



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LOS MÉTODOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA OPTIMIZAR LA FRAGMENTACIÓN DE LA ROCA, EN LA CANTERA MITOPAMPA, CAJAMARCA, 2016.”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero de Minas**

**Autores:**

Bach. Rogger Becerra Terán  
Bach. Wilde Alonso Hernández Suárez

**Asesor:**

Mg. Ing. José Alfredo Siveroni Morales

Cajamarca – Perú  
2016

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido	Pág.
<b>APROBACIÓN DE LA TESIS.....</b>	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS.....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS.....</b>	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xiii</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Realidad problemática.....	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.3. Justificación.....	2
1.4. Limitaciones.....	2
1.5. Objetivos.....	3
1.5.1. <i>Objetivo General</i> .....	3
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	3
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
2.1. Antecedentes.....	4
2.2. Bases teóricas.....	4
2.2.1. <i>Teoría de perforación de rocas</i> .....	4
2.2.1.1. <i>Rocas</i> .....	5
2.2.1.2. <i>Métodos de perforación</i> .....	10
2.2.1.3. <i>Condiciones de perforación</i> .....	15
2.2.1.4. <i>Avance lineal</i> .....	19
2.2.2. <i>Teoría de voladura de rocas</i> .....	21
2.2.2.1. <i>Condiciones para una voladura de rocas</i> .....	22
2.2.2.2. <i>Evaluación de la voladura</i> .....	28
2.2.2.3. <i>Voladura controlada</i> .....	30
2.2.2.4. <i>Diseños de mallas de perforación</i> .....	31
2.3. Definición de términos básicos.....	32

<b>CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS.....</b>	<b>35</b>
3.1. Formulación de la hipótesis.....	35
3.2. Operacionalización de variables.....	35
3.2.1. <i>Variable independiente</i> .....	35
3.2.2. <i>Variable dependiente</i> .....	35
<b>CAPÍTULO 4. DESCRIPCIÓN Y GENERALIDADES DE LA CANTERA.....</b>	<b>37</b>
4.1. Caracterización de la zona de estudio.....	37
4.1.1. <i>Ubicación</i> .....	37
4.1.2. <i>Accesos</i> .....	37
4.1.3. <i>Clima</i> .....	39
4.1.4. <i>Vegetación</i> .....	39
4.2. Geología.....	39
4.2.1. <i>Geología local</i> .....	39
4.2.2. <i>Geología de la cantera</i> .....	42
4.2.3. <i>Geología estructural</i> .....	42
<b>CAPÍTULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>44</b>
5.1. Tipo de diseño de investigación.....	44
5.2. Material de estudio.....	44
5.2.1. <i>Unidad de estudio</i> .....	44
5.2.2. <i>Población</i> .....	44
5.2.3. <i>Muestra</i> .....	44
5.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.....	45
<b>CAPÍTULO 6. DESARROLLO DE ACTIVIDADES.....</b>	<b>46</b>
6.1. Área de explotación.....	46
6.2. Parámetros propuestos.....	46
6.2.1. <i>Cálculo para el diseño de voladura</i> .....	47
6.2.1.1. <i>Elección del diámetro del barreno</i> .....	47
6.2.1.2. <i>Elección del explosivo a utilizar</i> .....	49
6.2.1.3. <i>Cargas explosivas en barrenos</i> .....	50
6.2.2. <i>Métodos de Cálculo</i> .....	50
6.2.2.1. <i>Método Sueco</i> .....	51
6.2.2.2. <i>Método Konya</i> .....	53
6.2.2.3. <i>Método del principio de proporcionalidad</i> .....	55
6.2.2.4. <i>Método de López-Jimeno</i> .....	57
6.2.2.5. <i>Método de Langefors</i> .....	58
6.2.2.6. <i>Modelo Kuz Ram</i> .....	61
6.2.3. <i>Relación Emulsión – Anfo</i> .....	62

