



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“APLICACIÓN DE RIOFLEX EN TAJO ABIERTO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS DE VOLADURA EN MINERA YANACOCHA, CAJAMARCA 2018”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Liseth Samán Llanos

Bach. Max Jhonatan Bazán Rodríguez

Asesor:

Ing. Alex Patricio Marinovic Pulido

Cajamarca – Perú

2018

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	15
2.1. ANTECEDENTES.....	15
2.1.1. A NIVEL INTERNACIONAL.....	15
2.1.2. A NIVEL NACIONAL.....	15
2.2. BASES TEÓRICAS.....	16
2.2.1. VOLADURA DE ROCAS.....	16
2.2.2. PARÁMETROS DE LAS VOLADURAS EN BANCO.....	16
2.2.3. GENERALIDADES Y FUNDAMENTOS DE EXPLOSIVOS.....	19
2.2.4. EXPLOSIVOS EN VOLADURA.....	20
2.2.5. PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS.....	20
2.2.6. TERMOQUÍMICA DE LOS EXPLOSIVOS Y PROCESO DE DETONACIÓN:.....	28
2.2.7. TIPOS EXPLOSIVOS.....	35
2.2.8. ACCESORIOS DE VOLADURA.....	43
2.2.9. MECANISMO DE FRAGMENTACIÓN DE LA ROCA.....	46
2.2.10. PLANTILLAS PARA VOLADURAS Y CONFIGURACIONES DE SECUENCIAS DE DETONACIÓN.....	53
2.2.11. ONDAS SÍSMICAS.....	60
2.2.12. INDICADORES DE GESTIÓN (KPIs).....	82
2.2.12.2.3. Fragmentación.....	83
2.2.12.2.4. Costos de Voladura & Perforación.....	83
2.2.12.2.5. Velocidad de detonación.....	83
2.2.12.2.6. Índice de fallas de sistema de iniciación.....	84
2.2.13. Control de Vibraciones.....	84
2.3. HIPÓTESIS.....	84
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	85
3.1. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	85
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	86

3.3.	UNIDAD DE ESTUDIO.....	86
3.4.	POBLACIÓN.....	86
3.5.	MUESTRA	86
3.6.	TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS ..	87
3.6.1.	TÉCNICAS.....	87
3.6.2.	INSTRUMENTOS.....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.7.	MÉTODOS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS	93
CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....		94
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN		111
CONCLUSIONES		113
RECOMENDACIONES.....		114
REFERENCIAS		115
ANEXOS		116

