

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**



**T E S I S**

**Capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura  
para optimizar los parámetros de avance en galerías de la U.E.A.**

**Heraldos Negros**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero De Minas**

**Autor:**

**Bach. Michael HUALLPA ANDAMAYO**

**Asesor:**

**Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA**

**Cerro de Pasco - Perú - 2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**



**T E S I S**

**Capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura  
para optimizar los parámetros de avance en galerías de la U.E.A.**

**Heraldos Negros**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

Mg. Edwin Elías SANCHEZ ESPINOZA  
**PRESIDENTE**

---

Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA  
**MIEMBRO**

---

Mg. Luis Alfonso UGARTE GUILLERMO  
**MIEMBRO**



Firmado digitalmente por CONDOR  
SURI CHAGUI Santa Silvia FAU  
20154055046 soft  
Módulo: Soy el autor del documento  
Fecha: 19.06.2024 08:43:11 -05:00



**Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión**  
**Facultad de Ingeniería de Minas**



**Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas**

## **INFORME DE ORIGINALIDAD N° 019-2024**

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Originality, que a continuación se detalla:

Presentado por:

**Bach. Michael HUALLPA ANDAMAYO**

Escuela de Formación Profesional  
**Ingeniería de Minas**

Tipo de trabajo:  
**Tesis**

Título del trabajo  
**“Capacitación de Técnicas en el Proceso de Perforación y Voladura para Optimizar los Parámetros de Avance en Galerías de la U.E.A. Heraldos Negros”**

Asesor:  
**Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA**

Índice de Similitud: **25 %**

Calificativo  
**APROBADO**

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 17 de junio de 2024.

## **DEDICATORIA**

A Dios, por iluminar mi camino y que siempre me acompaña; a mis padres, por su empeño en mi formación profesional y a mis familiares, ellos son siempre la luz en el transcurso de mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi Alma Mater, a los catedráticos del Programa de Formación Profesional de  
Ingeniería de Minas; por los aportes y experiencias transmitidas.

A los profesionales de la Compañía Minera San Valentín – U. E. A. “Heraldos Negros”,  
por permitir cristalizar esta investigación y a todas las personas quienes me apoyaron.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación **“Capacitación de Técnicas en el Proceso de Perforación y Voladura para Optimizar los Parámetros de Avance en Galerías de la U.E.A. Heraldos Negros”**.

Se ha llevado a cabo con el propósito de seguir mejorando el proceso de perforación y voladura en los frentes de desarrollo y preparación de la mina mencionada. El análisis se consolida gracias al apoyo del Área de Preparación y desarrollo de la Unidad Minera “Heraldos Negros”.

En los procesos de avances de las galerías la perforación y voladura realizadas son deficientes en el avance lineal, factor de potencia y sobre rotura; los resultados han sido tomadas como datos de la línea base para luego relacionar los resultados. El proyecto de investigación propone capacitaciones referentes a la calidad de técnicas en el proceso de perforación y voladura, ya que se ha observado el desconocimiento de los perforistas de estas técnicas cuya finalidad es de optimizar los parámetros de avance de las galerías.

Aplicado las capacitaciones de las técnicas en el proceso de perforación y voladura se vio reflejado en el resultado del avance lineal que como línea base en promedio se tenía 1.73 m. y después de la capacitación se mejora obteniendo el promedio de 2.02 m. Asimismo, en cuanto al factor de carga como línea base tenía el promedio de 1.87 kg. / m<sup>3</sup>. y con la aplicación de la capacitación se mejoró al promedio de 1.45 kg. / m<sup>3</sup>. Por voladura. En cuanto a la sobre excavación por voladura como línea base se tenía un promedio de 23.60 cm. En el perfil de la labor y con la capacitación se disminuye a un promedio de 1.4 cm. En el perfil de la labor. Resultando muy significativo la aplicación de la capacitación en referencia.

**PALABRAS CLAVE:** Capacitación, avance, parámetros, galerías.

## ABSTRACT

The present research work "Training of Techniques in the Drilling and Blasting Process to Optimize the Advance Parameters in Galleries of the U.E.A. Black Heralds".

It has been carried out with the purpose of continuing to improve the drilling and blasting process on the development and preparation fronts of the aforementioned mine. The analysis is consolidated thanks to the support of the Preparation and Development Area of the "Heraldos Negros" Mining Unit.

In the advance processes of the galleries, the drilling and blasting carried out are deficient in linear advance, power factor and overbreak; the results have been taken as baseline data to later relate the results. The research project proposes training regarding the quality of techniques in the drilling and blasting process, since it has been observed that the drillers are unaware of these techniques whose purpose is to optimize the advance parameters of the galleries.

After applying the technical training in the drilling and blasting process, it was reflected in the result of the linear advance, which as an average baseline was 1.73 m. and after training it improves, obtaining an average of 2.02 m. Likewise, regarding the load factor as a baseline, it had an average of 1.87 kg. / m<sup>3</sup>. and with the application of training it improved to the average of 1.45 kg. / m<sup>3</sup>. By blasting. Regarding over-excavation by blasting as a baseline, there was an average of 23.60 cm. In the work profile and with training it decreases to an average of 1.4 cm. In the job profile. The application of reference training is very significant.

**KEYWORDS:** Training, progress, parameters, galleries.

## INTRODUCCIÓN

La finalidad del trabajo de investigación: **“Capacitación de Técnicas en el Proceso de Perforación y Voladura para Optimizar los Parámetros de Avance en Galerías de la U.E.A. Heraldos Negros”**, es optimizar el avance lineal, mejorar el factor de potencia y disminuir la sobreexcavación del perfil de la labor en las galerías de la minera mencionada; y demostrar que con la capacitación en las técnicas en el proceso de la calidad de perforación y voladura se logra los objetivos.

En el capítulo primero se menciona referente al planteamiento del problema, delimitación de la investigación, objetivos de la investigación, justificación y limitaciones de investigación

En el capítulo segundo se procesa el marco teórico describiendo los antecedentes del tema, características de la perforación y voladura en frentes, este capítulo es muy vital para el conocimiento científico para el desarrollo del trabajo de investigación.

En el capítulo tercero se detalla la metodología de investigación.

En el capítulo cuarto se describe las pruebas de campo aplicando las técnicas de la calidad del proceso de perforación y voladura detallando los parámetros y condiciones de los resultados; posterior a eso se realiza el análisis y discusión de resultados, comparando los rendimientos e indicadores obtenidos en las pruebas de campo con la línea base.

## ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

INDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	2
1.2.1. Unidad económica y administrativa los Heraldos Negros .....	2
1.3. Formulación del problema .....	21
1.3.1. Problema general .....	21
1.3.2. Problemas específicos.....	21
1.4. Formulación de Objetivos .....	22
1.4.1. Objetivo general .....	22
1.4.2. Objetivos específicos .....	22
1.5. Justificación de la Investigación .....	22
1.6. Limitaciones de la investigación.....	23

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio.....	24
-----------------------------------	----

2.2.	Bases teóricas científicas .....	26
2.2.1.	Perforación y voladura.....	26
2.2.2.	Factores que provocan la sobre excavación .....	28
2.2.3.	Factores que considerar para el manejo de explosivos.....	29
2.2.4.	Mecánica de fragmentación de roca .....	34
2.2.5.	Labores de frentes de desarrollo y preparación .....	39
2.2.6.	Parámetros para el Diseño de Malla de Perforación y Voladura.....	41
2.2.7.	Agentes de la voladura .....	46
2.3.	Definición de términos básicos .....	48
2.4.	Formulación de Hipótesis .....	50
2.4.1.	Hipótesis general .....	50
2.4.2.	Hipótesis específicas.....	50
2.5.	Identificación de variables .....	51
2.6.	Definición Operacional de variables e indicadores.....	52

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1.	Tipo de Investigación.....	53
3.2.	Nivel de investigación.....	53
3.3.	Métodos de Investigación .....	54
3.4.	Diseño de Investigación .....	54
3.5.	Población y muestra.....	54
3.5.1.	Población .....	54
3.5.2.	Muestra .....	55
3.6.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	55
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación .....	56

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	56
3.9. Tratamiento Estadístico.....	57
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica .....	57

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Descripción del trabajo de campo .....	58
4.1.1. Seguimiento de perforación y voladura en galerías.....	58
4.1.2. Resultados de la perforación y voladura sin capacitación técnica PV1 (guardia día).....	61
4.1.3. Resultados de la perforación y voladura después de la capacitación técnica .....	63
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados .....	66
4.2.1. Presentación de datos de la perforación y voladura antes de la capacitación .....	66
4.2.2. Presentación de datos de la perforación y voladura después de la capacitación .....	69
4.2.3. Análisis de datos de la perforación y voladura antes y después de la capacitación .....	71
4.2.4. Interpretación de datos antes y después de la capacitación .....	72
4.3. Prueba de Hipótesis.....	76
4.3.1. Hipótesis general .....	76
4.3.2. Hipótesis específicas.....	76
4.4. Discusión de resultados.....	82

### **CONCLUSIONES**

### **RECOMENDACIONES**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Accesos a la minera Heraldos Negros.....	4
<b>Tabla 2:</b> Densidades de los explosivos.....	32
<b>Tabla 3:</b> Resistencia al agua de los explosivos.....	33
<b>Tabla 4:</b> Tamaño de partículas de los explosivos.....	48
<b>Tabla 5:</b> Operacionalización de variables .....	52
<b>Tabla 6:</b> Información de la perforación y voladura de la galería .....	60
<b>Tabla 7:</b> Información de la calidad de perforación y voladura.....	63
<b>Tabla 8:</b> Información de la perforación y voladura.....	63
<b>Tabla 9:</b> Información de la calidad de perforación y voladura.....	66
<b>Tabla 10:</b> Perforación y voladura sin capacitación .....	66
<b>Tabla 11:</b> Perforación y voladura después de la capacitación.....	69
<b>Tabla 12:</b> Relación de Resultados por capacitación.....	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Ubicación de la U.E.A. Heraldos Negros.....	3
<b>Figura 2:</b> Acceso de la U.E.A. Heraldos Negros.....	4
<b>Figura 3:</b> Plano de lagueología regional de la U.E.A. Heraldos Negros.....	6
<b>Figura 4:</b> Plano de Geología local de la U.E.A. Heraldos Negros.....	8
<b>Figura 5:</b> Columna estratigráfica de la U.E.A. Heraldos Negros.....	13
<b>Figura 6:</b> Plano de geología estructural de la U.E.A. Heraldos Negros.....	16
<b>Figura 7:</b> Microcuenca donde se ubica la unidad los Heraldos Negros.....	18
<b>Figura 8:</b> Unidades hidro estratigráficas de la cuenca Chilihuayco.....	19
<b>Figura 9:</b> Mecanismo del fracturamiento del macizo rocoso.....	35
<b>Figura 10:</b> 1ra. fase fracturas radiales.....	37
<b>Figura 11:</b> Fase 2 detonación.....	38
<b>Figura 12:</b> Estructura del Anfo Pesado.....	47
<b>Figura 13:</b> Malla de perforación.....	61
<b>Figura 14:</b> Malla de perforación.....	64
<b>Figura 15:</b> Avances sin la capacitación.....	67
<b>Figura 16:</b> Factor de carga sin capacitación.....	67
<b>Figura 17:</b> sobre rotura del contorno sin capacitación.....	68
<b>Figura 18:</b> Cubos rotos sin capacitación.....	68
<b>Figura 19:</b> Avance efectivo por voladura con capacitación.....	69
<b>Figura 20:</b> Factor de carga con capacitación.....	70
<b>Figura 21:</b> Sobre rotura de contorno con capacitación.....	70
<b>Figura 22:</b> Cubos rotos con capacitación.....	71
<b>Figura 23:</b> Diferencia de avances lineales.....	73
<b>Figura 24:</b> Comparación del factor de carga.....	73

<b>Figura 25:</b> Comparación de la sobre rotura.....	74
<b>Figura 26:</b> Comparación del volumen roto por voladura .....	75
<b>Figura 27:</b> Numero de taladros por ciclo de perforación .....	76
<b>Figura 28:</b> Prueba de la 1era Hipótesis específica .....	78
<b>Figura 29:</b> Prueba de la 2da Hipótesis específica.....	80
<b>Figura 30:</b> Prueba de la 3ra Hipótesis específica .....	82

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

En todo el ciclo de la explotación de minerales de una empresa minera, se tiene varios procesos importantes, uno de ellos es de optimizar cada una de las operaciones para la extraer los minerales de un yacimiento polimetálico y resulta mucho más valioso aquella mejora de un proceso con los propios recursos con la que se cuenta.

En estos últimos años el proyecto de la U.E.A. Heraldos Negros es optimizar los procesos de la perforación y voladura para mejorar las eficiencias. Ya que tiene programado continuar con la profundización de niveles de producción y para ello debe ejecutar labores de desarrollo y preparación por lo que se va ejecutar un gran número de galerías generando mayor volumen de desmonte que se transportar a unos 5 kilómetros hasta la cancha de acumulación, tiene proyectado en cada una de sus operaciones de explotación del yacimiento controlar la productividad, también considera que, en la actualidad se tiene una variación de los precios de los metales, asimismo

considera el libre mercado que cada vez es más competitivo. En la actualidad el cliente busca calidad a un menor costo. Desde este punto de vista la minera Heraldos Negros en el desarrollo y preparación de sus labores de las galerías establece la meta de cumplir con los parámetros y estándares con eficiencia.

La minera ejecuta galerías de diferentes secciones con equipos Jack leg y jumbos. Los rendimientos en avance lineal, factor de potencia y sobre excavación sus rendimientos son relativamente bajos a falta de conocimiento y/o cumplimiento de las técnicas de los procesos de la perforación y voladura; se ha notado que estas deficiencias son debido al desconocimiento y/o incumplimiento de la técnica.

Otro factor importante que considerar es el compromiso de mitigar la enfermedad profesional del personal del área. reduciendo la emisión de gases nitrosos en la voladura de rocas. El explosivo actual la dinamita en su composición contiene nitroglicerina, esto origina gases nitrosos en las reacciones, generando contaminación del ambiente, por lo que se ha decidido utilizar la emulsión encartuchada, eliminando la posibilidad de generar gases nitrosos y así evitando la contaminación del ambiente

## **1.2. Delimitación de la investigación**

### **1.2.1. Unidad económica y administrativa los Heraldos Negros**

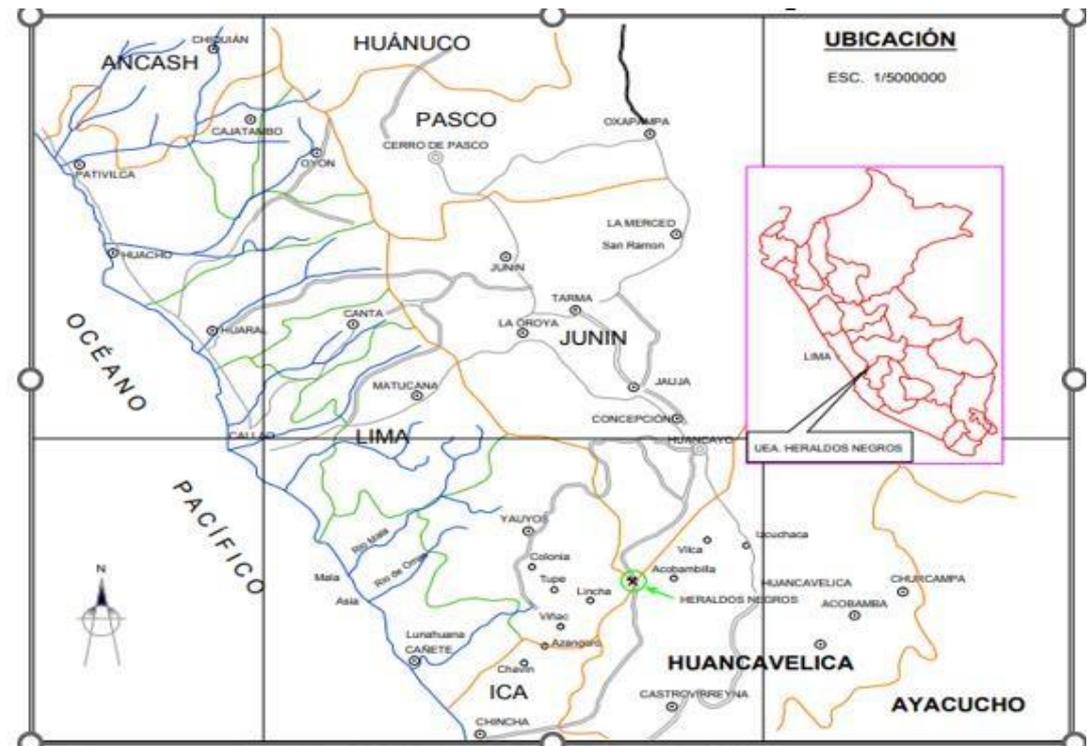
#### **A. Accesibilidad y ubicación geográfica**

La U.E.A. Heraldos Negros, perteneciente a la Compañía Minera San Valentín S.A., está situada en la comunidad de Acobambilla, dentro del distrito de Acobambilla, en la provincia y departamento de Huancavelica.

En términos de geografía, se encuentra en la zona del cerro

Condoray, rodeado por las lagunas Acchicocha, Esperanza, Condoray, Capillayoc y Angascocha. Su elevación media es de aproximadamente 4,850.0 metros sobre el nivel del mar.

**Figura 1:**  
*Ubicación de la U.E.A. Heraldos Negros*



*Fuente:* Área geología de la unidad minera Heraldos Negros

Los medios de acceso se realizan a través de carreteras pavimentadas y de tierra compactada, como se especifica en la tabla siguiente.

**Tabla 1:**

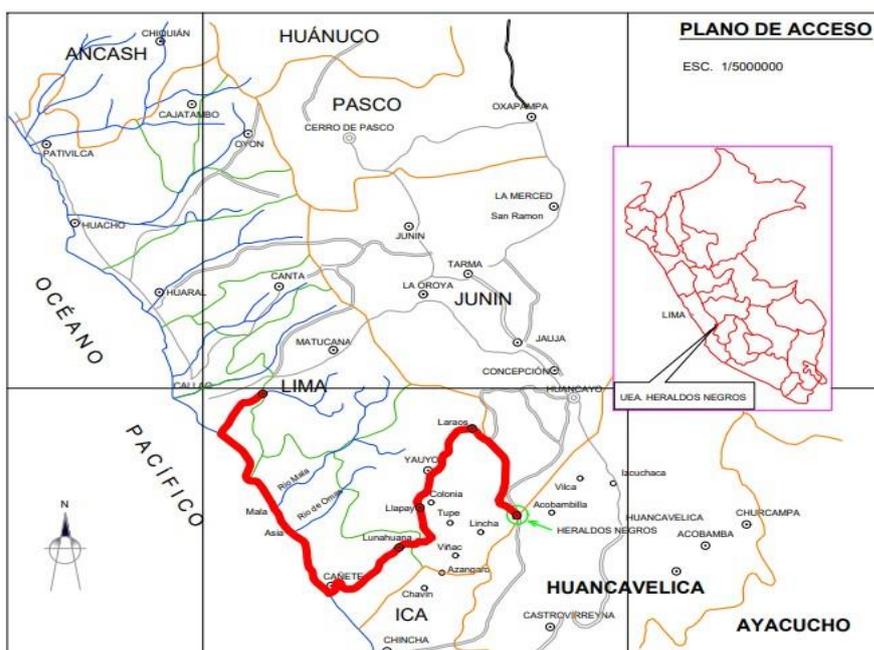
*Accesos a la minera Heraldos Negros.*

Tramo	Distancia (Km)	Recorrido en camioneta (Horas)	Tipo de vía
Lima - Cañete	150	2.5	Asfaltada
Cañete - Lunahuana	40	0.7	Asfaltada
Lunahuana - Llapay	120	3.0	Asfaltada
Llapay - Laraos	12	0.4	Asfaltada
Laraos - San Valentín	19	0.7	Afirmada
San Valentín -Heraldos Negros	50	2.5	Afirmada
<b>Total</b>	<b>391</b>	<b>9.8</b>	

*Fuente: Área geología de la unidad minera Heraldos Negros.*

**Figura 2:**

*Acceso de la U.E.A. Heraldos Negros*



*Fuente: Área geología de la unidad minera Heraldos Negros*

## **B. Su geología regional**

A partir de la comparación de imágenes satelitales de Landsat III (MSS) y Landsat V(TM), así como de mapas geológicos regionales y la ubicación de los centros mineros activos en la región, se ha

determinado que en las áreas de gran altitud de la Cordillera Occidental de los Andes centrales del Perú, existen numerosos depósitos minerales polimetálicos. Estos yacimientos se encuentran dentro de una zona de fallas longitudinales de alto ángulo.