<b>CAPÍTULO 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>63</b>
7.1. Resultados de la optimización.....	63
7.1.1. <i>Caracterización del macizo rocoso.....</i>	<i>63</i>
7.1.1.1. <i>Datos de campo.....</i>	<i>63</i>
7.1.1.2. <i>Determinación de la resistencia a la compresión.....</i>	<i>67</i>
7.1.1.3. <i>Determinación del RQD.....</i>	<i>67</i>
7.1.1.4. <i>Valorización.....</i>	<i>67</i>
7.1.2. <i>Determinación de métodos.....</i>	<i>68</i>
7.1.2.1. <i>Métodos Sueco y de Konya.....</i>	<i>68</i>
7.1.2.2. <i>Método de Proporcionalidad, López-Jimeno y Langefors.....</i>	<i>70</i>
7.1.2.3. <i>Longitud de fragmentación estimada.....</i>	<i>73</i>
7.1.3. <i>Comparación de métodos.....</i>	<i>81</i>
7.2. <i>Discusión.....</i>	<i>84</i>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>85</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>86</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>89</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla N° 2.1. Clasificación de las rocas por su origen.	10
Tabla N° 2.2. Diámetros de perforación más comunes en milímetros.	15
Tabla N° 2.3. Clasificación de la Dureza Escala de Mohs.	20
Tabla N° 2.4. Densidad y peso específico de rocas.	23
Tabla N° 2.5. Características de los explosivos.	28
Tabla N° 6.1. Parámetros para la elección del diámetro del barreno.	48
Tabla N° 6.2. Valores de parámetro de depositación de la roca en el macizo (kd).	54
Tabla N° 6.3. Valores de parámetro estructural del macizo (ks).	54
Tabla N° 6.4. Gasto en dependencia del coeficiente de fortaleza de la roca.	56
Tabla N° 6.5. Patrones de voladura en función del diámetro de los barrenos.	57
Tabla N° 6.6. Relación entre banco y diámetro del barreno.	58
Tabla N° 6.7. Valores de A en función de calidad de la roca.	61
Tabla N° 6.8. Relación Emulsión-ANFO.	62
Tabla N° 7.1. Características de las discontinuidades.	65
Tabla N°7.2. Parámetros de caracterización de la roca de la cantera.	68
Tabla N° 7.3. Patrón de Voladura con D=36 mm. Método Sueco y Konya.	69
Tabla N° 7.4. Patrón de Voladura con D=65 mm. Método Sueco y Konya.	70
Tabla N° 7.5. Patrón de voladura con D = 36 mm. Método de proporcionalidad, López Jimeno y Langefors.	72
Tabla N° 7.6. Patrón de voladura con D = 65 mm. Método de proporcionalidad, López Jimeno y Langefors.	72
Tabla N° 7.7. Comparación de métodos de perforación y voladura.	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura N° 2.1. Proceso de perforación.	18
Figura N° 4.1. Ubicación de la zona de estudio.	38
Figura N° 6.1. Disposición típica de una malla de perforación.	50

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico N° 7.1. Método Sueco.	73
Gráfico N° 7.2. Método Konya.	75
Gráfico N° 7.3. Método de proporcionalidad.	76
Gráfico N° 7.4. Método de López-Jimeno.	77
Gráfico N° 7.5. Método de Langefors.	78
Gráfico N° 7.6. Comparación de los métodos analizados para D=36mm.	79
Gráfico N° 7.7. Comparación de los métodos analizados para D=65mm.	80
Gráfico N° 7.8. Método de López-Jimeno, para un D=36mm.	82
Gráfico N° 7.9. Método de López-Jimeno, para un D=65mm.	83

## ÍNDICE DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Kuz-Ram	:	Kuznetsov y Rosin-Rammler.
RQD	:	Rock Quality Designation (Roca Calidad Designación).
VP	:	Velocidad de penetración (m/h).
P <sub>t</sub>	:	Presión de taladro, en MPa.
ρ <sub>E</sub>	:	Densidad del explosivo, en g/cm <sup>3</sup> .
VOD	:	Velocidad de detonación, en m/s.
E	:	Espaciamiento.
B	:	Burden.
UTM	:	Sistema Universal de coordenadas Transversal de Mercado.
Q <sub>bk</sub>	:	Concentración de carga de fondo (kg/m).
ANFO	:	Ammonium Nitrate - Fuel Oil (Nitrato de Amonio - petróleo).
Q <sub>b</sub>	:	Carga de fondo (kg).
Q <sub>p</sub>	:	Carga de columna (kg).
D <sub>e</sub>	:	Diámetro del cartucho (mm).
SR	:	Radio de Rigidez.
L <sub>c</sub>	:	Longitud lineal de carga (m).
L <sub>d</sub>	:	Densidad de carga lineal (kg/m).
ρ <sub>e</sub>	:	Densidad del explosivo.
RMR	:	Clasificación geomecánica (Rock Mas Rating).
X50 (cm)	:	La longitud de estimación de fragmentación esperada.
Q (kg)	:	Carga por barreno.
D	:	Diámetro.
S	:	Separación entre barrenos.



## RESUMEN

La investigación fue realizada en la cantera Mitopampa ubicada en la provincia de Hualgayoc departamento de Cajamarca, en el proceso de perforación y voladura.

