



**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

**TESIS:**

**“OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE PERFORACIÓN Y  
VOLADURA PARA LAS OPERACIONES UNITARIAS EN LA  
EXPLOTACIÓN MINERA DE LA CONCESIÓN ITALO DE LA  
EMPRESA P´HUYU YURAQ II E.I.R.L, DISTRITO DE  
MAGDALENA - CAJAMARCA, 2017”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**

**FIGUEROA TORRES, STEVE RAÚL**

**CAJAMARCA - PERÚ**

**2018**

## **DEDICATORIA**

### **A mis padres Maruja Torres y Arturo Figueroa**

Por los ejemplos de perseverancia que los caracterizan y que me han impartido siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

Por su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera profesional, y sus valores que me permitieron ser una persona de bien.

**Steve Raúl Figueroa Torres.**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento se dirige a quien ha forjado y me ha dirigido por el sendero correcto, a Dios que en todo momento está conmigo ayudándome a aprender de mis errores y a no cometerlos otra vez.

Doy gracias a mis padres, por la orientación que me han dado, por iluminar mi camino para poder realizarme en mi vida personal y profesional. Agradezco sus sabios consejos que no me dejaron caer y así enfrentar los momentos difíciles, por ayudarme a tomar decisiones para balancear mi vida y sobre todo gracias por el amor tan grande que me dan.

Gracias a la Universidad Alas Peruanas, por haberme permitido formarme en ella, gracias a los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas por ser partícipes de mi formación profesional.

**Steve Raúl Figueroa Torres.**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
CARÁTULA.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
INTRODUCCIÓN .....	xi
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO .....	1
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2. Delimitación de la investigación .....	3
1.2.1. Delimitación espacial .....	3
1.2.2. Delimitación social .....	3
1.2.3. Delimitación temporal .....	3
1.2.4. Delimitación conceptual .....	3
1.3. Problemas de investigación.....	4
1.3.1. Problema principal .....	4
1.3.2. Problemas secundarios .....	4
1.4. Objetivos de la investigación .....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos .....	5
1.5. Hipótesis y variables de la investigación .....	6
1.5.1. Hipótesis general .....	6
1.5.2. Hipótesis secundarias.....	6

	<b>Pág.</b>
1.5.3. Variables.....	7
1.6. Metodología de la investigación .....	8
1.6.1. Tipo y nivel de investigación .....	8
1.6.2. Método y diseño de la investigación .....	8
1.6.3. Población y muestra de la investigación .....	9
1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	9
1.6.5. Justificación, importancia y limitaciones de la investigación ..	10
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
2.1. Antecedentes de la investigación .....	12
2.2. Bases teóricas.....	17
2.2.1. Ubicación y accesibilidad de la zona de estudio .....	17
2.2.2. Parámetros de perforación y voladura .....	20
2.2.3. Operaciones unitarias .....	22
2.3. Definición de términos básicos.....	33
<b>CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
3.1. Geología.....	34
3.1.1. Geología regional del área de trabajo.....	34
3.1.2. Geología local.....	35
3.2. Topografía kárstica.....	35
3.3. Diseño de bancos.....	36
3.3.1. Dimensiones y orientación de los bancos (Ames, 2012) .....	37
3.4. Estudio geomecánico del macizo rocoso .....	39
3.4.1. Modelo geomecánico .....	39
3.4.2. Clasificación de los macizos rocosos de la zona de estudio..	41
3.4.3. GSI (Geological StrengthIndex). .....	51
3.4.4. Estimación del módulo de deformación empírico del macizo.	54

	<b>Pág.</b>
3.5. Evaluación de la perforación y voladura actual .....	55
3.5.1. Parámetros .....	55
3.5.2. Producción diaria .....	55
3.5.3. Cantidad de explosivos y accesorios .....	55
3.6. Parámetros propuestos .....	57
3.6.1. Perforación.....	58
3.6.2. Cálculos de parámetros de perforación y voladura Konya.....	58
3.6.3. Requerimiento de explosivos propuesto .....	64
3.7. Comparación de los parámetros de perforación y voladura .....	66
CAPÍTULO IV: PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS .....	67
4.1. Prueba de hipótesis general.....	67
4.2. Prueba de hipótesis específicas.....	67
CONCLUSIONES .....	68
RECOMENDACIONES .....	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
ANEXOS .....	72
Anexo 1: Matriz de consistencia.....	73
Anexo 2: Instrumento de Investigación: Encuesta. ....	75
Anexo 3: Instrumento de Investigación: Esquema de carga de Artigas. ....	76
Anexo 4: Instrumento de Investigación: Fórmulas empleadas.....	77
Anexo 5: Instrumento de Investigación: Ficha de clasificación de RMR .....	79
Anexo 6: Fotografías.....	80
Anexo 7: Planos .....	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1:</b> Ruta de acceso desde Cajamarca hasta la concesión Ítalo.....	19
<b>Figura 2:</b> Plano Geológico de la Zona.....	34
<b>Figura 3:</b> Afloramiento de calizas concesión Ítalo. ....	35
<b>Figura 4:</b> Lapiaces y dolinas de las calizas propias de la concesión Ítalo. ....	36
<b>Figura 5:</b> Modelo geomecánico aplicado a la zona. ....	39
<b>Figura 6:</b> Valoración del RQD. ....	43
<b>Figura 7:</b> Roca completamente seca.....	50
<b>Figura 8:</b> Esquema de carga. ....	59
<b>Figura 9:</b> Malla de perforación.....	61
<b>Figura 10:</b> Esquema de carga. ....	76
<b>Figura 11:</b> Cantera Ítalo. ....	80
<b>Figura 12:</b> Planta de calcinación. ....	80
<b>Figura 13:</b> Vista frontal de los hornos.....	81
<b>Figura 14:</b> Almacén de cal viva granada. ....	81
<b>Figura 15:</b> Polvorín.....	82
<b>Figura 16:</b> Plataforma de perforación.....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1</b> Operacionalización de las variables. ....	7
<b>Tabla 2</b> Ubicación de la zona de estudio. ....	17
<b>Tabla 3</b> Coordenadas de la concesión. ....	18
<b>Tabla 4</b> Accesibilidad a la zona de estudio. ....	18
<b>Tabla 5</b> Clasificación del RMR. ....	21
<b>Tabla 6</b> Propiedades para la caracterización geomecánica. ....	41
<b>Tabla 7</b> Cuadro de valoración de la resistencia de la roca intacta. ....	42
<b>Tabla 8</b> Espaciado promedio de las discontinuidades. ....	44
<b>Tabla 9</b> Descripción del espaciado. ....	44
<b>Tabla 10</b> Persistencia de las discontinuidades de los cuerpos. ....	45
<b>Tabla 11</b> Descripción de persistencia. ....	45
<b>Tabla 12</b> Abertura de las discontinuidades. ....	45
<b>Tabla 13</b> Rugosidad de las discontinuidades. ....	46
<b>Tabla 14</b> Clasificación de la rugosidad. ....	46
<b>Tabla 15</b> Relleno de las discontinuidades. ....	47
<b>Tabla 16</b> Meteorización de las discontinuidades. ....	47
<b>Tabla 17</b> Valoración de descripción de las discontinuidades. ....	48
<b>Tabla 18</b> Presencia de agua. ....	50
<b>Tabla 19</b> Clasificación del RMR. ....	50
<b>Tabla 20</b> Estimación del GSI. ....	51
<b>Tabla 21</b> Criterios empíricos para estimar el módulo de deformación. ....	54
<b>Tabla 22</b> Resumen del requerimiento anual de explosivos. ....	57
<b>Tabla 23</b> Datos de la cantera. ....	58
<b>Tabla 24</b> Explosivos y accesorios de voladura a usar con nueva propuesta. .	66
<b>Tabla 25</b> Comparación de parámetros de perforación y voladura. ....	66
<b>Tabla 26</b> Matriz de consistencia. ....	73
<b>Tabla 27</b> Clasificación del RMR. ....	79



## RESUMEN

La presente tesis se realiza en la concesión minera Ítalo ubicada en el caserío Las Ventanillas, distrito de Magdalena en la provincia Cajamarca, dicha concesión pertenece a la empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L., la cual tiene un contrato de venta de óxido de calcio con la empresa Yanacocha para neutralizar los niveles ácidos generados en minería, por ello esta tesis es necesaria ya que se pretende ampliar la extracción de roca caliza para satisfacer la demanda.

Esta tesis tiene por objetivo optimizar de los parámetros de perforación y voladura que se están empleando en las operaciones unitarias de la concesión minera Ítalo.

Se concluyó que con nuevos parámetros de perforación y voladura teóricamente se reduce el consumo de explosivos y se optimiza las operaciones unitarias en la explotación minera en la concesión Ítalo ya que la altura del banco deseada es de 3 metros, pero la longitud de perforación es 1.5 metros, por lo tanto, la altura de banco deseada se logra con dos disparos.

En esta tesis se propone utilizar los mismos accesorios de la voladura, pero se evaluó las deficiencias en cantidades de aplicación. El burden debe tener 0.65 metros, el espaciado 0.914 metros, sobreperforación 0.195 metros, por tanto, se debe realizar una longitud de perforación de 2.93 metros para lograr bancos de 2.6 metros.

Se propone con un solo disparo volar todo el banco, ahorrando así la cantidad de fulminantes. La optimización se basa en el aumento de material volado y por ende en la producción.

Al aplicar estos parámetros se obtuvo un índice de volabilidad de 144 y factor de energía 17.22 MJ/Ton.

**Palabras Clave:** Perforación, Voladura, Optimización, Operaciones Unitarias, explosivos.

## ABSTRACT

This thesis is carried out in the Ítalo mining concession located in Ventanillas farmhouse, Magdalena district in the Cajamarca province, this award belongs to P'huyu Yuraq II E.I.R.L company, which has a contract for sale of calcium oxide with the company Yanacocha to neutralize the acid levels generated in mining, so this thesis is necessary since it is intended to expand the extraction of limestone to meet the demand.

This thesis aims to optimize the parameters of drilling and blasting that are being used in the unit operations of the Italo mining concession.

It was concluded that with new drilling and blasting parameters theoretically it reduces the consumption of explosives and optimizes the unitary operations in the mining in the concession Italo since the height of the desired bank is of 3 meters, but the length of Drilling is 1.5 meters, therefore the desired bench height is achieved with two shots.

In this thesis it is proposed to use the same blast accessories, but the deficiencies in application quantities were evaluated. The burden must be 0.65 meters, the spacing is 0.914 meters, overperforation 0.195 meters, therefore, a drilling length of 2.93 meters must be done to achieve banks of 2.6 meters.

It is proposed with a single shot to fly the entire bank, thus saving the number of fulminants. Optimization is based on the increase of flown material and therefore on production.

When applying these parameters, a volatility index of 144 and an energy factor of 17.22 MJ / Ton was obtained.

**Key Words:** Drilling, Blasting, Optimization, Unit Operations, Explosives.

## INTRODUCCIÓN

En la concesión minera no metálica Ítalo, la extracción de roca caliza, se realiza con una perforadora Jackleg Atlas Copco BBC16W, y los explosivos usados son dinamita semexsa 65, anfo, pentacord, entre otros accesorios; las mallas van de acuerdo a la producción de roca caliza que se necesita en el mercado.

La explotación que se realiza en dicha concesión está a cargo de la empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, actualmente se realiza a cielo abierto mediante el método de banqueo, el calcinado se realiza con carbón antracita en hornos verticales convencionales.

En el Capítulo I, se realizó el planteamiento metodológico mediante la descripción de la realidad problemática, delimitación de la investigación, formulación de problemas, objetivos, hipótesis y metodología de la investigación.

En el Capítulo II, se realizó el marco teórico compuesto por antecedentes de la investigación, bases teóricas y definición de términos.

En el Capítulo III, se presentó los resultados donde se estudió la geología y la topografía de la zona, además se determinaron los nuevos parámetros de perforación y voladura, mediante el estudio geomecánico.

En el Capítulo IV, se contrastó tanto la hipótesis general como las hipótesis específicas.

Finalmente se realizaron las conclusiones y recomendaciones.

En la concesión Ítalo es necesario implementar estudios donde se describa a detalle el proceso de extracción de caliza, tal es así que para perforación y voladura se necesita análisis de la roca tanto de sus propiedades físicas, mecánicas y químicas, por ello es necesario complementar con la mecánica de rocas; además de ello se debe estudiar la roca en bloque, es decir como

formación geológica, sus fracturas, fallas, pliegues, tipo de depositación, mineralización, entre otros.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**

### **1.1. Descripción de la realidad problemática**

En la actualidad existen diferentes métodos y maquinarias empleadas en el arranque de las rocas, cuyas diferencias radican en el tamaño de la maquinaria utilizada y las propiedades del macizo rocoso sujeto al arranque, puesto que el macizo se comporta de diferente manera en la superficie que a una profundidad considerable dentro de la corteza terrestre (Ames, 2012).

Existen varios factores, entre los cuales se puede decir afectan la perforación y voladura los que también determinan el performance de avance rendimientos y eficiencias es importante enfatizarnos y entender que el macizo rocoso es una variable aleatoria al igual que el rendimiento de la máquina perforadora y el explosivo adecuado. (Herrera, 2013)

En nuestro país, existe un sin número de canteras que utilizan la voladura como principal método de arranque de las rocas, pero es inadecuado el cálculo y las consideraciones en cuanto a las propiedades de la roca y el macizo y se basan principalmente en aplicar un patrón de voladura obtenido empíricamente y obtener un tamaño de fragmentación inadecuado a los requerimientos de la cantera (Becerra y Hernández, 2016).

Para el arranque de roca a cielo abierto se utiliza la voladura, siendo actualmente uno de los métodos más utilizados en el mundo y en el Perú, siendo diferentes las razones que justifican su uso, como son: Menor mantenimiento de la maquinaria utilizada, menor tiempo en lograr su propósito, etc (Ojeda, 2013).

En Cajamarca, la problemática surge al detectar que, en los últimos años, en las áreas de perforación y voladura se observa un decrecimiento en su producción como operación unitaria. Al hacer el seguimiento, se detecta que, dentro de todas las actividades mineras, la perforación y voladura es una de las más costosas, por lo tanto, se deben estudiar todos los parámetros concernientes a esta actividad.

Actualmente la empresa minera P'huyu Yuraq II E.I.R.L. tiene un contrato de venta de óxido de calcio con la empresa Yanacocha para neutralizar los niveles ácidos generados en minería, por eso la empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L. pretende ampliar su extracción de roca caliza para satisfacer esta demanda, por ello necesita optimizar los parámetros de perforación y voladura.

Dicha empresa cuenta con un plan de explotación para su cantera que comprende la concesión Ítalo, ubicada en el distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca. Esta ubicación presenta numerosas ventajas desde el punto de vista económico, como es la proximidad a la ciudad y presencia de calizas óptimas para producción de cal viva.

La primera fase de la optimización de los parámetros de perforación y voladura consiste en comprender los mecanismos de fragmentación de la roca más adecuados para el macizo rocoso sujeto al estudio (Palomino, 2016). Con ello, es de vital importancia conocer cuál es el objeto que se pretende con la voladura, existiendo varias aplicaciones y en la que se centró esta tesis.

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

### **1.2.1. Delimitación espacial**

La investigación se llevó a cabo específicamente en la concesión minera no metálica Ítalo, dentro del caserío Ventanillas, distrito de Magdalena, provincia y región Cajamarca, a cargo de la Empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, la cual se dedica a la producción y comercialización de óxido de calcio.

### **1.2.2. Delimitación social**

En la investigación se trabajó con los pobladores del caserío Ventanillas que a su vez son trabajadores (15) de operaciones mina, de la concesión Ítalo de la empresa minera P'huyu Yuraq II E.I.R.L.

### **1.2.3. Delimitación temporal**

El estudio se llevó a cabo durante el año 2017, iniciando el 05 de Abril y finalizando el 28 de Septiembre, haciendo un total de 116 días, en los cuales se realizó la evaluación de los parámetros de perforación y voladura.

### **1.2.4. Delimitación conceptual**

Los conceptos mencionados que engloba la investigación son los siguientes:

- Parámetros de perforación
- Parámetros de voladura
- Explotación minera
- Minería a cielo abierto

### **1.3. Problemas de investigación**

#### **1.3.1. Problema principal**

¿Cómo optimizar los parámetros de perforación y voladura, tales como burden, espaciamiento, sobreperforación, altura de banco, longitud de perforación, longitud del taco, concentración lineal de carga, consumo específico, volabilidad de Billy y factor de energía, dentro de las operaciones unitarias en la explotación minera de la concesión Ítalo de la empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017?

