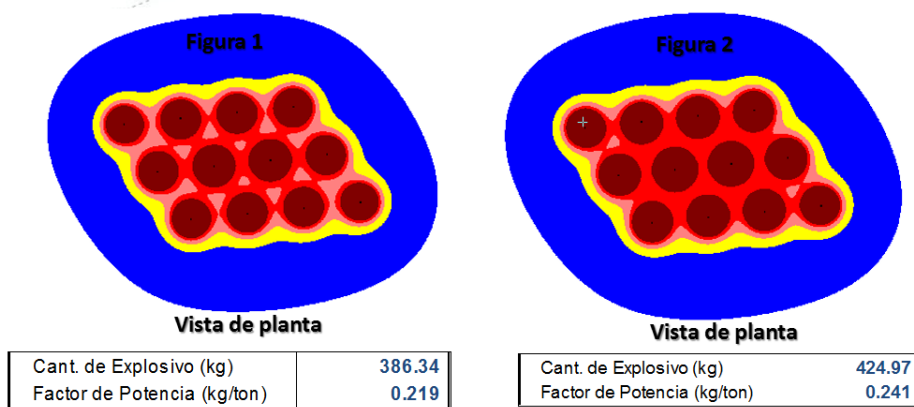


Figura 6. Comparativos diseños de cargas en malla de 8.5 m x 9.5m – Sílice Masiva.

Manteniendo los kilos con los diseños de carga actuales para una sílice masiva, se observa que los halos de trituración no se logran intersectar en su totalidad. (Figura 1). Con el diseño

propuesto la distribución de energía es más homogénea con la cual se espera una adecuada fragmentación de la roca. (Figura 2).

### 3.4.2 Para dominio de Sílice Granular

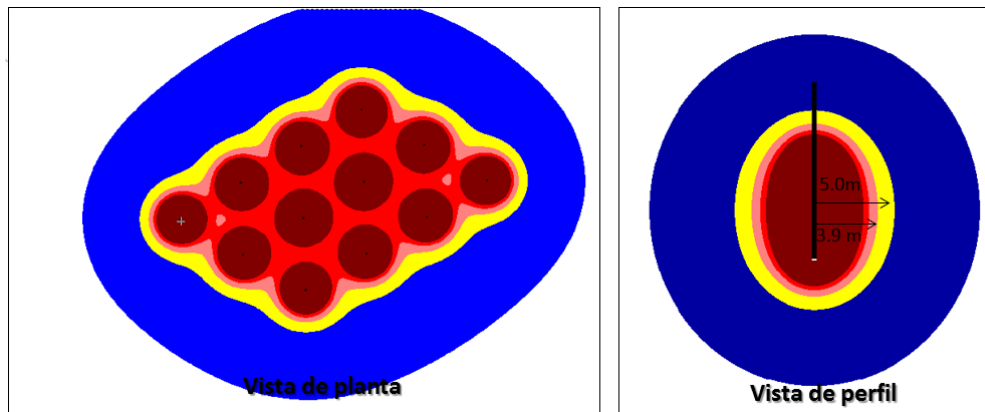


Figura 7. Halos de energía para dominio de Sílice Granular en la malla actual de 8.0 x 9.0 m

Como se aprecia en la vista de planta, el diseño usado actualmente en una malla de 8.0 x 9.0 con un factor de carga de 0.228 Kg/ton, se logra observar que la distribución de energía es uniforme en todos los taladros. En la vista de perfil se aprecia que la zona de fracturamiento intenso alcanza 3.9 m y la zona de generación de grietas alcanza 5.0 m.



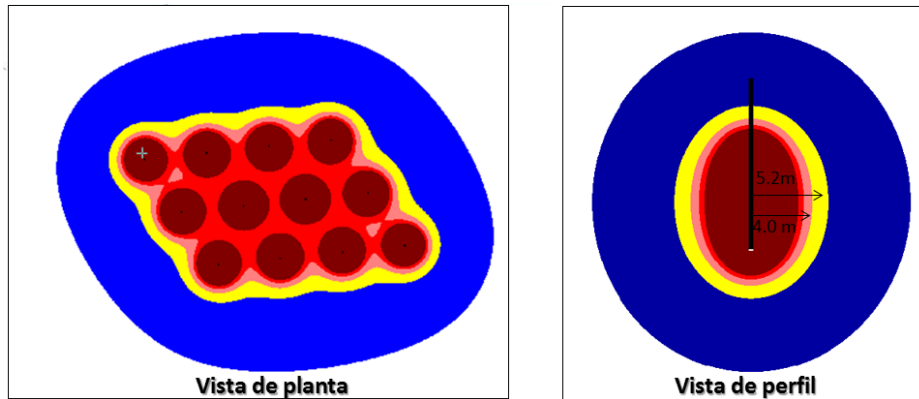


Figura 8. Halos de energía para dominio de Sílice granular en la malla propuesta de 8.5 x 9.5 m