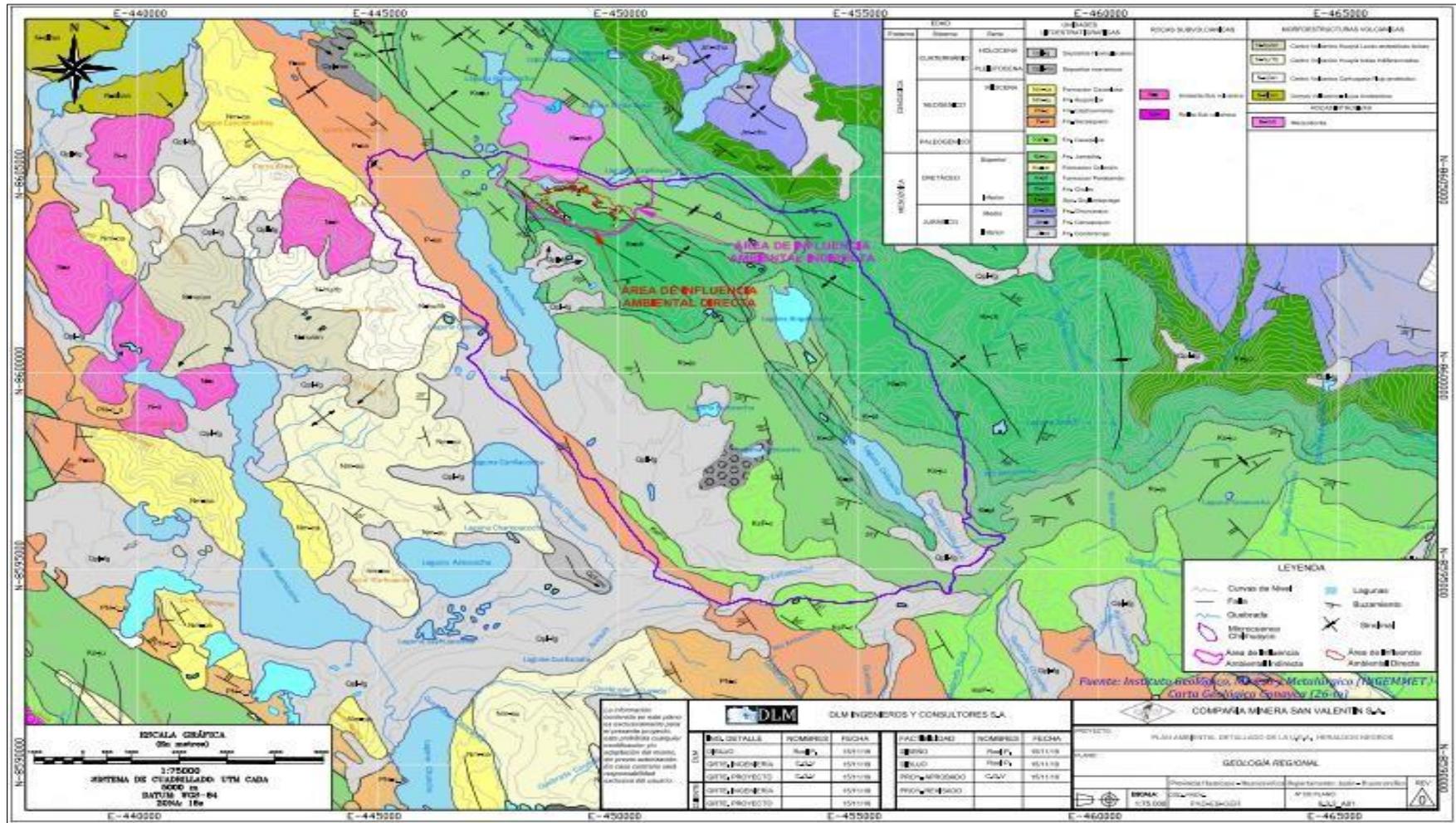
La falla regional es el elemento estructural lineal más crucial en la zona, influyendo no solo en la disposición de diferentes depósitos minerales o áreas mineras, sino también en la posición de intrusiones rocosas y centros volcánicos del periodo Neógeno.

Refiriéndonos al Prospecto Heraldos Negros, la zona de fallamiento abarca hacia el noreste los depósitos polimetálicos de San Valentín, Yauricocha, San Cristóbal y Morococha, y hacia el sureste los distritos mineros de Castrovirreyna, Huachocolpa, Julcani y San Genaro, entre otros.

Se cartografió la región de la falla longitudinal conocida como "Falla Chonta", que presenta un alto ángulo, en el área de San Genaro, y se continuó su seguimiento hasta su extremo noreste utilizando imágenes satelitales. La sección de la "Falla Chonta" en Heraldos Negros se superpone con la veta conocida como falla Esperanza.

En la Mina San Valentín, se están llevando a cabo operaciones subterráneas para la explotación de cuerpos de brecha y mineralización ubicados en la zona de la falla. (Rodríguez, 2008).

**Figura 3:**  
*Plano de lagueología regional de la U.E.A. Heraldos Negros*



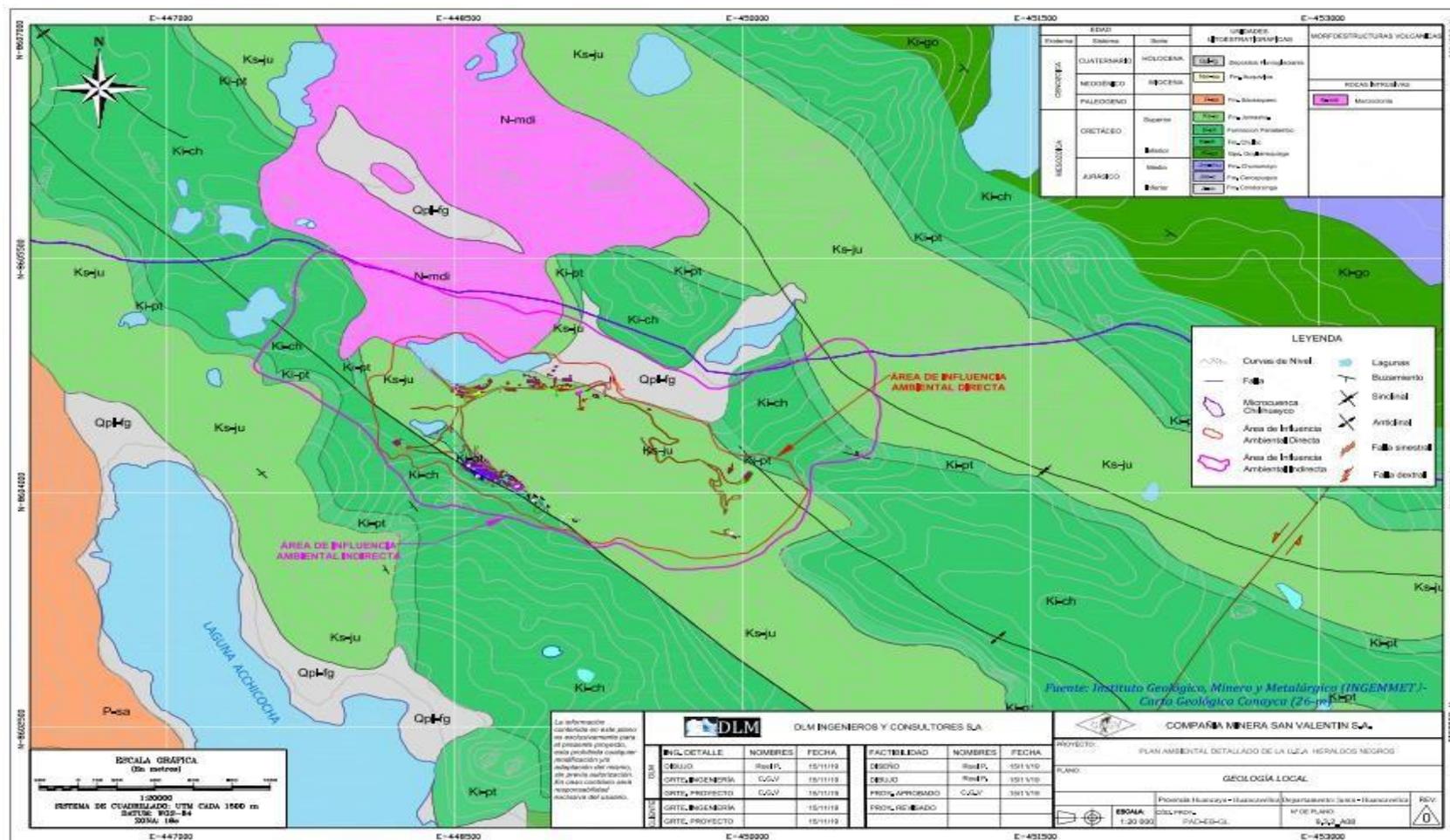
Fuente: Área geología de la unidad minera Heraldos Negros

### **C. Su geología local**

En la zona donde se encuentra la unidad Heraldos Negros, emergen diferentes tipos de rocas, como sedimentarias de tonalidades grises y gris claro del período Mesozoico, con una orientación de N24°W y un ángulo de inclinación de 58°SW. También se encuentran rocas volcánicas andesíticas piritizadas. Todas estas rocas han sido intersectadas por intrusiones pequeñas de composición monzonítica, las cuales han provocado la pirización de las rocas circundantes. Los depósitos minerales de valor económico están asociados con estas intrusiones. Las formaciones Jumasha y Pariatambo yacen de manera concordante sobre formaciones más antiguas, formando un anticlinal con una estructura abierta en el contexto del lineamiento andino.

En el cerro Nevado Condoray, situado dentro del yacimiento Heraldos Negros, la estructura del anticlinal mencionado previamente ha sido fracturada por una falla, formando una brecha que aloja a los cuerpos mineralizados entre dos fisuras, las cuales son la veta Heraldos y la veta Esperanza. Además, se observa un conjunto de fracturas transversales que contienen vetillas de calcita con algunos sulfuros. En el flanco noreste del anticlinal, en el lado opuesto de la laguna Condoray, se encuentra un cuerpo de roca monzodiorítica, el cual se interpone en las calizas de la Formación Jumasha, creando una zona de calcita marmolizada. Asimismo, al este de la laguna Condoray, emerge un pórfido cuarcífero con una abundante presencia de pirita. (Rodríguez, 2008).

**Figura 4:**  
*Plano de Geología local de la U.E.A. Heraldos Negros*



Fuente: Área Geología U.E.A. Heraldos Negros

## **D. Su estratigrafía**

Las formaciones estratigráficas visibles en la región consisten en:

### **1. Formación Chúlec – Pariatambo (Ki-chn)**

Esta formación geológica se ubica en las faldas de los cerros en las altiplanicies y están compuestas por dos miembros, (Chúlec) conformada por arcillas calcáreas, calizas con intercalaciones de margas calcáreas y lutitas arenosas; y al tope (Pariatambo), igualmente de calizas bituminosas, bancos de arcilla y yeso.

En el área mineralizada, se nota como un paquete de estratificación delgada negra sobre el flanco Noreste de la quebrada Heraldos Negros, que se ve en el Nv. 940. Esta formación bituminosa con nódulos de chert tiene una potencia de hasta 120 m. compuesta de estratos delgados de calizas con algunos horizontes de lutitas y limonitas calcáreas. Esta formación discontinúa en el flanco opuesto del anticlinal debido a su desplazamiento normal por la veta falla Esperanza.

### **2. Formación Jumasha (ks-j)**

La formación Jumasha está en concordancia con la formación Pariatambo en un anticlinal de lineamiento andino cuyo eje se inclina levemente hacia el NW. Aflora de manera circular en toda el área del proyecto, posee una potencia aproximada de 400 m. y sobreyace con las calizas y lutitas de la formación Pariatambo. Esta potencia está conformada por intercalaciones de calizas de color gris a calizas dolomíticas de color gris

amarillento a blanco. Presentan a veces algunos chert e intercalaciones de margas.

### **3. Grupo Goyllarisquizga (Ki-g)**

Estas exposiciones rodean el Proyecto y consisten principalmente en areniscas con cuarzo, lutitas de tonalidad gris verdosa, calizas, capas de carbón y a veces intrusiones de diabasa y flujos volcánicos. Principalmente, se refiere a rocas clásticas que se sitúan sobre las calizas de Pucará y por debajo de las formaciones calcáreas del Albiano.

### **4. Formación Sacsaquero (Tim-s)**

Se trata de una formación que combina elementos volcánicos y sedimentarios, compuesta por rocas como andesitas, tobas, areniscas y limos arcillosos. En la superficie, se observa un relieve extremadamente accidentado y abrupto, con fracturas mínimamente alteradas y una cobertura de suelo residual escasa.

### **5. Formación Caudalosa (Ts-ca)**

Se trata de una formación volcánica compuesta principalmente por fragmentos volcánicos, flujos de lava andesítica, rocas de composición riódacítica y areniscas tufosas. Esta formación es visible en áreas de relieve suave.

### **6. Depósitos Glaciares (Qr-g) y Fluvioglaciares (Qr-tg)**

Se trata de depósitos morrénicos compuestos por gravas angulosas, bloques, guijarros y arena, que tienen una forma subredondeada y carecen de estratificación, estando inmersos

en una matriz abundante de limo y arcilla. Estos depósitos se presentan en forma de colinas bajas y llanuras, y los suelos resultantes son compactos. Están situados dentro del área de actividad minera. Los depósitos fluvioglaciares se encuentran en áreas deprimidas suavemente, siguiendo la dirección de las corrientes de agua.

#### **7. Rocas Intrusivas (t-mdi)**

Se trata de una formación geológica del período terciario que consiste en andesitas y un stock intrusivo de naturaleza mozdiorita con dimensiones de 1 km por 2 km. Este intrusivo ha incorporado las rocas calcáreas de la Formación Jumasha y posiblemente esté relacionado con los fluidos mineralizantes del yacimiento Heraldos Negros. (Wiese & Noble, 2001).

#### **E. Su geología económica**

El depósito se compone de un relleno de fracturas que se encuentra en los espacios abiertos propicios a lo largo de las fallas "Esperanza" y "Heraldos Negros", donde se desarrollan cuerpos y/o lentes de mineralización que tienen una forma alargada y algo discontinua. Las estructuras resultantes son:

- **Veta Heraldos Negros**

Formada por una mineralización de sulfuros como Pirita, esfalerita, galena, galena- argentífera, calcopirita; formando estructuras tipo rosario, con potencias variables de 3.5 metros hasta estrangularse; También en algunas zonas hay calizas fuertemente fracturadas rellenas con calcita y con sulfuros

de zinc y plomo. Los hastiales son calizas bituminosas de la formación Pariatambo. El rumbo promedio de la veta es de N40°W.

- **Veta Bomboncito**

Esta estructura mineralizada se encuentra en la falla “Esperanza”, cuyas longitudes es en el nivel 940 con 300 metros de exposición, presentándose como bolsonadas y lazos cimoides con potencias que llegan a los 8 metros, constituye un plunge NW-SE. La mineralización contiene esfalerita rubia y galena en matriz brechoza y panizada, a veces como mineral deleznable, el rumbo promedio de la veta es de N38°W.

- **Stock Work**

“En la superficie existe una zona de vetillas entre las fallas Heraldos Negros y Esperanza en un ancho de 60 metros, todo emplazado en la formación Jumasha, estas vetillas al pasar a la formación Pariatambo se comienzan a estrangular y desaparecer.

En superficie se nota fracturas con relleno de calcita estas además presentan venillas y diseminaciones de esfalerita y galena separados por brechas de calizas pobres.”



## **F. Su geología estructural**

La estructura de la veta Heraldos Negros se forma como parte de la falla regional "Chonta", la cual es una falla de alto ángulo. La porción de la falla Esperanza coincide con esta estructura, cuyo rumbo varía entre N58°W, N60°W, N45°W y N50°W. Estas fallas no solo controlan el depósito mineral, sino también los cuerpos intrusivos y los centros volcánicos neógenos. Las formaciones Jumasha y Pariatambo yacen de manera concordante, formando un anticlinal con un eje axial roto, donde se genera una zona de brecha debido a una falla. En esta zona se encuentran los cuerpos mineralizados entre dos fisuras, la veta Heraldos Negros y la veta Esperanza. Además, existe un sistema transversal de fracturas rellenas de calcita. (Rodríguez, 2008).

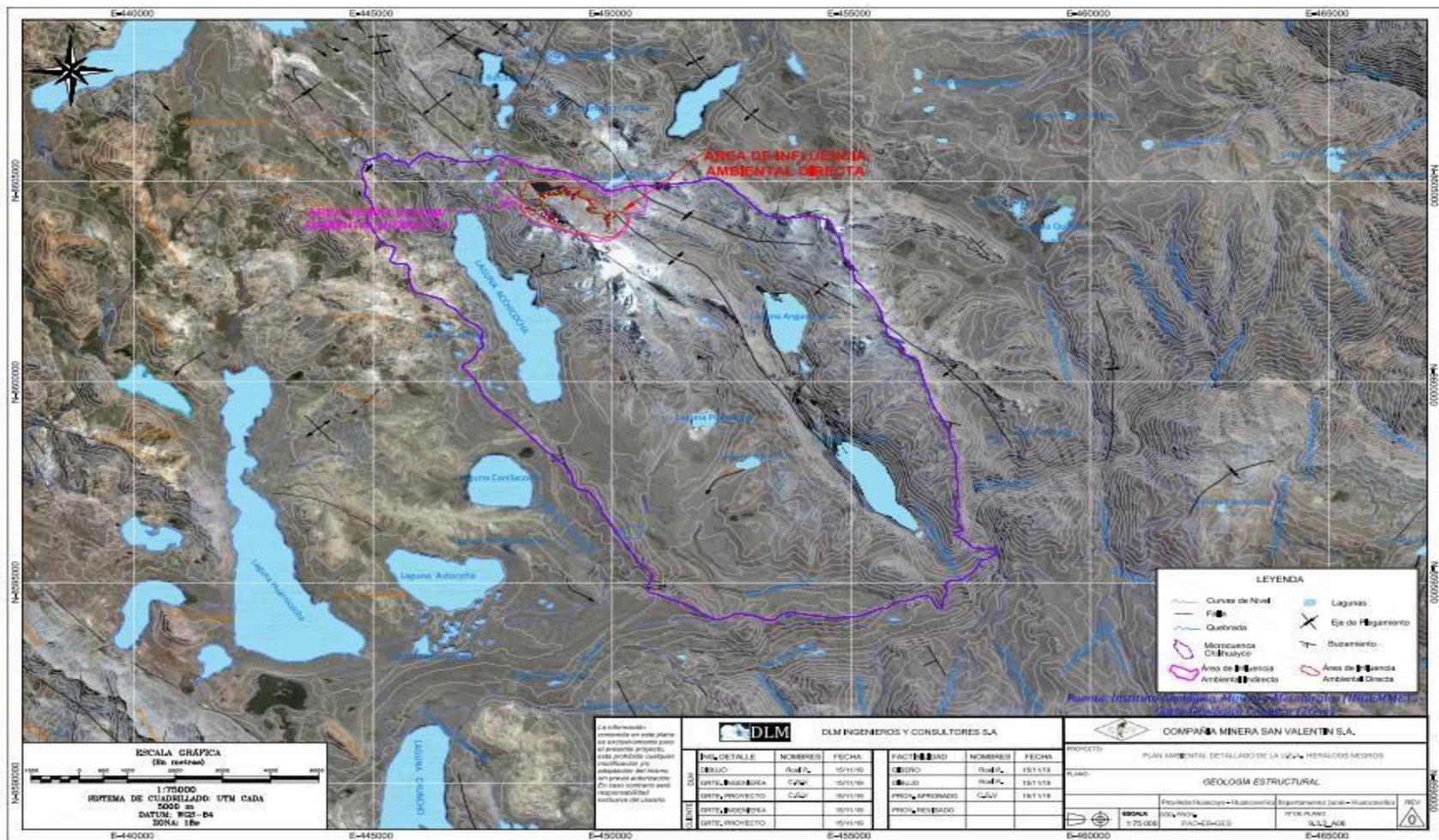
## **G. Su geomorfología**

En la región, se han observado diversas geoformas que han sido esculpidas por procesos de meteorización a lo largo del tiempo, los cuales han actuado sobre las formaciones rocosas, dando forma al relieve actual. Se han identificado las características geomorfológicas más destacadas del área de estudio, detallando las principales formas del relieve y considerando su origen, inclinación, tipo de roca y la altura de las elevaciones topográficas. Además, se ha analizado la influencia de los procesos erosivos actuales en la morfología del terreno.