#### **1.3.2. Problemas secundarios**

- ¿Cuáles son los parámetros de perforación y voladura que se aplican actualmente en las operaciones unitarias de la explotación minera en la concesión Ítalo, de la empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017?
  
- ¿Cuál es el análisis comparativo de los parámetros de perforación y voladura actuales y propuestos para su optimización en las operaciones unitarias de la explotación minera en la concesión Ítalo, de la empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017?
  
- ¿Cuál es la propuesta adecuada de parámetros de perforación y voladura para su optimización en las operaciones unitarias de la explotación minera en la concesión Ítalo, de la empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017?



## **1.4. Objetivos de la investigación**

### **1.4.1. Objetivo general**

Optimizar los parámetros de perforación y voladura, tales como burden, espaciamiento, sobreperforación, altura de banco, longitud de perforación, longitud del taco, concentración lineal de carga, consumo específico, volabilidad de Billy y factor de energía, en las operaciones unitarias de explotación minera en la concesión Ítalo, de la empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar los actuales parámetros de perforación y voladura que se aplican en las operaciones unitarias de la explotación minera en la concesión Ítalo, de la empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017.
- Realizar un análisis comparativo de los parámetros de perforación y voladura actuales y propuestos para su optimización en las operaciones unitarias de la explotación minera en la concesión Ítalo, de la empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017.
- Determinar la propuesta adecuada de parámetros de perforación y voladura para su optimización en las operaciones unitarias de la explotación minera en la concesión Ítalo, de la empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017.

## **1.5. Hipótesis y variables de la investigación**

### **1.5.1. Hipótesis general**

Si se aplica adecuadamente los parámetros de perforación y voladura propuestos tales como burden, espaciamiento, sobreperforación, altura de banco, longitud de perforación, longitud del taco, concentración lineal de carga, consumo específico, volabilidad de Billy y factor de energía, lograremos optimizar las operaciones unitarias en la explotación minera de la concesión Ítalo, en la empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017.

### **1.5.2. Hipótesis secundarias**

- Al determinar los parámetros de perforación y voladura que se están aplicando se detectarán los que están fallando en las operaciones unitarias de la explotación minera en la concesión Ítalo, en la empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017.
- Al comparar los parámetros de perforación y voladura actuales y propuestos se analizarán mejoras en las operaciones unitarias de la explotación minera en la concesión Ítalo, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017.
- Con la propuesta de utilización de nuevos parámetros de perforación y voladura se logrará el mayor aprovechamiento de los recursos en las operaciones unitarias de la explotación minera en la concesión Ítalo, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017.

### 1.5.3. Variables

#### 1.5.3.1. Variable independiente

Parámetros de perforación y voladura.

#### 1.5.3.2. Variable dependiente

Operaciones unitarias en la explotación minera.

#### 1.5.3.3. Operacionalización de las variables

**Tabla 1**  
*Operacionalización de las variables.*

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADOR
Operaciones unitarias en explotación minera	Dependiente	Área del proceso donde se incorporan materiales o insumos y ocurre una función determinada que forman parte del proceso	Estadística	Costo/TM. Densidad Tonelaje – Ley
			Producción	Toneladas de cal viva
Parámetros de perforación y voladura	Independiente	Perforación es el proceso mecánico de practicar orificios en la roca para colocar explosivos. Voladura es el proceso químico de detonación del explosivo para fragmentar la roca.	Diámetro del taladro	Milímetros
			Longitud del taladro	Metros
			Longitud de carga	Metros
			Acoplamiento	Adimensional
			Velocidad de detonación	m/s
			Presión de detonación	Kg/cm <sup>2</sup>
			Densidad del explosivo	gr/cm <sup>3</sup>
			Longitud del explosivo	Centímetros
Resistencia compresiva	Kg/cm <sup>2</sup>			

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

## **1.6. Metodología de la investigación**

### **1.6.1. Tipo y nivel de investigación**

#### **a) Tipo de investigación**

La investigación desarrollada es cuantitativa, ya que en esta tesis el proceso consistió en observar y analizar los parámetros actuales de perforación y voladura para luego proponer uno nuevo y definir su optimización. (Hernández, Fernández y Baptista 2014, p. 20).

#### **b) Nivel de investigación**

El nivel de la investigación fue descriptivo ya que se realizó la descripción de los parámetros de perforación y voladura actuales; es decir, se dirigió a responder las causas que acarrea al contar con parámetros adecuados. (Hernández *et al.*, 2014, p. 75)

### **1.6.2. Método y diseño de la investigación**

#### **a) Método de investigación**

En lo referente es el método deductivo, esto quiere decir que las conclusiones son una consecuencia necesaria de las premisas. (Hernández *et al.*, 2014)

#### **b) Diseño de la investigación**

El diseño es cuasi-experimental, ya que consiste en escoger los parámetros de perforación y voladura, en los que se prueba la optimización de las operaciones unitarias. (Hernández *et al.*, 2014)

### **1.6.3. Población y muestra de la investigación**

#### **a) Población**

Concesión Minera no Metálica Ítalo de la Empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017.

#### **b) Muestra**

Se utilizó un banco de perforación y voladura de la cantera Ítalo, de la Empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017.

### **1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **a) Técnicas**

- Entrevista

Esta técnica se realizó para obtener datos que consistió en un diálogo entre los perforistas y el tesista; se realizó con el fin de obtener información concerniente a perforación y voladura que se realiza en la concesión Ítalo.

- Fichaje

Esta técnica auxiliar consistió en registrar los datos que se van obteniendo mediante fichas, esquemas y fórmulas las cuales, contienen la mayor parte de la información que se recopila en una investigación.

#### **b) Instrumentos**

Los instrumentos que se emplearon para la elaboración de esta investigación fueron:

- Para entrevista  
Se realizó una encuesta para los trabajadores del área de perforación y voladura para conocer los parámetros actuales.
  
- Para fichaje  
Para esta técnica se utilizaron las siguientes fichas fórmulas y esquemas:
  - Esquema de carga de Artigas (2012).
  - Fórmulas empleadas en el método de Konya (1990).
  - Ficha de clasificación de RMR según Bienwsky 89, citado por el autor Gonzáles (2002).

#### **1.6.5. Justificación, importancia y limitaciones de la investigación**

##### **a) Justificación**

Mediante la presente investigación se pretende mejorar las operaciones unitarias de perforación y voladura; el diseño actual es empírico, el objetivo planteado se logró con cálculos a partir de densidad tanto de la roca como del explosivo, asimismo se empleó el diámetro del explosivo, determinando el número adecuado de taladros y cantidad exacta de sustancia explosiva para tener un aumento de producción.

##### **b) Importancia**

La presente tesis prevé una mejora productiva en perforación y voladura, para que el aprovechamiento del mineral se realice en forma controlada, obteniendo mayor volumen explotado y mejorando las operaciones técnicas de minado.

La razón de esta investigación es principalmente el seguimiento de las operaciones de la empresa. El plan de

explotación debe asegurar el cumplimiento de la demanda del mercado local y nacional.

Asimismo, es importante realizar el cálculo técnico ya que con ello se logrará optimizar los parámetros de perforación y voladura.

**c) Limitaciones**

- La empresa exige discreción en cuanto al manejo de explosivos y voladuras realizadas por lo que se tuvo acceso controlado a la misma, por tanto, la información que requiero es limitada.
  
- La voladura actual se realiza de acuerdo a experiencias empíricas por los trabajadores que tienen mediana preparación técnica, es decir las explicaciones que se hicieron en planta no las dio un profesional en el tema.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

Sánchez (2012), realizó su Tesis titulada “*Optimización en los Procesos de Perforación y Voladura en el Avance de la Rampa en la Mina Bethzabeth*” en la Universidad Central del Ecuador, tuvo como objetivo General: Optimizar los procesos de perforación y voladura en el avance de la rampa en la Mina Bethzabeth, mediante el diseño de una nueva malla de perforación junto con el cálculo de la cantidad adecuada de sustancia explosiva permitirá la optimización en los procesos de perforación y voladura en el avance de la rampa en la mina Bethzabeth. La no optimización en los procesos de perforación y voladura en el avance de la rampa en la mina Bethzabeth, no permitirá mejorar costos y tiempos en los procesos ya nombrados. El proyecto se ubica en la provincia de El Oro, cantón Atahualpa, parroquias Paccha, Ayapamba y Milagro. Sánchez concluyó que las características de los explosivos junto con las características físico – mecánicas del macizo rocoso son importantes para el diseño de la malla de perforación, reduciendo el número de taladros se logró disminuir el tiempo de operaciones, consiguiendo con ello la optimización en los procesos. Además, recomienda realizar ensayos de compresión simple periódicos para ir rediseñando la malla de perforación, obtener dimensiones óptimas del burden y disminuir el tiempo de operación.



Artigas (2012), realizó su Tesis titulada *“Diseño de Patrones de Perforación y Voladura, para Normalizar la Fragmentación del Material Resultante de la Mina Choco 10 Empresa Pmg S. A. El Callao, Estado Bolívar”* Venezuela, expuso una propuesta para el diseño de los patrones de perforación y voladura que normalicen la fragmentación del material que actualmente es extraído en la Mina Choco 10, ubicada en el Municipio El Callao, Estado Bolívar. Mediante cálculos teóricos realizados y la evaluación de la fragmentación obtenidas en las voladuras ejecutadas en el mineral, además, del modelamiento de la fragmentación, a través del Kuz Ram para la proyección de la granulometría del material con distintas mallas de perforación. Manteniendo los factores de carga constante se planteó el reacomodo de la geometría de las mallas de perforación de manera de minimizar el área de menor influencia del explosivo y hacer más eficiente la fragmentación del material, además de estimar si es rentable este reacomodo para su aplicación.

Caguana (2013), realizó su Tesis titulada *“Optimización de los Parámetros de Perforación Y Voladura en la Cantera “Las Victorias””*, en la Universidad de Cuenca Ecuador, explica que la voladura hoy en día es un tema que se ha estudiado a profundidad, siendo utilizada para diferentes fines. La presente monografía expuso una optimización de los parámetros de perforación y voladura que se están empleando actualmente en la cantera Las Victorias, con el objeto de fragmentar la roca para su posterior comercialización. Los parámetros propuestos parten del análisis de diferentes métodos de cálculo, siendo estos; El método de proporcionalidad, el método propuesto por López-Jimeno, el método de Langefords, el método Sueco y el método de Konya, además utilizando el modelo Kuz-Ram para estimar el tamaño de la fragmentación producto de la voladura. En tal caso, se dedujo que el método propuesto por López-Jimeno es el más idóneo para el cálculo de un adecuado patrón de voladura. Se concluye que al considerar el tipo de roca en la cantera “Las Victorias”, el diámetro de barreno empleado de 36 milímetros podría ser insuficiente para las labores de trabajo y que según un barreno de 36

milímetros para este tipo de trabajos inadecuado y no recomendable. De acuerdo al análisis realizado de los diferentes métodos de cálculo, se consideró que el método de López-Jimeno es el método más confiable y puede ser utilizado para el cálculo de un adecuado patrón de voladura. En todos los métodos analizados se estimó el tamaño medio de fragmentación de roca esperada producto de la voladura, en tal caso se observó que, aumentando la cantidad de sustancia explosiva por barrenos, el tamaño de fragmentación disminuye para una separación entre barrenos constante, así como también se pudo verificar que a medida que aumenta la separación entre barrenos el tamaño de fragmentación será mayor.

Ojeda (2013), realizó su Tesis titulada *“Diseño de Mallas de Perforación y Voladura Subterránea Aplicando un Modelo Matemático de Áreas de Influencia”* Perú, en esta investigación denominado diseño de mallas de perforación y voladura subterránea aplicando un modelo matemático, es realizado para ejecutar diseños óptimos sin la necesidad de realizar muchas pruebas de campo, y en donde el planteamiento del problema es; ¿Diseñar mallas de perforación y voladura subterránea, aplicando un modelo matemático de áreas de influencia?, ¿En el Diseño de malla realizado, pronosticar el análisis de la fragmentación para determinar si es el óptimo?, y donde el objetivo general es demostrar que el Diseño de malla de perforación y voladura subterránea, puede ser diseñado por el modelo matemático de áreas de influencia, los antecedentes de la investigación de esta teoría fue expuesta en el IV CONEINGEMMET - Huancayo 2013 y tesis de investigación titulado diseño de mallas de perforación y voladura subterránea en frentes de la mina San Rafael 2012, en donde el método de investigación es experimental, de causa efecto. Este trabajo de investigación demuestra que el diseño de malla de perforación y voladura subterránea es aplicado por un modelo matemático de áreas de influencia usando una nueva teoría para calcular el burden. Por consiguiente, para el diseño se utilizó los parámetros de perforación (diámetro del taladro, diámetro de alivio, longitud de taladro, longitud de

carga, taco, desviación de perforación). En parámetro de explosivo (densidad, velocidad, presión de detonación, y dimensiones del explosivo) y en parámetro de roca (resistencia de la roca o minera y RQD) que se usaron para calcular el burden y espaciamiento en el diseño de mallas, estos datos son obtenidos in situ de la mina, para la perforación con equipo Jumbo y equipo Jackleg o Stoper. Como también se pronostica el porcentaje pasante, por medio de un análisis de fragmentación de Kuz-Ram, para determinar si el diseño es el óptimo.

Orihuela (2014), realizó su Tesis titulada *“Diseño de un Modelo Predictivo a Partir de un Estudio de Vibraciones en una Voladura en una Mina Modelo”* Perú, se concentró en el análisis y monitoreo de las vibraciones, resultado de ciertas pruebas de voladura en la mina modelo; dicha data será correctamente clasificada y ordenada. De esta manera, mediante un ajuste cuadrático se podrán hallar las incógnitas de una ecuación base (“k” y “b”) usadas para la predicción de las velocidades pico partícula (VPP), las cuales dependerán de un terreno y circunstancias específicas. Poder hallar las incógnitas “k” y “b” no solo permite obtener datos más cercanos a la realidad en el momento de predecir las VPP para un evento en particular, sino también, hace posible enfrentar futuros problemas con las normas reguladoras de vibraciones, tanto con el daño en estructuras cercanas a dicho terreno o efectos negativos en las personas a sus alrededores.

Medina (2014), realizó su Tesis titulada *“Evaluación Técnico-Económica-Ecológica de los Resultados de las Pruebas Realizadas Usando Emulsiones Gasificadas en Cujone – Southern Perú”*, en la Universidad Nacional de Ingeniería, analizó, evaluó y discutió el uso de la emulsión gasificada AP-73Q, y se compara con los resultados obtenidos usando el ANFO pesado 45/55 en las operaciones mineras de voladura de rocas en Cujone. Para lo cual se llevaron a cabo varios disparos primarios. Algunos de estos disparos primarios fueron cargados solamente con emulsión gasificada AP-73; para poder comparar los resultados

obtenidos, y otros disparos fueron cargados con emulsión gasificada AP-73Q y ANFO pesado 45/55. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en términos de fragmentación y uniformidad de esta, se debe mencionar que en términos generales con las dos mezclas explosivas comerciales se obtuvieron buenos resultados desde un punto de vista técnico-económico-ecológico. Para lo cual, se recomienda en forma especial que se continúe con estas pruebas usando las dos mezclas explosivas comerciales mencionadas anteriormente. También se debe estandarizar el uso de los fulminantes electrónicos para la iniciación de los disparos primarios. Lo mismo que se debe continuar usando cámaras de aire en los taladros de producción, etc.