Como se aprecia en la vista de planta, el diseño que se propone para una malla de 8.5 x 9.5 m con un factor de carga de 0.228 Kg/ton, se logra obtener una distribución de energía uniforme en todos los taladros. En la vista de perfil se aprecia que la zona de fracturamiento intenso alcanza 4.0 m y la zona de generación de grietas alcanza 5.2 m.

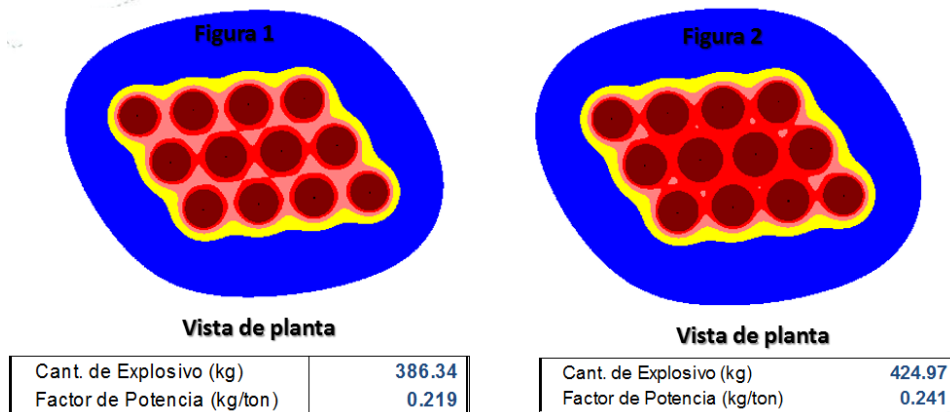


Figura 9. Comparativos diseños de cargas en malla de 8.5 m x 9.5m – Sílice Granular

Manteniendo los kilos con los diseños de carga actuales para una sílice granular, se observa que los halos de trituración no se logran intersectar en su totalidad. (Figura 1).

Con el diseño propuesto la distribución de energía es más homogénea con la cual se espera una adecuada fragmentación de la roca. (Figura 2).

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

De los resultados obtenidos se puede observar que ampliando la malla de voladura con burden y espaciamiento desde 8.0 m x 9.0 m a una malla propuesta de 8.5 m x 9.5 m en dominios de sílice masiva y granular, se reduce los costos de perforación y voladura en una mina atajo abierto en Cajamarca. En la tabla 6 y 7 se puede observar que el costo de perforación y voladura tras la implementación de todos los cambios realizados permitió un ahorro del 4.76% en el dominio de sílice masiva y del 3.74% en el dominio de sílice granular. Estos resultados confirman los realizados por (Chávez, 2014) quién al reducir la malla el costo de perforación y voladura tras la implementación de todos los cambios realizados se incrementó en 0.199 \$/ Tm sin embargo el aumento de 3% en la recuperación significó un aumento en el ingreso de 0.878\$/Tm, con lo que el ingreso neto es 0.6769 \$/Tm.

En la tabla 2 y 3 se observa que al evaluar el diseño de carga con malla de voladura actual para dominio de sílice masiva y sílice granular, el factor de potencia es 0.246 y 0.228 kg/TM respectivamente con un costo en perforación y voladura de 0.189 y 0.187 \$/TM respectivamente.

En la tabla 4 y 5 se observa que al evaluar el diseño de carga con una malla propuesta de burden y espaciamiento 8.5 m x 9.5 m para dominio de sílice masiva y sílice granular, el factor de potencia es 0.241 y 0.228 kg/TM respectivamente con un costo en perforación y voladura de 0.180 \$/TM.

Estos resultados confirman la investigación de (Villero, 2009), las características geomecánicas del macizo rocoso son un conjunto de propiedades que no podemos cambiar en el diseño de la voladura el esquema que se debe amoldar a dichas propiedades de manera que sea óptimo, esto se logra calculando parámetros controlables de la voladura.