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: Clasificación de gases según norma Australiana.	28
TABLA 2: Densidad de Rioflex 5000	42
TABLA 3: Densidad de Rioflex 7000	43
TABLA 4: Valores orientados de la RCS para algunos tipos de rocas.....	50
TABLA 5: Normativa peruana de vibraciones.....	75
TABLA 6: Norma Alemana DIN4150.....	77
TABLA 7: Norma Alemana DIN4750.....	77
TABLA 8: Valores representativos de la directriz, Alemana.....	78
TABLA 9: Norma UNE 22.381.93.....	79
TABLA 10: Norma UNE 22.381.93.....	79
TABLA 11: Valores representativos de la normativa Americana (USBM).....	81
TABLA 12: Valores representativos del office of Surface Mining (OSM).....	81
TABLA 13: KPIs de voladura de Minera Yanacocha.....	82
TABLA 14: Densidad según el tipo de roca.....	87
TABLA 15: Estándar del diseño de malla del tajo Yanacocha.....	87
TABLA 16: Estándar del diseño de malla del tajo Tapado Oeste.....	87
TABLA 17: RESULTADO DE FACTOR DE POTENCIA.....	94
TABLA 18: RESULTADOS DE FACTOR DE POTENCIA POR VOLADURA	95
TABLA 19: RESULTADOS SAFETY & ENVIRONMENT: SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE.....	96
TABLA 20: RESULTADOS DE CUMPLIMIENTO DE COMPROMISO.....	97
TABLA 21: RESULTADOS DE LAS CAUSAS Y CONTROLES PARA LA GENERACIÓN DE HUMOS.....	98
TABLA 22: RESULTADOS MISFARE RATE: TIROS CORTADOS (RIOTRONIC).....	99
TABLA 23: RESULTADOS INSTANT DIGGABILITY RATE (IDR): PRODUCTIVIDAD DE LA PALA.....	101
TABLA 24: RESULTADOS DE DIG RATE POR VOLADURA EN TAPADO OESTE.....	102
TABLA 25: DIG RATE HISTÓRICO DE YANACOCHA.....	102
TABLA 26: RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN DEL DIG RATE HISTÓRICO DE YANACOCHA VS DIG RATE MAXAM.....	102
TABLA 27: RESULTADOS DE AUMENTO DEL DIG RATE EN LA PALA SH005 Y SH007.....	103
TABLA 28: RESULTADOS DE LA FRAGMENTACIÓN.....	104
TABLA 29: RESULTADOS FACTOR DE POTENCIA VS FRAGMENTACIÓN.....	105
TABLA 30: RESULTADOS COSTO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA.....	106
TABLA 31: RESULTADOS DE COSTO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA.....	107
TABLA 32: RESULTADOS DE LAS TONELADAS QUE SE VAN A VOLAR EN EL 2018.....	107
TABLA 33: RESULTADOS DE AHORROS GENERADOS POR MAXAM.....	107
TABLA 34: RESULTADOS DE VELOCIDAD DE DETONACIÓN.....	107
TABLA 35: RESULTADOS DE LA VELOCIDAD DE DETONACIÓN POR VOLADURA.....	108
TABLA 36: RESULTADOS CONTROL DE VIBRACIONES.....	109
TABLA 37: RESULTADOS DE LAS VIBRACIONES OBTENIDAS.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Parámetros de la voladura en bancos	17
FIGURA 2: Parámetros que afectan el rendimiento de una voladura	18
FIGURA 3: Influencia del diámetro de la carga sobre la velocidad de detonación (Ash, 1977)	21
FIGURA 4: Curvas de densidad de una emulsión en función de la profundidad de los barrenos.	23
FIGURA 5: Velocidad de detonación del ANFO en función de la densidad	26
FIGURA 6: Humos de voladura.....	27
FIGURA 7: Desarrollo de una detonación	30
FIGURA 8: Proceso de detonación de una carga explosiva	31
FIGURA 9: Detonación de una carga sin confinar (Nitro-Nobel).....	32
FIGURA 10: Perfil de presiones en la detonación de una columna de explosivo.	33
FIGURA 11: Agentes explosivos acuosos producidos a partir del NA.....	38
FIGURA 12: Temperatura de cristalización del sistema NA/NS/AGUA según la composición y densidad.....	38
FIGURA 13: Influencia de la densidad de los hidrogeles sobre la velocidad de detonación y sensibilidad.....	40
FIGURA 14: Explosivo antes del reticulado	41
FIGURA 15: Explosivo después del reticulado	42
FIGURA 16: Detonador Riotronic	46
FIGURA 17: Esfuerzo generados en función del tiempo diferente distancias el centro del barreno.....	47
FIGURA 18: Tipos de fisuras en las proximidades del barreno.....	48
FIGURA 19: Agrietamiento debido a la tracción generada por la onda reflejada.....	49
FIGURA 20: Influencia de la estratificación del macizo rocoso en la voladura.....	51
FIGURA 21: Propagación de la onda de compresión y tensión.....	52
FIGURA 22: Expansión de los gases.	52
FIGURA 23: Movimiento del material	53
FIGURA 24: Plantilla rectangular B<E.....	54
FIGURA 25: Plantilla en tresbolillo B<E	54
FIGURA 26: Plantilla rectangular.....	55
FIGURA 27: Plantilla en tresbolillo.....	55
FIGURA 28: Con plantilla rectangular	56
FIGURA 29: Con plantilla en tresbolillo.	56
FIGURA 30: Corte en cajón con retardo progresivo.....	58
FIGURA 31: Corte en V con esquina en ángulo, demostrado la iniciación progresiva de los retardos.....	58
FIGURA 32: Corte en diagonal o en Echelón.....	59
FIGURA 33: Corte en tresbolillo en ángulo a la esquina.....	59
FIGURA 34: Corte en esquina con retardo progresivo.....	60
FIGURA 35: Ciclo de esfuerzo sobre la roca, compresión seguida por tensión.....	61
FIGURA 36: Nivel de Frecuencia.	62
FIGURA 37: Amplitudes de onda.....	63
FIGURA 38: Onda completa de vibración	63
FIGURA 39: Longitud de Onda.	64
FIGURA 40: Velocidad de Propagación en el InstanTEL.	64
FIGURA 41: Ondas vibracionales (Ondas Internas y Superficiales).....	65
FIGURA 42: Calculando la Velocidad Peak de la Partícula.	66
FIGURA 43: Modelo de campo cercano de Holmberg and Persson.	67
FIGURA 44: Monitoreo de Evento.	68
FIGURA 45: Monitoreo de las vibraciones en las tres dimensiones.....	69
FIGURA 46: Transductor, equipo de monitoreo de vibraciones.....	70
FIGURA 47: Micrófono, equipo de monitoreo InstanTEL.....	70
FIGURA 48: Sistema de Cables, equipo de monitoreo InstanTEL.....	71
FIGURA 49: Equipo de Adquisición InstanTEL.....	71
FIGURA 50: Instrumentación para monitorear.	72