Vilela (2014), realizó su Tesis titulada “*Análisis de Factibilidad para el Uso de Anfo Pesado a Base de Emulsión Gasificable en Minera Yanacocha*” Perú, tuvo como objetivo analizar la viabilidad técnica, económica y operativa de un nuevo tipo de emulsión, componente principal del ANFO Pesado que se usa comúnmente en el proceso de voladura en Minera Yanacocha. Este nuevo producto es una emulsión gasificable de mejor calidad y mayor costo en comparación con la emulsión matriz que se utiliza actualmente. La principal ventaja y motivo de investigación es su capacidad de gasificar por la adición de un agente químico. Ello permite variar su densidad y como consecuencia variar la velocidad de detonación, poder rompedor y otras propiedades, dependiendo de las características del material. Con este propósito, en el área de Perforación & Voladura se diseñó un plan para determinar y cuantificar las posibles ventajas que presenta el nuevo producto. Se inició con la instalación de los equipos para gasificar en los camiones fábrica, posteriormente se transportó la emulsión gasificable a la mina y finalmente se hicieron las pruebas in situ para medir sus parámetros antes, durante y después de la voladura. Estas pruebas son motivo del presente estudio. El parámetro que se midió antes de la voladura fue la densidad, un aspecto crítico para determinar los costos y la calidad del explosivo. Durante la voladura, se midió la velocidad de detonación que es el mejor parámetro que

representa la calidad del explosivo en cuanto a poder para romper. Finalmente, post voladura se analizó la fragmentación del material, presencia de humos y lo más importante el dig-rate (tasa de excavación) de los equipos de minado. Tras realizar las pruebas mencionadas, se hizo el análisis correspondiente y se determinó que el producto tiene ventajas desde el punto de vista económico y operativo. Se logró un ahorro importante sin afectar el dig-rate de los equipos de minado, además de eliminar la generación de gases nitrosos. En base a estos resultados, se implementó el uso de emulsión gasificable para la fabricación de ANFO Pesado en Minera Yanacocha. Sin embargo, también se concluyó que no es viable el reemplazo total de la emulsión gasificable por la emulsión matriz, debido a que en una mezcla en particular resulta más económico el uso de la emulsión matriz obteniendo los mismos resultados en la fragmentación del material.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Ubicación y accesibilidad de la zona de estudio

#### a) Ubicación política

La cantera y demás instalaciones físicas pertenece a la empresa minera P'huyu Yuraq II E.I.R.L., políticamente se encuentra ubicada en:

**Tabla 2**  
*Ubicación de la zona de estudio.*

Caserío	Ventanillas
Distrito	Magdalena
Provincia	Cajamarca
Departamento	Cajamarca
Región	Cajamarca

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

**b) Geodésica: Coordenadas UTM; PSAD 56**

**Tabla 3**

*Coordenadas de la concesión.*

<b>COORDENADAS NORTE</b>	<b>COORDENADAS ESTE</b>
9 203 000	768 000
9 202 000	768 000
9 202 000	767 000
9 203 000	767 000

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

**c) Accesibilidad**

Para acceder a la cantera de la concesión Ítalo, se parte de Santa Apolonia utilizando la carretera afirmada, que a continuación se describe.

**Tabla 4**

*Accesibilidad a la zona de estudio.*

<b>Vía Principal</b>	<b>Tramo</b>	<b>Kilometraje</b>	<b>Estado de Carretera</b>
Santa Apolonia a Desvío Ventanillas	Santa Apolonia – Desvío Ventanillas	16	Afirmado en buen estado
Desvío a Ventanillas – San Cristóbal	Desvío de Ventanillas – Concesión Ítalo	5	Afirmado en buen estado
Total	Santa Apolonia – Concesión Ítalo	21	-

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.



**Figura 1:** Ruta de acceso desde Cajamarca hasta la concesión minera no metálica Ítalo.  
**Fuente:** Google Earth, 2018.

## **2.2.2. Parámetros de perforación y voladura**

### **a) Parámetros de roca**

Son determinantes como variables incontrolables, los cuales tenemos (Artigas, 2012):

- Las propiedades físicas, (densidad, dureza, tenacidad, porosidad).
- Las propiedades elásticas o de resistencia (resistencia a la compresión, tensión, fricción interna, cohesión).
- Condición geológica (textura, presencia de agua).



**Tabla 5**  
*Clasificación del RMR.*

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (MPa)		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
		Puntuación	15	12	7	4	2	1	0
2		RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
		Puntuación	20	17	13	6	5		
3		Separación entre diaclasas	>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m		
		Puntuación	20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0.1 mm	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min		
		Relación de agua / Tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluuyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		

Fuente: Gonzáles, 2002.

**b) Parámetros de explosivo**

Son variables controlables como las propiedades físicas o químicas (densidad, velocidad de detonación, presión de detonación, energía del explosivo, sensibilidad, volumen de gases) (Caguana, 2013).

**c) Parámetros de carga**

Son también variables controlables en el momento del diseño de la malla de perforación y voladura, (diámetro del taladro, longitud del talado, confinamiento, acoplamiento, densidad de carga, longitud de carga) (Cueva, 2011).

**2.2.3. Operaciones unitarias**

**a) Perforación de las rocas**

Para todo tipo de construcción civil y minera es evidente que es necesario mover parte de la corteza terrestre, arrancar las rocas que son parte de ella, esto para acentuar dichas operaciones. En algunos casos, por las propiedades de resistencia que poseen las rocas es imposible arrancarla por medios mecánicos, en estos casos se utiliza la voladura (Caguana, 2013).

La roca arrancada por voladura, debe poseer una forma específica, para ello es de vital importancia conocer cómo actúa el explosivo dentro del macizo rocoso, además de conocer los diferentes tipos de maquinarias perforadoras con sus diferentes accesorios y los tipos de explosivos con sus medios iniciadores (Caguana, 2013).

La perforación de las rocas es la primera operación que se realiza dentro del campo de la voladura, siendo el objetivo

principal construir un agujero y cargarlos con explosivos y sus accesorios iniciadores. Se la conoce también como perforación de producción, a diferencia de la perforación de exploración que su finalidad es analizar el material obtenido de la perforación y poder determinar: tipos, calidades y cantidades de mineral para la eventual explotación del yacimiento (Caguana, 2013).

En perforación tienen gran importancia la resistencia al corte o dureza de la roca (que influye en la facilidad y velocidad de penetración) y la abrasividad. Esta última influye en el desgaste de la broca y por ende en el diámetro final de los agujeros cuando ésta se adelgaza (Caguana, 2013).

El proceso de perforación requiere de una fuente de energía, y de acuerdo con el tipo de energía que se utilice, se definen diferentes métodos de perforación. Los métodos de perforación de las rocas son variados, entre los cuales se pueden mencionar los: Mecánicos, Térmicos, Hidráulicos, Sónicos, Químicos, Eléctricos, Sísmicos y Nucleares. De entre ellos los únicos industrialmente utilizados, son los térmicos cuando se utilizan en rocas con alto contenido de sílice y los mecánicos que se utilizan en nuestro medio (Ames, 2012).

Los componentes principales de éste método de perforación son: La perforadora que es la fuente de energía mecánica, el varillaje que es el medio de transmisión de la energía, la boca que es el útil que ejerce la energía sobre la roca y el fluido de barrido que efectúa la limpieza y evacuación del detrito del fondo de la perforación (Ames, 2012).

## **b) Voladura**

### **- Explosión**

Se define como explosión o la liberación brusca de energía cinética producto de la transformación de la energía potencial inicial contenida en una sustancia por un agente iniciador, dicha energía cinética es apreciable de forma lumínica, calórica y sonora. Las sustancias que sufren dichos cambios se denominan explosivos, y el carácter brusco de la liberación se refiere a que este fenómeno es lo suficientemente rápido para que la liberación de energía (especialmente de los gases a altas presiones) se disipe mediante una onda de choque.

Las explosiones dependiendo de su origen pueden ser: Físicas, Químicas y Nucleares (Palomino, 2016).

#### **- Físicas:**

En determinados casos el gas a alta presión producido en la explosión se genera por medios mecánicos o por fenómenos sin presencia de un cambio fundamental en la sustancia química. Es decir, alcanza presión mecánicamente, por aporte de calor a gases, líquidos, ninguno de estos fenómenos significa cambio en la sustancia química de las sustancias involucradas.

Todo el proceso de generación de alta presión, descarga y efectos de la explosión puede entenderse de acuerdo a las leyes fundamentales de la física (Palomino, 2016).

- Químicas:

Son las de mayor aplicación en el campo de fragmentación y voladura en rocas, siendo los más empleados en el medio y los utilizados en las minas. La generación del gas a alta presión resulta de la reacción química de un producto donde la naturaleza del mismo difiere de la inicial (reactivo), las explosiones resultan de la descomposición de sustancias puras. Cualquier reacción química puede provocar una explosión si se emiten productos gaseosos, si se evaporizan sustancias ajenas por el calor liberado en la reacción o si se eleva la temperatura de gases presentes, por la energía liberada (Palomino, 2016).

- Nucleares:

Se producen por la división del átomo, a lo largo de la historia han demostrado ser las más poderosas de las explosiones, pero debido a la radiación producida en la explosión y la dificultad de manejo de los desechos que produce no son de utilidad en los trabajos de voladura de rocas y su fin se ha manifestado con grandes consecuencias en el ámbito militar (Palomino, 2016).

- **Sustancias explosivas**

Las sustancias explosivas son compuestos o mezclas de sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso, que mediante reacciones químicas especialmente de óxido reducción, son capaces de producir en tiempos de fracciones de micro segundos productos gaseosos que alcanzan altas temperaturas y a elevadas presiones.

Los explosivos comerciales son una mezcla de sustancias combustibles y oxidantes, que, al contacto con un medio iniciador, dan lugar a una reacción exotérmica muy rápida, que producen gases a alta presión que ocupan un volumen de 1000 a 10000 veces mayor al volumen inicial donde se alojó el explosivo.

En este principio se basa la utilización de este tipo de sustancias en los trabajos de voladura. Los procesos de reacción según su carácter físico químico (Palomino, 2016).

- Combustión:

Puede definirse como toda reacción química capaz de desprender calor, pudiendo ser o no percibido por nuestros sentidos.

- Deflagración:

Es un proceso exotérmico en el que la transmisión de la reacción de descomposición se basa principalmente en la conductividad térmica. Es un fenómeno superficial en el que el frente de deflagración se propaga por el explosivo en capas paralelas a una velocidad baja que, generalmente, no supera los 1.000 m/s.

- Detonación:

Es un proceso físico químico caracterizado por su gran velocidad de reacción y formación de gran cantidad de productos gaseosos a elevada temperatura, que adquieren una gran fuerza expansiva. En los explosivos detonantes la velocidad de las primeras

moléculas gasificadas es tan grande que no ceden su calor por conductividad a la zona inalterada de la carga, sino que lo transmiten por choque deformándola y produciendo su calentamiento.

- **Proceso de detonación de un explosivo**

En los explosivos detonantes la velocidad de las primeras moléculas gasificadas es tan grande que transmiten su calor por choque, deformándola y produciendo calentamiento y explosión adiabática con generación de nuevos gases. El proceso se repite con un movimiento ondulatorio que afecta a toda la masa explosiva y que se denomina onda de choque, la que se desplaza a velocidades entre 1500 a 7000 m/s según la composición del explosivo y sus condiciones de iniciación. Un carácter determinante de la onda de choque en la detonación, es que una vez que alcanza su nivel de equilibrio (temperatura, velocidad y presión) este se mantiene durante todo el proceso, por lo que se dice que es autosostenida, mientras que la onda deflagrante tiende a amortiguarse hasta prácticamente extinguirse, de acuerdo al factor tiempo entre distancia ( $t/d$ ) a recorrer. (Artigas, 2012)

Tanto en la deflagración como en la detonación la turbulencia de los productos gaseosos da lugar a la formación de la onda de choque. La región de esta onda donde la presión se eleva rápidamente se llama frente de choque. En este frente ocurren las reacciones químicas que transforman progresivamente a la materia explosiva en sus productos finales. Por detrás del frente de choque, que avanza a lo largo de la masa de explosivo, se forma una

zona de reacción, que en su último tramo queda limitada por un plano ideal, en el cual la reacción alcanza su nivel de equilibrio en cuanto a velocidad, temperatura, presión de gases, composición y densidad, lo que se conoce como condiciones del estado de detonación (Palomino, 2016).

#### - **Propiedades de los explosivos**

Las propiedades de los explosivos son: Fuerza o Potencia, Velocidad de Detonación, Densidad y Gravedad Específica, Presión de Detonación, Sensibilidad, Resistencia al Agua y Emanaciones (Ames, 2012).

##### - Fuerza o potencia:

La fuerza es un término tradicionalmente usado para describir varios grados de explosivos, aunque no es una medida real de la capacidad de estos de realizar trabajo, en ocasiones se le llama potencia y se origina de los primeros métodos para clasificar dinamitas. La fuerza es generalmente expresada como un porcentaje que relaciona el explosivo estudiado con un explosivo patrón (nitroglicerina). Usualmente en las dinamitas se trabaja con la fuerza por peso, mientras que las gelatinas con la fuerza por cartucho. La fuerza no es una buena base para comparar explosivos, un mejor indicador que permite comparar explosivos es la presión de detonación (Ames, 2012).

##### - Velocidad de detonación:

Es la velocidad con la cual la onda de detonación viaja por el explosivo, puede ser expresada para el



caso de explosivos confinados como no confinados; es la propiedad más importante cuando se desea clasificar un explosivo. Como en la mayoría de casos el explosivo está confinado en un barreno, el valor de velocidad de detonación confinada es el más importante. Al disminuir el tamaño de las partículas dentro del explosivo, incrementar el diámetro de la carga o incrementar el confinamiento aumentan las velocidades de detonación (Ames, 2012).

- Densidad y gravedad específica:

La densidad del explosivo es usualmente indicada en términos de gravedad específica, que varía de 0.6 a 1.7 gr/cm<sup>3</sup>. Los explosivos densos usualmente generan mayores velocidades de detonación y mayor presión; estos suelen ser utilizados cuando es necesaria una fina fragmentación de la roca. Los explosivos de baja densidad producen una fragmentación no tan fina y son usados cuando la roca está diaclasada o en canteras en las que se extrae material grueso. La densidad de los explosivos es importante en condiciones de alta humedad, ya que una densidad alta hace que el explosivo sea poco permeable (Ames, 2012).

- Presión de detonación:

La presión de detonación, depende de la velocidad de detonación y de la densidad del explosivo, y es la sobrepresión del explosivo al paso de las ondas de detonación; generalmente es una de las variables utilizadas en la selección del tipo de explosivo. Existe una relación directa entre la velocidad de

detonación y la presión de detonación; esto es, cuando aumenta la velocidad aumenta la presión. Una alta presión de detonación (alta velocidad de detonación) es utilizada para fragmentar rocas muy duras como el granito (7 en la escala de Mohs y una densidad aproximada de 2.5), mientras que en rocas suaves como los esquistos (rocas sedimentarias y metamórficas con menos de 4 en la escala de Mohs) puede ser necesaria una baja presión de detonación (baja velocidad de detonación) para su fragmentación (Artigas, 2012).

- Sensibilidad:

Es la medida de la facilidad de iniciación de los explosivos, es decir, el mínimo de energía, presión o potencia necesaria para que ocurra la iniciación. Lo ideal de un explosivo es que sea sensible a la iniciación mediante cebos (estopines) para asegurar la detonación de toda la columna de explosivo, e insensible a la iniciación accidental durante su transporte y manejo (Artigas, 2012).

- Resistencia al agua:

Es el número de horas en que un explosivo puede ser cargado en agua y aún detonar en forma segura, confiable y precisa. La resistencia al agua de un explosivo depende de la condición del cartucho (empaquete y habilidad inherente de resistir al agua), edad del explosivo y las condiciones del agua como son la presión hidrostática (profundidad), temperatura y naturaleza (estática o en movimiento) (Artigas, 2012).

- Emanaciones:

La detonación de explosivos comerciales produce vapor de agua, dióxido de carbono y nitrógeno, los cuales, aunque no son tóxicos, forman gases asfixiantes como monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno (Artigas, 2012).

- **Criterio de selección del explosivo a utilizar**

Es de vital importancia escoger de una manera adecuada el tipo de explosivo a utilizar, para cumplir con lo descrito es necesario conocer los diferentes tipos de explosivos en el mercado y sus propiedades (Artigas, 2012).

- Tipos de explosivos industriales

Para la elección de un tipo de explosivo es necesario conocer los existentes y sus características. Como se describió en la sección 2.2.4.1 las explosiones de origen químico son los de mayor aplicación y los utilizados en la cantera de estudio, por tal razón se ve necesario estudiar los explosivos químicos únicamente que según la velocidad de su onda de choque pueden ser (Artigas, 2012):

- a) Explosivos rápidos y detonantes y

- b) Explosivos lentos y deflagrantes, siendo los primeros los más empleados.

La velocidad de onda de choque de los explosivos detonantes oscila entre 2000 m/s y 7000 m/s, estos se dividen en primarios y secundarios según su

aplicación. Los Primarios por su alta energía y sensibilidad se emplean como iniciadores para detonar a los Secundarios. En tanto que los secundarios son los que se aplican al arranque de rocas y aunque son menos sensibles que los primarios desarrollan mayor trabajo útil y son de menor precio de fabricación (Artigas, 2012).

Los explosivos de mayor consumo en la actualidad son: anfo, alanfo, hidrogeles, emulsiones, anfo pesado, gelatinosos, pulverulentos y de seguridad (Artigas, 2012).

### **c) Carguío y acarreo**

El carguío consiste en la carga de material mineralizado del yacimiento para conducirlo a los posibles destinos, ya sea el chancado, stock de mineral o botaderos de estéril.

