



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA DE MINAS

“ANÁLISIS DE DISTANCIAS CRÍTICAS A CAMPO LEJANO PARA VIBRACIONES USANDO QUANTEX73 Y EMULSIÓN 100%, EN MINERA YANARRUMI, Y SU CONTROL EN EL CC.PP. SHUCTULOMA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Edwin Omar, Arevalo abanto
Bach. Héctor Edgardo, Urrunaga López

Asesor:

Ing. Alex Patricio Marinovic Pulido

Cajamarca – Perú
2018

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido

<u>APROBACIÓN DE LA TESIS</u>	ii
<u>DEDICATORIA</u>	iii
<u>AGRADECIMIENTO</u>	iv
<u>ÍNDICE DE CONTENIDOS</u>	v
<u>ÍNDICE DE TABLAS</u>	vii
<u>ÍNDICE DE FIGURAS</u>	viii
<u>RESUMEN</u>	x
<u>ABSTRACT</u>	xi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad problemática	13
1.2. Formulación del problema.....	14
1.3. Justificación.....	14
1.3.1. <i>Justificación teórica</i>	14
1.3.2. <i>Justificación aplicativa o práctica</i>	14
1.3.3. <i>Justificación valorativa</i>	14
1.3.4. <i>Justificación académica</i>	14
1.4. Limitaciones	14
1.5. Objetivos	15
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	15
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	15
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	15
2.1. Antecedentes	15
2.2. Bases teóricas.....	17
2.2.1. <i>Zona de Estudio</i>	17
2.2.2. <i>Macizo Rocoso</i>	18
2.2.3. <i>Voladura de Rocas</i>	19
2.2.4. <i>Explosivos</i>	19
2.2.5. <i>Mecanismo de rotura</i>	33
2.2.6. <i>Sistemas de Iniciación</i>	38
2.2.7. <i>Voladuras en Banco</i>	40
2.2.8. <i>Vibraciones en Minería</i>	54
2.2.9. <i>Monitoreo de Eventos</i>	69
2.2.10. <i>Hipótesis</i>	74

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	75
3.1. Operacionalización de variables	75
3.2. Diseño de investigación	75
3.2.1. <i>Unidad de estudio</i>	75
3.2.2. <i>Población</i>	75
3.2.3. <i>Muestra (muestreo o selección)</i>	76
3.3. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	76
3.4. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos	78
3.4.1. <i>Caso N° 1: Explosivo Quantex73</i>	78
3.4.2. <i>Caso N° 2: Explosivo Emulsión 100%</i>	84
CAPÍTULO 4. RESULTADOS	90
4.1. CASO N° 1: Explosivo Quantex73.....	90
4.2. CASO N° 2: Explosivo Emulsión 100%	96
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN.....	102
CONCLUSIONES.....	103
RECOMENDACIONES	104
REFERENCIAS.....	105
ANEXOS	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros de la Roca de Mina Yanarrumi	18
Tabla 2 : Periodos característicos de vibración de ondas sísmicas	62
Tabla 3 : Velocidades típicas de ondas P	63
Tabla 4: Recopilación de Datos - Explosivo Quantex73	77
Tabla 5 : Recopilación de Datos - Explosivo Emulsión 100%	78
Tabla 6: Datos obtenidos en campo usando el explosivo Quantex73	79
Tabla 7: Logaritmos de la Distancia Escalar y el PPV	80
Tabla 8: Valores del modelamiento PPV a Campo Lejano al 50% y 90%	82
Tabla 9: Logaritmos de la Distancia Escalar y el PPV	86
Tabla 10: Valores del modelamiento PPV a Campo Lejano al 50% y 90%	88
Tabla 11: Determinación de distancia crítica, aplicando el modelo de Campo Lejano al 90% de Confiabilidad con respecto a la Normativa Peruana	90
Tabla 12: Determinación de distancia crítica, aplicando el modelo de Campo Lejano al 90% de confiabilidad con respecto a la Normativa USBM RI 8507	91
Tabla 13: Determinación de distancia crítica, aplicando el modelo de Campo Lejano al 90% de confiabilidad con respecto a la Normativa DIN 4150	92
Tabla 14: Determinación de distancia crítica, aplicando el modelo de Campo Lejano al 90% de confiabilidad con respecto a la Normativa Peruana	96
Tabla 15: Determinación de distancia crítica, aplicando el modelo de Campo Lejano al 90% de confiabilidad con respecto a la Normativa USBM RI 8507	97
Tabla 16: Determinación de distancia crítica, aplicando el modelo de Campo Lejano al 90% de confiabilidad con respecto a la Normativa DIN 4150	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localización.....	17
Figura 2:Reacción de un Explosivo en función de la velocidad.....	20
Figura 3:Zonas del proceso de detonación del explosivo.....	21
Figura 4:Selección de un Explosivo en Base a sus Propiedades y Características.....	22
Figura 5: Influencia del diámetro de la carga sobre la velocidad de detonación.....	23
Figura 6:Componentes Quantex73.....	30
Figura 7: Emulsiones en la industria de los Explosivos.....	31
Figura 8: Reacción de dos componentes (emulsión gasificada).....	31
Figura 9: Distribución de la Energía Explosiva.....	35
Figura 10:Fases de la Mecánica de Rotura de un Taladro Sin Cara Libre.....	36
Figura 11: Fases de la Mecánica de Rotura de un Taladro con Cara Libre.....	37
Figura 12: Direccionamiento del desplazamiento hacia la Cara libre.....	41
Figura 13: Desplazamiento del Material Volado.....	42
Figura 14: Patrón de Burden Y Espaciamiento.....	45
Figura 15:Ventajas de la perforación inclinada.....	47
Figura 16:Nomenclatura de una Voladura de Banco.....	49
Figura 17: Secuencias de Salida de una Voladura.....	52
Figura 18:Parámetros que afectan al rendimiento de una voladura.....	54
Figura 19:Ciclo de esfuerzo sobre la roca, compresión seguida por tensión.....	55
Figura 20:Amplitudes de Onda, A1 y A2.....	57
Figura 21:Onda completa de vibración.....	57
Figura 22:Estimación de la Vp usando dos geófonos separados a 300 metros.....	59
Figura 23:Las tres componentes de Vibración en el Interior del Macizo, sometido a la detonación de la carga.....	60
Figura 24: Ondas Internas y Ondas Superficiales.....	61
Figura 27:Rango de PPV en diferentes rocas y diferentes pesos de carga de explosivo.....	64
Figura 28: Onda sinusoidal y sus parámetros.....	65
Figura 29: Punto de la Velocidad Pico Partícula - Velocidad Máxima.....	66
Figura 30: Monitoreo de un Evento.....	69
Figura 31: Geófono Instalado en punto de Monitoreo.....	70
Figura 32: Cables colocados al equipo de Adquisición y al Geófono.....	70
Figura 33: Equipo de Adquisición.....	71
Figura 34: Pc para el vaciado y procesamiento de datos.....	71
Figura 35:Límites Permisibles de PPV – Normativa Peruana.....	72

