

## Rendimiento en la fragmentación de roca, por emulsiones encartuchadas en actividades mineras

Performance in rock fragmentation, by encapsulated emulsions in mining activities

Christ J. Barriga Paria<sup>1,\*</sup> Juan V. Salas Cutipa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Moquegua (UNAM), Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, Prolog. Calle Ancash S/N, Moquegua, Perú.  
\*Autor correspondiente [e-mail: cbarrigap@unam.edu.pe]

### RESUMEN

Las rocas y minerales industriales en la región Macro-Sur de Perú son importantes para uso industrial; sin embargo, dentro de las actividades mineras, en las operaciones unitarias de perforación y voladura, no se obtienen los resultados esperados. Se tuvo por objetivo, evaluar la aplicación de emulsiones encartuchadas en la fragmentación de roca en el nivel 1515 en minería. Se realizaron labores de Rampa 640, Rampa 8010, Tajo 632, Tajo 8093 y Tajo 8011, la información se recopiló mediante los registros y las muestras tomadas por la cámara, adicionalmente se llevó a cabo un mapeo y construcción de un modelo geológico y geomecánico, se analizó la información con el software WipFrag, finalmente se realizó un análisis económico. En las comparaciones y análisis de costos, Tj 632-N, presentó una diferencia positiva de \$42,72 estableciéndose como la mejor opción dentro de las variables evaluadas, cabe recalcar que todas las emulsiones propuestas, en todas las labores, mantuvieron costos menores, que las emulsiones estándar. Se logró evidenciar que la fragmentación de roca, usando las emulsiones encartuchadas permiten generar una reducción de emulsiones, por ello se confirmó que los resultados obtenidos, son característicos de un buen esponjamiento, ya que se obtuvo poca bolonería, estableciéndose directamente como una metodología, eficiente y económicamente viable.

*Palabras clave:* rampa, software wipfrag, tajo, voladura, factor de carga.

### ABSTRACT

Industrial rocks and minerals in the Macro-South region of Peru are important for industrial use; however, within the mining activities, in the drilling and blasting unit operations, the expected results are not obtained. The objective was to evaluate the application of cartoned emulsions in rock fragmentation at level 1515 in mining. Work was carried out on Ramp 640, Rampa 8010, Tajo 632, Tajo 8093 and Tajo 8011, the information was collected through the records and samples taken by the camera, additionally a mapping and construction of a geological and geomechanical model was carried out, the information was analyzed with the WipFrag software, finally an economic analysis was carried out. In the comparisons and cost analysis, Tj 632-N, presented a positive difference of \$

42.72, establishing itself as the best option within the evaluated variables, it should be noted that all the proposed emulsions, in all the tasks, maintained lower costs, which standard emulsions. It was possible to show that the fragmentation of rock, using the encartuchados emulsions allows to generate a reduction of emulsions, for this reason it was confirmed that the results obtained are characteristic of a good swelling, since little bolonería was obtained, establishing itself directly as an efficient methodology and economically viable.

*Keywords:* ramp, wipfrag software, pit, blast, load factor.

## INTRODUCCIÓN

Las rocas y minerales industriales (RMI) en la región Macro-Sur del Perú son importancia en cuanto a sus usos y aplicaciones industriales (Díaz et al. 2010). Estas RMI son utilizadas en la tecnología de hoy como recursos estratégicos geopolíticos y geoeconómicos en diferentes subsectores económicos como la construcción, el sector químico, el sector minero-metalúrgico, la agro-industria, y el medio ambiente (Díaz & Ramírez, 2009).

De acuerdo con el avance tecnológico y a la necesidad humana, se innovarán nuevos usos, los cuales serán aplicados en las diversas industrias, la región Macro-Sur representa el 30% de la distribución de ocurrencias y canteras de RMI en el Perú, de la cual se ha verificado el 21% (Díaz et al. 2013).

Sin embargo, dentro de las actividades mineras y durante las operaciones unitarias de perforación y voladura no se obtienen los resultados esperados, entre los principales problemas detectados en las operaciones unitarias de perforación y voladura, la obtención de material con granulometría muy gruesa, como consecuencia de deficiencias en el modo de perforación, inadecuada carga explosiva, utilización de tacos de arcilla para sellar los taladros, mala distribución de carga explosiva, sobre trituración, sobre excavación y presencia de bancos después de la voladura, lo que afecta directamente el rendimiento de los equipos de

acarreo y transporte, disminuyendo la programación de la producción (Barrera, 2017).