#### **Procedimiento**

La operación de carguío involucra el desarrollo de una serie de funciones que aseguran que el proceso se lleve a cabo con normalidad y eficiencia.

- Planificación de la mina.
- Operación de la mina.
- Jefe de operaciones:
  - Operador del equipo de carguío.
  - Topografía
  - Equipos auxiliares.

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Cal:**

Es un término que designa todas las formas físicas en las que puede aparecer el óxido de calcio (CaO). Se obtiene como resultado de la calcinación de las rocas calizas o dolomías (Caguana, 2013).
- **Explosivo:**

Es aquella sustancia que por alguna causa externa (roce, calor, percusión, etc.) se transforma en gases; liberando calor, presión o radiación en un tiempo muy breve (Vilela, 2014).
- **Parámetros:**

Se definen a aquellas variables y constantes que aparecen en una expresión matemática, siendo su variación la que da lugar a las distintas soluciones de un problema. (Palomino, 2016)
- **Perforación:**

Abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a alojar el explosivo y sus accesorios. La perforación se realiza con equipos que combinan los efectos de percusión y rotación, con lo que se produce la trituración de la roca. (Caguana, 2013)
- **Voladura:**

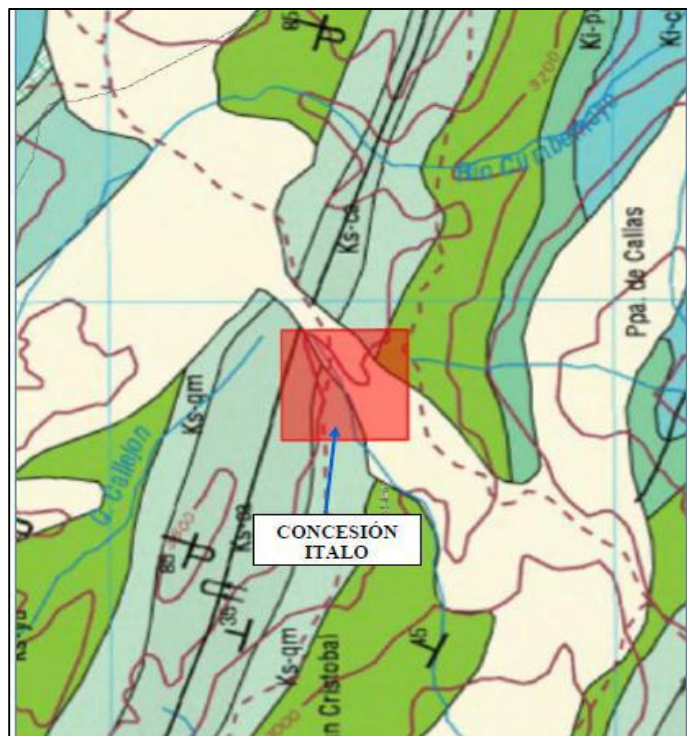
Fragmentación de la roca y otros materiales de los sólidos mediante explosivos confinados en barrenos o adosados a su superficie.  
De acuerdo con los criterios de la mecánica de rotura, la voladura es un proceso tridimensional, en el cual las presiones generadas por explosivos confinados dentro del taladro perforado en roca, originan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos; fragmentación y desplazamiento. (Caguana, 2013)

## CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 3.1. Geología

#### 3.1.1. Geología regional del área de trabajo

De acuerdo al mapa geológico del cuadrángulo de Cajamarca (15f), las formaciones geológicas tienen sus orígenes en la era Mesozoica, serie Cretáceo Superior, formación Cajamarca (Ks-ca). Hay predominancia de rocas calizas.



**Figura 2:** Geología de la zona.

**Fuente:** Geocatmin, 2018.

### 3.1.2. Geología local

Localmente afloran calizas de la formación Cajamarca, nombre dado por Benavides (1956), corresponde a una de las secuencias calcáreas del Cretáceo Superior que más destaca por su homogeneidad litológica y ocurrencia en bancos gruesos y duros, y cuyos afloramientos exhiben una topografía kárstica con fuertes pendientes. Consiste generalmente de calizas gris oscura o azuladas, con delgados lechos de lutitas, se encuentra abundantes fósiles.



**Figura 3:** Afloramiento de calizas concesión Ítalo.  
**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

### 3.2. Topografía kárstica

Topografía kárstica se forma normalmente en las regiones de lluvias abundantes, el lecho de roca se compone de roca rica en carbonatos, como la roca caliza, yeso, dolomita, que se disuelve fácilmente. Es el resultado de la meteorización de la roca carbonatada, cuando el agua de lluvia, al caer adquiere bióxido de carbono en el aire, convirtiéndose en ligeramente ácida, va disolviendo la roca a través del tiempo geológico.



**Figura 4:** Lapiaces y dolinas de las calizas propias de la concesión Ítalo.  
**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

### **3.3. Diseño de bancos** (Artigas, 2012)

El diseño de bancos en una explotación minera no solamente es un aspecto de fundamental importancia, sino que es una de las claves de la viabilidad de las operaciones. Es por ello que debe ser analizado desde las etapas iniciales de las operaciones y ser comprobada y seguida con los datos obtenidas durante la explotación.

La importancia concedida al estudio geotécnico realizado en concesión minera No Metálica Ítalo es vital y, por lo tanto, los estudios geomecánicos se analizaron para determinar la calidad de la roca y su influencia en la perforación y voladura.

En líneas generales, los factores más importantes que afectan a la seguridad de las operaciones y cuyo estudio debe quedar en claro desde el principio de las operaciones, son las siguientes (Caguana, 2013):



- Caída o deslizamiento de material suelto.
- Colapso parcial de un banco.
- Colapso general de talud de la excavación.

Los estudios geomecánicos realizados implican una caracterización del macizo rocoso como son:

- Los sistemas de juntas y discontinuidades.
- Las propiedades geo mecánicas de la matriz rocosa.
- Las características hidrogeológicas y las presiones de agua y fracturas.

A continuación, identifica los módulos y ensayos de rotura susceptible de producirse, apoyándose en los datos registrados por los análisis realizados.

### **3.3.1. Dimensiones y orientación de los bancos (Ames, 2012)**

#### **3.3.1.1. Altura de bancos**

La altura de bancos se establece generalmente a partir de las dimensiones de los equipos de excavación y carga de explosivos, las características del macizo rocoso y las exigencias de selectividad de la explotación. En líneas generales, le condicionan ante para establecer la altura de banco y el equipo. Los equipos que se van a emplear son los siguientes:

- Una excavadora equipada con cucharón.
- Perforadora Jackleg Atlas Copco BBC16W.
- Un volquete de 15 metros cúbicos.
- Dos compresoras de 120 CFM, para dos martillos perforadoras, que se proyecta adquirir y/o alquilar en el mediano plazo.

Las alturas de bancos mayores tienen a pesar de sus inconvenientes las siguientes ventajas:

- Mayor rendimiento de la perforación al reducir los tiempos.
- Una geometría de voladura óptima, dentro de la tendencia actual hacia mayores diámetros de perforación.
- Mejora de los rendimientos de los equipos de carga.
- Menor número de bancos y por tanto mayor concentración y eficiencia de la maquinaria.
- Infraestructura de accesos más económica y por menor número de niveles de trabajos.

Las ventajas de una altura de banco reducida sin embargo son las siguientes:

- Mejores condiciones de seguridad para el personal y maquinarias.
- Control efectivo de las desviaciones de los barrenos.
- Menor carga de operantes de explosivo.
- Mayor rapidez en la ejecución de rampas de acceso entre bancos.

#### **3.3.1.2. Anchura de plataforma de trabajo o tajos (Ames, 2012)**

- La anchura mínima de banco de trabajo es la suma de los espacios necesarios para el movimiento de las maquinarias que trabaja en ellos simultáneamente.
- Los tres procesos básicos que tiene lugar en el manejo de una cantera son la perforación, el carguío y el transporte.

- **Bermas**

Las bermas se utilizan como plataformas de acceso en el talud de una excavación y también como áreas de protección al detener los materiales que pueden desprenderse de los frentes en los bancos superiores, hasta zonas de trabajos inferiores.

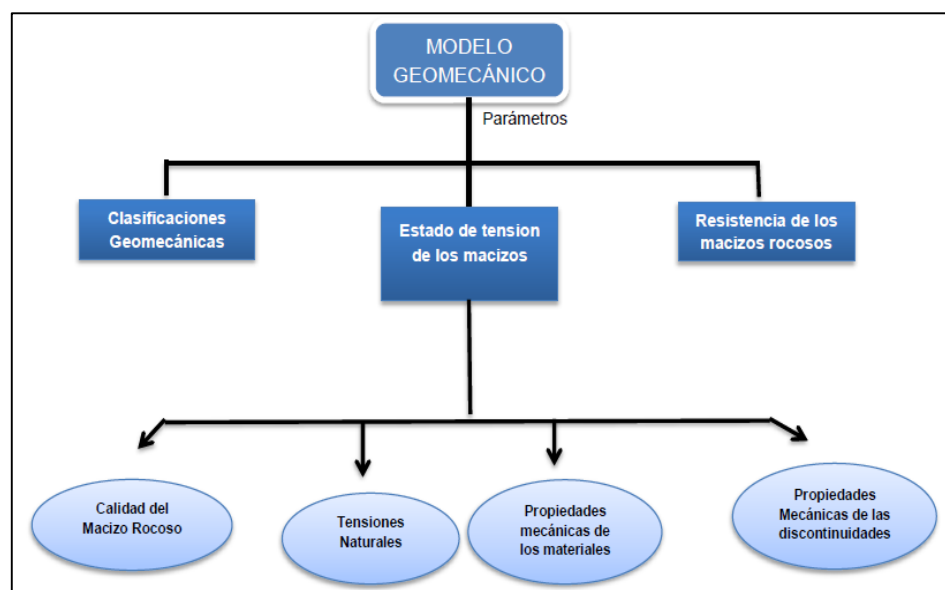
- **Pistas**

El diseño de las pistas debe ser tal que las unidades de transporte utilizadas se desplacen sin perder el ritmo de operaciones y en condiciones de máxima seguridad.

### 3.4. Estudio geomecánico del macizo rocoso

#### 3.4.1. Modelo geomecánico (Artigas, 2012)

Las variables y parámetros del modelo geomecánico se presentan a continuación en el cuadro adjunto:



**Figura 5:** Modelo geomecánico aplicado a la zona.

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

La caracterización del comportamiento mecánico de la masa rocosa y sus componentes, se determina mediante los ensayos de laboratorio y ensayos in-situ, cuyo objetivo es la determinación de las propiedades físico-mecánicas de la roca. En el presente trabajo se han realizado ambos ensayos para determinar la clasificación Geomecánica y la resistencia de los macizos rocosos de la zona en estudio. (Artigas, 2012)

La clasificación de las rocas para usos ingenieriles es una tarea compleja, ya que deben cuantificarse sus propiedades con el fin de emplearlas en el cálculo de diseño. Estas clasificaciones están basadas en algunos o varios de los factores que determinan su comportamiento mecánico (Artigas, 2012):

- Propiedades de la matriz rocosa.
- Frecuencia y tipo de las discontinuidades, que definen el grado de Fracturamiento, el tamaño y la forma de los bloques del macizo, etc.
- Grado de meteorización o alteración.
- Estado de tensiones en situ.
- Presencia de agua.

La sistemática para la descripción de los afloramientos de macizos rocosos se puede resumir en las siguientes etapas (González, 2002):

**Tabla 6***Propiedades para la caracterización geomecánica.*

<b>Características y propiedades a definir en campo para la caracterización del macizo rocosa</b>			
Ámbito de Estudio	Característica o Propiedad	Método	Clasificación
Matriz Rocosa	Identificación	Observación de visu y con lupa	Clasificación geológica y geotécnica
	Meteorización	Observación de visu	Índices estándar
	Resistencia	Índice y ensayos de campo	Clasificaciones empíricas de resistencia
Discontinuidades	Orientación	Medida directa con brújula de geólogo	
	Espaciado	Medidas de campo	Índices y clasificaciones estándar
	Continuidad		
	Rugosidad	Observaciones y medidas de campo	Comparación con perfiles estándar
	Resistencia de las paredes	Martillo Schdmitt, Índice de campo	Clasificaciones empíricas de resistencia
	Abertura	Observaciones y medidas de campo	Índices estándar
	Relleno		
Filtraciones			
Macizo Rocoso	Número de familias de discontinuidades	Medidas de campo	Índices y clasificaciones estándar
	Tamaño de bloque		
	Intensidad de fracturación		
	Grado de meteorización	Observaciones de campo	clasificaciones estándar

**Fuente:** Gonzáles, 2002.**3.4.2. Clasificación de los macizos rocosos de la zona de estudio**

Se clasifica el macizo rocoso tras tomar la data en la zona perteneciente a la concesión Minera Ítalo ubicada en el Centro Poblado de San Cristóbal, Distrito de Magdalena, Provincia de Cajamarca. Utilizando la clasificación Geomecánica de Bieniawski RMR (Rock Mass Rating). (Caguana, 2013)

### 3.4.2.1. Resistencia uniaxial de la roca intacta:

Las calizas de la Formación Cajamarca encontradas en la zona de la actividad tienen una clasificación R4 con una resistencia promedio de 75MPa.

**Tabla 7**

*Cuadro de valoración de la resistencia de la roca intacta.*

Clase	Clasificación de la roca según su resistencia	Resistencia a la Compresión (MPa)	Estimación en Terreno de la Resistencia
R6	Extremadamente Resistente	> 250	Golpes de la picota, sólo causan descostramientos en la roca.
R5	Muy Resistente	100 – 200	Un trozo de roca requiere varios golpes de la picota para fracturarse.
R4	Resistente	50 – 100	Un trozo de roca requiere más de un golpe de la picota para fracturarse.
R3	Moderadamente Resistente	25 – 50	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe de la picota, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas.
R2	Débil	5 – 25	Un golpe con la punta de la picota deja una indentación superficial.
R1	Muy Débil	1 – 5	La roca se disgrega al ser golpeada con la punta de la picota..
R0	Extremadamente Débil	0.25 – 1	La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.

PUNTAJE 7

**Fuente:** Gonzáles, 2002. (Modificado por el tesista).

Para la determinación de este parámetro usamos el martillo de geólogo con un promedio 4 y 5 de golpes.

### 3.4.2.2. Rock Quality Designation (RQD):

Calculado mediante la fórmula:

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda(0.1\lambda+1)}$$

Donde:

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de discontinuidades}}{\text{distancia (m)}}$$

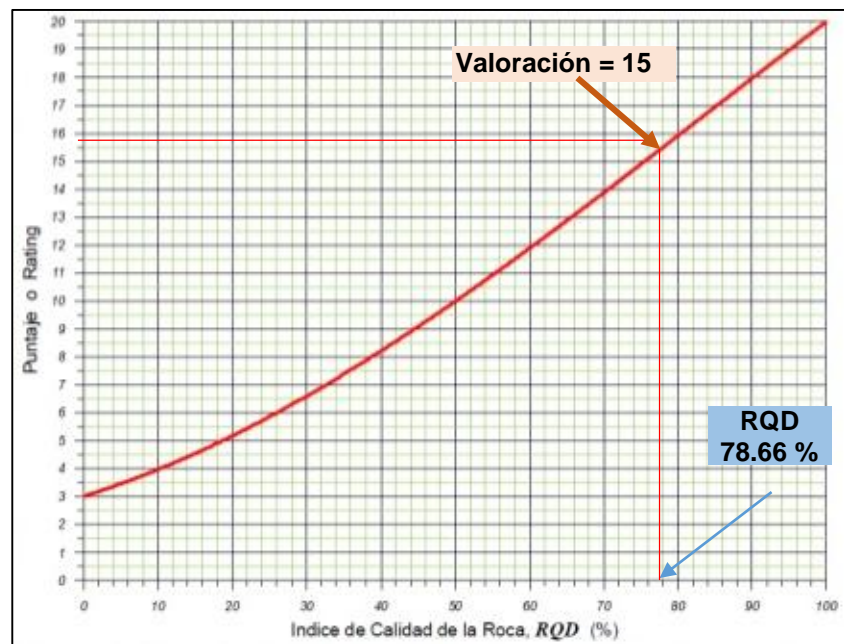
Calculamos:

$$\lambda = 6/3, \lambda = 2.0$$

$$RQD = 100e^{-0.1 \cdot 2(0.1 \cdot 2 + 1)}$$

$$RQD = 78.66\%$$

Para la determinación de este parámetro tomamos como base los 3 metros lineales, y procedemos a contar el número de fracturas que cortan a dichos metros lineales.



