



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“OPTIMIZACIÓN Y CONTROL DE LA  
FRAGMENTACIÓN DEL MINERAL EN EL  
PROCESO DE MINADO DEL TAJO  
TANTAHUATAY 2 EN EL AÑO 2017”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero de Minas**

**Autores:**

Bach. Jhan Marco Díaz Díaz

Bach. Moisés Salomón Sánchez Llico

**Asesor:**

Ing. Elmer Ovidio Luque Luque

Cajamarca – Perú

2017

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....   | <b>12</b> |
| 1.1. Realidad problemática .....  | 12        |
| 1.2. Formulación del problema .....   | 13        |
| 1.3. Justificación .....  | 13        |
| 1.4. Limitaciones.....  | 13        |
| 1.5. Objetivos.....   | 13        |
| 1.5.1. Objetivo general.....  | 13        |
| 1.5.2. Objetivos específicos.....   | 14        |
| <b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO</b> .....  | <b>14</b> |
| 2.1. Antecedentes.....  | 14        |
| 2.2. Bases teóricas.....  | 17        |
| 2.2.1. Historia del Proyecto.....   | 17        |
| 2.2.2. Ubicación.....   | 17        |
| 2.2.3. Geología regional .....  | 18        |
| 2.2.4. Geología local.....  | 20        |
| 2.2.5. Yacimiento minero .....  | 20        |
| 2.2.6. Explosivos.....  | 24        |
| 2.2.7. Propiedades de los explosivos .....  | 31        |
| 2.2.8. Criterios de selección de explosivos.....  | 33        |
| 2.2.9. Accesorios de iniciación .....   | 34        |
| 2.2.10. Sistemas de detonación .....  | 34        |
| 2.2.11. Secuencia de detonación .....   | 44        |
| 2.2.12. Selección de retardo.....   | 49        |
| 2.2.13. El efecto de los parámetros controlables de voladura sobre la fragmentación ..... | 49        |
| 2.2.14. Efecto de los parámetros no controlables de voladura sobre la fragmentación ..... | 66        |
| 2.2.15. Evaluación de los resultados de la voladura.....                                  | 67        |
| 2.2.16. Análisis de la fragmentación de Rocas.....  | 67        |
| 2.2.17. Análisis de la fragmentación de rocas en Minera Coimolache.....                   | 74        |
| 2.2.18. Análisis de fragmentación portátil .....  | 77        |
| 2.2.19. Tablet “PortaMetrics” .....   | 78        |
| 2.2.20. Vibraciones inducidas por voladura .....  | 86        |
| 2.2.21. Definición de términos básicos. ....  | 97        |
| 2.3. Hipótesis.....   | 97        |
| <b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA</b> .....  | <b>98</b> |
| 3.1. Operacionalización de variables.....   | 98        |
| 3.1.1. Variable independiente .....   | 98        |
| 3.1.2. Variable dependiente.....  | 99        |
| 3.2. Diseño de investigación.....   | 99        |
| 3.3. Unidad de estudio.....   | 99        |