FIGURA 51: Monitoreo de Voladura en tiempo real.....	72
FIGURA 52: Interpretación de Vibraciones.....	73
FIGURA 53: Interpretación de la velocidad pico de partícula en la onda sísmica.	74
FIGURA 54: Interpretación de la onda sísmica en las tres componentes.	74
FIGURA 55: Normativa Sueca SS 460 48 66 1991	80
FIGURA 56: Scaled Depth of Burial.....	88
FIGURA 57: Significance of SD	89

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: FICHA TÉCNICA RIOFLEX GX.....	116
ANEXO 2: FICHA TÉCNICA RIOTRONIC	117
ANEXO 3: REPORTE DE VOLADURA N°1	118
ANEXO 4: REPORTE DE VOLADURA N°2.....	119
ANEXO 5: REPORTE DE VOLADURA N°3.....	120
ANEXO 6: REPORTE DE VOLADURA N°4.....	121
ANEXO 7: REPORTE DE VOLADURA N°5.....	122
ANEXO 8: REPORTE DE VOLADURA N°6.....	123
ANEXO 9: REPORTE DE VOLADURA N°7.....	124
ANEXO 10: REPORTE DE VOLADURA N°8.....	125
ANEXO 11: REPORTE DE VOLADURA N°9.....	126
ANEXO 12: REPORTE DE VOLADURA N°10.....	127
ANEXO 13: REPORTE DE VOLADURA N°12.....	128
ANEXO 14: PROCEDIMIENTO PARA EL MONITOREO DE VIBRACIONES.....	129
ANEXO 15: PROCEDIMIENTO PARA EL MONITOREO DE VIBRACIONES.....	130
ANEXO 16: PROCEDIMIENTO PARA EL MONITOREO DE VIBRACIONES.....	131
ANEXO 17: PROCEDIMIENTO PARA EL MONITOREO DE VIBRACIONES.....	132
ANEXO 18: PROCEDIMIENTO PARA EL REGISTRO DE VELOCIDAD DE DETONACIÓN.....	133
ANEXO 19: PROCEDIMIENTO PARA EL REGISTRO DE VELOCIDAD DE DETONACIÓN.....	134
ANEXO 20: PROCEDIMIENTO PARA EL REGISTRO DE VELOCIDAD DE DETONACIÓN.....	135
ANEXO 21: PROCEDIMIENTO PARA EL REGISTRO DE VELOCIDAD DE DETONACIÓN.....	136
ANEXO 22: PROCEDIMIENTO PARA EL REGISTRO DE VELOCIDAD DE DETONACIÓN.....	137
ANEXO 23: PROCEDIMIENTO MUESTREO FOTOGRÁFICO PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	138
ANEXO 24: PROCEDIMIENTO MUESTREO FOTOGRÁFICO PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	139
ANEXO 25: PROCEDIMIENTO MUESTREO FOTOGRÁFICO PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	140
ANEXO 26: PROCEDIMIENTO MUESTREO FOTOGRÁFICO PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	141
ANEXO 27: PROCEDIMIENTO PARA VOLADURAS CON DETONADORES ELÉCTRICOS.....	142
ANEXO 28: PROCEDIMIENTO PARA VOLADURAS CON DETONADORES ELÉCTRICOS.....	143
ANEXO 29: PROCEDIMIENTO PARA VOLADURAS CON DETONADORES ELÉCTRICOS.....	144
ANEXO 30: PROCEDIMIENTO PARA VOLADURAS CON DETONADORES ELÉCTRICOS.....	145
ANEXO 31: PROCEDIMIENTO PARA VOLADURAS CON DETONADORES ELÉCTRICOS.....	146