**Figura 6:** Valoración del RQD.

**Fuente:** Gonzáles, 2002.

### 3.4.2.3. Espaciado de las discontinuidades

**Tabla 8**

*Espaciado promedio de las discontinuidades.*

E <sub>1</sub>	0.65 m
E <sub>2</sub>	0.71 m
E <sub>3</sub>	0.63 m
E <sub>4</sub>	0.52 m
E <sub>5</sub>	0.83 m
<b>Promedio</b>	<b>0.668 m</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

Promedio:  $(E_1+E_2+E_3+E_4+E_5)/5 = 0.668 \text{ m}$

Promedio = 66.8 cm.

El espaciado de las discontinuidades es espaciado y se encuentra entre valores de 2 m a 60 cm por lo que le corresponde un índice de valoración 15.

**Tabla 9**

*Descripción del espaciado.*

Descripción	Espaciado	
	Mm	Cm
Extremadamente cerrado	< 20	< 2cm
Muy cerrado	20 – 60	2cm – 6cm
Cerrado	60 – 200	6cm – 20cm
Moderado	200 – 600	20cm – 60cm
Espaciado	600 – 2000	60cm - 2m
Muy espaciado	2000 – 6000	2m - 6m
Extremadamente espaciado	> 600	> 6m

**PUNTAJE = 15**

### 3.4.2.4. Condición de las discontinuidades:

Para describir la condición de las discontinuidades se tendrá en cuenta la siguiente guía:



**Tabla 10***Persistencia de las discontinuidades de los cuerpos.*

<b>Discontinuidad</b>	<b>Persistencia</b>
Discontinuidad 1	0.92 m
Discontinuidad 2	1.15 m
Discontinuidad 3	0.78 m
Discontinuidad 4	0.85 m
Discontinuidad 5	1.2 m
Discontinuidad 6	0.69 m
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.93 m</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.**Tabla 11***Descripción de persistencia.***PUNTAJE = 6**

<b>Descripción de Persistencia</b>	
<b>Persistencia</b>	<b>Longitud (m)</b>
Muy Baja Persistencia	< 1
Baja Persistencia	1 – 3
Persistencia Media	3 – 10
Alta Persistencia	10 – 20
Muy Alta Persistencia	> 20

**Fuente:** Gonzáles, 2002.

Abertura: Se presentan desde 0.3mm hasta 0.5mm.

**Tabla 12***Abertura de las discontinuidades.***PUNTAJE = 4**

<b>Descripción de la Abertura</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Abertura</b>
Muy Cerrada	Ninguna
Cerrada	< 0.1 mm
Parcialmente Abierta	0.1 – 1.0 mm
Abierta	1 – 5 mm
Muy Abierta	> 5 mm

**Fuente:** Gonzáles, 2002.

Rugosidad: Las discontinuidades presentan una superficie ligeramente rugosa.

**Tabla 13***Rugosidad de las discontinuidades.*

<b>Discontinuidad</b>	<b>Rugosidad promedio</b>
Discontinuidad 1	Ligeramente rugosa
Discontinuidad 2	Ligeramente rugosa
Discontinuidad 3	Ligeramente rugosa
Discontinuidad 4	Ligeramente rugosa
Discontinuidad 5	Ligeramente rugosa
Discontinuidad 6	Ligeramente rugosa
<b>PROMEDIO</b>	<b>Ligeramente rugosa</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.**Tabla 14***Clasificación de la rugosidad.*

<b>Rugosidad</b>	<b>Puntaje</b>
Muy Rugosa	6
Rugosa	5
Ligeramente Rugosa	3
Ondulada	1
Suave	0

**Fuente:** Gonzáles, 2002.

Relleno: El relleno de las juntas presenta; caliza triturada, arcilla dura o calcita secundaria cristalizada; y son menores a 5mm.

**Tabla 15**  
*Relleno de las discontinuidades.*

Grado	Descripción	Estimación en Terreno de la Resistencia
S1	Arcilla muy blanda	Penetra fácilmente varias pulgadas con el puño.
S2	Arcilla blanda	Penetra fácilmente varias pulgadas con el dedo.
S3	Arcilla semidura	Penetra fácilmente varias pulgadas con el dedo, usando esfuerzo moderado.
S4	Arcilla dura	Deja fácilmente hendidura fácilmente hendidura por la acción del dedo pulgar, pero penetra solamente con gran usando esfuerzo moderado.
S5	Arcilla muy dura	Mallada fácilmente por la uña del pulgar.
S6	Arcilla extremadamente dura	Mallada con dificultad por la uña del pulgar.
R0	Extremadamente Débil	Mallada por la uña del pulgar.

PUNTAJE 4

Fuente: Gonzáles, 2002.

Meteorización: Las rocas calizas presentes en esta cantera, presentan una meteorización leve.

**Tabla 16**  
*Meteorización de las discontinuidades.*

Término	Descripción
Fresco	No hay señales visibles de meteorización. Si acaso una tenue decoloración en superficies de discontinuidades más desarrolladas.
Levemente meteorizado	Decoloración indica meteorización de la roca intacta y superficies de discontinuidad. La roca puede estar algo más débil externamente que en condición fresca.
Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo. La roca puede estar fresca o descompuesta y/o desintegrada a suelo.
Altamente meteorizado	Más de mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrado. La estructura del macizo
Completamente meteorizado	Todo el material rocoso está descompuesto y/o

PUNTAJE: 5

---

	desintegrado. La estructura del macizo original está prácticamente intacta.
Suelo residual	Todo el material rocoso está descompuesta o desintegrada a suelo. La estructura del macizo original y su textura ha sido destruida. Hay un gran cambio de volumen, pero el suelo no ha sido transportado.

---

**Fuente:** Gonzáles, 2002.

**Tabla 17***Valoración de descripción de las discontinuidades.*

<b>Guías para la Clasificación según las condiciones de las discontinuidades</b>					
	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m
Longitud (persistencia)					
Puntaje	6	4	2	1	0
Separación (Abertura)	Ninguna	<0.1 mm	0.1-1.0mm	1-5 mm	>5 mm
Puntaje	6	5	4	1	0
Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Pulida
Puntaje	6	5	3	1	0
Relleno	Ninguno	Duro<5mm	Duro>5mm	Blando<5mm	Blando>5mm
Puntaje	6	4	2	2	0
Meteorización	Inalterada	Ligerament. Meteor.	Moderadamt Meteor.	Altamente Meteor.	Descompuesta
Puntaje	6	5	4	1	0

**Fuente:** Gonzáles, 2002.

### 3.4.2.5. Agua Subterránea:



**Figura 7:** Roca completamente seca.  
**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

**Tabla 18**  
*Presencia de agua.*

DESCRIPCIÓN	RANGO
Completamente Seco	15
Semi Húmedo	10
Húmedo	7
Mojado	4
Flujo de Agua	0

**Fuente:** Gonzáles, 2002.

Sumamos las puntuaciones:

$$\text{RMR} = 7+15+15+22+15$$

$$\text{RMR} = 74$$

**RESULTADO: CLASE II - Buena y Estable.**

**Tabla 19**  
*Clasificación del RMR.*


PUNTUACION	100 – 81	<b>80 - 61</b>	60 – 41	40 – 21	< 21
CLASE	I	<b>II</b>	III	IV	V
CALIDAD	Muy Buena	<b>Buena</b>	Regular	Mala	Muy Mala

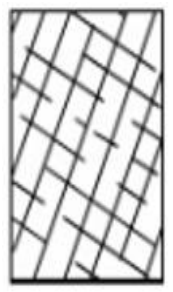


**Fuente:** Gonzáles, 2002.

### 3.4.3. GSI (Geological Strength Index):


Se ha estimado el índice geológico de resistencia, GSI, en base a una descripción geológica del macizo rocoso (Montoya, 2014):

**Tabla 20**  
*Estimación del GSI.*

<p><b>Características del Macizo Rocosó según GSI Modificado:</b> Se basa en la cantidad de fracturas por metro lineal, medidas IN SITU con una wincha, la mala voladura afecta esta condición. La resistencia se determina golpeando la roca con una picota. Se toma en cuenta la rugosidad, alteración de paredes y relleno de las discontinuidades.</p> <p><b>ESTRUCTURAS</b></p>		<p><b>CONDICIONES SUPERFICIALES</b></p>	<p><b>Muy Buena (Extremadamente resistente fresca)</b> Superficies de discontinuidades muy rugosas e inalteradas, cerradas. (Se astilla con golpes de picota)</p>	<p><b>Buena (Muy Resistente, Levemente Alterada)</b> Discontinuidades rocosas, Leventm alter.manchas de oxidación (se rompen con varios golpes de picota)</p>	<p><b>Regular (Resistente y Levemente Alterada)</b> Discontinuidades lisas, Moderadamente alteradas, ligeramente abiertas (se rompen con uno o dos golpes de picota)</p>	<p><b>Mala (Moderam. Resistente, moderam alterada)</b> Superficies pulidas o con estrías, muy alteradas, relleno compacto o con fracturas de rocas. (se indenta superficiales)</p>	<p><b>Muy Mala (Blanda, muy alterada)</b> Superficies pulidas y estriadas, muy abiertas con relleno de arcillas blandas. (se disgrega profundamente)</p>
 <p><b>Levemente Fracturada</b> Tres a menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre sí. <b>(RQD 75 – 90%)</b> 2 a 6 fract por metro.</p>	LF/MB	LF/B	LF/R	LF/M	LF/MM		

	<p><b>Moderadamente Fracturada</b> Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas, de discontinuidades ortogonales (RQD 50 – 75%) de 6 a 12 fract por metro.</p>	F/MB	F/B	F/R	F/M	F/MM
	<p><b>Muy Fracturada</b> Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades. (RQD 25 – 50%) De 12 a 20 fract por metro.</p>	MF/MB	MF/B	MF/R	MF/M	MF/MM
	<p><b>Intensamente Fracturada</b> Plegamiento y fallamiento con muchas discontinuidades, interceptadas formando bloques, angulosos o irregulares. (RQD 0 – 25%) Más de 20 fract por metro.</p>	IF/MB	IF/B	IF/R	IF/M	IF/MM



	<p><b>Triturada o Brechada</b> Ligeramente trabada, masa rocosa, extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados. (SIN RQD)</p>	T/MB	T/B	T/R	T/M	T/MM
---	---	------	-----	-----	-----	------

**Fuente:** Montoya, 2014.

La condición de la roca es Buena y está Moderadamente Fracturada tomando una puntuación de acuerdo a la fórmula de Hoek y Brown (1980).

$$\longrightarrow \quad RMR_{89} > 23 \quad \quad GSI = RMR_{89} - 5.$$

$$GSI = 74 - 5$$

$$GSI = 69.$$

### 3.4.4. Estimación del módulo de deformación empírico del macizo rocoso:

**Tabla 21**

*Criterios empíricos para estimar el módulo de deformación de los macizos.*

Criterios	Aplicación
$E = 2RMR - 100$ (GPa) (Bienawski)	- Macizos rocosos de buena calidad RMR >50-500. - No válido para macizos de baja calidad.
$E = 10^{(RMR-10)/40}$ GPa (Serafine y Pereira, 1983)	- Macizos rocosos de calidad media-baja, $10 < RMR < 50$ . - Especialmente valido para valores $1 < E < 10$ GPa. - Para macizos rocosos de calidad baja muy baja se obtienen valores demasiados altos.
$E = \sqrt{\sigma_d(100)10^{(GSI-10/40)}}$	- Indicado para macizos rocosos débiles o blandos, con calidad baja – muy baja y matriz rocosa con $\sigma_d$

E= Módulo de deformación empírico del macizo rocoso.

$E_i$ = Módulo de deformación de laboratorio de la matriz rocosa.

GSI = Índice geológico de resistencia.

$\sigma_d$ = Resistencia a compresión simple de la roca intacta.

- Correlaciones no suficientemente contrastadas hasta la actualidad.
- Los criterios aportan valores poco precisos, con carácter orientativo.
- Por lo general sobrevaloran el valor del módulo de deformación del macizo rocoso.
- No consideran el carácter anisótropo que puede presentar el módulo de deformación in situ.
- Se recomienda tomar un rango de valores para el macizo rocosos entre 0.4 E y 1.6 E.

**Fuente:** Gonzáles, 2002.

Como el macizo rocoso posee un RMR = 74, entonces podemos utilizar el primer criterio del cuadro adjunto de modo que:

$$E = 2RMR - 100$$

$$E = 2 \times 74 - 100$$

$$E = 48 \text{ GPa.}$$

### 3.5. Evaluación de la perforación y voladura actual

#### 3.5.1. Parámetros

- Área del banco: 5 m x 2 m
- 20 Taladros por área
- Altura de banco final: 3.0 m
- Altura de banco parcial con voladura: 1.5 m
- Burden: 0.40 m
- Espaciamiento: 1.20 m
- Ángulo de talud: 65°
- Concentración de carga: 0.51 kg/taladro

##### 3.5.1.1. Altura banco final

Longitud Taladro \* Disparo = 1.5 m

1.50 m \* 2 disparos = 3.0 m.

#### 3.5.2. Producción diaria

Se trabajan 26 días al mes y se realiza 01 disparo por día.

Producción por disparo.

Largo \* Ancho \* longitud taladro \* Peso Específico de la Roca  
(5 m \* 2 m \* 1.5 m) \* 2.3 Tn/m<sup>3</sup> = 34.5 Tn/ disparo.

**34.5 Tn/disparo.**

#### 3.5.3. Cantidad de explosivos y accesorios

##### 3.5.3.1. Nitrato de Amonio con aceite combustible (Ammonium Nitrate Fuel Oil) (ANFO):

- 1 Taladro se carga con 0.51 kg  
20 tal/día \* 0.51 kg/tal = 10.2 kg/día.  
10.2 kg/día \* 26 día = 265.2 kg/mes.  
265.2 kg/mes \* 12 mes = 3182.4 kg/año.  
Peso de bolsa de Anfo: 25 Kg

**Bolsas al año = 128 bolsas**

**3.5.3.2. Detonadores:**

- 2 Fulminante por disparo.

- 1 Disparo por día.

- 26 días al mes

$2 * 26 = 52$  Detonadores/mes.

$52 * 12 = 624$  Detonadores/Año.

Caja de detonadores: 100 unidades.

**Cajas de Detonadores al año = 7 cajas**

**3.5.3.3. Cordón detonante (Pentacord):**

- 60 metros por disparo (dato tomado en campo).

- 1 disparos por día.

- 26 días al mes.

$60 * 26 = 1\ 560$  metros/mes

$1\ 560 * 12 = 18\ 720$  metros/año.

Metros por tambor: 1000 m

**Total de tambores al año = 19 tambores**

**3.5.3.4. Dinamita Semexsa 65% de 7/8" x 7":1.12 g/cm<sup>3</sup>.**

- 20 taladros por día

- 1 Cartucho por taladro

- 26 días al mes

$20 * 1 = 20$  cartuchos/día

$20 * 26 = 520$  cartuchos/mes

$520 * 12$  meses = 6 240 cartuchos/año

Unidades por caja: 308 unidades

**Total cajas por año = 21 cajas**

**3.5.3.5. Mecha lenta:**

- 2 metros por disparo.

- 1 disparos por día.
- 26 días al mes
- $2 * 1 = 2$  metros/día.
- $2 * 26 = 52$  metros/mes.
- $52 * 12 = 624$  metros/año.
- Metros por tambor: 1000
- Total de tambores al año = 1 tambor**

### 3.5.3.6. Cuadro resumen

**Tabla 22**  
*Resumen del requerimiento anual de explosivos y accesorios de voladura.*

Producto	Cantidad	Unidad	Pedido
Dinamita	21	Cajas	6240 cartuchos
Detonador	7	Cajas	624 unidades
Mecha Lenta	1	Tambor	624 metros
Anfo	128	Bolsas	3182 Kilos
Cordón Detonante	19	Tambores	18 720 metros
Tipo de malla		0.40 x 1.20 metros	
Número de taladros		20	
Altura de banco		3 metros	
Número de disparos por bancos		2	

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

### 3.6. Parámetros propuestos

A lo largo de los años la teoría para el cálculo de un correcto patrón de voladura con el objeto de fragmentar las rocas ha ido evolucionando. Gracias a las distintas teorías y ecuaciones hoy en día es posible aplicar diferentes métodos de cálculo con el objeto de analizarlos y escoger el que mejor se ajuste a los requerimientos del lugar de trabajo. En el presente capítulo se describen los distintos métodos de cálculo y las

ecuaciones que en ellos intervienen para el cálculo del pasaporte de voladura. Si un correcto pasaporte de voladura es de vital importancia para la ejecución de un trabajo efectivo, también es de suma importancia estimar el tamaño de la fragmentación resultado de la ejecución del pasaporte, así como también determinar si las ondas producto de la explosión no afectan a las construcciones aledañas. (Ojeda, 2013)

### 3.6.1. Perforación

Esta es la primera operación unitaria del ciclo de minado, para la extracción de la Caliza.