Figura 36: Normativa USBM RI 8507.....	73
Figura 37: Normativa USBM RI 8507.....	73
Figura 38 : Norma DIN – 4150 - Alemana.....	74
Figura 39 : Norma OSM - Norteamérica.....	74
Figura 40 : Archivo en Excel del Diseño de carga - Quantex73.....	79
Figura 41: Modelo de Campo Lejano ajustada a una ecuación línea en archivo Excel - 50%.....	81
Figura 42: Estimación del PPV, aplicando los modelos de Campo Lejano al 50% y 90% de Confiabilidad.....	83
Figura 43 : Archivo en Excel del Diseño de carga – Emulsión 100%.....	84
Figura 44. Datos obtenidos en campo usando el explosivo Emulsión 100%.	85
Figura 45: Modelo de Campo Lejano ajustada a una ecuación línea en archivo Excel.....	87
Figura 46: Estimación del PPV, aplicando los modelos de Campo Lejano al 50% y 90% de Confiabilidad.....	89
Figura 47 Determinación de distancia critica, aplicando el modelo de Campo Lejano al 90% de confiabilidad.....	93
Figura 48: Determinación y Medición de Vibraciones a campo lejano según modelamiento, normativa Nacional e Internacional y Mediciones en Campo.	94
Figura 49: Modelo de Vibraciones - Norma DIN 4150.....	95
Figura 50: Determinación de distancia critica, aplicando el modelo de Campo Lejano al 90% de confiabilidad.....	99
Figura 51: Determinación y Medición de Vibraciones a campo lejano según modelamiento, Normativa Nacional e Internacional y Mediciones en Campo.	100
Figura 52: Análisis de Emulsión100% y límites de la norma DIN 4150.....	101

RESUMEN

En la actualidad, en el sector minero existe una serie de problemas a los que se enfrenta operativa y socialmente, uno de los problemas es la generación de vibraciones que son una consecuencia de las voladuras, éstas pueden causar molestia y en gran escala pueden dañar las construcciones cercanas de algunas viviendas aledañas al proyecto, es por esto que la presente tesis tiene como objetivo encontrar las distancias críticas a campo lejano en las que puede ser utilizado un explosivo sin superar los límites permisibles en vibraciones preestablecidos en Minera Yanarrumi en relación a la normativa peruana, americana y alemana.