RESUMEN

La minería a tajo abierto son operaciones que pueden enfocarse como un sistema de consumo energético secuencial. Los consumos individuales de cada operación unitaria son los factores ponderados de la sostenibilidad y la eficiencia del proceso. La industria minera sabe que la mayor energía está concentrada en la minería en el proceso de trituración, en el petróleo, la electricidad y explosivos lo que nos lleva a comprender que un aporte de energía más intenso en la voladura presentará un impacto global más significativo. Esto nos lleva a la búsqueda de un explosivo que tenga mayor poder energético y de esta manera optimizar costos en el proceso de fragmentación de la roca.

La presente tesis muestra los beneficios que el explosivo a granel "RIOFLEX" puede proporcionar a la Unidad Minera Yanacocha, por lo tanto, el objetivo de este trabajo es evaluar los resultados técnico/económicos de las pruebas realizadas usando RIOFLEX en la mina a tajo abierto de acuerdo a los KPIs establecidos.

Inicialmente, se realizan pruebas de voladura utilizando el Hidrogel en diferentes tajos y con diferente dureza de roca, las cuales muestran resultados favorables, asimismo se realizaron estudios de las variables de cada voladura como por ejemplo la estimación de la tasa de excavación, analizar la fragmentación y sus ratios, interpretar la velocidad de detonación, además analizar las vibraciones generadas por el uso del explosivo, logrando de esta manera obtener resultados como la reducción de costos y el aumento de la productividad.

Finalmente se obtuvo los resultados de las pruebas dentro de los KPIs establecidos, incluso mejorando alguno de ellos, con la ampliación de malla en un 12.2%.

Palabras claves: *Voladura, tasa de excavación, Hidrogel, Rioflex, KPIs, fragmentación, detonación.*

ABSTRACT

Open pit mining are operations that can be focused as a sequential energy consumption system. The individual consumptions of each unit operation are the weighted factors of the sustainability and the efficiency of the process. The mining industry knows that the greatest energy is concentrated in mining in the crushing process, in oil and electricity and explosives, which leads us to understand that a more intense contribution of energy in the blasting will have a more significant global impact. This leads us to the search for an explosive that has greater energetic power and in this way optimize costs in the process of fragmentation of the rock.

This thesis shows the benefits that the bulk explosive "RIOFLEX" can provide to the Yanacocha Mining Unit, therefore, the objective of this work is to evaluate the technical / economic results of the tests carried out using RIOFLEX in the open pit mine according to the established KPIs.