|                                     |   |            |
|-------------------------------------|---|------------|
| 3.4.                                | Población.....  | 100        |
| 3.5.                                | Muestra (muestreo o selección) .....                                  | 100        |
| 3.6.                                | Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos ..... | 100        |
| 3.7.                                | Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos.....      | 100        |
| <b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS .....</b> |   | <b>101</b> |
| 4.1.                                | Reducción de taco y aumento de densidad del explosivo .....           | 101        |
| 4.2.                                | Disparos con doble primado .....                                      | 106        |
| 4.3.                                | Pruebas de retención de taco.....                                     | 107        |
| 4.3.1.                              | Pruebas realizadas .....  | 108        |
| 4.4.                                | Costos de voladura con las implementaciones aplicadas.....            | 128        |
| 4.4.1.                              | Pruebas con doble primado .....                                       | 128        |
| 4.4.2.                              | Pruebas con detritus de perforación y stemming .....                  | 129        |
| 4.4.3.                              | Pruebas con retenedor de taco spider .....                            | 130        |
| 4.5.                                | Reducción de la fragmentación .....                                   | 131        |
| 4.6.                                | Pruebas de análisis de fragmentación de roca .....                    | 132        |
| 4.6.1.                              | Análisis con Split.....   | 132        |
| 4.6.2.                              | Análisis con PortaMetrics.....  | 134        |
| <b>CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN .....</b>  |   | <b>138</b> |
| <b>CONCLUSIONES .....</b>           |   | <b>141</b> |
| <b>RECOMENDACIONES .....</b>        |   | <b>143</b> |
| <b>REFERENCIAS.....</b>             |   | <b>144</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                 |   | <b>146</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 1: Parámetros de Resistencia Cortante - Criterio de Falla de Hoek-Brown.....  | 22  |
| Tabla 2: Especificaciones Técnicas del N-20.....  | 30  |
| Tabla 3: Reporte de Fragmentación del mes de Junio.....   | 76  |
| Tabla 4: Partes de tablet PortaMetrics .....  | 80  |
| Tabla 5: Funciones de cada elemento .....   | 80  |
| Tabla 6: Funciones en el visor de imágenes .....  | 81  |
| Tabla 7: Funciones en vista de edición manual.....  | 82  |
| Tabla 8: Funciones en vista de análisis.....  | 84  |
| Tabla 9: Normatividad internacional de vibraciones .....  | 93  |
| Tabla 10: Visión sinóptica de las normas internacionales.....   | 93  |
| Tabla 11: Valores de velocidad máximos en mm/s y frecuencias para la prevención de daños según la norma Española UNE 22-381-93..... | 95  |
| Tabla 12: Resumen de los valores indicativos de la norma DIN 4150 .....   | 96  |
| Tabla 13: Valores guía máximos para velocidad de partícula DIN4150: 1999.....   | 97  |
| Tabla 14: Resultados obtenidos en la evaluación .....   | 105 |
| Tabla 15: Especificaciones de disparo con doble primado.....  | 106 |
| Tabla 16: Cuadro resumen del análisis de fragmentación con las densidades.....  | 107 |
| Tabla 17: Resultados de tiempo de retención para taladros cargados con y sin retenedor de taco spider, para taco de 3m.....         | 121 |
| Tabla 18: Resultados de tiempo de retención para taladros cargados con y sin retenedor de taco spider, para taco de 2.8m.....       | 122 |
| Tabla 19: Resultados de tiempos de retención de taladros tapados con stemming y detritus de perforación .....                       | 127 |
| Tabla 20: Costos por taladro con carga tradicional y con doble primado .....  | 128 |
| Tabla 21: Costos por taladro con taco de detritus y stemming.....   | 129 |
| Tabla 22: Costos por taladro con y sin retenedor de taco Spider.....  | 130 |
| Tabla 23: Especificaciones técnicas para la reducción de la fragmentación .....   | 132 |
| Tabla 24: Beneficios económicos por reducción de la fragmentación .....   | 132 |
| Tabla 25: Especificaciones del lugar donde se tomaron las fotografías .....   | 133 |