La presente tesis se enfoca principalmente en las variables que dependen directamente en obtener el valor de la velocidad pico partícula, siendo muy importante el acoplamiento de taladros o también llamado la carga operante, por lo cual consideramos un valor crítico de 3 taladros acoplados, también el tipo de explosivo que se utilizará y sin poder dejar de lado a las variables que no se las puede controlar totalmente que son las condiciones geológicas y valores de atenuación del terreno y parámetros de la roca, todas estas condiciones son analizadas a través de un modelo de predicción a Campo Lejano , nos referimos al modelo de campo lejano de Devine y Duball, formulado en 1963.

En el análisis de datos, al obtener valores de ppv de ambos explosivos Quantex73 y Emulsión100%, se generan modelos predictivos, basándonos en el modelo mencionado, ajustado al 90% de confiabilidad que nos indica al utilizar la mezcla explosiva Quantex73 , con tres taladros acoplados equivalente a 1482 kg de explosivo, la distancia crítica obtenida es de 582 metros teniendo como limite la normativa peruana que indica que para una distancia de 301 a 5000 pies (91.74 – 1524)metros, no debe sobrepasar un ppv de 25.4 mm/s y al analizar el mismo explosivo en base a una norma internacional, y con fines de esta tesis se trabajó con la norma americana USBM RI 8507, que establece un valor límite de ppv de 12.5 mm/s para una baja frecuencia menor a 40 hertz, en tal caso la distancia crítica obtenida fue de 752 metros, y también en base a la Norma Alemana DIN 4150 , en relación a sus niveles de vibración tipo III(edificios históricos o por su construcción son sensibles a la vibración), establece un límite de 3mm/s, siendo la distancia crítica para esta norma, 1252 metros. Utilizando el segundo explosivo Emulsión 100% con tres taladros acoplados equivalente a 945 kg de explosivo, se obtuvo con la normativa peruana una distancia crítica de 188 metros, con la normativa americana un valor de 340 metros y en la normativa alemana 1122 metros. Donde se cumple que el nivel de vibraciones se encuentra por debajo de los límites de las normas estudiadas en relación al centro poblado de Shuctuloma, que se encuentra a 1370 metros del tajo.

ABSTRACT

The mining sector faces multiple challenges nowadays, both operational and social. One of them is the generation of vibrations as a consequence of blasting, which can cause discomfort and on a large scale, they can damage nearby buildings, such as houses near the project; that's why this thesis aims to find critical distances where an explosive can be used without exceeding the pre-established permissible vibration limits in Yanarrumi Mine, according to Peruvian and American standards.

This thesis focuses mainly on variables that directly depend on peak particle velocity, where the coupling of drills is very important (also known as 'operating load'). This thesis considers the load of 3 coupled drills, the type of explosive, other variables that cannot be controlled, geological conditions and values of ground attenuation and rock parameters; all these conditions were analyzed through a model of far field prediction: Divine and Duball model, formulated in 1963.

After performing the data analysis with both explosives: Quantex73 and Emulsion100%, their VPP values were obtained and compared with the Divine predictive model, obtaining some models that when adjusted to 90% confidence indicate that When using the explosive mixture Quantex73 the critical distance obtained is of 582 meters having as limit the Peruvian norm that indicates that for a distance of 301 to 5000 feet (91.74 – 1524) meters, should not exceed a PPV of 25.4 mm/s and when analyzing the same explosive Based on an international standard, and for the purposes of this thesis was worked with the American Standard USBM RI 8507, which establishes a PPV limit value of 12.5 mm/s for a low frequency less than 40 hertz, in which case the critical distance obtained was 752 meters , and also on the basis of the German standard DIN 4150, in relation to its levels of vibration type III for delicate structures, it establishes a limit of 3mm/s, being the critical distance for this standard, 1252 meters. Using the second explosive emulsion 100% was obtained with the Peruvian standard a critical distance of 188 meters, with the American Regulation a value of 340 meters and in the German regulations 1122 meters. These data were obtained taking into account that, for the quantex73, it was considered a load of 494kg and for the explosive emulsion 100%, a load of 315 kg.