Initially, blasting tests are carried out using the Hydrogel in different pits and with different rock hardness, which show favorable results, as well as studies of the variables of each blasting such as the estimation of the excavation rate, analyzing the fragmentation and its ratios, interpreting the speed of detonation, in addition to analyzing the vibrations generated by the use of the explosive, thus achieving results such as cost reduction and increased productivity.

Finally, the results of the tests within the established KPIS were obtained, even improving some of them, with the mesh enlargement by 12.2%.

Keywords: Blasting, excavation rate, Hydrogel, Rioflex, KPIs fragmentation, detonation.

NOTA DE ACCESO

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales

REFERENCIAS

- Bernaola Alonso, J., Castilla Gómez, J., & Herrera Herbert, J. (2013). *PERFORACIÓN Y VOLADURA DE ROCAS EN MINERÍA*. Madrid.
- Bernaola Alonso, J., Castilla Gómez, J., & Herrera Herbert, J. (8 de Agosto de 2013). *PERFORACIÓN Y VOLADURA DE ROCAS EN MINERÍA*. Madrid. Obtenido de Seguridad Minera: <http://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/parametros-en-la-voladura-de-rocas/>
- CHIAPPETTA, F. (2016). *NEW INNOVATIVE BLASTING TECHNIQUES TO IMPROVE FRAGMENTATION, FINAL HIGHWALLS AND PLANT THROUGHPUT*. ALLENTOWN PENNSYLVANIA, U.S.A.
- CINTEX, C. d. (2006). *Manual de Monitoreo de Vibraciones Generadas por Tronaduras, Análisis y Modelamiento*. Chile : Blastechology A.B.N.
- Code of practice. *Prevention and management of blast generated NOx gases in surface blasting*. (2011).
- Contreras, W. J. (2009). *Selección del explosivo adecuado y carga máxima por retardo usando el monitoreo, modelamiento y análisis de vibraciones*. Lima: San Marcos.
- ENAEX. (2014). *Manual de Tronadura Enaex*. CHILE: Gerencia Técnica ENAEX S.A.
- EXSA SOLUCIONES S.A. (2013). *Manual Práctico de Voladura EXSA*. PERU: CTVE, Centro Tecnológico de Voladura EXSA.
- Fredy, R. P. (2016). *ESTRATEGIAS PARA REDUCIR COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN OPERACIONES MINERAS*. Huaraz-Perú.
- GeoBlast. (2015). *Uso Sismógrafo Instantel. Conferencia de GeoBlast*. Cajamarca - Perú: Publicaciones GeoBlast.
- GIRALDO, F. (2010). *Control de Vibraciones para casas de tierra en Perú*. Lima, Perú: (Tesis de Título Profesional), Universidad Nacional de Ingeniería.
- HERNANDEZ SAMPIERI, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014-6° Edición). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*.
- Kevien, D. C., & Bertier, C. M. (2017). *Análisis de la máxima carga operante en las vibraciones a campo lejano generadas por voladura*. Minera Cerro Negro.
- Konya, C. J. (1998). *Diseño de Voladura* (6 ed.). España: Cuicatl.
- López Jimeno, C., López Jimeno, E., & García Bermudez, P. (2015). *MANUAL DE PERFORACIÓN Y VOLADURA DE ROCAS*. ESPAÑA.
- MAXAM. (2018). *Asistencia Técnica*.
- MAXAM. (2018). *Pruebas de homologación rioflexm Gx*.
- MEDINA CORTEZ, R. (2014). *Evaluación Técnico-Económica-Ecológica de los Resultados de las Pruebas Realizadas Usando Emulsiones Gasificadas En Cujone-Southern Peru*. Lima: Tesis Para Titulación/ Universidad Nacional de Ingeniería.
- MineMate Plus. (2011). *Manual del operador Minemate Plus* (Vol. 4). (C. G. A, Trad.) Chile: Instantel World Leader.
- YANACocha, M. (2016). *Accesorios de voladura. PERFORACIÓN Y VOLADURA*.
- YANACocha, M. (2018). *Base de datos*. Cajamarca.