Topográficamente, el área de estudio abarca altitudes que van desde los 4200 metros sobre el nivel del mar hasta los 5000 metros

sobre el nivel del mar, con pendientes que van de moderadas a pronunciadas. Como resultado, el modelo topográfico predominante consiste en montañas escarpadas y mesetas elevadas (Rodríguez, 2008).

**Figura 6:**  
 Plano de geología estructural de la U.E.A. Heraldos Negros



Fuente: Área geológica de la U.E.A. Los Heraldos Negros

## **H. Su caracterización hidrológica**

Dentro de las fuentes de alimentación de la cuenca del Mantaro, se encuentran manantiales, lagunas, quebradas, nevados y ríos, los cuales se originan tanto por la precipitación pluvial estacional en la región como por las filtraciones provenientes de áreas más elevadas. Dentro del área de influencia correspondiente, se ha identificado la quebrada Chilihuayco. Desde el punto de vista hidrográfico, esta quebrada limita al norte con las lagunas Yurajcocha y Angascocha, al sur con las quebradas Chojepite y Picuy, al oeste con las lagunas Canllacocha y Champacocha, y al este con el río Antacocha. La zona de estudio abarca altitudes que van desde los 4200 metros sobre el nivel del mar hasta los 4400 metros sobre el nivel del mar, con una altura media de 4800 metros sobre el nivel del mar.

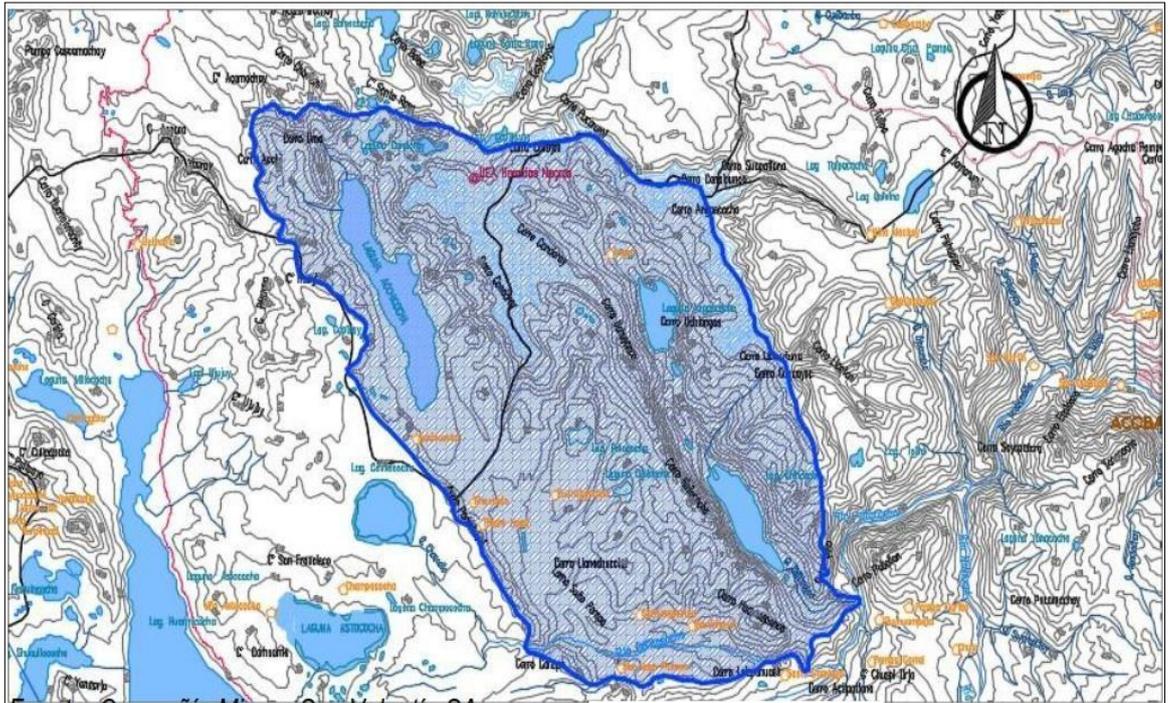
La quebrada se origina en los cerros Huamaspunco, Huilacocha, Uchuyanco y Cuncayoc, con una dirección que va desde el noreste hacia el suroeste. Además, forma parte del sistema hidrográfico de la cuenca del Mantaro, que a su vez pertenece a la cuenca hidrográfica del Amazonas.

Desde el punto de vista climático, la microcuenca Chilihuayco experimenta precipitaciones durante todo el año, con excepción del invierno. Además, se caracteriza por ser una zona semifría y húmeda, con precipitaciones anuales promedio que oscilan entre 700 y 1500 mm. La microcuenca de la quebrada Chilihuayco tiene un área de drenaje de 91.237 km<sup>2</sup>, mientras que su cauce

principal tiene una longitud de 12.134 km y una pendiente promedio de 9.506 %. (Wiese & Noble, 2001).

**Figura 7:**

*Microcuenca donde se ubica la unidad los Heraldos Negros*



*Fuente: Área geológica de la unidad los Heraldos Negros*

## **I. Caracterización hidrogeológica**

La caracterización hidrogeológica de las unidades litológicas comienza con el estudio detallado de su geología, que implica la ubicación, identificación y descripción de las rocas, así como sus propiedades hidrogeológicas inherentes. Esto incluye la litología, la posición estratigráfica y estructural, así como la geomorfología relacionada con procesos externos como erosión, transporte y sedimentación, que generan una variedad de depósitos, como fluviales, glaciares, aluviales, entre otros, que pueden contener acuíferos. Además, se realiza la medición de la frecuencia de

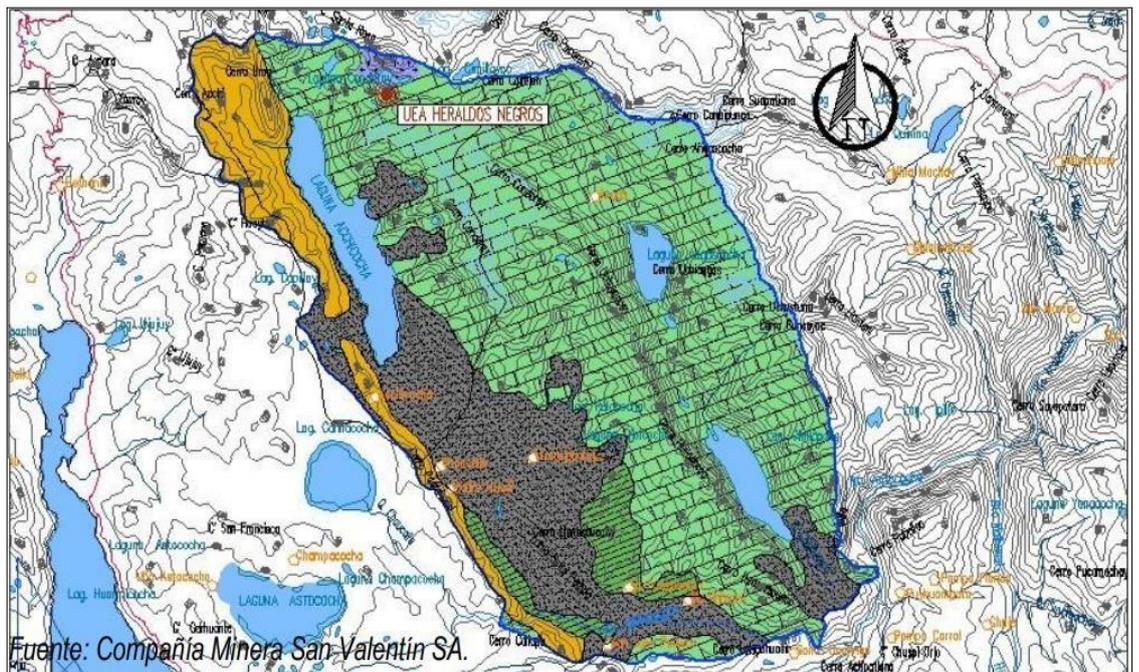
fracturas y fallas en los afloramientos rocosos que albergan sistemas acuíferos fisurados. A partir de este enfoque, se identifican unidades hidroestratigráficas que varían en su capacidad para almacenar y transmitir agua. En el caso específico de la UEA Heraldos Negros, se reconocen las siguientes zonas hidroestratigráficas:

- Zona hidrogeológica parcialmente consolidada.
- Zona hidrogeológica de rocas volcánicas piroclásticas fisuradas.
- Zona hidrogeológica de rocas sedimentarias volcánicas fisuradas.
- Zona hidrogeológica de rocas calcáreas fisuradas.
- Zona hidrogeológica de intrusiones acuíferas impermeables.

(Wiese & Noble, 2001).

**Figura 8:**

*Unidades hidro estratigráficas de la cuenca Chilihuyco.*



*Fuente: Área geología de la unidad los Heraldos Negros.*

## **J. Propiedades de roca para la perforación de frentes**

### **1. La densidad**

Tras analizar muestras representativas de minerales procedentes de las áreas de trabajo en el laboratorio metalúrgico de la planta, se han obtenido los siguientes datos:

Muestra Nivel – Zona gr/cm<sup>3</sup> Caliza Nv. 4820 2.62

### **2. La humedad**

Después de examinar las muestras representativas en el laboratorio metalúrgico de CMSV S.A, se llevaron a cabo pruebas de humedad natural.

Muestra Nivel – Zona;

Humedad (%): 7.87

### **3. El módulo de deformación.**

El módulo de Young es un factor que describe la elasticidad de un material, y en este contexto, lo relacionaremos con las correlaciones respecto al RMR en la zona (Serafín & Pereira, 1984).

(Gap para RMR >50)

(Gap para RMR <50)

Varían de 37 a 45 en rebote.

### **4. La resistencia a la comprensión simple**

Este parámetro geomecánico del terreno rocoso se refiere a la resistencia a la comprensión simple de la roca intacta. Para evaluar esta resistencia, se empleó un método indirecto.

De las pruebas con el martillo de schmithd, el promedio es de

81.3 MPa.

## **5. La dureza**

La dureza del macizo rocoso, con un índice de RMR promedio de 41 a 60, indica que se trata de un tipo de roca clasificado como tipo III, de calidad regular. Por lo tanto, realizar una perforación en el breasting proporciona un techo más seguro y estable. (Piano, 2021).

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿Es posible optimizar los parámetros de avance en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros con la capacitación de técnicas en el proceso perforación y voladura?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

- a) ¿Con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura permite optimizar el avance lineal en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros?
- b) ¿Con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura permite optimizar el factor de carga en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros?
- c) ¿Con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura permite optimizarla sobre excavación en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros?

## **1.4. Formulación de Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Optimizar los parámetros de avance en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a) Optimizar el avance lineal en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura.
- b) Optimizar el factor de carga en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura.
- c) Optimizar la sobre excavación en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura.

## **1.5. Justificación de la Investigación**

La realización de este proyecto de investigación se justifica porque ayudará a mejorar el desarrollo operativo del proceso de perforación y voladura en las galerías de la U.E.A. Heraldos Negros, principalmente en la optimización del avance de las galerías, mayor nivel de seguridad y una gestión más eficiente del tiempo en el proceso conllevarán a un aumento en la productividad, lo cual, sin lugar a dudas, resultará en una reducción de los costos. Además, este enfoque contribuirá al avance de los conocimientos actuales y su aplicación en otras instalaciones mineras.

El propósito de esta investigación es evaluar técnicamente los resultados actuales de perforación y voladura como punto de referencia, y luego de

capacitar al personal de la U.E.A. Heraldos Negros, con el objetivo de ofrecer una alternativa que mejore los parámetros del proceso de perforación y voladura. Además, se busca que este estudio sirva como base y modelo para investigaciones similares en otras empresas mineras en relación al avance de los frentes.

#### **1.6. Limitaciones de la investigación**

Durante la investigación, no se encontraron obstáculos para recopilar datos sobre los parámetros de avance lineal, factor de potencia, sobre excavación y producción de gases. El departamento de planeamiento de desarrollo y preparación de la U.E.A. Heraldos Negros nos brindó todas las facilidades necesarias para acceder a esta información. Esto nos permitió implementar eficazmente la capacitación en las técnicas del proceso de perforación y voladura.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

##### **a. Antecedentes nacionales**

- Diaz, E. (2017), De la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, en su tesis “Optimización de perforación y voladura de rocas para maximizar utilidades en la mina Panulcillo de Minera Cruz Ltda.-2016” Analiza la optimización de los procesos de perforación y voladura de las rocas que es una práctica constante de toda empresa con el objeto de maximizar la productividad, costos mensuales de la perforación y voladura. En su estudio, se identifican deficiencias en los resultados de las voladuras, lo que conduce frecuentemente a un aumento de los costos. Estas deficiencias se atribuyen a la mala práctica durante el carguío de los taladros, la falta de precisión por parte de los operadores al perforar, la desviación de los taladros debido a la velocidad durante la perforación, así como problemas como la lubricación inadecuada y el confinamiento deficiente de la

carga explosiva. El objetivo de la investigación es de corregir todos estos errores durante la operación de la perforación y voladura. Como resultado de este estudio, se ha logrado optimizar las prácticas de perforación en relación con los parámetros mencionados. Se registró un aumento del 2% en las ganancias y una reducción del 1.98% en el consumo de brocas y aceros, lo que contribuyó a maximizar las utilidades anuales en la mina Panulcillo.

- Berrospi, V. (2019), de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, en su investigación titulada "Mejora de la perforación y voladura para optimizar la zona de profundización en la mina Andaychagua de la Compañía Minera Volcan S.A.A.", se plantea que el adecuado empleo de las técnicas de voladura resulta en excavaciones bien definidas, fragmentación adecuada y mínimas sobre roturas. Esto a su vez permite mantener excavaciones más estables y agilizar el ciclo del frente, lo que se traduce en una reducción de los costos asociados con el sostenimiento, explosivos, tareas y utilización de equipos. Para lograr la optimización de estos parámetros analiza el proceso de perforación y voladura que finalmente con las recomendaciones dadas y cambiando el tipo de explosivo a una emulsión bombeable demuestra su hipótesis planteada. Concluye que con una buena práctica en el proceso de perforación y voladura se logra obtener resultados eficientes mejorando la productividad.

**b. Antecedentes internacionales.**

- Caguana, A. & Tenorio, M. (2016), De la Universidad Nacional del Cuenca del Ecuador, en su tesis "Optimización de los Parámetros de Perforación y Voladura en la Cantera de las Victorias". Concluye que es muy importante el análisis de métodos de recalcuro a partir de los resultados

de la perforación y voladura para optimizar los parámetros del proceso de fragmentación de los materiales de la cantera las Victorias. En su investigación también concluye que al incrementar la carga explosiva en la malla de los taladros el tamaño de la fragmentación disminuye, como también al realizar perforaciones mas distantes en la malla de perforación la dimensión de la fragmentación del producto de la voladura es mayor. Así mismo determina que el barreno empleado con diámetro de 36 milímetros es insuficiente, inadecuado y no es recomendable para este tipo de trabajos; de esta manera logrando optimizar los parámetros de perforación y voladura. Finalmente concluye que el método de cálculo más confiable es el de López Jimeno que puede ser utilizado para adecuado patrón de voladura.

- Sánchez, V. (2014), La investigación titulada "Optimización de los procesos de perforación y voladura para la reducción de costos de explotación en la mina Bethzabeth" analiza la malla de perforación utilizada para fragmentar el mineral de las vetas Sucre y Tres Diablos de la concesión Bethzabeth. Este análisis reveló deficiencias en el número de taladros, el factor de carga, la velocidad de detonación, el tiempo dedicado a las operaciones de perforación y la granulometría de la fragmentación, lo que resultó en costos de explotación elevados. La conclusión principal es que mediante el rediseño de la malla de perforación y la carga explosiva, se pueden mejorar todos estos parámetros de perforación y voladura en la mina mencionada.

## **2.2. Bases teóricas científicas**

### **2.2.1. Perforación y voladura**

Como se desarrolla y avanza la sección de un frente depende de diversos factores:

- Equipo de perforación.
- Tiempo para la ejecución del proyecto.
- Características de roca.
- Malla de perforación.
- Diámetro del taladro.

Si la roca es de muy buena calidad las labores con secciones inferiores a 12 m<sup>2</sup> pueden excavarse con perforación y voladura a sección completa, se emplea un enfoque de excavación por etapas para la construcción de túneles de gran tamaño. Esta técnica se aplica cuando la sección del túnel es lo suficientemente amplia para ser cubierta por el equipo de perforación, o cuando las características geomecánicas de las rocas no permiten la excavación de la sección completa de una sola vez.

La perforación en frentes subterráneos se caracteriza por la ausencia inicial de cualquier cara libre de salida, excepto el propio frente de ataque. El método implica la creación de un hueco cilíndrico libre utilizando los taladros iniciales, hacia el cual se detonan las cargas restantes de la sección. Estos taladros suelen tener una superficie aproximada de 10 a 20 cm<sup>2</sup>, y con diámetros de perforación más grandes, se pueden alcanzar hasta 1 m<sup>2</sup>. En el caso de los arranques de abanico, los taladros pueden cubrir la mayor parte de la sección.

En otras áreas de la sección, cuando se comparan geométricamente con las voladuras en banco, los consumos específicos de explosivos pueden ser hasta 4 a 10 veces mayores. Esto se debe a errores de perforación, un menor hueco cilíndrico para la expansión en relación con el eje de avance, una menor relación entre las cargas adyacentes y, en algunas partes de la zona, la acción negativa de la gravedad, como en el caso de los taladros de arrastre.

Los taladros de contorno son aquellos que determinan la forma final de una excavación, se colocan con un espaciado reducido y están orientados hacia el interior del macizo para permitir el acceso libre de las perforadoras durante el proceso de voladura.

En cuanto al arranque influye en la proyección del escombros, en la fragmentación y también en el número de taladros. De estas posiciones: en rincón, centrada superior y centrada inferior, se elige normalmente la primera, ya que se evita la caída libre del material, el perfil del escombros es más tendido, menos compacto y mejor fragmentado (Piñas, 2007).

### **2.2.2. Factores que provocan la sobre excavación**

Los Factores que se consideran para una sobre excavación y caída de rocas en las labores de la mina son:

#### **a. Mala dimensión de las áreas a excavar**

En ciertos proyectos, se planifica de manera inadecuada las dimensiones de la excavación en términos de altura, anchura y longitud de los frentes, así como las dimensiones de los pilares y los puentes de soporte.

#### **b. Voladuras sobredimensionadas**

El exceso de energía en la carga explosiva y la secuencia de detonación muy cercana provocan daños en la roca circundante de las excavaciones en progreso.

También la orientación equivocada de las labores mineras con respecto al rumbo y buzamiento de la estructura geológica principal que predominan en la zona (fallas, diaclasas, disyunción y planos de estratificación).

#### **c. Diseño de malla inapropiada a la condición de la roca**

Un diseño deficiente de los taladros iniciales, una distribución simétrica y

la cantidad de explosivo utilizada, así como una secuencia de detonación que no corresponde al grado de intensidad de las fisuras, ya sean estrechas, medianas o ampliamente separadas.

**d. Inapropiada selección de explosivos**

Según la calidad de la roca.

- Velocidad de detonación
- Deflagración vs. Tenacidad
- Factor de carga
- Factor de energía vs volabilidad

**2.2.3. Factores que considerar para el manejo de explosivos**

En conceptos generales los explosivos se clasifican en: explosivos químicos y explosivos nucleares.

Los explosivos químicos funcionan mediante reacciones de detonación desencadenadas por una onda de choque. Principalmente consisten en compuestos nitrados y son ampliamente empleados en la industria minera.

Los explosivos nucleares se emplean mediante la desintegración de materiales como el uranio 235 y el plutonio, lo que produce una liberación significativa de energía. En la actualidad, su uso se centra principalmente en ámbitos militares y de investigación.

A pesar de que no se consideran explosivos en sí mismos, ciertos productos especiales generan una explosión física sin una detonación previa. Este efecto se logra mediante la repentina expansión de gases inertes licuados, como el CO<sub>2</sub> (cardox), al aplicar calor. Su uso se restringe a entornos con presencia de grisú en minas de carbón o en lugares donde no es posible utilizar explosivos convencionales.

## **A. Dinamita**

Basándose en el contenido de nitroglicerina en relación con la mezcla no explosiva inicial y considerando su aplicación, las dinamitas se categorizan en:

### **a. Gelatinas**

Gelatina Especial 75BN y 75; Gelatina Especial 90BN y 90; Gelatina y Gelignita Explosiva con densidades de 1,3 a 1,5 g/cm<sup>3</sup> y velocidades de 5 000 a 6 500 m/s posee una consistencia plástica, con un elevado poder triturador en rocas duras y alta resistencia al agua para trabajos subacuáticos.