| Tabla 26: Resultados obtenidos de P80 y P90 con Split.....  | 134 |
| Tabla 27: Especificaciones del lugar donde se tomaron las fotografías .....   | 134 |
| Tabla 28: Porcentaje de rocas según rango de tamaños .....  | 136 |
| Tabla 29: Resultados obtenidos de P90, P80, P70, P60, P50, P40, P30 con PortaMetrics .....  | 137 |
| Tabla 30: Resultados obtenidos de tiempo de retención de taladros 183 y 184 .....   | 138 |
| Tabla 31: Resultados obtenidos de tiempo de retención de taladros 185 y 186 .....   | 139 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Ubicación del Proyecto Minero Tantahuatay.....  | 18 |
| Figura 2: Geología regional del proyecto minero Tantahuatay.....  | 19 |
| Figura 3: Modelo Geológico Conceptual del proyecto minero Tantahuatay .....   | 20 |
| Figura 4: Sección del tajo Tantahuatay 2 con alteraciones geológicas .....  | 21 |
| Figura 5: Secciones A, B,C, D, E, F de RQD de los taludes del tajo Tantahuatay 2 .....  | 23 |
| Figura 6: Esponjamiento del SAN-G .....   | 27 |
| Figura 7: Energía del SAN-G en función a la VOD y densidad .....  | 28 |
| Figura 8: VOD vs densidad del explosivo.....  | 31 |
| Figura 9: Efecto de la presión del explosivo en diferentes diámetros de taladros .....  | 32 |
| Figura 10: Características técnicas de un detonador eléctrico .....   | 36 |
| Figura 11: Características técnicas de un detonador no eléctrico .....  | 37 |
| Figura 12: Sistema tradicional de iniciación no eléctrica .....   | 38 |
| Figura 13: Sistema silencioso de iniciación no eléctrica.....   | 39 |
| Figura 14: Características técnicas de un detonador electrónico .....   | 41 |
| Figura 15: Sistema hardware Daveytronic (PU, Blast Driver y Blaster) .....  | 42 |
| Figura 16: Resultado en detonadores no eléctricos para períodos cortos y largos. ....   | 42 |
| Figura 17: Resultado en detonadores electrónicos para períodos cortos y largos. ....  | 43 |
| Figura 18: Análisis de dispersión en detonadores pirotécnicos.....  | 43 |
| Figura 19: Análisis de dispersión en detonadores pirotécnicos y electrónicos .....  | 44 |
| Figura 20: Diseño para controlar la dilución del mineral.....   | 45 |
| Figura 21: Secuencia de detonación con Blastplan.....   | 46 |
| Figura 22: Líneas de isotiempo y alivio .....   | 46 |
| Figura 23: Calculo de tiempos de detonación en Blastplan.....   | 47 |
| Figura 24: Análisis de acople de barrenos con Blastplan .....   | 48 |
| Figura 25: Programación de detonadores .....  | 48 |
| Figura 26: Conexión del proyecto de voladura .....  | 49 |
| Figura 27: Radio de influencia de los taladros sin ninguna desviación (izquierda) y radio de<br>influencia con 30% de desviación del burden en la perforación ..... | 50 |
| Figura 28: Parámetros de diseño de los taladros de producción .....   | 51 |
| Figura 29: Parámetros de diseño de los taladros buffer .....  | 51 |
| Figura 30: Parámetros de diseño de los taladros de Precorte.....  | 52 |
| Figura 31: Vista en planta de la secuencia de los mecanismos de fragmentación, Fase I.....  | 54 |
| Figura 32: Vista en planta de la secuencia de los mecanismos de fragmentación, Fase II.....   | 54 |
| Figura 33: Vista en planta de la secuencia de los mecanismos de fragmentación, Fase III.....  | 54 |
| Figura 34: Vista en planta de la secuencia de los mecanismos de fragmentación, Fase IV .....  | 55 |
| Figura 35: Triángulo de rendimientos de voladuras .....   | 56 |
| Figura 36: Frecuencia vs Amplitud para taladros sin stemming .....  | 58 |
| Figura 37: Frecuencia vs Amplitud para taladros con stemming .....  | 59 |
| Figura 38: Variables del cálculo de SD .....  | 61 |
| Figura 39: Criterio de Scaled Depth of Burial (SD).....   | 62 |
| Figura 40: Ubicación de cámaras de aire en la columna explosiva.....  | 63 |
| Figura 41: Presión con y sin cámara de aire .....   | 64 |
| Figura 42: Perfil de diferentes geometrías y cargas .....   | 64 |
| Figura 43: Aumento de presión con cámara de aire.....   | 65 |
| Figura 44: Objeto regular (Regla) posicionado en la pila .....  | 69 |
| Figura 45: Objeto irregular (esfera) posicionado en la pila .....   | 69 |
| Figura 46: Parámetros del factor de roca "A" .....  | 72 |
| Figura 47: Curva de distribución de tamaños, generado con Split .....   | 75 |
| Figura 48: Delineación de fragmentos con Split en modo manual .....   | 75 |
| Figura 49: Demostración de uso de la tablet en campo .....  | 77 |
| Figura 50: Partes de tablet PortaMetrics .....  | 79 |