En la tabla 4 y 5 se observa que, al comparar ambos diseños de carga, se determina que el ahorro en Perforación y voladura para un diseño de carga con dominio de sílice masiva es aproximadamente de US\$/TM 0.009; por otro lado, para un diseño de carga con dominio de sílice granular es aproximadamente de US\$/TM 0.007.

En la figura 5 y 8 se puede apreciar que al evaluar y monitorear el diseño de carga con la malla propuesta para una sílice masiva y sílice granular, la distribución de energía es más homogénea con la cual se espera una adecuada fragmentación de la roca.

## 4.2 Conclusiones

De la investigación realizada se puede observar que el costo de perforación y voladura tras proponer una ampliación de malla, permitió un ahorro del 4.76% en el dominio de sílice masiva y del 3.74% en el dominio de sílice granular; por tal motivo se concluye que ampliando la malla de voladura con burden y espaciamiento 8.5 m x 9.5 m en dominios de sílice masiva y granular, se reduce los costos de perforación y voladura en una mina atajo abierto en Cajamarca.

Al evaluar el diseño de carga con malla de voladura actual de 8.0 m x 9.0 m para dominio de sílice masiva y sílice granular, con un factor de potencia es 0.246 y 0.228 kg/TM

respectivamente, se concluye que el costo en perforación y voladura de 0.189 y 0.187 \$/TM respectivamente.

Al evaluar el diseño de carga con una malla propuesta de burden y espaciamiento 8.5 m x 9.5 m para dominio de sílice masiva y sílice granular, el factor de potencia es 0.241 y 0.228 kg/TM respectivamente, concluyéndose que el costo de perforación y voladura para estos dos dominios es el mismo, 0.180 \$/TM.

Al comparar ambos diseños de carga, se concluye que el ahorro en Perforación y voladura para un diseño de carga con dominio de sílice masiva es de US\$/TM 0.009; por otro lado, para un diseño de carga con dominio de sílice granular es de US\$/TM 0.007.

Al evaluar y monitorear los halos de energía con el software JKSimblast, se concluye que la malla propuesta produce un fracturamiento intenso y zona de generación de grietas haciendo que la distribución de energía sea más homogénea con la cual se logra una adecuada fragmentación de la roca.

## REFERENCIAS

- Chávez, L. (2014). *Optimización de la fragmentación en los proyectos de voladura primaria en la zona norte del tajo San Pedro Sur, Minera La Zanja*. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Guzmán, J. C., & Culqui, M. A. (2018). *Influencia de la implementación de la tecnología Quantex en los costos de voladura en Cerro Corona, Hualgayoc, durante el año 2017* (Tesis de licenciatura). Repositorio de la Universidad Privada del Norte.
- Pacahuala, M. (2015). *Reducción de costos operativos en desarrollos mediante actualización de estándares de perforación y voladura, caso de la empresa especializada Mincotral S.R.L.* Lima: Universidad Nacional del Centro de Perú.
- Palella, S. & Martins, F. (2012). *Metodología de la investigación cuantitativa*, Florencia, Venezuela. Recuperado de <https://www.docsity.com/es/disenio-tipo-nivel-y-modalidad-de-palella-y-martins/2733947/>
- Reátegui, O. (2011). *Costos de perforación y voladura en minería superficial*. Cámara Minera del Perú, Diplomado Gestión de Costos en Minería.
- Vargas, R. (2009). *La Investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica*. Vol. (33), p.161.
- Villero, V. (2009). *Diseño del Esquema de Perforación y Voladura para el Mejoramiento de la Fragmentación de la Caliza en el Frente Uno de Explotación de*

*Argos Planta Tolcemento.* Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Escuela de Ingeniería de Minas.

## ANEXOS

### ANEXO 1

#### INSTRUMENTO PROPUESTA DE DISEÑO DE CARGA

ITEM	MALLA ACTUAL	MALLA PROPUESTA
Cantidad de explosivo (kg)		
Factor de potencia (Kg/TM)		
Precio de voladura (\$/TM)		
Precio de perforación (\$/TM)		
Precio de perforación y voladura (\$/TM)		

## ANEXO 2

### GALERÍA DE FOTOS



*Foto 1.* Área de perforación y voladura de la mina a tajo abierto en Cajamarca



*Foto 2.* Carga de explosivos con el camión fábrica en dominios de sílice masiva





*Foto 3.* Instalaciones del área de perforación y voladura



*Foto 4.* Investigador en el área de estudio.