### **b. Semi gelatinas**

Semexsa 80, Semexsa 65, Semexsa 60 y Semexsa 45 (con densidades de 1,08 a 1,2 g/cm<sup>3</sup> y velocidades de 3 500 a 4 500 m/s), de consistencia granular, adecuada para rocas semiduras y húmedas.

### **c. Pulverulentas**

Exadit 65, Exadit 60 y Exadit 45 con densidades de 1,00 a 1,05 g/cm<sup>3</sup> y velocidades de 3400 a 3 600 m/s), de consistencia granular fina, adecuada para rocas friables, suaves, en taladros secos.

### **d. Especiales**

Exsa corte para voladura controlada y Geodit para sísmica.

## **B. Explosivos acuosos**

### **- Explosivos hidrogel**

El hidrogel está constituido por fase continua, es una solución acuosa de sales oxidantes saturada a temperatura ambiente y gelificada por gomas hidrosolubles; y por una dispersa de partículas sólidas, gotitas

líquidas, o ambas. En el caso de un líquido disperso, la composición pertenece simultáneamente al grupo de las emulsiones de tipo “aceite en agua.

- **Emulsiones explosivas**

La emulsión explosiva son de tipo inversado “agua en aceite”, componiéndose entre las dos fases líquidas, básicamente constituida por la mezcla de hidrocarburos y otra dispersa, son microgotas de una solución acuosa de sales oxidantes, con el nitrato de amonio como principal componente.

Los explosivos empleados en voladura de rocas actúan con base en una reacción fisicoquímica con una combustión bastante rápida que comprende tres elementos: oxidante, combustible y sensibilizador. Por tanto, los explosivos contienen estos tres elementos, clasificándose en cuatro grupos.

Aparte de su composición química, otros factores influyen en ciertos casos en el performance de los explosivos, como el tamaño de las partículas oxidantes.

**C. Propiedades de explosivos**

**a. Densidades**

La densidad se define como el peso del explosivo por unidad de volumen, y se expresa en gramos por centímetro cúbico. Por ejemplo, el anfo a granel tiene una densidad de 0.85 gr/cc. Cuando la densidad es menor que 1.0 gr/cc, el explosivo flota en el agua. La densidad de un explosivo es un factor crucial en el cálculo de la carga explosiva. Cuanto mayor sea la densidad del explosivo, mayor será su eficiencia,

ya que permitirá que el taladro contenga una mayor cantidad de producto fragmentado. La siguiente tabla muestra las densidades:

**Tabla 2:**  
*Densidades de los explosivos*

<b>Tipo de explosivo</b>	<b>Densidad</b>	<b>Observaciones</b>
Gelatina 75	1.38	Para roca muy dura
Semexsa 65	1.12	Para roca dura
Semexsa 45	1.08	Para roca semi dura
Exadit 65	1.04	Para roca suave
Exadit 45	1.00	Para roca muy suave

*Fuente: Elaboración propia*

#### **b. Sensibilidades**

La sensibilidad se refiere a la facilidad con la que un explosivo puede ser iniciado o al detonador mínimo que necesita para activarse, y esta característica varía en función de la composición del explosivo, el diámetro, la temperatura y la presión ambiental:

1. La dinamita responde a la cápsula detonadora de potencia N° 8 o al cordón detonante.
2. El agente explosivo no reacciona ante la cápsula detonadora de potencia N° 8, requiere un detonador o iniciador adicional como un booster.

#### **c. Resistencia al agua**

La resistencia al agua se refiere a la capacidad de un explosivo para mantener su sensibilidad y eficiencia cuando está expuesto al agua. Esta cualidad se expresa de manera cualitativa, y los explosivos difieren en su capacidad para resistir el agua. Por ejemplo, el anfo es

susceptible a la humedad, mientras que la emulsión y el acuagel son más resistentes a la humedad. A continuación, se presenta una tabla que muestra las diferentes resistencias:

**Tabla 3:**  
*Resistencia al agua de los explosivos*

<b>Tipo de explosivo</b>	<b>Densidad</b>	<b>Resistencia al agua</b>
Gelatina 75	1.38	Buena
Semexsa 65	1.12	Moderada
Semexsa 45	1.08	Baja
Exadit 65	1.04	Pobre
Exadit 45	1.00	Muy Pobre

*Fuente: Elaboración propia*

**d. Estabilidad química**

La estabilidad química se refiere a la capacidad de mantenerse químicamente inalterado y conservar su sensibilidad durante el almacenamiento bajo las condiciones establecidas. Los factores que afectan la estabilidad química incluyen la temperatura, la humedad, la calidad de las materias primas, la contaminación, así como los envases y las instalaciones de almacenamiento. Algunos indicadores de deterioro del producto pueden incluir un aumento en la viscosidad, la cristalización y un aumento en la densidad.

**e. Características de los humos**

Cuando los explosivos detonen, producirán humos que pueden ser tanto no tóxicos, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O), así como tóxicos, como óxidos de nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO). Los factores que contribuyen al aumento de estos gases

tóxicos incluyen tiempos de detonación inadecuados y la reacción de generación de gases tóxicos debido a un encendido inapropiado, falta de confinamiento, presencia de humedad y composición inadecuada, que puede reaccionar adversamente con la roca, como la presencia de minerales de sulfuro o carbonato.

#### **2.2.4. Mecánica de fragmentación de roca**

La fragmentación de la roca debido a la detonación implica la acción del explosivo y la respuesta resultante de la masa rocosa circundante, teniendo en cuenta diversos factores como el tiempo, la energía termodinámica, las ondas de presión, la mecánica de rocas, entre otros. Este proceso se desarrolla en un mecanismo de interacción rápido y complejo.

Aunque el mecanismo no está completamente definido, hay varias teorías que intentan explicarlo, entre las cuales se pueden mencionar:

- Teoría de la reflexión: Ondas de tensión reflejadas en una superficie libre.
- Teoría de expansión de gases.
- Teoría de la fractura flexural debido a la expansión de gases.
- Teoría del torsión, o cizallamiento.
- Teoría de la formación de cráteres.
- Teoría de la energía de los frentes de onda de compresión y tensión.
- Teoría de la liberación repentina de cargas.
- Teoría de la formación de fracturas en fallas y discontinuidades.

En la siguiente figura se puede visualizar el mecanismo de la fragmentación del macizorocoso:

**Figura 9:**

*Mecanismo del fracturamiento del macizo rocoso*



Fuente: López Jimeno

Una descripción concisa y ampliamente aceptada resume varios conceptos al estimar que el proceso se divide en varias etapas que ocurren casi simultáneamente en un lapso muy breve, de solo unos pocos milisegundos. Durante este período, tiene lugar la detonación completa de una carga confinada, abarcando desde la fragmentación hasta el desplazamiento del material volado. Las etapas son:

La primera etapa implica la detonación del explosivo y la creación de la onda de choque, seguida por la transferencia de esta onda a la masa de roca, lo que inicia su fracturación.

En la segunda etapa, se produce la generación y expansión de gases a alta presión y temperatura, lo que resulta en la fracturación y desplazamiento de la roca.

Finalmente, la masa de roca triturada se desplaza para formar una acumulación de escombros o detritos.

Las teorías se fundamentan en diversos procesos, como la distribución excesiva de energía, la acción de fuerzas de compresión y tensión, la reflexión de ondas de choque en las superficies libres, así como los efectos de corte y

cizallamiento debido al movimiento torsional entre los barrenos. También se considera la presión de los gases sobre la roca y la liberación de cargas, la ruptura de materiales rígidos por flexión, la formación de microfracturas en fisuras y fallas, y la colisión de fragmentos en el aire. Estas teorías se apoyan en investigaciones realizadas en laboratorios especializados y campos de pruebas, utilizando modelos matemáticos y físicos, así como pruebas experimentales y de producción controladas. Estas investigaciones suelen incluir técnicas como la fotografía de alta velocidad y el monitoreo sísmico, entre otras.

#### **A. Etapas del fracturamiento**

R. Frank Chiappetta, propuso que el proceso de Fracturamiento de rocas se provoca desde un punto de vista de eventos. Tal como:

I E1 = Detonación.

I E2 = Propagación de onda de choque o compresiva.

I E3 = Expansión de la presión de gases.

I E4 = Movimiento del macizo rocoso, etc.

Los investigadores coinciden en que el proceso de fracturamiento de rocas mediante una mezcla explosiva comercial consta de tres etapas principales:

- En la primera fase, se producen fracturas radiales, conocidas como "brisance".
- En la segunda fase, se produce un empuje hacia adelante, denominado "heave".
- En la tercera fase, tiene lugar la fragmentación

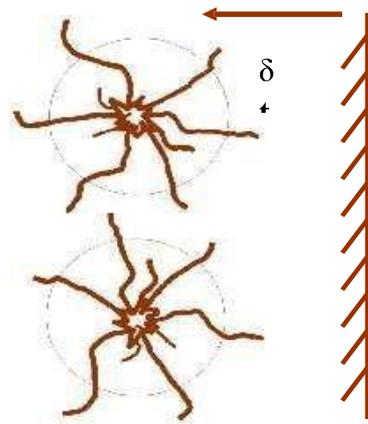
##### **a. Primera fase**

Cuando se detona cualquier mezcla explosiva cargada dentro de un taladro, se generan ondas de choque. La forma y la intensidad de estas

ondas compresivas, que viajan a altas velocidades de entre 3,000 y 5,000 m/seg, dependen del tipo de mezcla explosiva, del tipo de roca, del número y la ubicación de los iniciadores, de la altura de carga, del diámetro del taladro y de la relación entre la velocidad de detonación y la velocidad de propagación de las ondas a través del macizo rocoso.

**Figura 10:**

*Ira. fase fracturas radiales*



*Fuente: López Jimeno*

**b. Segunda fase**

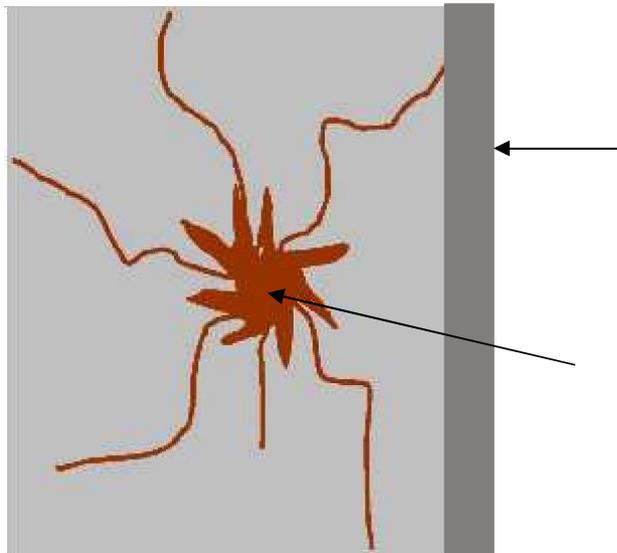
Las altas presiones de los gases, hacen que estos produzcan las ondas de choque las cuales serán refractadas y reflejadas. Estas ondas cambiarán su polaridad a negativa y se transformarán en ondas de tensión. Esta transformación sucederá cuando las ondas compresivas alcancen una superficie libre, cuando la densidad de la roca cambie, o cuando encuentren fallas geológicas o planos estructurales, entre otros factores.

La fragmentación de la roca se inicia en la cara libre o en cualquier discontinuidad donde las ondas de choque son reflejadas. Cuando las

ondas compresivas cambian de signo y se convierten en ondas de tensión; regresan de la cara libre o cualquier discontinuidad estructural fracturando el macizo rocoso.

Por lo general, la resistencia de una roca a la tensión dinámica es menor que su resistencia a la compresión dinámica. Las ondas de tensión generan una expansión hacia adelante (HEAVE) del macizo rocoso en la región más cercana a la superficie libre, y esto dependerá de diversos factores como el tipo de roca, la cantidad y calidad de la mezcla explosiva, así como las configuraciones de perforación y voladura a emplear en el disparo inicial.

**Figura 11:**  
*Fase 2 detonación*



*Fuente: López Jimeno*

**c. Tercera fase**

Se logra la fragmentación completa de la roca.

JOHANSSON señala que, debido a las altas presiones de gases generadas por la detonación de cualquier mezcla explosiva comercial,

las fracturas radiales iniciales se propagan y la superficie libre falla, desplazándose hacia adelante.

La primera parte del macizo rocoso es removida hacia adelante y la nueva cara libre reflejara a las ondas de choque producidas por las ondas compresivas.

Después, estas ondas de tensión son adecuadas para fracturar la masa de roca, y así se completa todo el proceso de fracturación de rocas.

Otros investigadores señalan que la fragmentación es crucial para evaluar los resultados de una explosión desde una perspectiva técnica, económica y ecológica. La fragmentación es un factor que vincula las actividades mineras y metalúrgicas, que abarcan todo el proceso de extracción del mineral.

#### **2.2.5. Labores de frentes de desarrollo y preparación**

##### **- By pass**

Es una excavación subterránea horizontal con una sección de 3.5 metros por 3.0 metros. Estas galerías se construyen en paralelo a las principales y están separadas por pilares de aproximadamente 15 metros, ajustados según la calidad del macizo rocoso. Principalmente se utilizan para el transporte y acarreo de mineral, así como para el suministro de servicios auxiliares como aire, agua y ventilación.

##### **- Rampa**

Las excavaciones subterráneas pueden tener una pendiente positiva (+12%) o negativa (-12%) con secciones de 3.5 metros por 3.0 metros y 4.0 metros por 4.0 metros. Las rampas con una sección de

3.5 metros por 3.0 metros se emplean para proporcionar acceso desde niveles superiores hasta niveles inferiores que conducen a la estructura mineralizada. Por otro lado, las rampas con una sección de 4.0 metros por 4.0 metros se utilizan principalmente para el transporte de mineral hacia la superficie.

- **Galería**

Se trata de una excavación subterránea prácticamente horizontal con una sección de 3.0 metros por 3.0 metros. Su propósito es abrir un nivel de explotación o desarrollar las estructuras mineralizadas.

- **Ventana**

Trabajo en plano horizontal con inclinaciones, con una sección de 3.0 m. x 3.0 m., que facilita el acceso directo a las galerías o frentes desde el desvío, lo que permite su bloqueo para luego comenzar la explotación.

- **Rampa Basculante**

Excavación subterránea con sección de 3.0m. x 3.0m. se ejecutan con una gradiente de 15% para acceso al tajo de explotación desde la rampa principal, conforme se va subiendo el tajo esta rampa también bascula o sube, hasta llegar a una gradiente de +15%.

- **Chimenea**

Se trata de una excavación subterránea vertical o inclinada pronunciada, con una sección de 1.5m x 1.5m, diseñada para propósitos de ventilación y servicios auxiliares.

- **Ore pass**

Se trata de una excavación subterránea vertical con una sección de

1.5m x 1.5m, destinada principalmente como punto de descarga de mineral proveniente de múltiples puntos de alimentación.

## **2.2.6. Parámetros para el Diseño de Malla de Perforación y Voladura**

### **1. Calidad de la roca**

Los criterios incluyen la evaluación de la calidad de la roca, y para el diseño de la malla se tienen en cuenta las siguientes características:

#### **Física**

Los atributos como densidad, dureza, tenacidad, porosidad, abrasividad y grado de alteración son consideraciones importantes en la caracterización de las rocas.

- La densidad se define como la relación entre la masa y el volumen de la roca, y varía típicamente entre 1.2 y 4.3.
- La tenacidad se refiere a la resistencia de un mineral o roca a ser fracturado, fragmentado o doblado.
- Dureza. La dureza se caracteriza por la capacidad de un material para oponerse a la penetración de otro objeto. En el ámbito de los minerales, la dureza se relaciona con la resistencia de un mineral a ser rayado por otro mineral o material.
- Porosidad. Son los pequeños espacios abiertos existentes en los materiales rellenos por soluciones acuosas y/o gaseosas de una roca, esta roca es más frágil.
- Abrasividad. Es la roca generalmente granulada, que actúa sobre otros materiales aplicándole diferentes clases de fuerza

mecánica para lograr su desgaste o pulimento prematuro.

- Grado de alteración de una roca. La meteorización física produce la fracturación y disgregación de la roca mediante la abertura de fracturas preexistentes.

### **Resistencia**

Se denomina resistencia a la compresión simple de una roca al esfuerzo medido sobre la misma de una manera técnica, es el parámetro más común para definir los criterios de rotura y el comportamiento geo mecánico de un macizo rocoso.

### **La condición geológica**

Un macizo rocoso es un medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo conformado por un conjunto de bloques de matriz rocosa y distintos tipos de discontinuidad que afectan al medio rocoso, mecánicamente pueden considerarse que presentan resistencia a la tracción nula dentro de la estructura, en grado de fisuramiento.

## **2. Parámetros de Explosivo**

Es crucial comprender las características de los explosivos, las cuales pueden ser identificadas mediante modelos modernos o proporcionadas por el fabricante del explosivo. Estas características abarcan aspectos físicos y químicos como la densidad, velocidad de detonación, transmisión, compatibilidad, resistencia al agua, poder energético, sensibilidad a la iniciación, volumen de gases, presión en el taladro y control de humos.

### **3. Parámetros de la carga**

Los parámetros de carga son variables controlables en el momento del diseño de la malla de perforación y voladura, diámetro y longitud del taladro, confinamiento, acoplamiento, densidad de carga, longitud de carga, tipo y ubicación del cebo, distribución de energía, intervalos de iniciación de carga. (EXSA S.A., 2015)

### **4. Números de taladro**

El número de taladros necesarios para una voladura varía según el tipo de roca, el nivel de confinamiento, el grado de fragmentación deseado y el tamaño de las brocas utilizadas para la perforación. Estos factores influyen en el cálculo teórico del número de taladros, pudiendo aumentar o disminuir su cantidad. Asimismo, determinan el tipo de explosivo y el método de iniciación a emplear.

- Tipo de roca. Es fundamental considerar la dureza de la roca al calcular el número de taladros necesarios. Esta dureza puede variar desde muy resistente hasta muy frágil, y las condiciones específicas de la roca influyen en esta variable. Al conocer los parámetros de la roca, se puede determinar con mayor precisión la cantidad adecuada de taladros a utilizar.
- Grado de fragmentación. El tamaño de la roca fragmentada varía según varios factores, como el tamaño deseado de la explotación del yacimiento, la capacidad de los equipos y la chancadora primaria de la planta concentradora. En las labores subterráneas, las dimensiones suelen ser más reducidas en comparación con la explotación superficial. Por ende, el diseño

de la malla de perforación se ajusta según el método de explotación utilizado.

- Grado de confinamiento. Al diseñar la malla de perforación, se considera el grado de confinamiento de la roca y la cantidad de caras libres disponibles para el diseño. En labores subterráneas, donde generalmente hay una sola cara libre, la roca está más confinada, lo que la hace más resistente a la voladura. En contraste, en el diseño de la malla de perforación para superficie, la roca está menos confinada debido a la presencia de más caras libres, lo que requiere un menor número de taladros en la disposición de la malla.
- Diámetro de perforación de las brocas, Es relevante debido a que, conforme aumenta el diámetro de la broca, se necesitará un menor número de taladros, mientras que un diámetro más pequeño requerirá un mayor número de ellos. Este fenómeno está directamente relacionado con las características de la roca a perforar. Se puede estimar el número de taladros de manera aproximada utilizando la siguiente fórmula empírica. (EXSA S.A., 2015)

$$N^{\circ} \text{ tal} = 10 \times \sqrt{(A \times H)}$$

Donde:

A: ancho de la sección  
H: altura de la sección

O de forma más precisa con la siguiente fórmula

$$N^{\circ} \text{ tal} = (P/dt) + (C \times S)$$

Donde:

P: perímetro de sección (m). dt: distancia entre taladro (m). C: constante de la roca (m).

S: área de sección (m<sup>2</sup>).  $P = 4\sqrt{A}$

## 5. Cantidad de carga

La cantidad de carga explosiva está determinada por la tenacidad de la roca y las dimensiones del frente de trabajo, lo que afecta el número, diámetro y longitud de los taladros, así como el tipo de explosivo e iniciador que se utilizará. Se debe considerar la cantidad de explosivo por metro cuadrado de la labor disminuye cuanto más grande sea la sección del frente y también aumenta cuanto más dura sea la roca.

En términos generales se considera el factor en kilogramo de explosivo por metro cúbico de roca. En minería los consumos de dinamita varían generalmente entre 300 a 800 g/m<sup>3</sup>.