| Figura 51: Funciones en la interface de la cámara.....  | 80 |
| Figura 52: Funciones en el visor de imágenes.....   | 81 |
| Figura 53: Funciones en vista de edición manual .....   | 82 |
| Figura 54: Funciones en vista de análisis .....   | 83 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 55: Menú despegable de la nube .....  | 84  |
| Figura 56: Opciones disponibles para crear una cuenta .....  | 85  |
| Figura 57: Ondas de compresión .....   | 87  |
| Figura 58: Ondas de cizalle.....   | 87  |
| Figura 59: Ondas de rayleigh .....   | 88  |
| Figura 60: Ondas love .....  | 88  |
| Figura 61: VPP en un intervalo de tiempo .....   | 90  |
| Figura 62: Frecuencia vs Distancia .....   | 91  |
| Figura 63: Energía vs Frecuencia .....   | 92  |
| Figura 64: Normas internacionales de vibraciones tomadas en cuenta en Minera Coimolache .....  | 94  |
| Figura 65: Criterio de vibración límite de Norma Española UNE 22-381-93 .....  | 94  |
| Figura 66: Criterio de vibración límite de Norma USA USBM RI8507 .....   | 95  |
| Figura 67: Criterio de vibración límite de Norma Alemania, DIN 4150-3 .....  | 96  |
| Figura 68: Diseños de carga para el cambio de densidad del SAN-G .....   | 101 |
| Figura 69: Velocidad de detonación vs Densidad del SAN-G .....   | 102 |
| Figura 70: Ubicación del equipo en el proyecto 034.....  | 102 |
| Figura 71: Registro de densidades del proyecto 034 .....   | 103 |
| Figura 72: VOD resultante con densidad 1.091 gr/cc.....  | 103 |
| Figura 73: Ubicación del equipo en el proyecto 034.....  | 104 |
| Figura 74: Registro de densidades del proyecto 006 .....   | 104 |
| Figura 75: VOD resultante con densidad 1.01 gr/cc.....   | 105 |
| Figura 76: Diseño de carga para las pruebas de doble primado .....   | 106 |
| Figura 77: Consideración del tiempo de retención de taco .....   | 108 |
| Figura 78: Diseño de malla de perforación del proyecto 3940-049 .....  | 109 |
| Figura 79: Diseño de carga del proyecto 3940-049.....  | 110 |
| Figura 80: Diseño de malla de perforación del proyecto 3940-050 .....  | 111 |
| Figura 81: Diseño de carga del proyecto 3940-049.....  | 112 |
| Figura 82: Diseño de malla de perforación del proyecto 3892-25 .....   | 113 |
| Figura 83: Diseño de carga del proyecto 3892-25.....   | 114 |
| Figura 84: Diseño de malla de perforación del proyecto 3932-32 .....   | 115 |
| Figura 85: Diseño de carga del proyecto 3932-32.....   | 116 |
| Figura 86: Diseño de malla de perforación del proyecto 3884-002 .....  | 117 |
| Figura 87: Diseño de carga del proyecto 3884-002.....  | 118 |
| Figura 88: Retenedor de taco "spider" .....  | 119 |
| Figura 89: Prueba de retención de taco del proyecto 3940 -049.....   | 119 |
| Figura 90: Prueba de taladros con retenedores de taco .....  | 120 |
| Figura 91: Prueba de taladros sin retenedor de taco .....  | 120 |
| Figura 92: Diseño de malla de perforación del proyecto 3884-008 .....  | 123 |
| Figura 93: Diseño de carga del proyecto 3884-008.....  | 124 |
| Figura 94: Diseño de malla de perforación del proyecto 3924-027 .....  | 125 |
| Figura 95: Diseño de carga del proyecto 3924-027.....  | 126 |
| Figura 96: Diseño de carga tradicional y diseño con doble primado .....  | 128 |
| Figura 97: Diseños de carga con detritus y stemming.....   | 129 |
| Figura 98: diseños de carga con y sin retenedor de taco spider .....   | 130 |
| Figura 99: Costos por taladro según la prueba realizada.....   | 131 |
| Figura 100: Evolución del P80 del 2016 al 2017 .....   | 131 |
| Figura 101: Superior: fotografías tomadas en campo. Inferior: curva granulométrica y los resultados de P80 y P90 obtenidos con Split. .... | 133 |
| Figura 102: Fotos tomadas en campo y analizadas por la tablet PortaMetrics (foto n° 1).....  | 135 |
| Figura 103: Curva Granulométrica (azul) en comparación con los modelos matemáticos Rosin-Rammner (rojo) y Swebrec (verde) .....            | 135 |
| Figura 104: Histograma generado que muestra el porcentaje acumulado de los valores de predicción de la fragmentación.....                  | 136 |
| Figura 105: Diagrama pastel que muestra los porcentajes según el parámetro de 5 pulgadas ...   | 137 |
| Figura 106: Caso de estudio proyecto 3892-025, taladros 183 y 184 .....  | 138 |
| Figura 107: Tapado de taladros 1 y 2 con mini-cargador .....   | 139 |
| Figura 108: Tapado de taladros 3 y 4 con mini-cargador .....   | 139 |
| Figura 109: A) Detritus. B) Stemming. C) Spider. C) Doble primado.....   | 147 |