En la oficina de ingeniería debe realizar el planeamiento de minado, se tienen los planos en los cuales se localizan las zonas donde se van a realizar los disparos, el tipo de material que se va a mover. Entonces se diseña el tipo de malla a realizar, el número de taladros, la profundidad de estos, dados por el área de topografía. (Ames, 212)

#### - Perforación primaria

La perforación primaria se debe realizar con perforadora hidráulica, la cual debe ser:

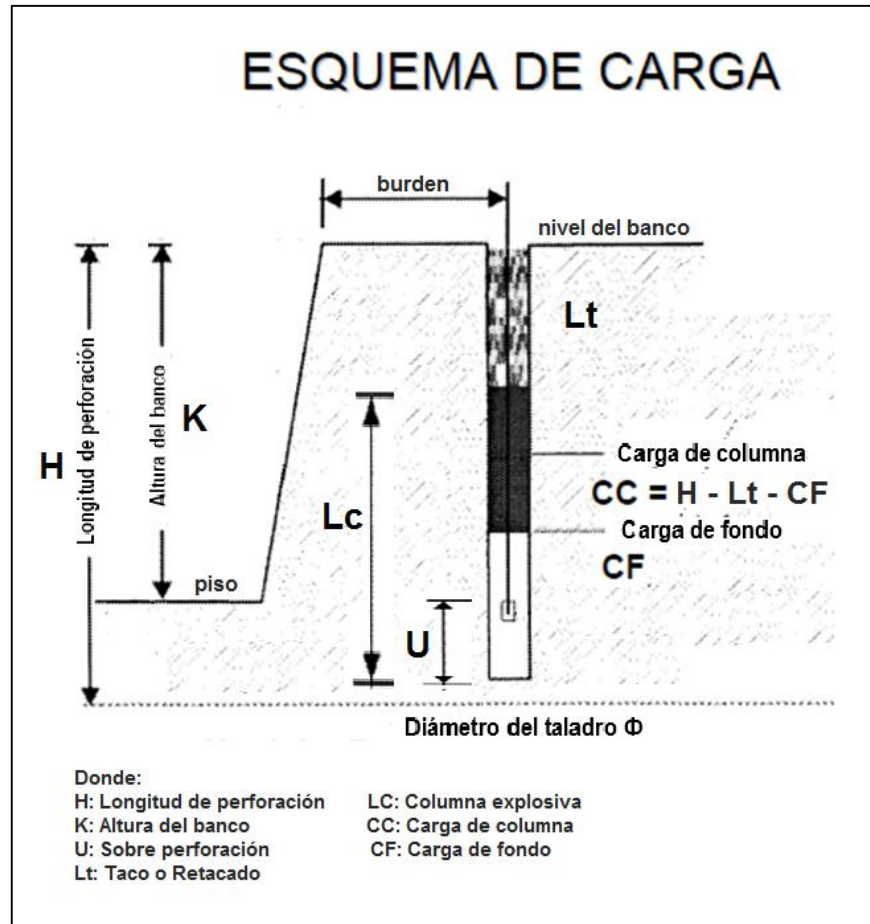
- Barras extensibles de 3, 4, 5 y 6 pies de longitud.
- Perforando taladros inclinados que varían entre 70° a 90° de inclinación, con brocas de 32 mm de diámetro.

### 3.6.2. Cálculos de parámetros de perforación y voladura Konya (1990)

**Tabla 23**  
*Datos de la cantera.*

DATOS DE LA CANTERA	
<b>ROCA A EXTRAER</b>	Caliza
<b>PESO ESPECIFICO DE LA ROCA</b>	2.3 gr/cm <sup>3</sup> (densidad estimada para la caliza)
<b>DIÁMETRO DEL EXPLOSIVO</b>	22mm (Dinamita Semexsa 65)
<b>PESO ESPECÍFICO DEL EXPLOSIVO</b>	1.12 gr/cm <sup>3</sup> (Dinamita Semexsa 65)

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.



**Figura 8:** Esquema de carga.  
**Fuente:** Artigas, 2012.

#### 3.6.2.1. Cálculo del burden (B)

$$B = 0.012 * [(2(Sge)/(Sgr)) + 1.5]De$$

B: Burden (m)

Sge: Gravedad Específica del explosivo (g/cm<sup>3</sup>)

Sgr: Gravedad Específica de la roca (g/cm<sup>3</sup>)

De: Diámetro del explosivo (mm)

$$B = 0.012 * [(2(1.12)/(2.3)) + 1.5]22m$$

$$B = 0.012(2.474)22mm$$

$$B = 0.65m$$

**3.6.2.2. Cálculo del espaciamiento (S)**

$$S = 1.4(B)$$

B: Burden (m)

S: Espaciamiento (m)

$$S = 1.4(0.65)$$

$$S = 0.914 \text{ m}$$

**3.6.2.3. Cálculo de sobreperforación (U)**

$$U = 0.3(B)$$

B: Burden (m)

U: Sobreperforación (m)

$$U = 0.3(0.65)$$

$$U = 0.195 \text{ m}$$

**3.6.2.4. Cálculo de altura del banco (K)**

$$K = 4(B)$$

B: Burden (m)

K: Altura de banco (m)

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

**3.6.2.5. Cálculo de longitud de perforación (H)**

$$H = 1.05(K + U)$$

U: Sobreperforación (m)

K: Banco (m)

H: Longitud de perforación (m)



$$H = 1.05(2.60 + 0.195)$$

$$H = 2.93 \text{ m}$$

### 3.6.2.6. Longitud del taco (Lt)

$$Lt = 0.7(B)$$

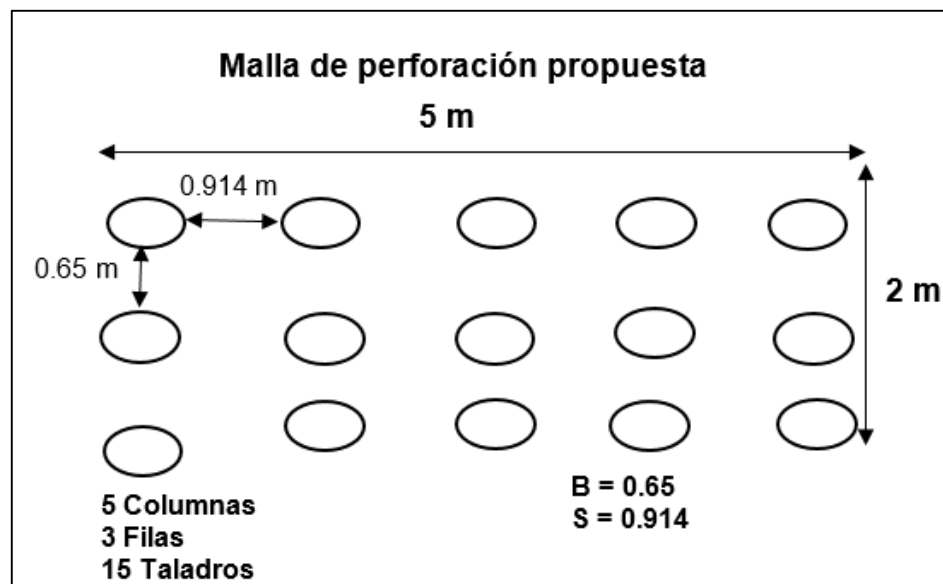
B: Burden (m)

Lt: Longitud del taco (m)

$$Lt = 0.7(0.65)$$

$$Lt = 0.455 \text{ m}$$

La malla diseñada propuesta es de 0.65 m x 0.914 m en una sección de 5m x 2m.



**Figura 9:** Malla de perforación.

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

### 3.6.2.7. Concentración lineal de carga (Qbk)

$$Qbk = 0.07853 * d * De^2$$

Qbk: Concentración de carga (Kg/m)

d: Densidad del explosivo (gr/cm<sup>3</sup>)

De: Diámetro del explosivo (cm)

$$Qbk = 0.078539 * 1.12 * 2.2^2$$

$$Qbk = 0.426 \text{ Kg/m}$$

### 3.6.2.8. Cálculo del consumo específico de explosivo (C.E)

$$C.E = \frac{0.56 * \rho_r * \tan(\varphi + i)}{\sqrt[3]{Jv}}$$

Donde:

$Jv$  = Frecuencia de juntas

$\rho_r$  = densidad de la roca  $T/m^3$

$$Jv = \frac{115 - RQD}{3.3}$$

El promedio del RQD es 78.66 %

$$Jv = \frac{115 - 78.66}{3.3}$$

$$Jv = 11.01$$

Luego:

$$\varphi + i = \emptyset = 5 + \frac{RMR}{2}$$

$$\varphi + i = \emptyset = 5 + \frac{74}{2}$$

$$\varphi + i = \emptyset = 42^\circ$$

Por tanto:

$$C.E. = \frac{0.56 * 2.3 * \text{Tan}(42^\circ)}{\sqrt[3]{11.01}}$$

$$C.E. = \frac{0.56 * 2.53 * 0.90}{2.22}$$

$$C.E. = 0.574 \text{ Kg/m}^3$$

### 3.6.2.9. Índice de volabilidad de Billy (BI)

$$BI = \frac{C.E.}{0.004}$$

BI: Índice de volabilidad de Billy.

C.E: Consumo específico.

$$BI = \frac{0.574}{0.004}$$

$$BI = 144$$

### 3.6.2.10. Factor de energía (F.E)

$$F.E = 30(C.E)$$

F.E: Factor de energía.

C.E: Consumo específico.

$$F.E = 17.22 \text{ MJ/Ton}$$

Ya con estos datos procedemos a estimar la cantidad de explosivos.

### 3.6.2.11. Producción por disparo

Largo \* Ancho \* longitud taladro \* Peso Específico de la Roca

$$(5 \text{ m} * 2 \text{ m} * 2.93 \text{ m}) * 2.3 \text{ gr/cm}^3 = 67.39 \text{ Tn/ disparo.}$$

Se trabajan 26 días al mes y realizamos 1 disparo por día.

**67.39 Tn/disparo**

### 3.6.3. Requerimiento de explosivos propuesto

#### 3.6.3.1. Dinamita (semexsa de 65% de 7/8" x 7")

Son compuestos químicos susceptibles de descomposición muy rápida que generan instantáneamente gran volumen de gases a altas temperaturas y presión ocasionando efectos destructivos.

Números de unidades por taladro	: 1
Número de taladros por día	: 15
Unidades de dinamita por día	: 15
Unidades de dinamita por mes	: 390
Total por año	: 4 680
Unidades por caja	: 308 unidades/caja

**Total cajas por año: 16**

#### 3.6.3.2. Fulminantes (N° 8)

Número de fulminantes por malla	: 2
Unidades de fulminantes por mes	: 52
Total por año	: 624
Unidades por caja	: 100

**Total cajas por año: 7**

#### 3.6.3.3. Mecha lenta

Este accesorio consiste básicamente en un cordón compuesto por un núcleo central de pólvora negra con un tiempo de combustión conocido, recubierto por una serie de hilados, fibras textiles y una cubierta de plástico que en conjunto le dan una alta resistencia a la tracción, una buena flexibilidad y una gran impermeabilidad.

Metros por disparo	: 2 m
Metros por día	: 2 m
Metros por mes	: 52 m
Total por año	: 624 m
Metros por tambor	: 1000 m

**Total tambores por año: 1 tambor**

**3.6.3.4. ANFO (Nitrato de Amonio con aceite combustible)**

Consiste en una mezcla de nitrato de amonio y un combustible derivado del petróleo, desde gasolinas a aceites de motor. Estas mezclas son muy utilizadas principalmente por las empresas mineras y de demolición, debido a que son muy seguras, baratas y sus componentes se pueden adquirir con mucha facilidad.

Los porcentajes van del 90% al 97% de nitrato de amonio y del 3% al 10% de combustible.

Si 1 m se carga con 0.426 kg, pero mi carga de columna es 2.47 m. por tanto, en mi taladro se usará 1.05 Kg de ANFO.

Kilogramos por taladro	: 1.05 kg
Kilogramos por día	: 15.75 kg
Kilogramos por mes	: 409.5 kg
Kilogramos por año	: 4 914 kg
Peso de bolsa	: 25 kg/bolsa

**Número de bolsas por año: 197**

**3.6.3.5. Cordón detonante (Pentacord)**

Número de taladros	: 15
Espaciamiento de taladros	: 0.914 metros
Burden	: 0.65 metros

Profundidad de taladro	: 2.93 m
Metros por día	: 57 m
Metros por mes	: 1 482 m
Metros por año	: 17 784 m
Metros por tambor	: 1000 m

**Total de tambores por año: 18**

### 3.6.3.6. Requerimiento propuesto de explosivos por año

**Tabla 24**

*Explosivos y accesorios de voladura a usar con nueva propuesta.*

PRODUCTO	CANTIDAD	UNIDAD
Dinamita	16	Cajas
Fulminante	7	Cajas
Mecha Lenta	1	Tambores
ANFO	197	Bolsas
Pentacord	18	Tambores
Tipo de malla	0.65 x 0.91 metros	
Número de taladros	15	
Altura de banco	2.6 metros	
Número de disparos por banco	1	

Fuente: Elaboración propia, 2017.

### 3.7. Comparación de los parámetros de perforación y voladura

**Tabla 25**

*Comparación de parámetros de perforación y voladura.*

	Parámetros actuales		Parámetros propuestos		Diferencia
	Producto	Cantidad	Unidad	Cantidad	
ANUAL	Dinamita	21	Cajas	16	5
	Detonador	7	Cajas	7	-
	Mecha lenta	1	Tambores	1	-
	Anfo	128	Bolsas	197	69
	Cordón detonante	19	Tambores	18	1
DIARIA	Número de Taladros	20	Taladros	15	5
	Altura de Banco	3	Metros	2.6	0.40
	Disparos por banco	2	Disparos	1	1
	Producción por disparo	34.50	Toneladas	67.39	32.89
	Tipo de Malla	0.40 x 1.20	Metros	0.65 x 0.91	-

Fuente: Elaboración propia, 2017.

## **CAPÍTULO IV: PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS**

### **4.1. Prueba de hipótesis general**

Con los nuevos parámetros de perforación y voladura propuestos se logra aprobar la hipótesis ya que con estos datos las operaciones unitarias se lograrán optimizar y dentro de sus resultados se obtendrá mayor producción en la extracción de materia prima.

### **4.2. Prueba de hipótesis específicas**

- Actualmente los parámetros de perforación y voladura que se ha venido aplicando están fallando ya que hay un mal manejo de longitud de taladro por tanto esta hipótesis queda aprobada.
- Con la comparación de resultados obtenidos de los parámetros de perforación y voladura actuales y propuestos se evidencia mejoras en las operaciones unitarias, además de que el cálculo de explosivos y accesorios de voladura presenta deficiencias, por tanto, se aprueba esta hipótesis.
- La utilización de nuevos parámetros de perforación y voladura logran mayor cantidad de caliza extraída, por tanto, esta hipótesis es aprobada.

## CONCLUSIONES

- Se propuso nuevos parámetros de perforación y voladura con los cuales teóricamente se optimiza las operaciones unitarias en la explotación minera de la concesión Ítalo y a su vez se reduce el consumo de explosivos y accesorios de voladura.
- Los parámetros actuales se realizan sin ningún criterio ingenieril, la altura del banco deseada es de 3 metros, la longitud de perforación actual es de 1.50 metros, por lo tanto, la altura de banco deseada se logra con dos disparos, además con estos parámetros obtienen la extracción de 34.50 toneladas de caliza por disparo.
- Con los nuevos parámetros de perforación y voladura se podrá volar todo el banco con un solo disparo obteniendo la extracción de 67.39 toneladas de caliza fragmentada, ahorrando así la cantidad de dinamita y cordón detonante, pero a su vez se requerirá mayor cantidad de ANFO. La optimización se basa en el aumento de material volado y por ende en la producción.
- Se propone que el burden sea de 0.65 metros, el espaciado 0.914 metros, sobreperforación 0.195 metros, longitud de taco 0.455 metros, longitud de perforación 2.93 metros y altura de banco 2.6 metros, aplicando estos nuevos parámetros se obtiene una concentración lineal de carga 0.426kg/m, consumo específico de explosivo 0.574 kg/m<sup>3</sup>, índice de volabilidad de 144 y factor de energía de 17.22 MJ/Ton. Con la nueva propuesta de parámetros de perforación y voladura se optimiza las operaciones unitarias en la explotación minera en la concesión Ítalo.