## 6. Concentración de carga lineal del explosivo

Los taladros más próximos al taladro de expansión se debe cargar con explosivo de una manera cuidadosa, ya que una concentración de carga baja puede no puede provocar la rotura de la roca y una carga excesiva puede dar lugar a un lanzamiento muy energético de la roca fragmentada hacia el lado opuesto del taladro de expansión a tal velocidad que se puede compactar y no se expulsa a través del taladro vacío.

## 7. Distancia entre taladros

“Se determinan como consecuencia del número de taladros y del área del frente de voladura, varían de 60 a 90 cm. y de 50 a 70 cm.,

esto facilita la perforación y evita la sobre rotura; se perforan ligeramente divergentes del eje del túnel para que sus topes permitan mantener la misma amplitud de sección en la nueva cara libre a formar.” (EXSA S.A., 2015)

### **2.2.7. Agentes de la voladura**

Los materiales explosivos utilizados en voladuras no responden al encendido convencional del fulminante N°8, así que requieren un iniciador más potente para comenzar el proceso de detonación. (López Jimeno, 2003).

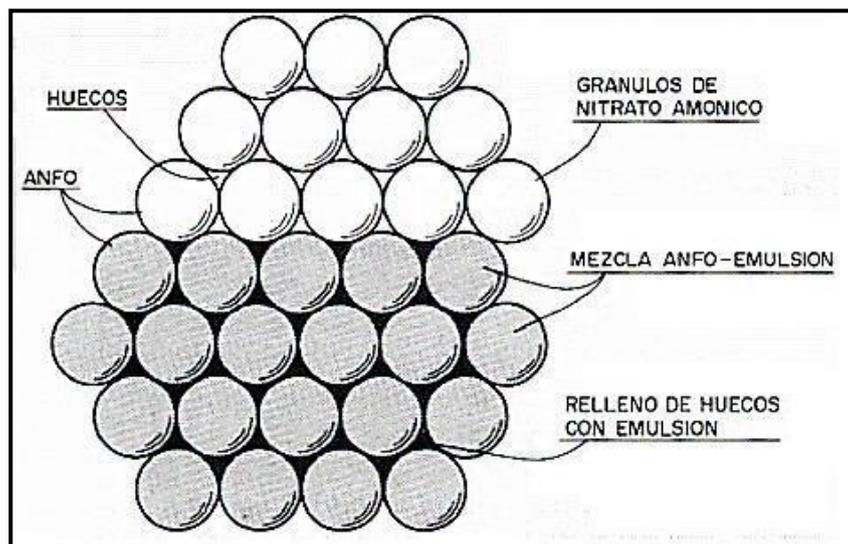
- **Anfo**

El Anfo es una mezcla explosiva utilizada en la industria, compuesta mayormente por un 94% de nitrato de amonio y un 6% de combustible. El nitrato de amonio, una sal inorgánica no explosiva, se emplea comúnmente en la minería y se fabrica en forma de partículas esféricas o prills porosos. La principal desventaja del Anfo radica en su completa vulnerabilidad al agua. (López Jimeno, 2003)

- **Anfo pesado**

El Anfo Pesado es una combinación de dos tipos de explosivos, el Anfo y la emulsión matriz, en distintas proporciones. En esta mezcla, la emulsión cubre los prills de Anfo, creando una matriz energética con características específicas. (López Jimeno, 2003).

**Figura 12:**  
*Estructura del Anfo Pesado*



Fuente: Du Pont,

- **Emulsión**

La emulsión explosiva se refiere a un agente de voladura conocido como "agua en aceite", donde la parte acuosa contiene sales inorgánicas oxidantes disueltas en agua, mientras que la parte aceitosa consiste en un combustible líquido que no se mezcla con el agua, típicamente diésel. (López Jimeno, 2003)

El tamaño de los componentes de esta mezcla, tanto oxidante como combustible, afecta directamente la velocidad de detonación del explosivo. La emulsión pura no posee la sensibilidad necesaria para detonar, ya que su densidad es demasiado elevada, lo que la hace insensible incluso al uso de un iniciador de refuerzo. Para aumentar su sensibilidad, se emplea un método físico mediante la generación de burbujas de gas. Estas burbujas, al ser comprimidas adiabáticamente, actúan como puntos calientes, facilitando tanto la iniciación como la propagación de la detonación. Para este propósito, se utilizan agentes gasificantes como el poliestireno

expandido o las microesferas de vidrio.

A la vez, se puede aplicar la sensibilización química a través de una solución gasificante como es el nitrito de sodio. (López Jimeno, 2013).

**Tabla 4:**  
*Tamaño de partículas de los explosivos.*

<b>Explosivo</b>	<b>Tamaño (mm)</b>	<b>Estado</b>	<b>VOD (km/s)</b>
Anfo	2	Sólido	3.2
Dinamita	0.2	Sólido	4.0
Hidrogel	0.2	Sólido/líquido	3.3
Emulsión	0.001	Líquido	5.0 - 6.0

*Fuente: Bampfild & Morres.*

### **2.3. Definición de términos básicos**

#### **a. Altura del hastial**

La distancia desde el suelo delantero hasta el lugar donde comienza la bóveda.

#### **b. Amplitud**

La mayor distancia que una partícula puede moverse mientras el suelo vibra

#### **c. Atacador**

Instrumento utilizado para comprimir los cartuchos de explosivos y el material inerte utilizado para rellenar.

#### **d. Avance lineal**

La extensión excavada en cada explosión en cualquier área frontal.

#### **e. Burden**

La distancia desde la primera fila de taladros hasta la cara libre se conoce como bancada. Se mide perpendicularmente a la dirección de la línea de taladros, que constituye la dimensión lineal hacia la cara libre.

**f. Espaciamiento**

Se refiere a la separación entre los taladros dentro de una misma fila, que se detonan simultáneamente o con retardos que incrementan para cada fila. Se calcula en función de la longitud del Burden.

**g. Carga lineal**

La concentración de explosivo a lo largo de un taladro, expresada en kg/m, es una medida que puede considerarse independiente del diámetro del pozo.

**h. Carga espaciada**

Carga de explosivo separados con un material inerte o aire e iniciados de forma instantáneo retardada.

**i. Factor de carga**

Es la medida de explosivo empleada para fracturar una unidad de volumen o peso de roca. El factor de carga se expresa en unidades de  $\text{kg/m}^3$ .

**j. Cebado axial**

Sistema de iniciación de una carga de explosivo mediante un cordón detonante a lo largo de ella.

**k. Carga operante**

La suma de las cargas explosivas que se estima detonan en un período de tiempo menor a 8 ms durante una voladura.

**l. Carga de fondo**

Explosivo generalmente de alta potencia, situado en la parte inferior de un taladro.

**m. Cebado puntual**

Método de iniciación que implica un cebo usualmente ubicado en la parte inferior o superior de la columna de explosivos.

**n. Cebo**

Una carga explosiva altamente potente y sensible, que alberga el iniciador y se utiliza para potenciar el rendimiento de otros explosivos.

**o. Confinamiento**

Grado de enterramiento de una carga explosiva en el interior del taladro.

**p. Contorno**

Perfil o superficie final proyectada en un frontón.

**q. Detonación**

Una reacción explosiva que implica la propagación de una onda de choque a través del explosivo, junto con una reacción química que libera una gran cantidad de gases a alta presión y temperatura.

**r. Malla**

Esquema geométrico de una tanda de taladros a perforar dentro de un frente que previamente fue diseñada.

**2.4. Formulación de Hipótesis**

**2.4.1. Hipótesis general**

La capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura permite optimizar los parámetros de avance en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros.

**2.4.2. Hipótesis específicas**

- a) Se optimiza el avance lineal con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros.
- b) Se optimiza el factor de potencia con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros.

Negros.

- c) Se optimiza la sobre excavación con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura en galerías de la U.E.A. Heraldos

Negros.

## **2.5. Identificación de variables**

- **Variable Independiente**

X: Capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura en la U.E.A. HeraldosNegros

- **Variabes Dependientes**

Y: Optimizar los parámetros de avance en galerías de la U.E.A. HeraldosNegros.

## 2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

**Tabla 5:**  
*Operacionalización de variables*

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	
VARIABLE INDEPENDIENTE	X: Capacitación de técnicas en procesos de perforación y voladura en la U.E.A. Heraldos Negros	La capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura permite optimizar los parámetros de avance en galerías; Se alcanza este objetivo cuando el personal cuenta con la capacitación adecuada en técnicas como la perforación de taladros paralelos a una profundidad uniforme, el control del espaciado y carga, así como la gestión efectiva de retardos en la detonación durante la voladura, considerando aspectos como la energía, el confinamiento, la densidad y evitando la sobreexcavación.	Técnicas en el proceso de Perforación	Profundidad de taladros	metros
				Paralelismo de taladros	metros
				Desviación de taladros	metros
				Simetría de taladros	metros
			Técnica en el manejo de explosivo	Desacoplamiento	gr/cm <sup>3</sup>
				Confinamiento	Kg
				Retardos	segundos
VARIABLE DEPENDIENTE	Y: Optimizar los parámetros de avance en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros	Al implementar adecuadamente las técnicas de perforación y voladura, se mejoran los parámetros de progreso en la ejecución de un frente, lo que conlleva a un avance lineal más eficiente y a una disminución del consumo de explosivos por metro cúbico, mínima sobre excavación y una reducción de gases producto de la voladura.	Parámetros de avance	Avance lineal	metros
				Factor de potencia	Kg. /m <sup>3</sup> .
				Sobre excavación	Metros

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de Investigación**

El proyecto es de carácter aplicativo por los objetivos que planteados en la investigación; está centrado en el nivel descriptivo, correlacional y explicativo.

Sampiere, H. & Collado, F. (2014), en su texto Metodología de la investigación, ilustra mediante un ejemplo los tipos de investigación, para dar a conocer las preferencias del electorado esto representa una actividad descriptiva, es muy diferente en señalar porque el sufragante debería de votar por un determinado candidato y otros electores por los demás (estudio explicativo).

#### **3.2. Nivel de investigación**

En lo que respecta al nivel de investigación se puede definir como descriptivo, en todo el proceso se detalla la capacitación en técnicas del proceso de la perforación y voladura con el fin de optimizar los parámetros de avance de

las galerías en la unidad minera los Heraldos Negros. El objetivo es describir y estimar parámetros, los datos están como frecuencias y promedios.

### **3.3. Métodos de Investigación**

Se estima principalmente dos grupos de métodos de investigación, el método lógico y el método empírico. El lógico es aquello que se basa en el uso del pensamiento en principios de la deducción, análisis y síntesis y el método empírico es el que se aproxima al conocimiento directo y la experiencia, entre ellos encontramos la observación. (Custodio, R. 2019).

Por lo descrito se establece que el método de investigación a emplear en esta investigación es el método lógico, inductivo, sintético y de análisis, como también se emplea el método empírico mediante la observación investigativa.

### **3.4. Diseño de Investigación**

El proceso del desarrollo del diseño de investigación corresponde a la cuantitativa no experimental transeccional, descriptiva y correlacional, se toma una línea base de datos que describe los resultados al utilizar la técnica del proceso de perforación y voladura. Luego de la capacitación se ejecutan pruebas y también se realiza un diseño descriptivo con los resultados obtenidos en el análisis de comparación entre los resultados de la perforación y voladura en galerías.

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

Conformado por las galerías de los diferentes niveles de la U.E.A. Heraldos Negros:

- Las galerías del nivel 4920
- Las galerías del nivel 4980

- Las galerías del nivel 5040

### **3.5.2. Muestra**

Galería 095N, del nivel 4980, de la U.E.A. Heraldos Negros

## **3.6. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

### ➤ **Técnica empleada**

#### ✓ **Toma de la información**

Se recopiló la información en forma directa de los proyectos de perforación y voladura de las galerías de la minera.

#### ✓ **Observación directa**

Se tuvo observaciones directas en los resultados de la perforación y voladura insitu en el antes y después de la capacitación.

#### ✓ **Información bibliográfica**

Se utilizó la técnica de lectura de la bibliografía de textos para tener un mejor entendimiento acerca de técnicas en el proceso de la perforación y voladura en galerías.

### ➤ **Instrumentos de recolección de datos**

#### ✓ **Materiales**

- Informe de caracterización del macizo rocoso
- Plano de modelo de análisis estructural de galerías
- Plano de análisis de zona plastificada en galería
- Formatos de reporte en perforación de galería
- Formatos de reporte en la voladura de galería

#### ✓ **Equipos**

- Laptop
- Equipo de captación de gases

- Picota
- Teléfono móvil
- Flexómetro

✓ **Software**

- Microsoft Excel.
- SPSS 25

### **3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación**

Se tomó en cuenta la información recopilada en el campo durante el proceso de investigación para seleccionar los datos que se utilizaron en la elaboración de la tesis.

Los datos obtenidos sobre el avance lineal, factor de potencia, sobrerrotura y otros parámetros se confirman mediante los informes de voladura presentados al departamento de perforación y voladura de la empresa minera. Estos resultados fueron verificados en coordinación con el departamento correspondiente.

Se garantizan las confiabilidades de los datos, puesto a que la recolección fue en tiempo real e in situ. Todos los resultados y conclusiones de la investigación han sido coordinados con las áreas correspondientes de desarrollo y preparación.

### **3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Para el procesamiento de datos se contó con formatos de data de campo, toda esta información se organiza con frecuencias y promedios mediante la transcripción del material, luego se inicia el análisis del material con la aplicación Excel, para crear una base de datos y luego poder analizar, agrupando los valores, resultados en tablas y gráficos dinámicos.

### **3.9. Tratamiento Estadístico**

Para el tratamiento estadístico se considera un primer nivel de análisis mediante las técnicas que se considera en la estadística descriptiva, como el cálculo de frecuencias relativas, promedios, la elaboración de tablas de contingencia, de histogramas. Estas nos permiten ordenar y analizar la base de la data de campo, el cual nos permite conocer los parámetros obtenidos para determinar las conclusiones de la investigación.

### **3.10. Orientación ética filosófica y epistémica**

El desarrollo del estudio de investigación es único y original, fundamentado en informes de fuentes confiables para recopilar la información teórica. Estas fuentes se citan apropiadamente a lo largo del desarrollo de la tesis, también los antecedentes tomados se encuentran en la referencia bibliográfica. Por último, la discusión y los resultados es real. Así mismo Puedo acotar que el trabajo es el resultado de la experiencia obtenida en la U.E.A. Heraldos Negros.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

##### **4.1.1. Seguimiento de perforación y voladura en galerías**

Para iniciar el trabajo de campo primeramente se realizó un seguimiento a las operaciones de perforación y voladura en las diferentes galerías del nivel 4920, nivel 4980 y nivel 5010, luego de haber realizado toda las observaciones de las diferentes galerías se tomó como opción de realizar la toma de resultados de la galería 095N, ubicada en el nivel 4980 por estar iniciándose el proyecto como labor de preparación para la extracción del mineral de las vetas contiguas, el mismo que tendrá una longitud de 1.2 km.

Para el análisis de la investigación se decidió tomar como muestra esta labor por observar problemas durante la perforación del frente ya que el perforista no conocía la importancia de realizar una perforación de que todos los taladros deben de ser paralelos entre sí, deben tener una misma profundidad, no deben tener desviación y deben de ser totalmente simétricos de acuerdo con la malla de perforación proyectada. Así mismo durante el carguío desconocía la

importancia del cebado del explosivo, desacoplamiento del explosivo, confinamiento del explosivo, retardo de los detonadores; por todo este desconocimiento se obtenía bajos rendimientos y eficiencia en los resultados de perforación y voladura. Para mejorar estos bajos rendimientos se optó en capacitar al personal en todos estos temas de técnicas en la perforación y voladura. Antes de las capacitaciones se tomo muestras de los resultados de la perforación y voladura y también se tomó muestras después de haber realizado la capacitación para que con estos resultados analizar las muestras tomadas con el fin de demostrar que se obtiene mejores resultados y mayor eficiencia con un personal bien capacitado.

Habiendo observado que el personal le falta el conocimiento de técnicas en el proceso de perforación y voladura se programó tres capacitaciones considerando la gran importancia que tiene las técnicas, como:

- Paralelismo de taladros
- Desviación de taladros
- Profundidad de taladros
- Simetría de los taladros
- Confinamiento del explosivo
- Retacado de los taladros
- Espaciamiento de taladros
- Desacoplamiento de explosivos
- Control de retardos
- Propiedades de los explosivos, entre otros a fin.

Para la evaluación de los resultados se ha tomado muestras de la perforación y voladura antes de la capacitación de la galería 095 Norte para

analizar la eficiencia, para luego relacionar resultados de la voladura después de la capacitación. Las muestras tomadas se presentan a continuación:

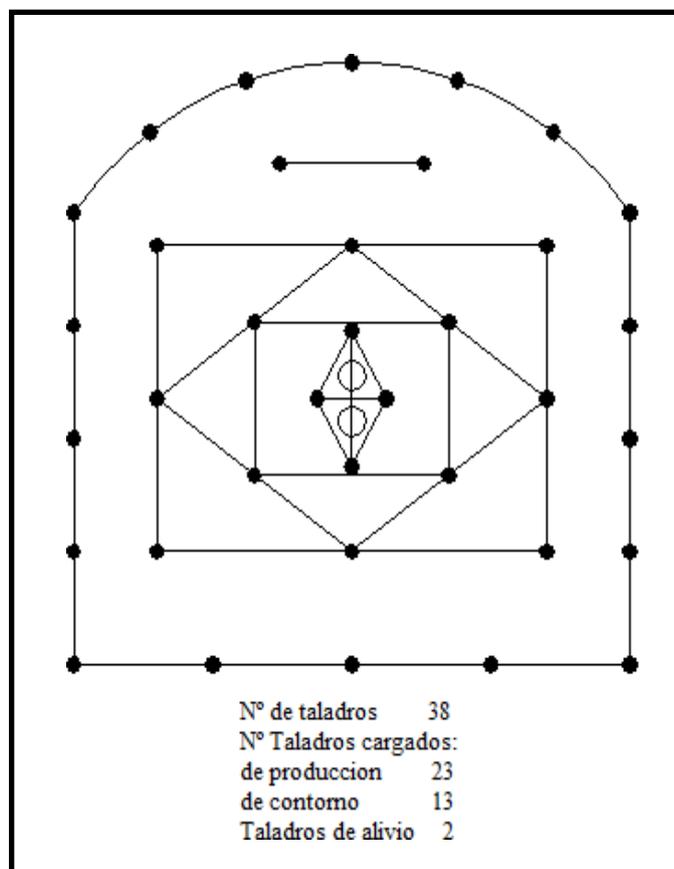
**Tabla 6:**  
*Información de la perforación y voladura de la galería*

<b>Diseño:</b>	Perforación y voladura de frontones
<b>Lugar:</b>	Nivel 4980 – galería 095 Norte
<b>Ancho de la labor:</b>	3:00 m.
<b>Altura de la perforación:</b>	3:00 m.
<b>DATOS DE CAMPO</b>	
<b>Parámetros de perforación</b>	
Equipo de Perforación	Jack Leg. Atlas Copco BBC-16W
Número de taladros	38
Diámetro del Taladro	39 mm.
Longitud del barreno	8 pies (2.40 m.)
Long. Efectiva de perforación	1.95 m.
Eficiencia de perforación	81.25 %
Eficiencia de voladura	87.17 %
<b>PARAMETRO DE EXPLOSIVO</b>	
Explosivo	Dinamita Semexsa Semigelatina 65
Densidad	1.12 gr/cm <sup>3</sup>
Velocidad de detonación	4200 m/sg.
Diámetro de explosivo	7/8 pulgada
Longitud de explosivo	7 pulgadas
Peso de la dinamita	81 gramos
N° de cartuchos por taladro	10 cartuchos/taladro
<b>PARÁMETRO DE LA ROCA</b>	
Roca	Tipo II
Densidad	2.8 ton/m <sup>3</sup>
Resistencia a la compresión	95.56 Mpa.

*Fuente: Elaboración propia*

## Malla de perforación

**Figura 13:**  
*Malla de perforación*



*Fuente: Elaboración propia*

### 4.1.2. Resultados de la perforación y voladura sin capacitación técnica PV1 (guardia día)

Explosivo Utilizado: 29.160 kg Metros cúbicos rotos: 15.75 m<sup>3</sup>. Avance lineal: 1.75 m.

Factor de Carga: 1.85 Kg. / m<sup>3</sup>. Sobre rotura 25 cm.

**PV2 (guardia noche)** Explosivo Utilizado: 29.160 kg Metros cúbicos rotos: 15.30 m<sup>3</sup>. Avance lineal: 1.70 m.

Factor de Carga: 1.91 Kg. / m<sup>3</sup>. Sobre rotura 22 cm.