También Sánchez (2012), menciona que, para asegurar la calidad de materiales mineros, es necesario utilizar explosivos que posean elevada velocidad de detonación, para reducir el número de taladros y la cantidad de sustancia explosiva requerida en cada voladura, lográndose disminuir el tiempo destinado a la barrenación y al cargado.

Mamani (2019), considera que cuando existe mayor cantidad en dimensiones de malla por alteración, y cantidad de explosivos adecuados, se obtiene mejor calidad en el producto terminado, lo que se hace posible al generar una fragmentación de rocas de un P80 con un pasante a parrilla de 10 pulg, modificando el parámetro de perforación, de una malla cuadrada a triangular, con dimensiones de burden y espaciamiento, permitiendo una considerable reducción de los costos de producción del mineral (Quispe, 2018). Es importante tomar en consideración que la perforación y voladura, son las más importantes operaciones mineras, que directamente establece los costos de producción (Frisancho, 2006).

Cabe recalcar que una forma de mejorar los resultados al cambiar el tipo de malla, es aplicando el método Holmberg (Quezada, 2017), el cual garantiza la mejora del diseño de malla de perforación, permitiendo obtener la eficiencia

de la voladura, proporcionando una distribución de energía en el macizo rocoso, que asegura una eficiencia de voladura de 92% (Carrasco, 2015), esto resulta como consecuencia de permanentes investigaciones sobre trabajos de perforación y voladura, lo que ha permitido ajustar los parámetros del diseño de la malla de perforación (Ticlavilca, 2010).

La compañía minera San Ignacio de Morococha desarrolla actividades de exploración y explotación minera desde 1996, mientras que desde 1970 dirige las operaciones en la mina San Vicente, produciendo concentrados de zinc y plomo como los principales derivados obtenidos, con la finalidad de obtener mayores niveles de rentabilidad y conseguir bajos costos de producción, se están realizando una serie de evaluaciones, sobre el proceso de voladura de operaciones unitarias, considerando las características del yacimiento, tratando de innovar en los procesos de producción, debido a que en la actualidad, las operaciones unitarias de perforación y voladura son realizados de forma empírica (Quispe, 2018).

Debido a lo expuesto, se tuvo como objetivo, evaluar la aplicación de emulsiones encartuchadas para la mejora de fragmentación de roca en el nivel 1515 en la mina San Vicente – Cía. San Ignacio de Morococha S.A.A, para optimizar la fragmentación de Macizo Rocosó a una granulometría adecuada.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La investigación se llevó a cabo, en la Compañía Minera S.A.A. San Ignacio de Morococha, ubicada en la provincia de

Chanchamayo, departamento de Junín, con latitud 11°03'06" S y longitud 75°19'46" O entre 500 - 1930 m de altitud, Figura 1.

La investigación fue cuantitativa, no experimental, transaccional y correlacional, para lo cual se realizó una revisión histórica y un análisis de los disparos que se realizaron en el área de voladura, considerando las muestras más representativas del ensayo, y registros respectivos de velocidad de detonación y fragmentación, adicionalmente se llevó a cabo un mapeo y construcción de un modelo geológico y geomecánico.

Los materiales utilizados fueron: faneles (para colocarlos dentro de las emulsiones encartuchadas), pentacord (para realizar el amarre de los faneles), carmax (para realizar el amarre al pentacord), mecha rápida (se utilizó para iniciar el chispeo), tacos de arcilla (para retener dentro del taladro los gases producto de la explosión). Mientras que, para medir y analizar la fragmentación de las pruebas de voladura, se utilizó el software WipFrag 2020, lo que permitió analizar los resultados de los disparos, y verificar la fragmentación tomada.

Se realizaron labores de Rampa 640, Rampa 8010, Tajo 632, Tajo 8093, Tajo 8011, dentro del nivel 1515. Se aplicó dos pruebas para rampas y para tajos: i) en las rampas se realizaron voladura en frentes de avance con secciones de 4.50 m x 4.00 m, 4.00 m x 4.00m, 3.50 m x 3.00 m, y el material que se obtuvo fue desmonte, y ii) en los tajos se realizaron voladura tipo Bresting, Realce (Tabla 1) y Desquinche, este tipo de voladuras no contaba con sección determinada, y el material que se obtuvo fue mineral.