## RECOMENDACIONES

- A la empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, cambiar en el planeamiento de minado con los nuevos parámetros de perforación y voladura, de acuerdo a los cálculos realizados en esta tesis.
- A la empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L., capacitar frecuentemente a los trabajadores en temas relacionados a manipulación de explosivos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ames, V. (2012). Diseño de Mallas de Perforación y Voladura Utilizando la Energía Producida por las Mezclas Explosivas. (Tesis profesional). Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/635/1/ames>.
- Artigas, M. (2012). Diseño de Patrones de Perforación y Voladura para Normalizar la Fragmentación del Material Resultante de la Mina Choco 10 Empresa PMG S.A. el Callao, Estado Bolívar. (Tesis Profesional). Caracas, Venezuela. Obtenido de <http://docslide.net/documents/disenio-de-patrones-de-perforacion-y-voladura.html>.
- Caguana, F. (2013). Optimización de los Parámetros de Perforación y Voladura en la Cantera "Las Victorias". (Tesis Profesional). Ecuador: Universidad de Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream>.
- Cueva, O. (2011). Técnicas Modernas de Voladuras Controladas en Minería a Cielo Abierto . Huaraz. (Tesis Profesional). Perú: Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. Obtenido de <https://www.convencionminera.com/perumin>.
- Geocatmin. (2018). Cartera de proyectos mineros. Perú. Obtenido de <http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>
- González, L. (2002). Ingeniería Geológica. (reprint). España: Pearson Educación. Obtenido de <http://info.igme.es>.
- Hernández, R.; Fernández C. y Baptista P. Metodología de la Investigación. (5ta Edición). México D.F: McGRAW-HILL. Obtenido de <http://www.esup.edu.pe>.
- Medina, R. (2014). Evaluación Técnico-Económica-Ecológica de los Resultados de las Pruebas Realizadas Usando Emulsiones Gasificadas en Cuajone – Southern Perú. Tesis Profesional. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni>.

- Ojeda, R. (2013). Diseño de Mallas de Perforación y Voladura Subterránea Aplicando Modelo Matemático de Áreas de Influencia. Huancayo, Perú. Obtenido de <https://es.slideshare.net/arturoamerico/disenio>.
- Orihuela, S. (2014). Diseño de un Modelo Predictivo a partir de un estudio de vibraciones en una voladura en una Mina modelo. Tesis Profesional. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/215>
- Palomino, V. (2016). Optimización del Proceso de Perforación y Voladura en las Labores de Desarrollo para Mejorar la Eficiencia en Minera Poderosa. Tesis Profesional. La Libertad, Perú: Universidad Nacional de Trujillo. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/xmlui/handle/UNITRU/5348>
- Poma, J. (2012). Importancia de la Fragmentación de la Roca en el Proceso Gold Mill. Tesis Profesional. Cajamarca, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789>
- Sánchez, V. (2012). Optimización en los Procesos de Perforación y Voladura en el Avance de la Rampa en la Mina Bethzabeth. Tesis Profesional. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/217>
- Vilela, W. (2014). Análisis de Factibilidad Para el Uso de Anfo Pesado a Base de Emulsión Gasificable en Minera Yanacocha. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle89/>

# **ANEXOS**

## Anexo 1: Matriz de consistencia

**Tesis:** “OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA LAS OPERACIONES UNITARIAS EN EXPLOTACIÓN MINERA DE LA CONCESIÓN ÍTALO DE LA EMPRESA MINERA P’HUYU YURAQ II, DISTRITO DE MAGDALENA - CAJAMARCA, 2017”

**Tabla 26**

*Matriz de consistencia.*

PROBLEMA(S) DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO(S) DE LA INVESTIGACION	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema principal:</b> ¿Cómo optimizar los parámetros de perforación y voladura, tales como burden, espaciamiento, sobreperforación, altura de banco, longitud de perforación, longitud del taco, concentración lineal de carga, consumo específico, volabilidad de Billy y factor de energía, dentro de las operaciones unitarias en la explotación minera de la concesión Ítalo de la empresa P’huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017?</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Optimizar los parámetros de perforación y voladura, tales como burden, espaciamiento, sobreperforación, altura de banco, longitud de perforación, longitud del taco, concentración lineal de carga, consumo específico, volabilidad de Billy y factor de energía, en las operaciones unitarias de explotación minera en la concesión Ítalo, de la empresa P’huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017.</p>	<p><b>Hipótesis general:</b> Si se aplica adecuadamente los parámetros de perforación y voladura propuestos tales como burden, espaciamiento, sobreperforación, altura de banco, longitud de perforación, longitud del taco, concentración lineal de carga, consumo específico, volabilidad de Billy y factor de energía, lograremos optimizar las operaciones unitarias en la explotación minera de la concesión Ítalo, en la empresa P’huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017.</p>	<p><b>Variable independiente</b> Parámetros de perforación y voladura.</p>	<p><b>Tipo de investigación</b> La investigación desarrollada es cuantitativa, ya que en esta tesis el proceso consistió en observar y analizar los parámetros actuales de perforación y voladura para luego proponer uno nuevo y definir su optimización.</p> <p><b>Nivel de investigación</b> El nivel de la investigación fue descriptivo ya que se realizó la descripción de los parámetros de perforación y voladura actuales; es decir, se</p>

<p><b>Problemas secundarios:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Cuáles son los parámetros de perforación y voladura que se aplican actualmente en las operaciones unitarias de la explotación minera en la concesión Ítalo, de la empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017?</li> <li>- ¿Cuál es el análisis comparativo de los parámetros de perforación y voladura actuales y propuestos para su optimización en las operaciones unitarias de la explotación minera en la concesión Ítalo, de la empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017?</li> <li>- ¿Cuál es la propuesta adecuada de parámetros de perforación y voladura para su optimización en las operaciones unitarias de la explotación minera en la concesión Ítalo, de la empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017?</li> </ul>	<p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar los actuales parámetros de perforación y voladura que se aplican en las operaciones unitarias de la explotación minera en la concesión Ítalo, de la empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017.</li> <li>- Realizar un análisis comparativo de los parámetros de perforación y voladura actuales y propuestos para su optimización en las operaciones unitarias de la explotación minera en la concesión Ítalo, de la empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017.</li> <li>- Determinar la propuesta adecuada de parámetros de perforación y voladura para su optimización en las operaciones unitarias de la explotación minera en la concesión Ítalo, de la empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis secundarias:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Al determinar los parámetros de perforación y voladura que se están aplicando se detectarán los que están fallando en las operaciones unitarias de la explotación minera en la concesión Ítalo, en la empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017.</li> <li>- Al comparar los parámetros de perforación y voladura actuales y propuestos se analizarán mejoras en las operaciones unitarias de la explotación minera en la concesión Ítalo, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017.</li> <li>- Con la propuesta de utilización de nuevos parámetros de perforación y voladura se logrará el mayor aprovechamiento de los recursos en las operaciones unitarias de la explotación minera en la concesión Ítalo, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca, durante el año 2017.</li> </ul>	<p><b>Variable dependiente</b></p> <p>Operaciones unitarias en la explotación minera.</p>	<p>dirigió a responder las causas que acarrea al contar con parámetros adecuados.</p> <p><b>Método de investigación</b></p> <p>En lo referente es el método deductivo, esto quiere decir que las conclusiones son una consecuencia necesaria de las premisas.</p> <p><b>Diseño de investigación</b></p> <p>El diseño es cuasi-experimental, ya que consiste en escoger los parámetros de perforación y voladura, en los que se prueba la optimización de las operaciones unitarias.</p> <p><b>Población</b></p> <p>Concesión Minera no Metálica Ítalo de la Empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca.</p> <p><b>Muestra</b></p> <p>Se utilizó un banco de perforación y voladura de la cantera Ítalo, de la Empresa P'huyu Yuraq II E.I.R.L, distrito de Magdalena, provincia y departamento de Cajamarca.</p>
---	---	--	---	---

Fuente: Elaboración propia, 2017.

## Anexo 2: Instrumento de Investigación: Encuesta.

1. ¿Cuál es la altura del banco con la que trabajan actualmente?  
.....  
.....
2. ¿Cuáles son las medidas de su malla de perforación y voladura?  
.....  
.....
3. ¿Cuál es la longitud de perforación actual?  
.....  
.....
4. ¿Cuál es el burden y espaciamiento actual?  
.....  
.....
5. ¿Cuántos disparos realizan por día?  
.....  
.....
6. ¿Cuál es la producción diaria actual de roca caliza volada?  
.....  
.....
7. ¿Qué cantidad de ANFO utilizan por taladro de perforación?  
.....  
.....
8. ¿Cuántos detonadores utilizan por malla de voladura?  
.....  
.....
9. ¿Qué cantidad de cordón detonante usan por malla?  
.....  
.....
10. ¿Cuántas dinamitas usan por malla de voladura?  
.....  
.....

Anexo 3: Instrumento de Investigación: Esquema de carga de Artigas (2012).

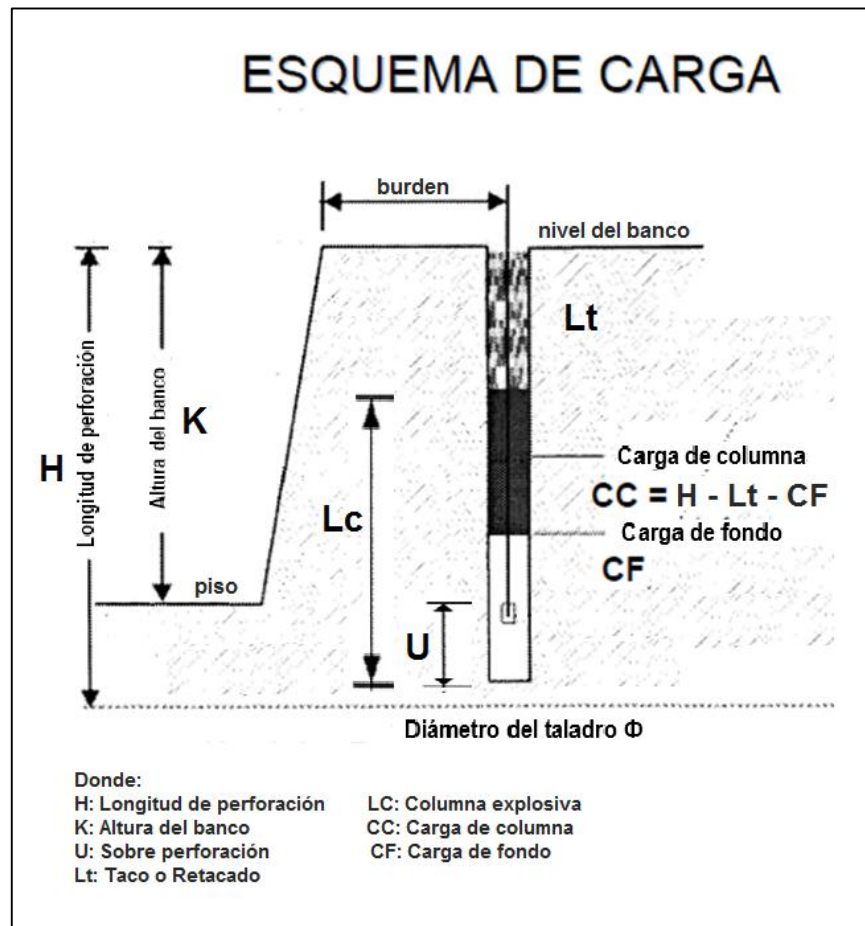


Figura 10: Esquema de carga.  
Fuente: Artigas, 2012.



#### **Anexo 4: Instrumento de Investigación: Fórmulas empleadas en el método de Konya (1990)**

##### **Burden (B):**

$$B = 0.012X[(2(S_{ge})/(S_{gr})) + 1.5]De$$

B: Burden (m)

S<sub>ge</sub>: Gravedad Específica o Densidad del explosivo (g/cm<sup>3</sup>).

S<sub>gr</sub>: Gravedad Específica o Densidad de la roca (g/cm<sup>3</sup>)

De: Diámetro del explosivo (mm)

##### **Espaciamiento (S):**

$$S = 1.4(Burden)$$

B: Burden (m)

S: Espaciamiento (m)

##### **Sobreperforación (U):**

$$U = 0.3(Burden)$$

B: Burden (m)

U: Sobreperforación (m)

##### **Altura del banco (K):**

$$K = 4(Burden)$$

B: Burden (m)

K: Altura de banco (m)

##### **Longitud de perforación (H):**

$$H = 1.05(K + U)$$

U: Sobreperforación (m)

K: Banco (m)

H: Longitud de perforación (m)

**Longitud del taco (Lt):**

$$Lt = 0.7(B)$$

B: Burden (m)

Lt: Longitud del taco (m)

**Concentración lineal de la carga (Qbk):**

$$Qbk = 0.07853 * d * De^2$$

Qbk: Concentración de carga (Kg/m)

d: Densidad del explosivo: dinamita semexsa 65 (gr/cm<sup>3</sup>)

De: Diámetro del explosivo (cm)

**Consumo específico (C.E):**

$$C.E = \frac{0.56 * \rho_r * \tan(\varphi + i)}{\sqrt[3]{Jv}}$$

Jv = Frecuencia de juntas.

$\rho_r$  = densidad de la roca T/m<sup>3</sup>

**Índice de volabilidad (B.I):**

$$BI = \frac{C.E.}{0.004}$$

BI: Índice de volabilidad de Billy.

C.E: Consumo específico.

**Factor de energía (F.E):**

$$FE = 30(C.E)$$

F.E: Factor de energía.

C.E: Consumo específico.

## Anexo 5: Instrumento de Investigación: Ficha de clasificación de RMR

**Tabla 27**  
*Clasificación del RMR.*

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (MPa)		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	5		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad		<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m	
		Puntuación		6	4	2	1	0	
		Abertura		Nada	<0.1 mm	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm	
		Puntuación		6	5	4	1	0	
		Rugosidad		Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave	
		Puntuación		6	5	3	1	0	
		Relleno		Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm	
		Puntuación		6	4	2	2	0	
		Alteración		Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta	
		Puntuación		6	5	3	1	0	
5	Caudal por 10m de túnel		Nulo	<10litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min		
	Agua freática	Relación de agua / Tensión principal mayor		0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5	
		Estado general		Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo	
		Puntuación		15	10	7	4	0	