**PV3 (guardia día)** Explosivo Utilizado: 29.160 kg Metros cúbicos rotos: 16.20 m<sup>3</sup>. Avance lineal: 1.80 m.

Factor de Carga: 1.80 Kg. / m<sup>3</sup>. Sobre rotura 23 cm.

**PV4 (guardia noche)** Explosivo Utilizado: 29.160 kg Metros cúbicos rotos: 15.57 m<sup>3</sup>. Avance lineal: 1.73 m. Factor de Carga: 1.87 Kg. / m<sup>3</sup>. Sobre rotura 24 cm.

**PV5 (guardia día)** Explosivo Utilizado: 29.160 kg Metros cúbicos rotos: 15.84 m<sup>3</sup>. Avance lineal: 1.76 m. Factor de Carga: 1.84 Kg. / m<sup>3</sup>. Sobre rotura 21 cm.

**PV6 (guardia noche)** Explosivo Utilizado: 29.160 kg Metros cúbicos rotos: 15.12 m<sup>3</sup>. Avance lineal: 1.68 m. Factor de Carga: 1.93 Kg. / m<sup>3</sup>. Sobre rotura 28 cm.

**PV7 (guardia día)** Explosivo Utilizado: 29.160 kg Metros cúbicos rotos: 15.48 m<sup>3</sup>. Avance lineal: 1.72 m. Factor de Carga: 1.88 Kg. / m<sup>3</sup>. Sobre rotura 21 cm.

**PV8 (guardia noche)** Explosivo Utilizado: 29.160 kg Metros cúbicos rotos: 15.66 m<sup>3</sup>. Avance lineal: 1.74 m. Factor de Carga: 1.86 Kg. / m<sup>3</sup>. Sobre rotura 23 cm.

**PV9 (guardia día)** Explosivo Utilizado: 29.160 kg Metros cúbicos rotos: 15.84 m<sup>3</sup>. Avance lineal: 1.76 m. Factor de Carga: 1.84 Kg. / m<sup>3</sup>. Sobre rotura 20 cm.

**PV10 (guardia noche)** Explosivo Utilizado: 29.160 kg Metros cúbicos rotos: 15.21 m<sup>3</sup>. Avance lineal: 1.69 m. Factor de Carga: 1.92 Kg. / m<sup>3</sup>. Sobre rotura 29 cm.

## Calidad de perforación y voladura de las muestras

**Tabla 7:**

*Información de la calidad de perforación y voladura*

Calidad de PV	PV1	PV2	PV3	PV4	PV5	PV6	PV7	PV8	PV9	PV10
Taladros paralelos	no	no	si	no	no	no	si	no	no	no
Taladros con misma longitud	no	no	no	si	si	no	no	no	no	no
Simetría de taladros	no	si	si	no	no	no	no	si	no	No
Desviación de taladros	si	si	no	si	si	si	si	no	si	Si
Control de retardos	no	no	no	si	no	si	no	no	no	No
Desacoplamiento	no									
Confinamiento	no	no	no	si	si	no	no	no	si	No

*Fuente: Elaboración propia*

### 4.1.3. Resultados de la perforación y voladura después de la capacitación

**técnica**

**Datos generales**

**Tabla 8:**

*Información de la perforación y voladura*

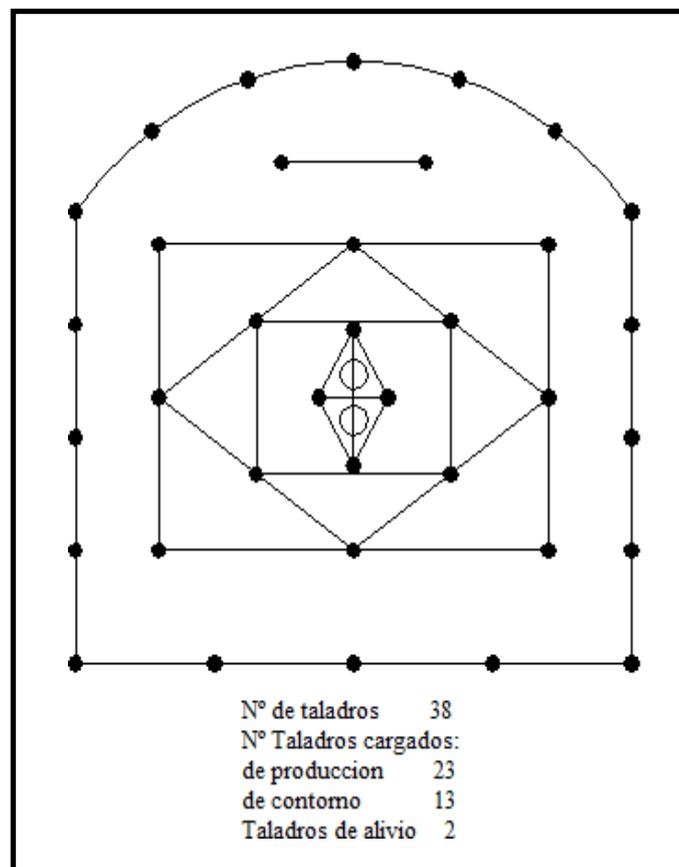
<b>Diseño:</b>	Perforación y voladura de frontones
<b>Lugar:</b>	Nivel 4980 – galería 095 Norte
<b>Ancho de la labor:</b>	3:00 m.
<b>Altura de la perforación:</b>	3:00 m.
<b>DATOS DE CAMPO</b>	
<b>Parámetros de perforación</b>	
Equipo de Perforación	Jack Leg. Atlas Copco BBC-16W
Número de taladros	38
Diámetro del Taladro	39 mm.
Longitud del barreno	8 pies (2.40 m.)
Long. Efectiva de la perforación	2.15 m.
Eficiencia de la perforación	89.5 %
Eficiencia de la voladura	93.00 %
<b>PARAMETRO DE EXPLOSIVO</b>	
Explosivo	Dinamita Semexsa Semigelatina 65
Densidad	1.12 gr/cm <sup>3</sup>
Velocidad de la detonación	4200 m/sg.
Diámetro del explosivo	7/8 pulgada

Longitud del explosivo	7 pulgadas
Peso de la dinamita	81 gramos
N° de cartuchos por taladro	10 cartuchos/taladro de producción (18 taladros) 8 cartuchos taladros de alzas, cajas y piso (18 taladros)
<b>PARÁMETRO DE LA ROCA</b>	
Roca	Tipo II
Densidad	2.8 ton/m <sup>3</sup>
Resistencia a la compresión	95.56 Mpa.

*Fuente: Elaboración propia*

## Malla de perforación

**Figura 14:**  
*Malla de perforación*



*Fuente: Elaboración propia*

**PV1 (guardia día)** Explosivo Utilizado: 26.244 kg Metros cúbicos rotos: 18.00 m<sup>3</sup>. Avance lineal: 2.00 m. Factor de Carga: 1.46 Kg. / m<sup>3</sup>. Sobre rotura 2 cm.

**PV2 (guardia noche)** Explosivo Utilizado: 26.244 kg Metros cúbicos rotos: 17.55 m<sup>3</sup>. Avance lineal: 1.95 m. Factor de Carga: 1.50 Kg. / m<sup>3</sup>. Sobre rotura 1 cm.

**PV3 (guardia día)** Explosivo Utilizado: 26.244kg Metros cúbicos rotos: 18.45 m<sup>3</sup>. Avance lineal: 2.05 m. Factor de Carga: 1.42 Kg. / m<sup>3</sup>. Sobre rotura 2 cm.

**PV4 (guardia noche)** Explosivo Utilizado: 26.244 kg Metros cúbicos rotos: 17.91 m<sup>3</sup>. Avance lineal: 1.99 m. Factor de Carga: 1.47 Kg. / m<sup>3</sup>. Sobre rotura 1 cm.

**PV5 (guardia día)** Explosivo Utilizado: 26.244 kg Metros cúbicos rotos: 18.18 m<sup>3</sup>. Avance lineal: 2.02 m. Factor de Carga: 1.44 Kg. / m<sup>3</sup>. Sobre rotura 1.5 cm.

**PV6 (guardia noche)** Explosivo Utilizado: 26.244 kg Metros cúbicos rotos: 18.00 m<sup>3</sup>. Avance lineal: 2.00 m. Factor de Carga: 1.46 Kg. / m<sup>3</sup>. Sobre rotura 1 cm.

**PV7 (guardia día)** Explosivo Utilizado: 26.244 kg Metros cúbicos rotos: 18.27 m<sup>3</sup>. Avance lineal: 2.03 m. Factor de Carga: 1.44 Kg. / m<sup>3</sup>. Sobre rotura 1 cm.

**PV8 (guardia noche)** Explosivo Utilizado: 26.244 kg Metros cúbicos rotos: 18.36 m<sup>3</sup>. Avance lineal: 2.04 m. Factor de Carga: 1.43 Kg. / m<sup>3</sup>. Sobre rotura 2 cm.

**PV9 (guardia día)** Explosivo Utilizado: 26.244 kg Metros cúbicos rotos: 18.63 m<sup>3</sup>. Avance lineal: 2.07 m. Factor de Carga: 1.41 Kg. / m<sup>3</sup>. Sobre rotura 1 cm.

**PV10 (guardia noche)** Explosivo Utilizado: 26.244 kg Metros cúbicos rotos: 18.36 m3. Avance lineal: 2.04 m. Factor de Carga: 1.43 Kg. / m3. Sobre rotura 1.5 cm.

### Calidad de perforación y voladura

**Tabla 9:**

*Información de la calidad de perforación y voladura*

Calidad de PV	PV1	PV2	PV3	PV4	PV5	PV6	PV7	PV8	PV9	PV10
Taladros paralelos	si	si	si	si	No	si	si	si	si	si
Taladros con misma longitud	si	si	No	si						
Simetría de taladros	si	si	Si	si	No	si	si	si	si	si
Desviación de taladros	si	si	Si	si	si	si	No	si	si	si
Control de retardos	No	si								
Desacoplamiento	si									
Confinamiento	si									

*Fuente: Elaboración propia*

## 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

### 4.2.1. Presentación de datos de la perforación y voladura antes de la capacitación

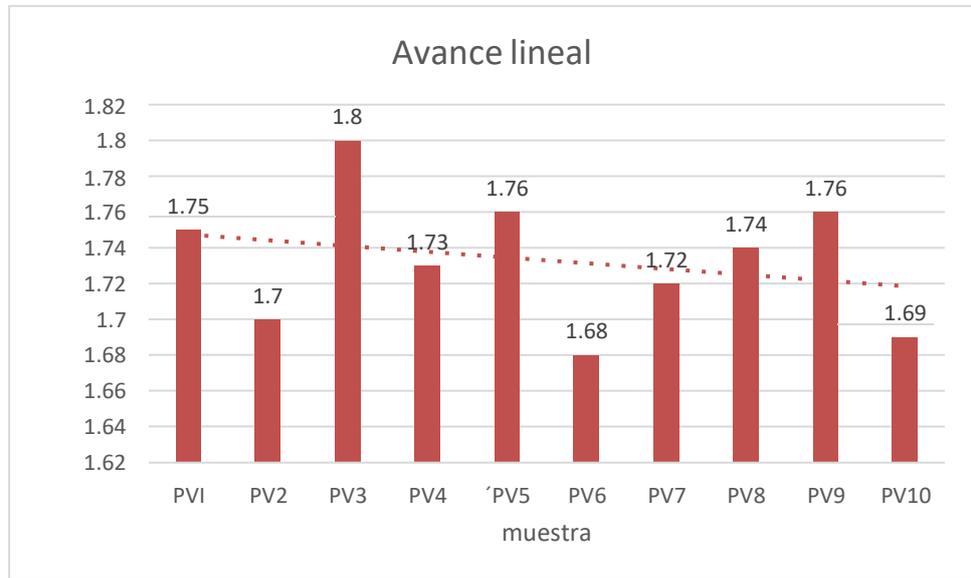
**Tabla 10:**

*Perforación y voladura sin capacitación*

Muestra	Avance Efectivo (m.)	Factor de carga Kg. / m3.	Sobre rotura cm.	M3 Rotos
1	1.75	1.85	25	15.75
2	1.70	1.91	22	15.30
3	1.80	1.80	23	16.20
4	1.73	1.87	24	15.57
5	1.76	1.84	21	15.84
6	1.68	1.93	28	15.12
7	1.72	1.88	21	15.48
8	1.74	1.86	23	15.66
9	1.76	1.84	20	15.84
10	1.69	1.92	29	15.21
<b>Promedio</b>	<b>1.73</b>	<b>1.87</b>	<b>23.60</b>	<b>15.60</b>

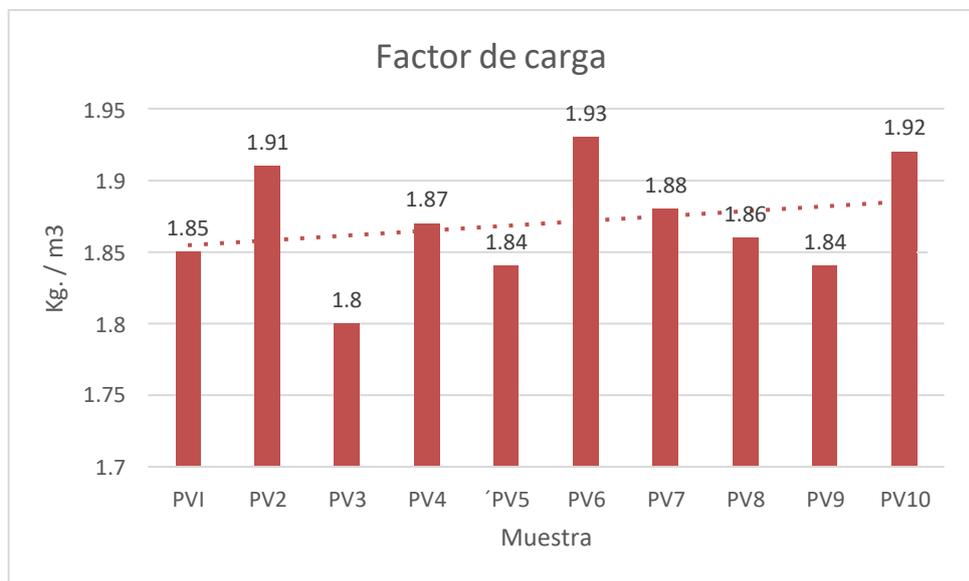
*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 15:**  
*Avances sin la capacitación*



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 16:**  
*Factor de carga sin capacitación*



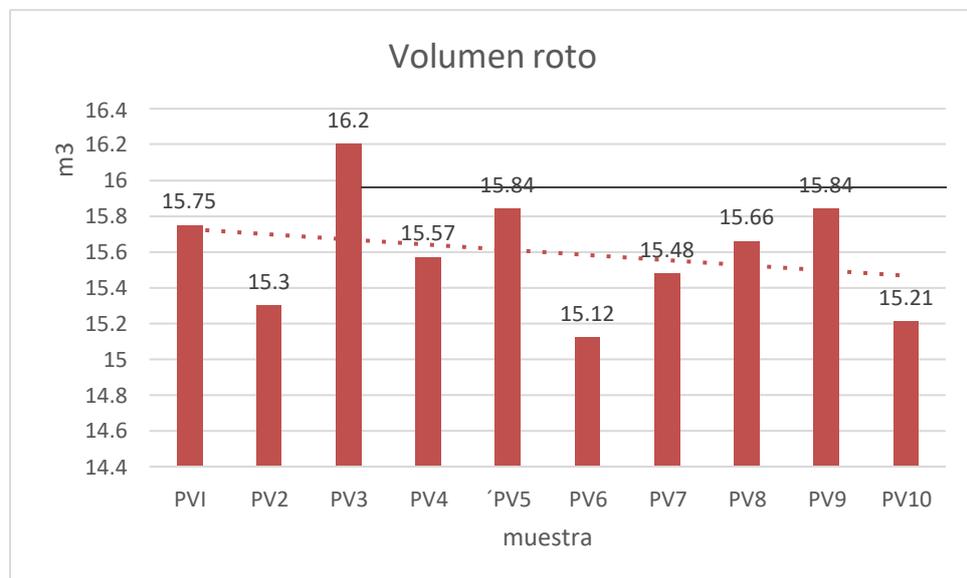
*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 17:**  
sobre rotura del contorno sin capacitación



Fuente: Elaboración propia

**Figura 18:**  
Cubos rotos sin capacitación



Fuente: Elaboración propia

**4.2.2. Presentación de datos de la perforación y voladura después de la capacitación**

**Tabla 11:**

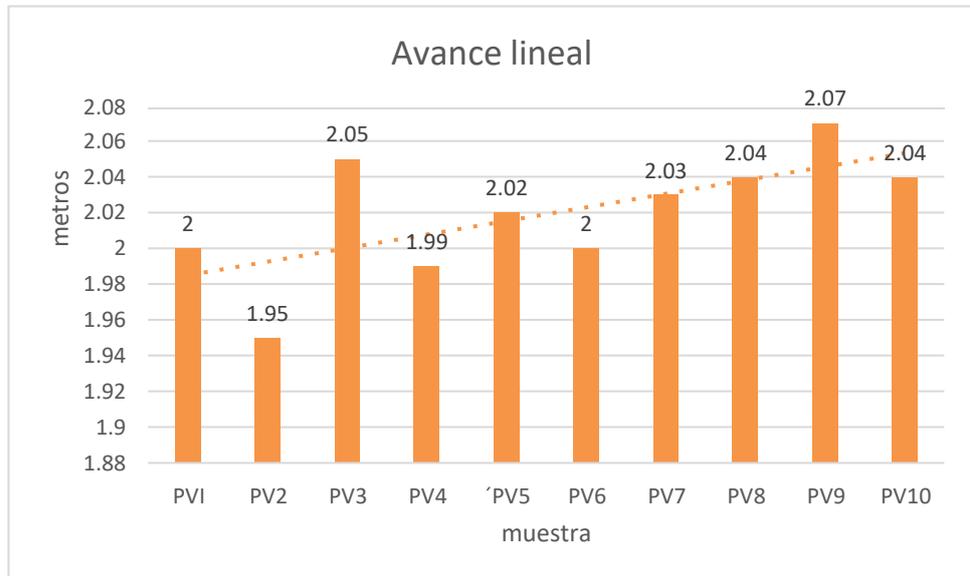
*Perforación y voladura después de la capacitación*

<b>Muestra</b>	<b>Avance Efectivo (m.)</b>	<b>Factor de carga Kg. / m3</b>	<b>Sobre rotura cm.</b>	<b>M3 Rotos</b>
1	2.00	1.46	2	18.00
2	1.95	1.50	1	17.55
3	2.05	1.42	2	18.45
4	1.99	1.47	1	17.91
5	2.02	1.44	1.5	18.18
6	2.00	1.46	1	18.00
7	2.03	1.44	1	18.27
8	2.04	1.43	2	18.36
9	2.07	1.41	1	18.63
10	2.04	1.43	1.5	18.36
<b>Promedio</b>	<b>2.02</b>	<b>1.45</b>	<b>1.4</b>	<b>18.17</b>