## RESUMEN

Con la finalidad de seguir mejorando, optimizar y llevar un control de la fragmentación del mineral, se aplicó pruebas a través de la modificación gradual de los parámetros de perforación y voladura e incorporando nuevos accesorios de voladura, con la finalidad de reducir costos, aumentar la vida útil de los equipos de carguío y acarreo, evitar proyecciones de roca, obtener un P80 óptimo por debajo de 4 pulgadas y de esa manera cumplir con los requerimientos de fragmentación del mineral por parte de operaciones mina y planta de procesos, para ello se realizó pruebas tales como; el aumento de la densidad de la emulsión gasificada SAN-G de 1 a 1.10 g/cc y reducción del taco de 3 a 2.7 m, aplicación de la doble prima en el carguío de taladros, implementación de retenedores de taco Spider, pruebas de tapado de taladros con sílice chancado (stemming) y detritus de perforación, y para la medición de la fragmentación del mineral, se realizaron pruebas con una moderna tablet de análisis de fragmentación portátil en 3D. Los resultados demuestran una reducción de la fragmentación del 10% con el aumento de la densidad, con el doble primado se redujo la fragmentación en un 1.26 %, los taladros cargados con retenedor de taco presentaron en promedio 8.3% más retención, en taladros analizados con la misma altura de taco final, el tiempo de retención de los taladros tapados con detrito de perforación representan en promedio el 26% del tiempo de retención de los tapados con sílice chancado (stemming). Con respecto a la medición de la fragmentación, con la tablet PortaMetrics se obtuvo resultados precisos en comparación con el método convencional con Split. Se logró mantener los valores de vibraciones por debajo de los límites máximos permisibles según las normas internacionales; además de una menor proyección de rocas y menor presencia de polvo, de esta manera no se impactó al medio ambiente y no se generó conflictos sociales por este proceso.