NOTA DE ACCESO

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales

REFERENCIAS

- Aguilar, M., & Chilón, F. (2017). *Estimación de Presiones Dinámicas Inducidas por Voladura para Definir Distancias Críticas para Detonadores Electrónicos Daveytronic en Tajo la Quinua Yanacocha*. Cajamarca: Tesis de Grado - UPN.
- Anicama Lujan, A. H. (2010). *Monitoreo De Los Efectos De Las Vibraciones Producida Por La Voladura De Rocas, El Modelo De Vibración Colque*. Lima, Perú: Tesis de Grado - Maestría - UNI.
- Bernaola Alonso, J., Castilla Gómez, J., & Herrera Herbert, J. (2013). *Perforación y Voladura de Rocas en Minería*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas.
- Blast Dynamics. (2006). Seminario " Técnicas eficientes de Voladura y Técnicas de control de Dños en Taludes". Santiago de Chile, Chile.
- Choquehuanca, N. (2015). *Sistema Integrado en Prevención y Control de Pérdidas Para La Ejecución del P.A.D. La Quinua 8A E.E. Angeles M y C S.A.C. Minera Yanacocha*. Arequipa.
- CINTEX. (Abril de 2006). *Manual de Monitoreo de Vibraciones Generadas por Tronaduras, Análisis y Modelamiento*. Chile.
- Codelco. (s.f.). *Codelco Educa*. Obtenido de https://www.codelcoeduca.cl/procesos_productivos/tecnicos_extraccion_explosivospropiedades.asp
- Contreras, J. L. (2012). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. Venezuela: Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería.
- Cruzado, F., & Diaz, K. (2017). *Análisis De La Maxima Carga Operante En Las Vibraciones A Campo Lejano Generadas Por Voladura En Minera Cerro Negro S.A. Cajamarca - 2017*. Cajamarca, Perú: Tesis de Grado - UPN.
- Dávila Abellán, A. (2013). *Estudio De Los Riesgos Generados Por Agentes Químicos En La Fabricación De Explosivos*. España.
- Enaex. (2009). *Emulsiones Explosivas en Colombia*.
- Enaex S.A. (2014). *Manual de Tronadura Enaex S.A.*
- Exsa S.A. (2013). *Manual Práctico de Voladura* (4ta Edición ed.). Berbera Editores S.A.
- Exsa S.A. (2017). *Quantex73*. Lima. Obtenido de <https://exsa.net/productos/public/doc/QUANTEX%2073.pdf>
- Exsa S.A. (2017). *www.Exsa.net*. Obtenido de https://exsa.net/productos/public/doc/SLURREX_G.pdf
- Famesa Explosivos. (2009). *La Emulsión Gasificada: Un Explosivo Eficiente Para Reducir Los Costos De Voladura A Tajo Abierto*. Arequipa: PERUMIN - 29 Convención Minera.
- Farje Vergaray, I. (2006). *Perforación y Voladura en Minería a Cielo Abierto, Capítulo 2. Criterios Para Determinar los Parámetros de Perforación*. Lima.
- GeoBlast S.A./GoldFields La cima S.A.A. (2012). *Control de vibraciones generadas por voladura del Pit Cerro Corona sobre la ciudad de Hualgayoc en Cajamarca, Perú*.
- Giraldo, F. A. (2010). *Control De Vibraciones Para Casas De Tierra En Peru*. Lima, Perú: Tesis de Grado - UNI.
- Hinostroza, J. R. (2014). *Optimización De La Fragmentación En Las Rocas Con La Aplicación De La Doble Iniciación Electrónica En La Explotación De Cobre Porfirítico A Cielo Abierto*. Lima, Perú: UNMSM, Tesis de Grado.
- Instantel. (2013). *Minimate Plus, Operator Manual*. Ottawa, Canada. Obtenido de www.instantel.com
- López Jimeno, C., López Jimeno, E., & García Bermudez, P. (2003). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas, I.T.G.E.* Madrid.

- MEM - Perú. (Setiembre de 1995). Guia Ambiental Para La Perforación Y Voladura En Operaciones Mineras. Lima, Perú.
- Pascual de Blas, J. (2003). Problemática De Las Vibraciones En Las Voladuras. Medición, Control Y Regulación Legal. España: Union española de Explosivos S.A.
- Peña, Y. J. (2014). Modelamiento, Monitoreo Y Control De Las Vibraciones Para Evitar Daños Inducidos Por La Voladura De Rocas De Una Operación Minera Superficial. Lima, Perú: Tesis de Grado - UNI.
- Peralta, G., & Mojica, R. (2008). Características Y Control De Las Vibraciones Producidas Por Acción De Las Voladuras En Minas A Cielo Abierto. España: UPTC- Escuela de Ingeniería de Minas.
- Saavedra Morales, O. (2013). Análisis de Ondas Sísmicas en Entorno Matlab. México: Instituto Politecnico Nacional - Tesis de Grado.
- Scherpenisse, Silva, Music, & Humeres. (2008). *Estrategia a la Problemática Ambiental de Vibraciones por Tronadura en Operaciones Mineras*. Chile. Obtenido de <http://www.geoblast.cl/pdfs/nl05-10-asiex.pdf>
- Silva, M., Zapata, L., & Santana, J. (2017). *Manual Tecnología Quantex*. Lima.
- Vilela Sangay, W. P. (2014). *Análisis de Factibilidad para el uso de Anfo Pesado a Base de Emulsión Gasificable en Minera Yanacocha*. Lima: Tesis de Grado - PUCP.