*Fuente: Elaboración propia*

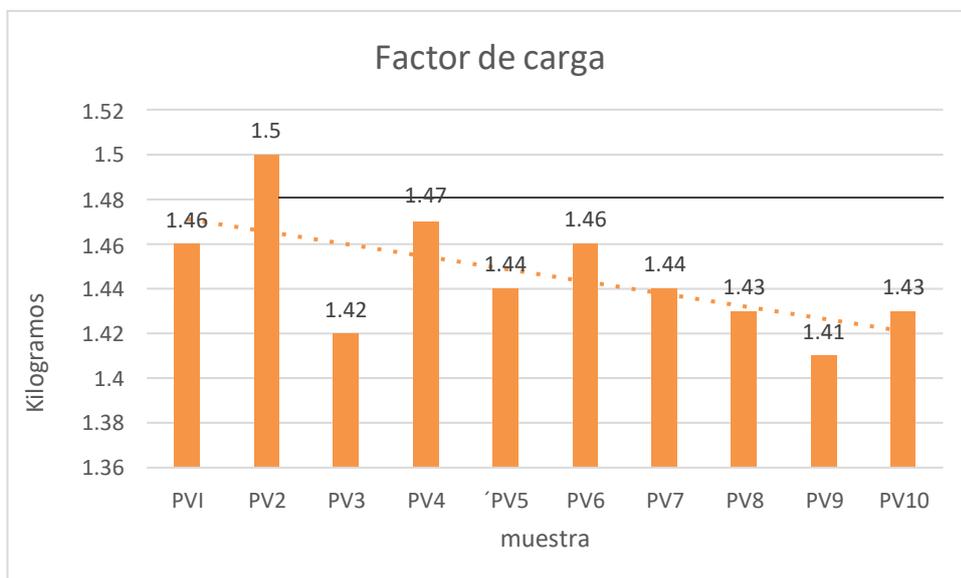
**Figura 19:**

*Avance efectivo por voladura con capacitación*



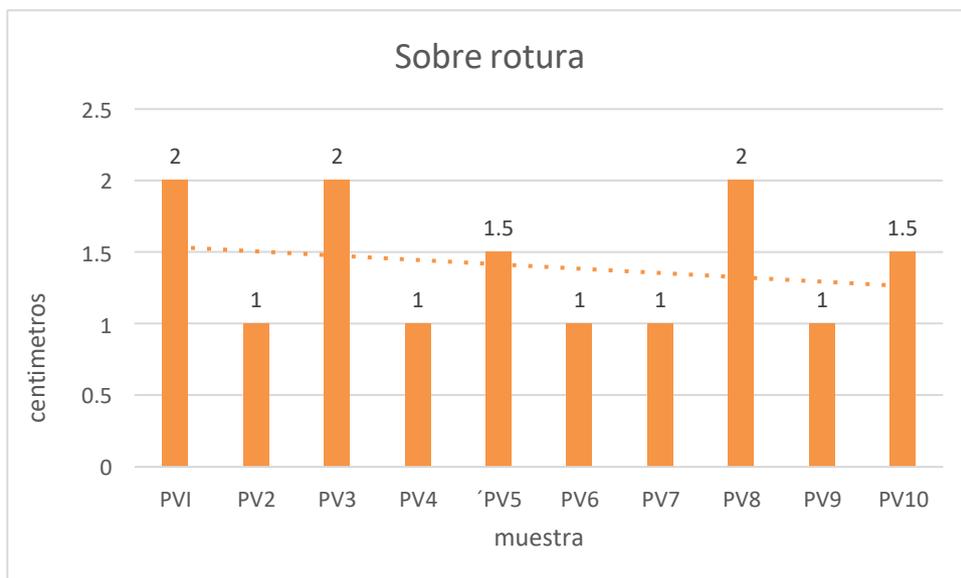
*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 20:**  
*Factor de carga con capacitación*



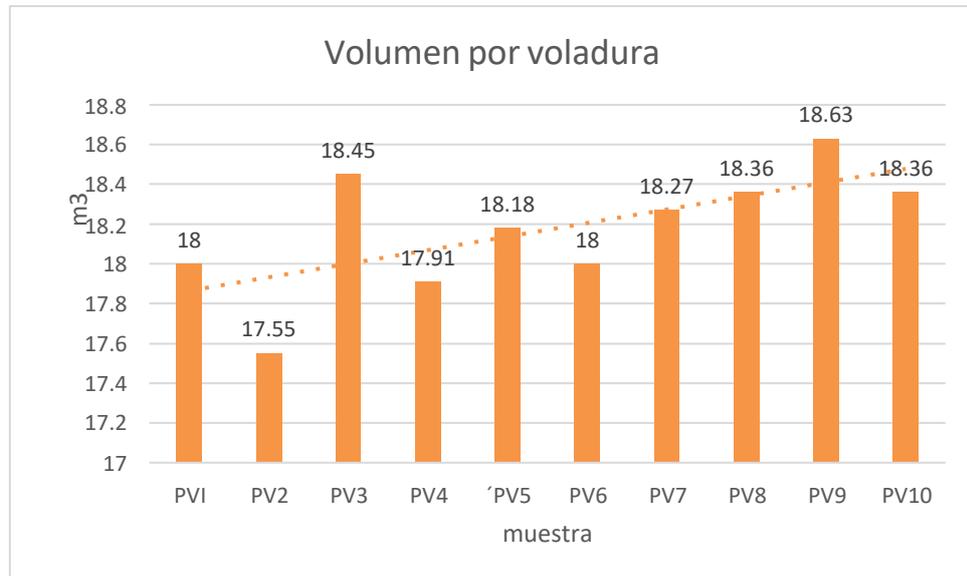
Fuente: Elaboración propia

**Figura 21:**  
*Sobre rotura de contorno con capacitación*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 22:**  
*Cubos rotos con capacitación*



*Fuente: Elaboración propia*

#### **4.2.3. Análisis de datos de la perforación y voladura antes y después de la capacitación**

En el análisis de promedios de la perforación y voladura sin la capacitación se tiene:

- Se perforan 38 taladros por voladura, utilizando barrenos de 8 pies, de los cuales 36 son taladros de producción y 2 son taladros de alivio de diámetro mayor.
- El promedio de avance efectivo es de 1.73 metros por cada voladura.
- El factor de carga en promedio es de 1.87 kilogramos por metro cúbico por cada perforación y voladura del frente.
- Se tiene un promedio de sobre rotura de 23.60 cm. Por cada perforación y voladura
- El volumen roto por cada perforación y voladura se tiene en promedio de 15.60 metros cúbicos.

En el análisis de los promedios de la perforación y voladura después de la capacitación se tiene:

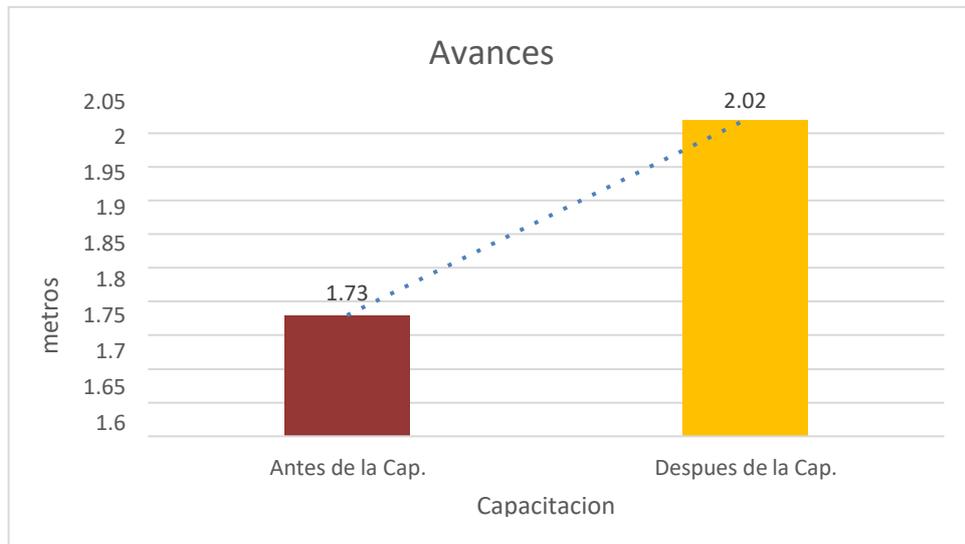
- El número de taladros perforados por voladura es de 38 con barreno de 8 pies, 36 taladros de producción y dos taladros de alivio de mayor diámetro.
- El promedio de avance efectivo es de 2.02 metros por cada voladura.
- El factor de carga en promedio es de 1.45 kilogramos por metro cúbico por cada perforación y voladura del frente.
- Se tiene un promedio de sobre rotura de 1.4 cm. Por cada perforación y voladura

El volumen roto por cada perforación y voladura se tiene en promedio de 18.17 metros cúbicos.

#### **4.2.4. Interpretación de datos antes y después de la capacitación**

En la figura 20, se puede observar que el avance lineal antes de la capacitación técnica es menor en comparación después de la capacitación técnica, teniendo 0,29 mt. de avance mayor por cada voladura. Con dos voladuras diarias, en un período de 25 días, se logrará un avance lineal adicional de 14.50 metros por mes.

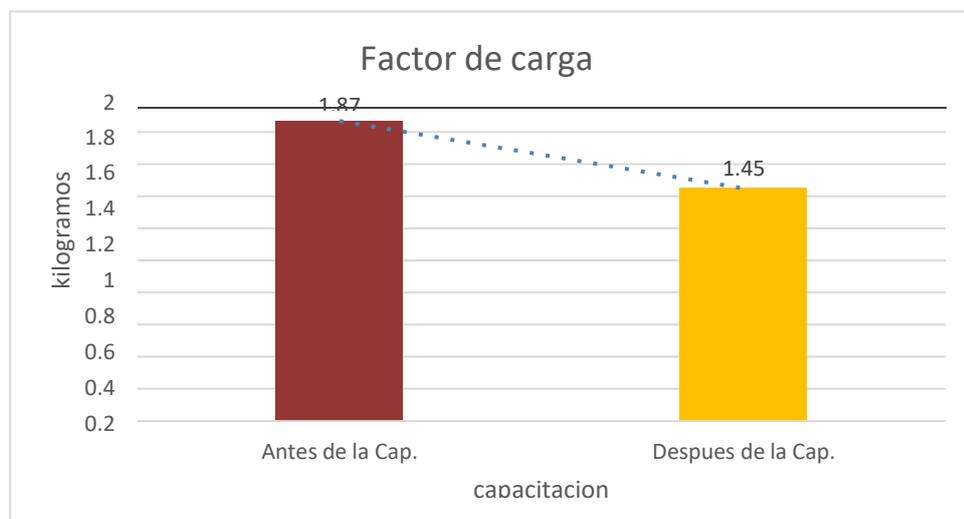
**Figura 23:**  
*Diferencia de avances lineales*



*Fuente: Elaboración propia*

En la figura 17, se puede observar que el factor de carga promedio por cada perforación y voladura es de 1.87 antes de la capacitación técnica y luego se obtiene un factor de carga de 1.45 después de la capacitación técnica, el cual disminuye en 0.42 kilogramos por metro cubico roto, de la misma manera considerando en 25 días y dos voladuras por día, se tiene un consumo menor de 21 kilogramos por mes.

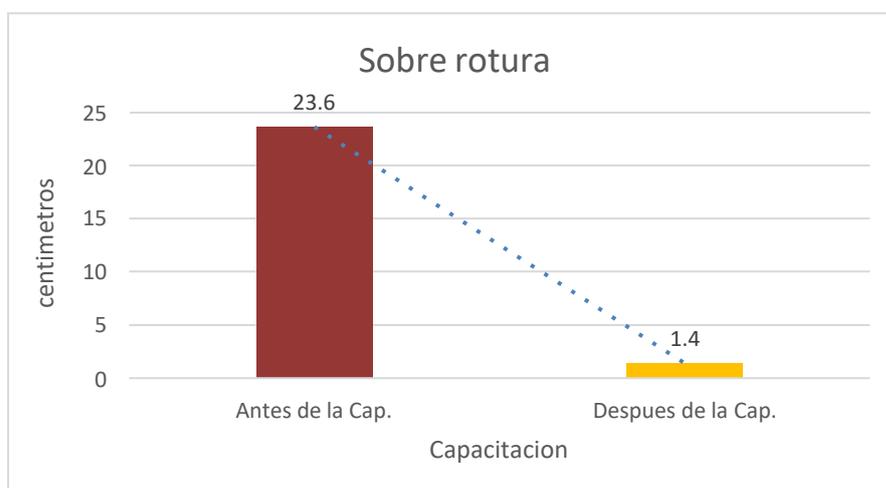
**Figura 24:**  
*Comparación del factor de carga*



*Fuente: Elaboración propia*

En la figura 18 se puede observar que la sobre rotura del contorno del frente antes de la capacitación técnica es de 23.60 centímetros y después de la capacitación técnica es de 1.4 centímetros. Por lo que se puede concluir que por cada resultado de la voladura se tiene 22.20 centímetros menos en sobre rotura. Este resultado logra ser muy significativo para el control del perfil de la labor, considerando el área de influencia de vibraciones.

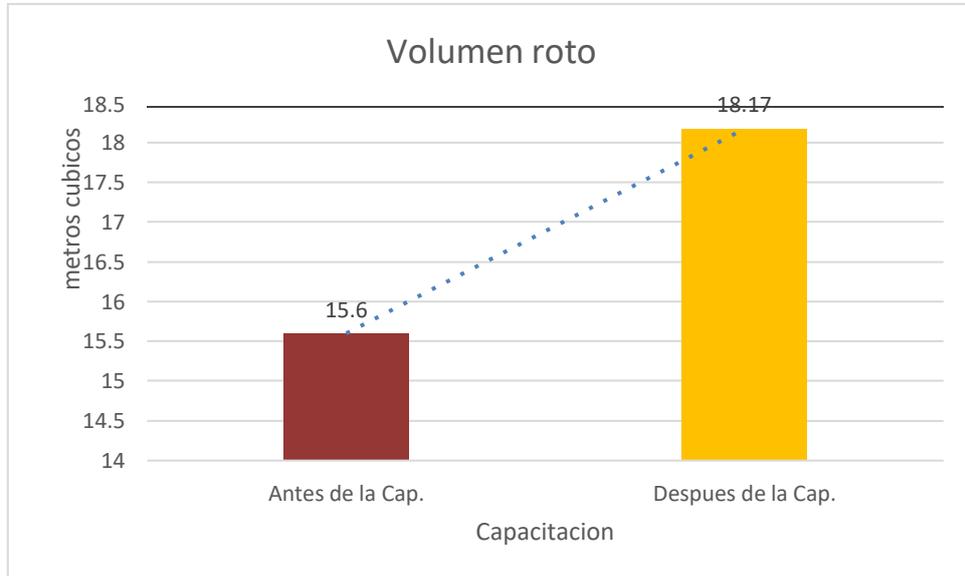
**Figura 25:**  
*Comparación de la sobre rotura*



*Fuente: Elaboración propia*

En la figura 19 se puede observar que en la perforación y voladura antes de la capacitación técnica se obtiene por cada voladura 15.60 metros cúbicos, mientras que después de la capacitación técnica se obtiene 18.17 metros cúbicos rotos; se obtiene 2.57 metros cúbicos más por voladura acumulando 128.50 metros cúbicos más por mes, considerando dos voladura diarias por 25 días.

**Figura 26:**  
*Comparación del volumen roto por voladura*

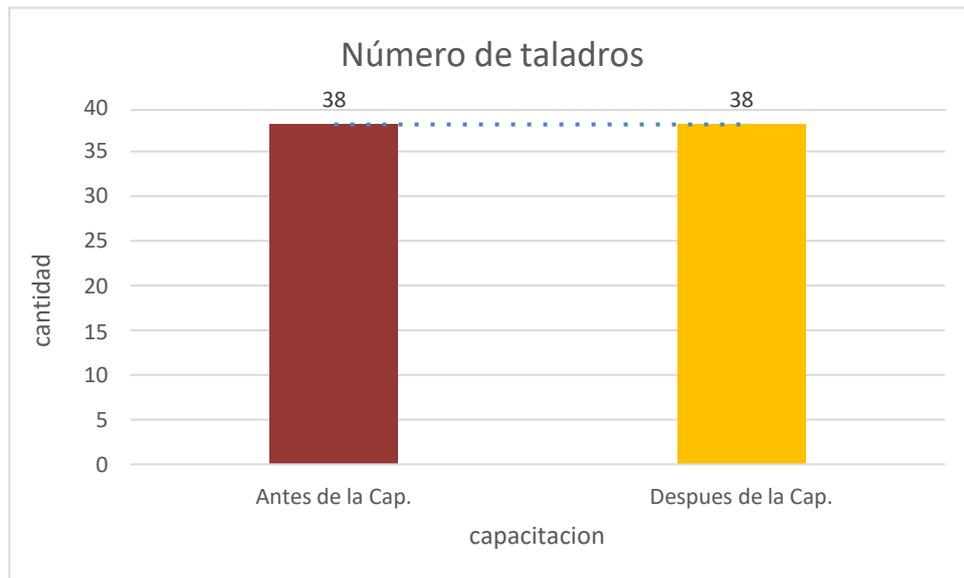


*Fuente: Elaboración propia*

También cabe resaltar en cuanto al número de taladros que se realiza en la perforación antes y después de la capacitación técnica es de 38 taladros por voladura, se realiza 36 taladros de producción con 39 mm. de diámetro del taladro y dos taladros de alivio de 45 mm. de diámetro; por cada ciclo de la perforación en ambos casos no se rediseña la malla de perforación se mantiene el mismo número de taladros de producción y alivio; se puede concluir que se optimiza los parámetros de perforación y voladura solamente con la capacitación técnica.

**Figura 27:**

*Numero de taladros por ciclo de perforación*



*Fuente: elaboración propia*

#### **4.3. Prueba de Hipótesis**

##### **4.3.1. Hipótesis general**

La hipótesis planteada fue la siguiente: "La capacitación en técnicas de perforación y voladura permite optimizar los parámetros de avance en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros". Como se evidencia en los cálculos realizados, se observa una mejora en los parámetros de avance lineal, factor de potencia, sobrerrotura y volumen roto por voladura. Estos resultados muestran una mejora significativa en la eficiencia de producción, como se ilustra en las figuras 21, 22 y 23 respectivamente. Por lo tanto, se confirma la hipótesis planteada.

##### **4.3.2. Hipótesis específicas**

###### **a) Prueba de la 1ra hipótesis específica**

En la primera hipótesis específica se plantea: "Se optimiza el avance lineal con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros". De acuerdo con la información recopilada en la línea base de perforación y

voladura antes y después de la capacitación técnica, se ha demostrado, tras realizar los cálculos pertinentes, que antes de la capacitación técnica el promedio de avance lineal era de 1.73 metros, mientras que después de la capacitación técnica se alcanzó un promedio de 2.02 metros. Por lo tanto, se puede concluir que se ha observado una mejora en el avance lineal.

- **Sostenibilidad Estadística mediante la aplicación del SPSS**

Para validar la hipótesis, utilizamos la prueba de la T de Student con datos independientes asociados. Esta prueba se aplicó debido a que nuestras muestras eran menores a 30, con un nivel de significancia establecido en  $p < 0.05$ . El análisis se realizó utilizando el software SPSS con las muestras recolectadas en la perforación y voladura antes y después de la capacitación técnica del avance lineal.

Ho: Con la capacitación en técnicas de la perforación y voladura no se optimiza el avance lineal.

H<sub>1</sub>: Con la capacitación de técnicas en la perforación y voladura se optimiza el avance lineal del frente; en la siguiente tabla se muestran los resultados:

**Figura 28:**  
*Prueba de la 1era Hipótesis específica*

<b>Estadísticas de muestras emparejadas</b>					
		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Fragmentacion	6,400	10	,8756	,2769
	Fragmentacion	4,200	10	,2582	,0816

<b>Correlaciones de muestras emparejadas</b>				
		N	Correlación	Sig.
Par 1	Fragmentacion & Fragmentacion	10	-,025	,946

<b>Prueba de muestras emparejadas</b>									
		Diferencias emparejadas							
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	Fragmentacion - Fragmentacion	2,2000	,9189	,2906	1,5426	2,8574	7,571	9	,000

Fuente: *Elaboración propia*

A partir del presente resultado, se puede interpretar que el avance lineal es significativamente mayor después de la capacitación en técnicas de perforación y voladura que se tiene ( $M = 6.40$ ;  $SE = 0.2769$ ) que después de la capacitación técnica de perforación se tuvo ( $M = 4.20$ ;  $SE = 0.0816$ ;  $t(9) = 7.571$ ;  $p = 0.000 < 0.05$ ).

M = Media

SE = Error de estándar =

Prueba T

( ) = grados de libertad

P = Nivel de significación.

Basándonos en estos resultados, podemos rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ).

## **b) Prueba de la 2da hipótesis específica**

En la segunda hipótesis específica se plantea: “Se optimiza el factor de potencia con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros”. Según los datos recopilados en la línea base antes de la capacitación en técnicas de perforación y voladura, y luego de las muestras obtenidas después de la capacitación en dichas técnicas, tras realizar los cálculos correspondientes, se ha demostrado que el factor de carga promedio antes de la capacitación era de 1.87 kg/m<sup>3</sup>, mientras que después de la capacitación técnica se obtuvo un promedio de 1.45 kg/m<sup>3</sup>. Por lo tanto, podemos concluir que se ha observado una mejora en el parámetro del factor de potencia.

- **Sostenibilidad Estadística mediante la aplicación del SPSS**

Para respaldar la hipótesis, empleamos la prueba de la T de Student con datos independientes correlacionados, ya que nuestras muestras son menores a 30 y con un nivel de significancia de  $p < 0.05$ . El análisis se lleva a cabo utilizando el software SPSS con las muestras recolectadas en la perforación antes y después de la capacitación técnica en relación al factor de potencia.

H<sub>0</sub>: Con la capacitación técnica en la perforación y voladura no se optimiza el factor de carga.