La presente tesis expone una optimización de los procesos de perforación y voladura, un estudio de los diferentes métodos de perforación y voladura para seleccionar el más adecuado.

Los patrones propuestos parten del estudio de diferentes métodos de cálculo, siendo estos; El método Sueco, el método Konya, el método de proporcionalidad, el método propuesto por López-Jimeno y el método de Langeforde, para estimar el tamaño de la fragmentación producto de la perforación y voladura. En tal sentido, se dedujo que el método propuesto por López-Jimeno es el más idóneo para el cálculo de un adecuado patrón de voladura.

El informe de la investigación realizada consta de siete capítulos: introducción; marco teórico; hipótesis; descripción y generalidades de la cantera; materiales y métodos; desarrollo de actividades; resultados y discusión.

En conclusión el estudio y selección de los métodos de perforación y voladura mejora la fragmentación de la roca, siendo más óptimo el método de López-Jimeno utilizado para el cálculo de un adecuado patrón de voladura en la cantera Mitopampa.

**Palabras Claves:** Métodos, perforación, voladura, optimizar, fragmentación, roca.

## ABSTRACT

The research was conducted in the Mitopampa quarry located in the province of Hualgayoc department of Cajamarca, in the process of drilling and blasting.

This thesis presents a process optimization of drilling and blasting, a study of different methods of drilling and blasting to select the most appropriate.

The proposed patterns based on a study of different methods of calculation, these being; The Swedish method, the Konya method, the method of proportionality, the method proposed by López Jimeno and Method Langeforde estimate for the size of the fragmentation result of drilling and blasting. In this regard, it was concluded that the method proposed by López Jimeno is the ideal one for calculating UN PROPER blasting pattern.

The Report of the Research Carried consists of seven chapters: Introduction; theoretical framework; Hypothesis; Description and overview of the quarry; Materials and methods; Development Activities; Results and Discussion.

**Conclusion** The study and selection of drilling and blasting methods improves fragmentation of the rock, being more Optimal Method López Jimeno used to calculate UN suitable pattern Mitopampa blasting in quarry.

**Keywords:** Methods, drilling, blasting, Optimize, fragmentation, rock.

## **NOTA DE ACCESO**

**No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales**

## REFERENCIAS

Araya L. (2010). Diseños del patrón de voladura que se ajuste a las dimensiones de una trituradora mediante las aplicación del modelo predictivo y la simulación de Monte Carlos. Bolívar. Venezuela.

Arnaudez R. (2013). Optimización de los Patrones de Voladura en Función de las Características del explosivo y de la Roca Perteneciente a la Mina Paso Diablo, edo. Zulia. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Artigas M. (2014). 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. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Barrios J. (2008). Optimización del patrón de perforación para voladuras en la Parcela Choco. El Callao. Estado Bolívar. Venezuela.

Caguana A. (2013). Mejoramiento del patrón de perforación para voladuras en canteras. Ecuador.

Castilla J. (2013). Perforación y voladura de rocas en minería. Madrid.

Chiappetta, F. (2013). Nueva técnica de voladura. Santiago, Chile.

Crimmins R., Samuels R., y Monahan B.(1978). CRIMMINS R., SAMUELS R. y MONAHAN B. Trabajos de Construcción en Roca, 1 St. edición, Limusa, México DF.

EXSA S.A (2014). Manual Práctico de Voladura. Perú. Lima.

Gil, M. (2013). Curso completo sobre uso y manejo de explosivos industriales. Mexico.

Instituto tecnológico geominero de España (2014). Manual de Perforación Voladura de Rocas. España. Madrid.

Langefors U. y Kihlstrom B. (1976). LANGEFORS, U. y KIHLLSTROM, B., Técnica Moderna de Voladura de Rocas, URMO S.A. de Ediciones.

López C. y García P. (2003). Manual de perforación y voladura de rocas. Madrid. España.

Montoya I. (2014). Modelos Predictivo de Fragmentación. Enaex S.A. Buenos Aires. Argentina.

Ortiz F. (2004). Metodología de la Investigación. El proceso y sus técnicas, México. Editorial Limusa.

Oseda, D. (2008) Metodología de la Investigación. Ed. Pirámide.

Osorio A. (2014). Introducción a la perforación y voladura, Edición especial, Lima.

Otaño C. (2013). Diseño y Construcción de Obras de Minería. Cuenca. Ecuador.

Paredes J. (2014). Introducción a la Geología local, Carbones del Zulia, S.A. Superintendencia de Geología.

Romero F. (2001). Manual Técnico para el Uso de Explosivos Utilizados en Voladuras a Cielo Abierto en Vías Terrestres, Tesis de Grado España.