**Fuente:** Gonzáles, 2002.

## Anexo 6: Fotografías



**Figura 11:** Cantera Ítalo.  
**Fuente:** Elaboración propia, 2017.



**Figura 12:** Planta de calcinación.  
**Fuente:** Elaboración propia, 2017.



**Figura 13:** Vista frontal de los hornos.  
**Fuente:** Elaboración propia, 2017.



**Figura 14:** Almacén de cal viva granada.  
**Fuente:** Elaboración propia, 2017.



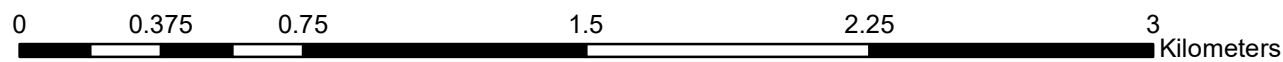
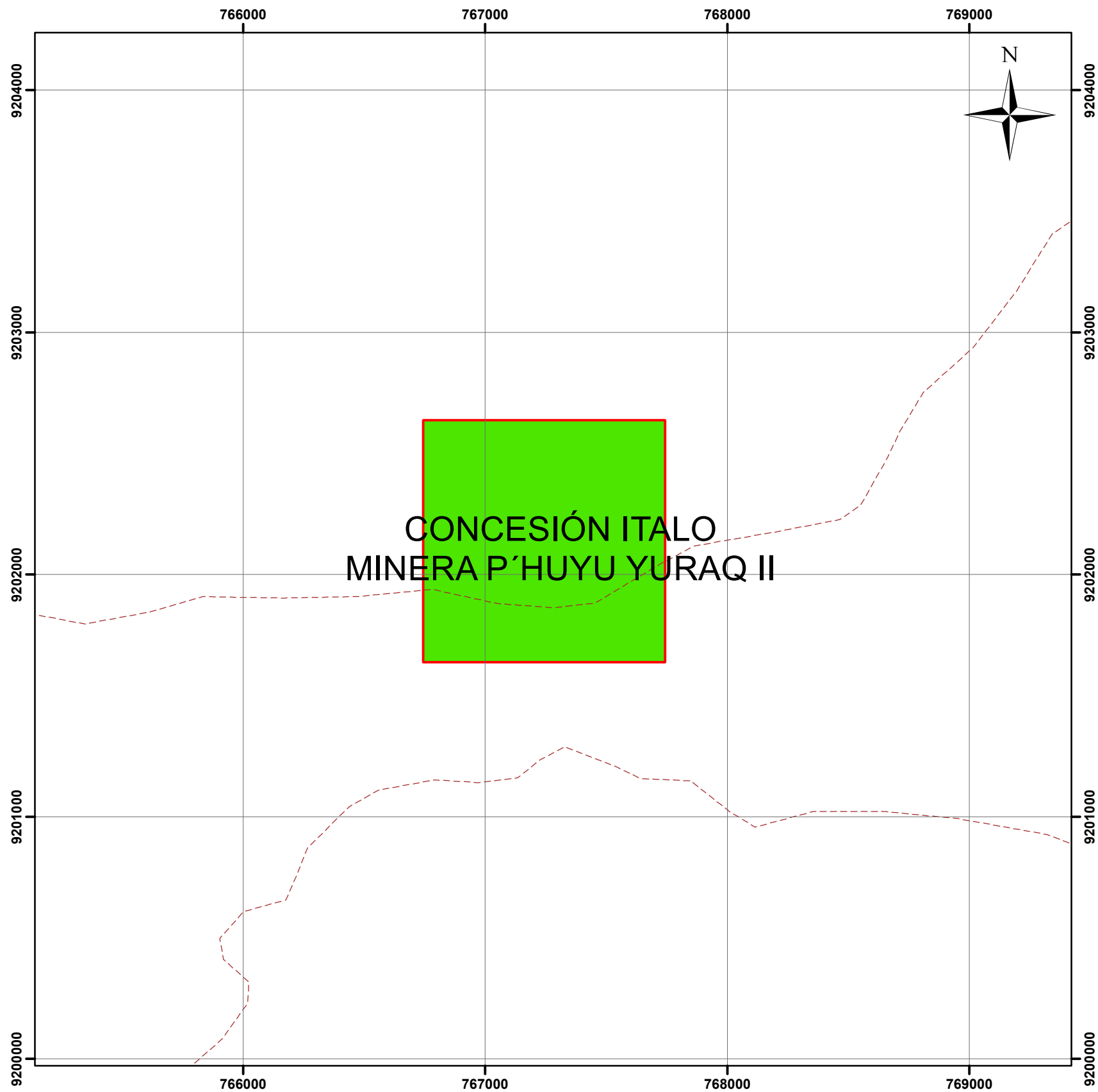


**Figura 15:** Polvorín.  
**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

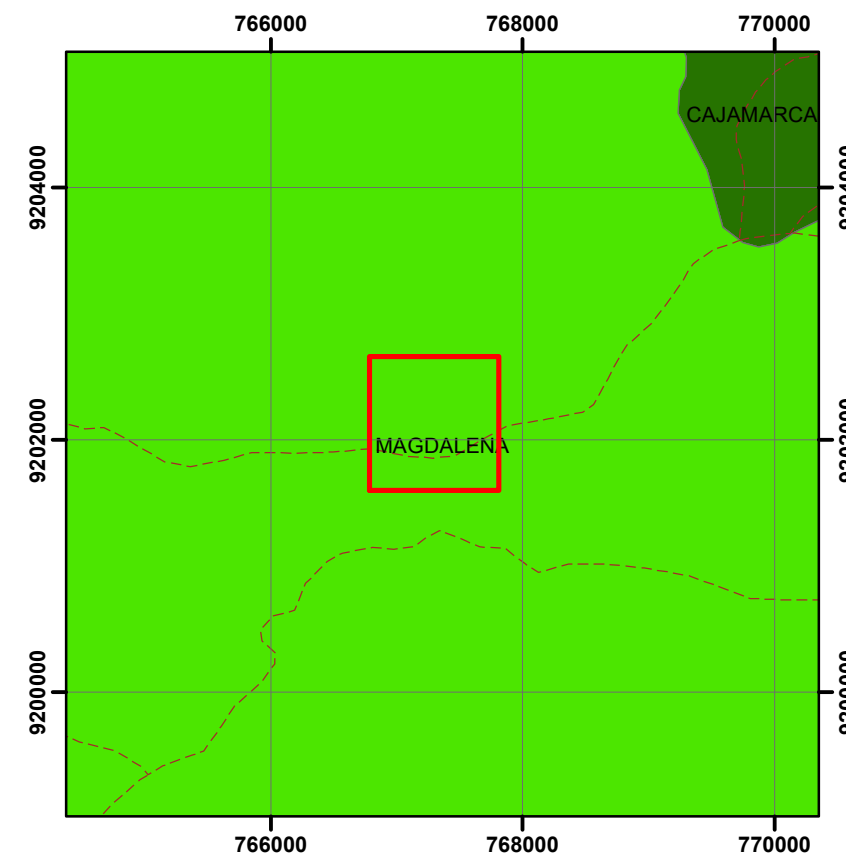


**Figura 16:** Plataforma de perforación.  
**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

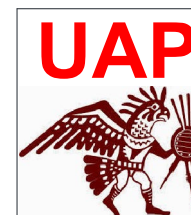
## Anexo 7: Planos



Sistema de Coordenas: WGS1984 - UTM Zona 17S  
 DATUM: WGS 1984



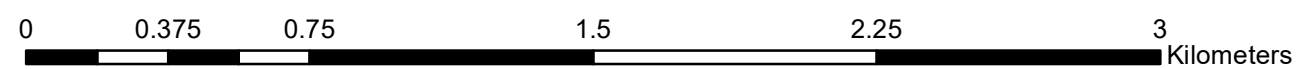
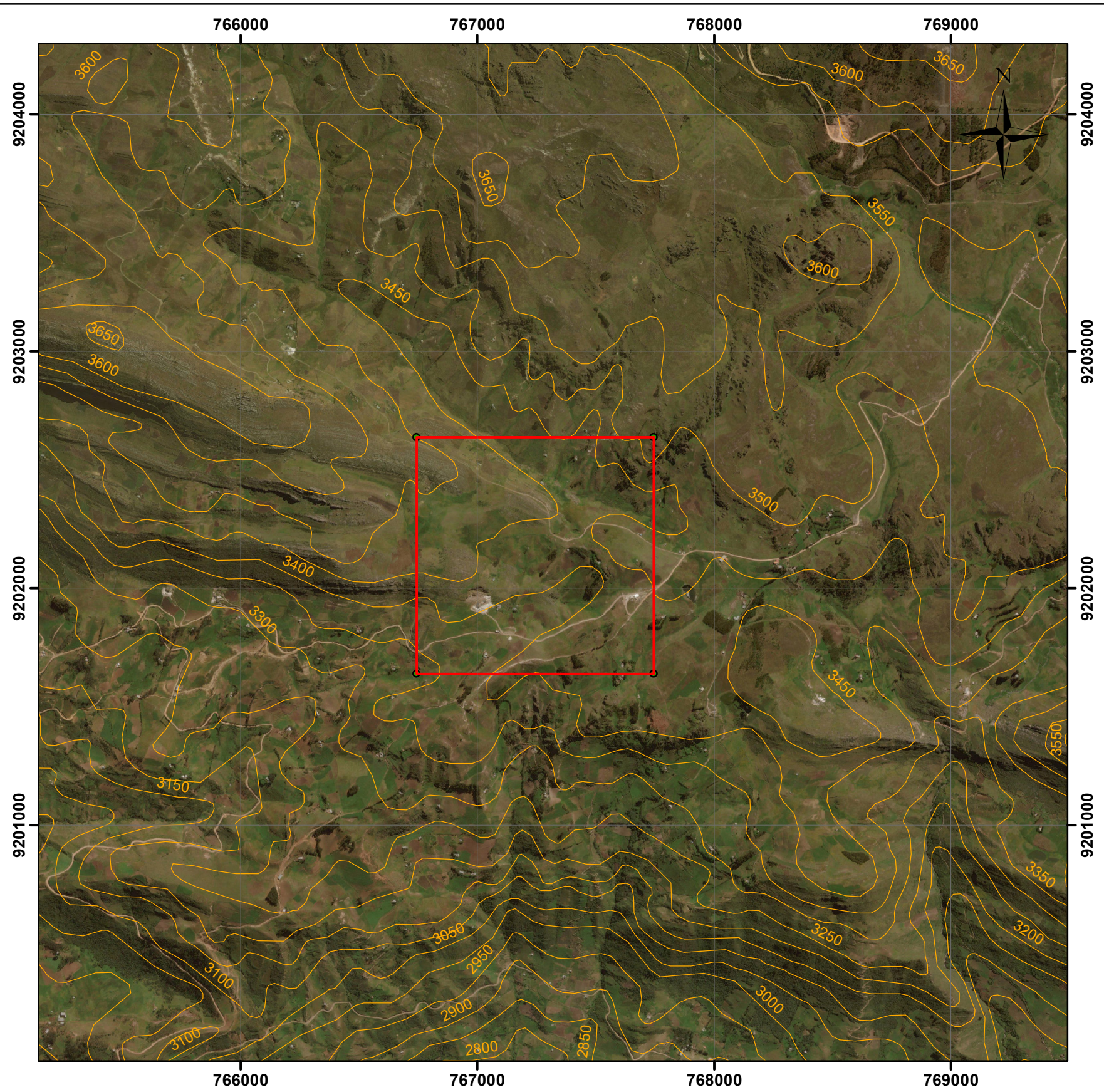
Leyenda	
	TROCHA CARROZABLE
	CONCESIÓN ITALO - MINERA P'HUYU YURAQ II



UNIVERSIDAD  
 ALAS  
 PERUANAS

EMPRESA MINERA P'HUYU YURAQ II E.I.R.L.		
CONCESIÓN ITALO		
PLANO DE UBICACIÓN		
REALIZADO POR:	Steve Raúl Figueroa Torres	PLANO N° <b>01</b>
FECHA:	20 de abril del 2018	
DISTRITO:	MAGDALENA	
PROVINCIA:	CAJAMARCA	
ESCALA:	1:20 000	DATUM: WGS-1984-UTM-ZONA-17S





Sistema de Coordenas: WGS1984 - UTM Zona 17S  
 DATUM: WGS 1984

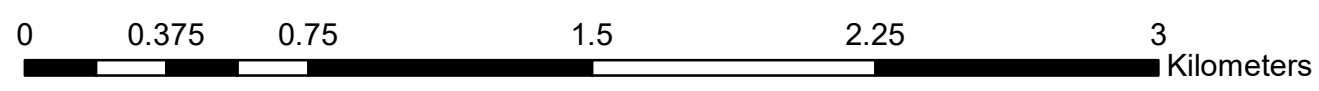
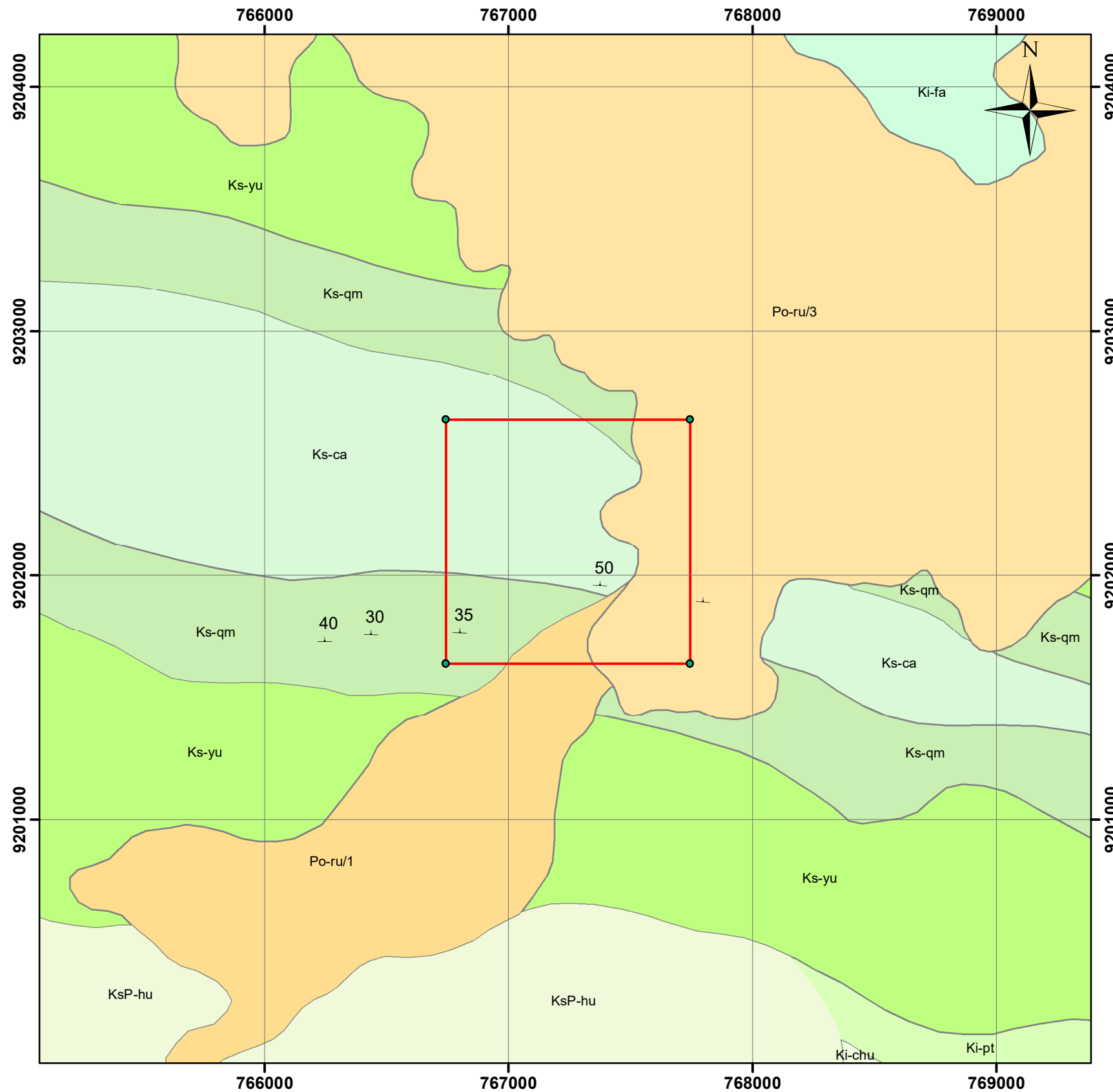
### Simbología

- CONCESIÓN ITALO - MINERA P'HUYU YURAQ II
- Vértices
- Curvas de Nivel

Vértice	Norte	Este
1	9,202,637.48	767,743.79
2	9,201,637.48	767,743.79
3	9,201,637.47	766,743.80
4	9,202,637.47	766,743.80

	<b>EMPRESA MINERA P'HUYU YURAQ II E.I.R.L.</b>		<b>PLANO N° 02</b>
	<b>CONCESIÓN ITALO</b>		
	<b>PLANO SATELITAL</b>		
	REALIZADO POR:	Steve Raúl Figueroa Torres	
	FECHA:	20 de abril del 2018	
DISTRITO:	MAGDALENA		
PROVINCIA:	CAJAMARCA		
ESCALA: 1:20 000	DATUM: WGS-1984-UTM-ZONA-17S		





Sistema de Coordenadas: WGS1984 - UTM Zona 17S  
 DATUM: WGS 1984

### Simbología

- Rumbo y Buzamiento
- Vértices
- Curvas de nivel
- CONCESIÓN ITALO - MINERA P´HUYU YURAQ II

#### Formaciones Geológicas

- Ks-ca
- Ks-qm
- Po-ru/1-Rocas del Centro Volcánico Rumiorcco
- Po-ru/3-Rocas del Centro Volcánico Rumiorcco

Vértice	Norte	Este
1	9,202,637.48	767,743.79
2	9,201,637.48	767,743.79
3	9,201,637.47	766,743.80
4	9,202,637.47	766,743.80

<p>UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS</p>	<b>EMPRESA MINERA P´HUYU YURAQ II E.I.R.L.</b>		<p>PLANO N° <b>03</b></p>
	<b>CONCESIÓN ITALO</b>		
	<b>PLANO GEOLÓGICO</b>		
	REALIZADO POR:	Steve Raúl Figueroa Torres	
	FECHA:	20 de abril del 2018	
DISTRITO:	MAGDALENA		
PROVINCIA:	CAJAMARCA		
ESCALA:	1:20 000	DATUM:	WGS-1984-UTM-ZONA-17S