H<sub>1</sub>: Con la capacitación técnica en la perforación y voladura se optimiza el factor de carga; en la siguiente tabla que se muestran los resultados:

**Figura 29:**  
*Prueba de la 2da Hipótesis específica*

Estadísticas de muestras emparejadas				
	Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Factor de potencia	10	,01350	,00427
	Factor de potencia	10	,01287	,00407

Correlaciones de muestras emparejadas			
	N	Correlación	Sig.
Par 1	Factor de potencia & Factor de potencia	10	,218
			,546

Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas							
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	Factor de potencia - Factor de potencia	,07500	,01650	,00522	,06320	,08680	14,375	9	,000

Fuente: Elaboración propia

A partir del presente resultado se puede interpretar que el factor de carga es significativamente mayor antes de la capacitación técnica el cual se tiene ( $M = 0.3260$ ;  $SE = 0.00427$ ), que después de la capacitación en perforación y voladura se tuvo ( $M = 0.2510$ ;  $SE = 0.00407$ ;  $t(9) = 14.375$ ;  $p = 0.000 < 0.05$ ), donde:

M = Media

SE = Error de estándar = Prueba T

( ) = grados de libertad

P = Nivel de significación.

Basándonos en estos resultados, podemos afirmar que se descarta la hipótesis nula ( $H_0$ ).

### c) Prueba de la 3ra hipótesis específica

En la tercera hipótesis específica se plantea: “Se optimiza la sobre excavación con la capacitación de técnicas en el proceso de

perforación y voladura en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros”. De acuerdo con las muestras obtenidas en la línea base antes y después de la capacitación técnica en perforación y voladura, se realizaron los cálculos correspondientes. Estos cálculos demostraron que, antes de la capacitación, la sobre excavación promedio era de 23.60 cm, mientras que después de la capacitación se redujo a un promedio de 1.4 cm. Por lo tanto, concluimos que se ha logrado una optimización significativa en el parámetro de la sobre rotura.

- **Sostenibilidad Estadística mediante la aplicación del SPSS**

Para respaldar esta hipótesis, empleamos la prueba de la T de Student con datos independientes correlacionados debido al tamaño de nuestras muestras, que es menor a 30, y un nivel de significancia establecido en  $p < 0.05$ . El análisis se llevó a cabo utilizando el software SPSS con las muestras recolectadas antes y después de la capacitación técnica en relación con la sobre excavación:

Ho: Con la capacitación técnica de la perforación y voladura no se optimiza la sobre excavación del contorno del frente.

H<sub>1</sub>: Con la capacitación técnica de la perforación y voladura si se optimiza la sobre excavación; en la siguiente tabla se muestran los resultados:

**Figura 30:**  
*Prueba de la 3ra Hipótesis específica*

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Toneladas rotas	49,3380	10	1,79422	,56738
	Toneladas rotas	60,4800	10	1,39427	,44091

Correlaciones de muestras emparejadas				
		N	Correlación	Sig.
Par 1	Toneladas rotas & Toneladas rotas	10	,437	,206

Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas							
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	Toneladas rotas - Toneladas rotas	-11,14200	1,72466	,54538	-12,37574	-9,90826	-20,430	9	,000

Activar Windows

Fuente: *Elaboración propia*

A partir del presente resultado se puede interpretar que la sobre excavación es significativamente mayor antes de la capacitación técnica en comparación después de haber realizado la capacitación técnica el cual se tiene ( $M = 49.3380$ ;  $SE = 0.56738$ ), que después se tuvo ( $M = 60.4800$ ;  $SE = 0.44091$ ;  $t(9) = -20.430$ ;  $p = 0.000 < 0.05$ ), donde:

$M$  = Media

$SE$  = Error de estándar = Prueba T

$( )$  = grados de libertad

$P$  = Nivel de significación.

Por estos resultados podemos concluir que la hipótesis nula se rechaza ( $H_0$ ).

#### 4.4. Discusión de resultados

Con respecto al título de la investigación "Capacitación de Técnicas en el Proceso de Perforación y Voladura para Mejorar los Parámetros de Avance

en Galerías de la U.E.A. Heraldos Negros", se han obtenido resultados altamente positivos en términos de optimización del avance lineal, factor de potencia y reducción de la sobreexcavación en el perfil del frente. Estos resultados son evidentes en la tabla 9.

**Tabla 12:**  
*Relación de Resultados por capacitación*

<b>Parámetro</b>	<b>Antes de la capacitación</b>	<b>Después de la capacitación</b>
Numero de taladros (unidad)	38	38
Avance lineal/voladura (metros)	1.73	2.02
Factor de carga (Kg. / m3.)	1.87	1.45
Sobre excavación del perfil(cm.)	23.60	1.4
Volumen roto por voladura (m3.)	15.60	18.17

*Fuente: Elaboración propia*

Basándonos en los resultados de la investigación, extraídos de la tabla 9, podemos inferir:

Con la capacitación de técnicas en el proceso de la perforación y voladura en las galerías de la U.E.A. los Heraldos Negros, en el parámetro del avance lineal de la voladura se logra una optimización muy significativa de 0.29 cm. más que cuando no se había realizado la capacitación técnica, lo cual va a incidir en la mejora de los avances mensuales para lograr el cumplimiento de los programas.

La capacitación en técnicas de perforación y voladura en las galerías de la U.E.A. Heraldos Negros ha conducido a una notable disminución en el consumo de explosivos en 0.42 Kg/m3 por cada voladura, en comparación con el período anterior a la capacitación técnica en perforación y voladura. Esto tendrá un impacto positivo en la reducción de costos asociados con los avances en las galerías.

Con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura en las galerías de la U.E.A. los Heraldos Negros, en el parámetro de sobre excavación en el contorno del frente por voladura se logra reducir significativamente en 22.2 cm. por voladura con respecto a la sobre excavación antes de la capacitación técnica, esta mejora desde ya repercute en los beneficios de la productividad, obteniendo un techo más seguro, incidiendo en menores costos del sostenimiento, asimismo disminuye el área de influencia por las vibraciones.

## CONCLUSIONES

1. Con la capacitación de técnicas en el proceso de la perforación y voladura en las galerías de la U.E.A. los Heraldos Negros se optimizaron los parámetros de la voladura en términos del avance lineal, inicialmente como línea base se tenía un promedio de 1.73 m. con la ejecución de la capacitación se tiene un promedio de 2.02 metros.
2. Con la capacitación de técnicas en el proceso de la perforación y voladura en las galerías de la U.E.A. los Heraldos Negros se optimizaron los parámetros de la voladura en términos del factor de carga, se disminuye el consumo de kilogramos de explosivo por cada metro cúbico roto, de esta manera se pudo reducir el factor de carga que en la línea base se tenía un promedio de 1.87 kg. / m<sup>3</sup>. con la capacitación de técnicas se tiene un promedio de 1.45 kg. / m<sup>3</sup>.
3. Con la capacitación de técnicas en el proceso de la perforación y voladura en las galerías de la U.E.A. los Heraldos Negros se optimizaron los parámetros de la voladura en términos de sobreexcavación. En la línea base se tenía un promedio de 23.60 centímetros en todo el contorno del frente y con la capacitación de técnicas se llega a un promedio de 1.4 centímetros.
4. Con la capacitación de técnicas en el proceso de la perforación y voladura en las galerías de la U.E.A. los Heraldos Negros se optimizaron los parámetros de la voladura en términos del volumen roto por voladura, que como línea base se tenía 15.60 m<sup>3</sup> y con la capacitación de técnicas se optimiza a 18.17 m<sup>3</sup> taladros incidiendo en obtener mayor cantidad de desmonte para el relleno detrítico.
5. La capacitación de técnicas en el proceso de la perforación y voladura en las galerías de la U.E.A. los Heraldos Negros ha permitido optimizar los parámetros de la perforación y voladura que indudablemente repercute en términos de eficiencia, productividad y costos.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda explorar el empleo de otros tipos de explosivos, como la emulsión encapsulada o a granel, ya que son opciones más económicas y generan una cantidad menor de gases nitrosos.
2. Se recomienda explorar la posibilidad de rediseñar la disposición de los taladros de perforación para seguir mejorando el desempeño de los parámetros de la voladura.
3. Se recomienda planear programas de capacitación de manera permanente de técnicas en el proceso de perforación y voladura para optimizar los parámetros de los resultados de la voladura de todas las labores de la mina.
4. Se recomienda considerar la continuación de las observaciones y toma de muestras de los resultados de la voladura para optimizar el parámetro referente a la dimensión de la granulometría; ya que indudablemente mejorara la productividad.
5. Se recomienda realizar una investigación de cálculos de beneficios y costos al desarrollar las capacitaciones en técnicas del proceso de perforación y voladura comparando valores de resultados de la voladura sin haber capacitado al personal.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Wiese J. & Noble D. (2001). *El sistema de fallas Chonta del Perú Central*, Sociedad Geológica del Perú. Boletín, Vol. 92, p. 29-41.
2. Rodríguez R. (2008). *El sistema de fallas Chonta: morfología, cinemática y distribución de yacimientos minerales*, Lima: Sociedad Geológica del Perú, 6 p.
3. Calderón J. (2021). *Control estructural para el emplazamiento de vetas y stock monzodiorítico en el distrito minero de Acobambilla*, Perú.
4. Puchoc, D. (2021). *Método de explotación corte y relleno ascendente*. Unidad Minera los Heraldos Negros. Informe anual.
5. Piano, E. (2021). *Plan de Minado*. Unidad Minera los Heraldos Negros. Informe anual.
6. Mamani, C. (2016). *Tesis Diseño de Perforación y Voladura y su Incidencia en los Costos Unitarios en el Balcón III de la Compañía Minera Ananea S.A.* Puno, Perú.
7. Chipana, M. (2015). *Tesis Diseño de Perforación y Voladura para Reducción de Costos en el Frente de la Galería Progreso de la Contrata Minera Cavilquis Corporación Minera Ananea S.A.* Puno, Perú: Universidad del Altiplano.
8. EACH CHUNGAR, E. (de 2014). *Cartilla de Perforación y Voladura*. Lima, Perú.
9. Enaex S.A. (2001). *Curso de Manejo de Explosivos*. Santiago, Chile.
10. EXSA S.A. (2015). *Manual Práctico de Voladura*. Lima, Perú: Departamento Técnico de EXSA S.A.
11. Famesa Explosivos SAC. (2016). Obtenido de: <http://www.famesa.com.pe/productos/altos-explosivos/emulnor/>
12. FAMESA, E. (2019). *Manual de Perforación y Voladura*. Lima, Perú: Editorial COSAS.
13. López, C. (2005). *Ingeniería de Túneles*. Madrid, España: Universidad Politécnica

de Madrid.

14. López, C. (2012). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. Madrid: Tercera Edición.
15. Silvestre, G. (2018). *Aplicación del Método de Explotación por Subniveles en la Unidad Minera Chungar*. Junín, Perú: Universidad Continental.
16. Tolentino, V. (2012). *Métodos de Excavación de Túneles Perforación y Voladura*. UNI-Perú.

## ANEXOS

### INSTRUMENTOS DE RECOLECCION

#### CARACTERIZACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO

##### Caracterización geomecánica

La caracterización geomecánica de la roca se ha obtenido a partir de observaciones en labores existentes en niveles inferiores, o bien mediante la extrapolación de dichas observaciones.

Cuadro N°01.- Caracterización geomecánica Gal. 095N, Nivel 4980

Ítem	Estructura	Valoración de la masa rocosa				Descripción
		RMR (1989)	Tipo	GSI	Índice Q	
01	Caja techo	48	III-B	43	0.736	Regular B
02	Caja piso	51	III-A	46	1.166	Regular A
03	Estructura	42	III-B	37	0.293	Regular B

Fuente: U.E.A. los Heraldos Negros

##### Estado de esfuerzos in-situ del macizo rocoso

La descripción geomecánica de la zona rocosa se ha obtenido mediante la observación de trabajos previos realizados en niveles inferiores.

Cuadro N°02.- Estado de esfuerzos in-situ Gal. 095N, Nv.4980

Ítem	Característica	Medida	Unidades	
1	Profundidad	Mínima	95.6	m
		Máxima	135.2	m
2	Densidad de roca	2.6	t/m3	
3	Gravedad	9.8	m/s2	
4	Esfuerzo vertical	Mínima	2.44	MPa
		Máxima	3.44	MPa
5	Relación de poisson	0.3	-	
6	Módulo de elasticidad	11.9	GPa	
7	Esfuerzo horizontal	Mínima	1.04	MPa
		Máxima	1.48	MPa

Fuente: U.E.A. los Heraldos Negros

### Máxima abertura de la excavación

Para la determinación de la máxima abertura de la excavación según la calidad del macizo rocoso se ha empleado el modelo matemático de Barton, en función a la estimación del Span es que se ha dimensionado las labores mineras, las cuales serán sostenidas o fortificadas.

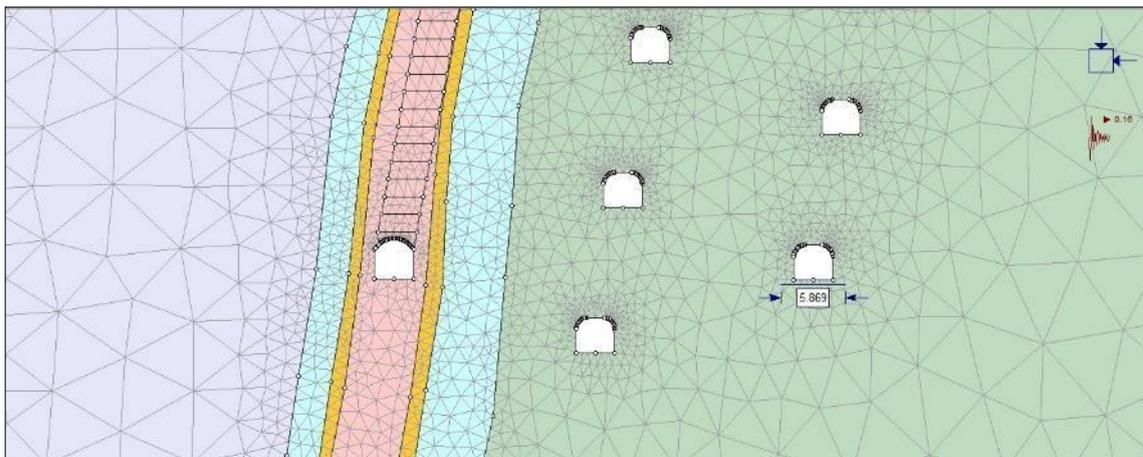
### Máxima abertura de la excavación

Cuadro N°03.- Gal. 095N, Nivel 4980

Tipo de labor	Calidad de roca		Tipo de labor	ESR	Sección (m)	
	RMR	Índice Q			Máxima	Diseño
Rampa	52	2.36	Permanente	1.6	4	3.0 a 3.5
Crucero	48	1.74	Temporal	3	7	3.0 a 3.5
Galería	42	1.29	Temporal	3	6	3.0 a 3.5
Tajo	42	1.29	Temporal	3	6	3.5 a 6.0

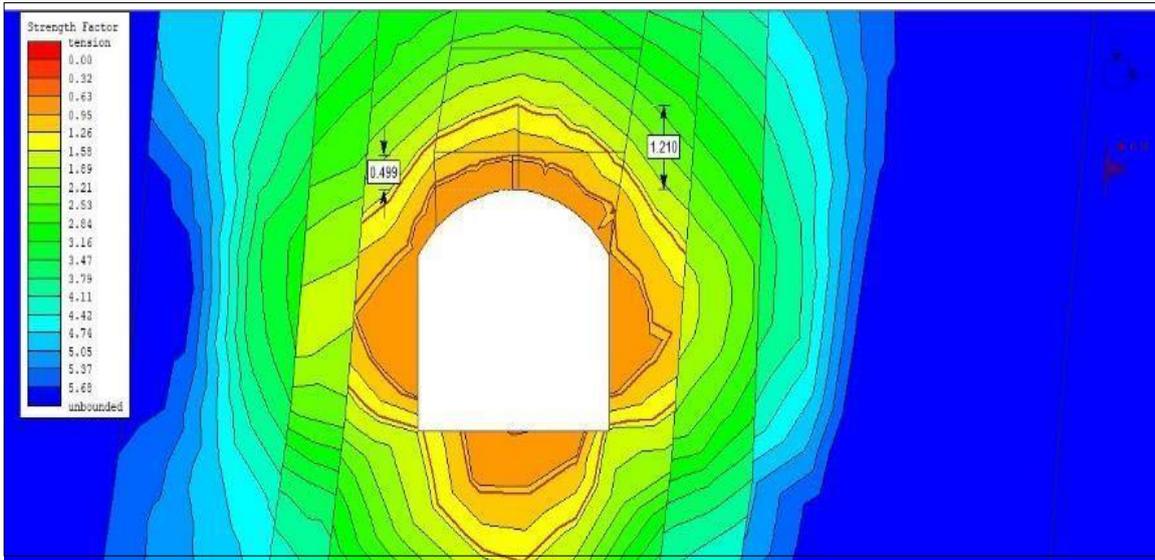
Fuente: U.E.A. los Heraldos Negros

Figura 28: Modelo de análisis estructural en galerías



Fuente: U.E.A. los Heraldos Negros

Figura 29: Análisis de zona plastificada en galerías



Fuente: U.E.A. los Heraldos Negros

### REGISTRO DE DATOS DE MUESTRAS DE LA PERFORACION Y VOLADURAPERFORACION ANTES DE LA CAPACITACION

Nº de tal. unidad	Avance Efectivo (m.)	Factor de carga Kg. / m3.	Sobre rotura cm.	M3 Rotos
38	1.75	1.85	25	15.75
38	1.70	1.91	22	15.30
38	1.80	1.80	23	16.20
38	1.73	1.87	24	15.57
38	1.76	1.84	21	15.84
38	1.68	1.93	28	15.12
38	1.72	1.88	21	15.48
38	1.74	1.86	23	15.66
38	1.76	1.84	20	15.84
38	1.69	1.92	29	15.21

**REGISTRO DE DATOS DE MUESTRAS DE LA PERFORACION Y  
VOLADURAPERFORACION DESPUES DE LA CAPACITACION**

<b>Nº de tal. unidad</b>	<b><i>Avance Efectivo (m.)</i></b>	<b><i>Factor de carga Kg. / m3</i></b>	<b><i>Sobre rotura cm.</i></b>	<b><i>M3 Rotos</i></b>
38	2.00	1.46	2	18.00
38	1.95	1.50	1	17.55
38	2.05	1.42	2	18.45
38	1.99	1.47	1	17.91
38	2.02	1.44	1.5	18.18
38	2.00	1.46	1	18.00
38	2.03	1.44	1	18.27
38	2.04	1.43	2	18.36
38	2.07	1.41	1	18.63
38	2.04	1.43	1.5	18.36

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

### “Capacitación de Técnicas en el Proceso de Perforación y Voladura para Optimizar los Parámetros de Avance en Galerías de la U.E.A. Heraldos Negros”

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Método	Población y muestra
<p><b>General</b> ¿Es posible optimizar los parámetros de avance en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros con la capacitación de técnicas en el proceso perforación y voladura?</p> <p><b>Problemas específicos</b> a) ¿Con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura permite optimizar el avance lineal en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros? b) ¿Con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura permite optimizar el factor de potencia en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros? c) ¿Con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura permite optimizar la sobre excavación en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros?</p>	<p><b>General</b> Optimizar los parámetros de avance en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura.</p> <p><b>Objetivos específicos</b> a) Optimizar el avance lineal en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura. b) Optimizar el factor de potencia en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura. c) Optimizar la sobre excavación en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura.</p>	<p><b>Hipótesis general</b> La capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura permite optimizar los parámetros de avance en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros.</p> <p><b>Hipótesis específicas</b> a) Se optimiza el avance lineal con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros. b) Se optimiza el factor de potencia con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros. c) Se optimiza la sobre excavación con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros.</p>	<p><b>Variable independiente</b> X: Capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura en U.E.A. Heraldos Negros</p> <p><b>Variable Dependiente</b> Y: Optimizar los parámetros de avance en galerías de la U.E.A. Heraldos Negros</p>	<p><b>Tipo de Investigación</b> El desarrollo de la investigación es de carácter aplicativo por los objetivos que se han determinado en este proyecto, el trabajo de la investigación está centrado en el nivel descriptivo, correlacional y explicativo.</p> <p><b>Método de investigación</b> el método de investigación a emplear en nuestra investigación el método lógico, inductivo, sintético y de análisis, asimismo se emplea el método empírico mediante la observación investigativa.</p>	<p><b>Población</b> Conformado por las galerías de los diferentes niveles de la U.E.A. Heraldos Negros: - Las galerías del nivel 4920 - Las galerías del nivel 4980 - Las galerías del nivel 5010</p> <p><b>Muestra</b> Galería 095N, del nivel 4980, de la U.E.A. Heraldos Negros</p>