## ABSTRACT

In order to continue improving, optimizing and controlling the fragmentation of the ore, best practices were applied through the gradual modification of drilling and blasting parameters and incorporating new blasting accessories in order to reduce costs, increase the lifespan of loading and hauling equipment and make them meet their ideal cycle, avoid rock projections, get an optimum P80 below 4 inches and thereby meet the requirements of ore fragmentation of mine operations area and process plant. For this purpose, tests were performed, such as increasing the density of the gasified SAN-G emulsion from 1 to 1.10 g / cc and reducing the heel from 3 to 2.7 m, application of the double premium in the boring of drills, implementation of taco spider retainers, drill capping tests with stemming silica and drilling detritus, and for the measurement of mineral fragmentation, tests were performed with a modern 3D portable fragmentation analysis tablet. The results show a reduction of the 10% fragmentation with the increase of the density, with the double primacy, the fragmentation was reduced in a 1.26%, the borers loaded with retaining of taco had on average 8.3% more retention, in drills analyzed with the same final heel height, the retention time of holes drilled with boring debris represent on average 26% of the retention time of the capping with stemming silica. With respect to the fragmentation measurement, the PortaMetrics tablet obtained precise results of analysis of the fragmentation of the mineral, as well as the instantaneous measurement of the slope of the slope in a matter of seconds, without having to put the reference spheres, as in the case of the conventional system with Split. It was possible to keep the vibration values below the maximum permissible limits according to international standards; in addition to a lower flyrock and less presence of dust, this way it was not impacted to the environment and it did not generate social conflicts by this process.



## **NOTA DE ACCESO**

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

## REFERENCIAS

1. A fragmented approach. (2015). *International Mining*, 76.
2. Aguilera, P., & Campos, J. (2008). *Fragmentación: distribución de tamaños o distribución de distribuciones?* Chile.
3. Alberto, J. (2012). *Diseño y Operaciones de Minas a Cielo Abierto*.
4. Albino, E. (28 de octubre de 2013). *Análisis de Fragmentación de Roca*. Obtenido de scribd: <https://es.scribd.com/doc/179697974/Analisis-de-fragmentacion-de-rocas-pptx-Reparado>
5. Cadavid, J. M. (2003). *Vibraciones causadas por actividad humana*. Santiago de Cali: Universidad del Valle.
6. Castro, R. (2007). *Fragmentación de roca para el manejo de materiales*. Obtenido de scribd: <https://es.scribd.com/doc/202433267/Clase-06-Fragmentacion-de-Roca-Para-El-Manejo-de-Materiales>
7. Cotrina, C. Q. (2014). *Monitoreo de vibraciones causadas por voladuras en taludes*. Cajamarca.
8. DaveyBickford. (2013). *Control de vibraciones inducidas por voladura en campo lejano*. Lima.
9. DaveyBickford. (2014). *Explosivos y sistema de iniciación*. Lima.
10. DaveyBickford. (2014). *Medición y análisis de vibraciones terrestres inducidas por tronadura*. Lima.
11. DaveyBickford. (2014). *Medición, análisis y modelamiento de fragmentación por voladura*. Lima.
12. Diaz Martinez, J. C., Guarín Aragón, M. A., & Jiménez Builes, J. A. (2012). *análisis y diseño de la operación de perforación y voladuras en minería de superficie empleando el enfoque de la programación estructurada*. Colombia.
13. Díaz, R. R. (2014). *Reducción de la dilución de carbón aplicando voladura bajo manto*. Lima.
14. DinoConsult, U. . (2016). *Modelos Predictivos de Fragmentación*. Chile.
15. Enaex. (2013). *Manual de Tronadura Enaex*. Chile.
16. EXSA. (2009). *Manual Practico de Voladura*. Lima.
17. EXSA, C. T. (2009). *Diseño de Voladuras*. Lima.
18. Famesa Explosivos S.A.C. (2015). *Uso de Emulsión gasificada SAN-G para reducir los costos de voladura a cielo abierto*. Lima.
19. Famesa Explosivos S.A.C. (s.f.). *SAN-G Emulsión Matriz Gasificable*. Lima.
20. *Fundamentos de la Visión*. (s.f.). Obtenido de <http://www.escet.urjc.es/~visiona/tema6.pdf>
21. Gaona Gonzáles, a. J. (2015). *Optimización de la Voladura, Mina La Virgen - de la Compañía Minera San Simón S.A - Huamachuco, Trujillo*. Trujillo.
22. Geo-Logic. (2015). *Estudio de Estabilidad de Taludes del Tajo Tantahuatay 2 Fase 2, Cono US\$1250 OzAu*. Cajamarca.
23. Inacap. (2015). *Manual de Tronadura*. Chile.
24. Jimeno, E. L. (s.f.). *Imfluencia de las propiedades de la roca y de los macizos rocosos en el diseño y los resultados de la voladura*.
25. León, L. A. (2014). *Optimización de la fragmentación en los proyectos de voladura primaria en la zona norte del tajo San Pedro Sur, Minera La Zanja*. Lima.
26. McKenzie, C. (2008). *Rango de Flyrock & Predicción del Tamaño de los Fragmentos*. Chile.
27. Mena, C. (13 de octubre de 2014). *Leader and Mining.com*. Obtenido de Shovel Metrics y Porta Metrics: Tecnología de monitoreo y análisis de rocas para la minería:

- <http://leadersandmining.com/article/shovel-metrics-y-porta-metrics-tecnologia-de-vanguardia-para-la-mineria.html>
28. Mining Engineering. (2015). A Portable Device for Mine Face. Rock Fragmentation Analysis. *Mining Engineering*, 10.
  29. Montoya, I. A. (2012). *Inicio de Operaciones Mina en Tajo*. Lima.
  30. Motion Metrics International Corp. (2016). *PortaMetrics™ Portable fragmentation analysis*. Obtenido de Motion Metrics: <http://www.motionmetrics.com/portable/>
  31. New Dimensions . (2015). *World Coal*, 92-95.
  32. Pedraza Valencia, E., & Rojas Olivares, C. (2014). *Análisis Granométrico Pos-Tronadura*. Chile.
  33. Pernia Llera, J. M., Lopez Jimeno, C., Ortiz de Urbina, F. P., & Lopez Jimeno, E. (2003). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
  34. Poma Fernández, J. L. (2012). *Importancia de la fragmentación de la roca en el proceso gold mill (caso minera Yanacocha)*. Lima.
  35. *PortaMetrics Portable Rock Fragmentation Analysis*. (2016). Obtenido de Motion Metrics: <http://www.motionmetrics.com/files/brochures/2015.11.19%20PortaMetrics%20BrochureWeb.pdf>
  36. Quiroga Acuña, M. A. (2013). *Análisis de la perforación y tronadura en El Soldado*. Chile.
  37. Quispe, C. E. (2016). *Reducción de las vibraciones por efectos de la voladura superficial usando cámaras de aire en la columna explosiva, en minera Cooperación del Centro, La Libertad 2016*. Cajamarca.
  38. Ríos, J. V. (septiembre de 2015). *Innovación al control de procesos de muestreo (qa/qc) validan la estimación de recursos y reservas para yacimiento epitermal de alta sulfuración en Coimolache – cajamarca, desde su etapa de prospección a mina de oro*. Cajamarca. Obtenido de PERUMIN – 32 Convención Minera.
  39. S.A, S. M. (2014). *Compañía - San Martín*. Recuperado el 10 de marzo de 2016, de <http://www.sanmartinperu.pe>: <http://www.sanmartinperu.pe/compania/san-martin.html>
  40. Sáenz, Y. (2015). Nuevas técnicas para el confinamiento del explosivo en minas a tajo abierto. *Perumin 32 convención minera*.
  41. Sierra, 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.
  42. Singh, P. K. (2015). Rock fragmentation control in opencast blasting. *Journal of Rock Mechanics and*.
  43. Thurley, M. J. (2011). *Automated Online Measurement of Limestone Particle Size Distributions using 3D Range Data*. Suecia.