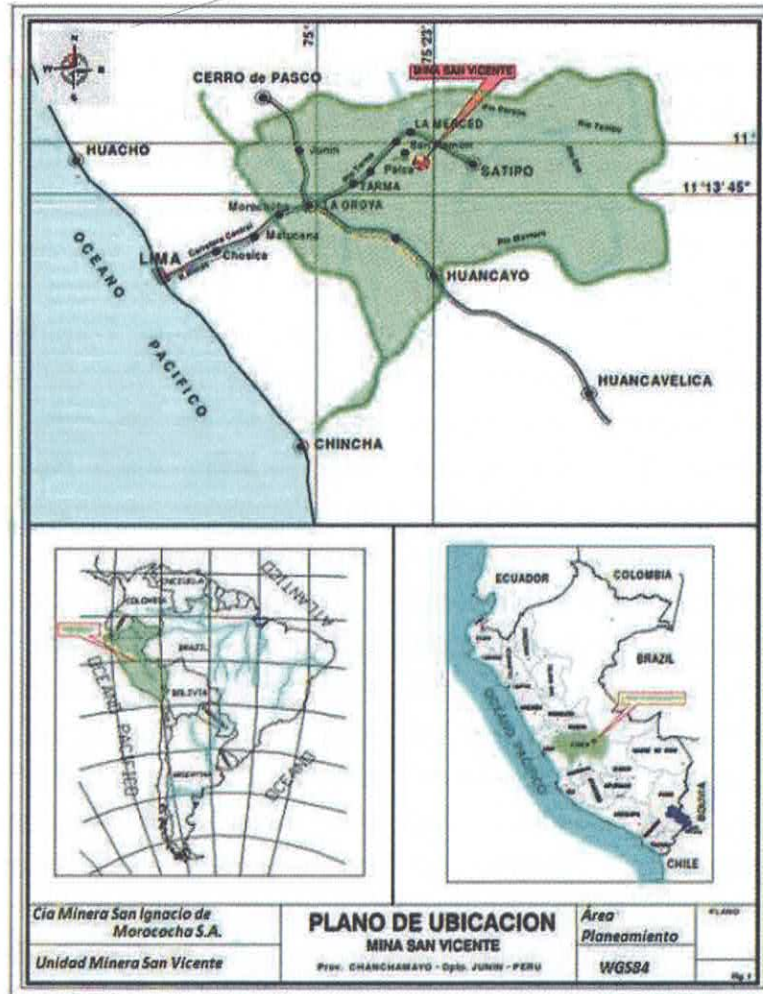


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio, Mina San Vicente.

Tabla 1. Parámetros y pruebas de voladura, que se aplicaron en la presente investigación.

Fecha	Labor	Tipo de prueba	Sección perforada (m)	Cantidad de taladros	Perforación efectiva	Cantidad de emulsiones
15/3/2019		Bresting	3,15 x 2,30	23	3,15	138
25/5/2019	Tajo 632-N	Bresting	3,75 x 1,60	13	3,05	65
18/3/2019	Rampa 8010	Voladura	4,5 x 4	48	3,11	354
20/3/2019		Voladura	4,5 x 4	46	3,23	324
10/4/2019		Voladura	4 x 4	49	3,1	340
11/4/2019	Rampa 640	Voladura	4 x 4	44	3,14	291
16/4/2019		Voladura	4 x 4	49	3,09	334
17/4/2019		Voladura	4 x 4	49	3,16	332
29/5/2019	Tajo 8093-N	Voladura	3,5 x 3	33	2,93	220
30/5/2019		Voladura	3,5 x 3	33	2,95	230

La información se recopiló mediante los registros y las muestras tomadas por la cámara fotográfica, la misma que fue comparada con datos históricos (línea base), para determinar la optimización de la fragmentación y las ventajas, técnicas y económicas que pueden aportar a la utilización de las emulsiones.

En campo, para la prueba de voladura, se realizó regado, desate de roca, y pintado de la malla en el frente a perforar, para realizar perforaciones de taladros correctamente. Luego se hizo el carguío de taladros y chispeo de la labor, se esperó 30 a 45 minutos para que se ventile la zona, posteriormente se regó y desató las rocas. Finalmente se procedió a verificar el material producto de la voladura, se tomó muestras y fotografías, para analizar con el software WipFrag.

Se codificó los resultados de los datos históricos para enlazarlos con las propuestas de los resultados obtenidos. Mientras que el análisis de datos, se generó con datos históricos del área de voladura, excluyendo datos que no se ajustaban a los establecidos en la investigación, como los datos de densidad, fragmentación y registro de velocidad de detonación. Se realizó un análisis según el tipo de labor (Rampa y Tajo) también se consideró el Tipo de Prueba, la Sección Perforada, Cantidad de Taladros, Perforación Efectiva y Cantidad de Emulsiones.

En el análisis económico se consideró los costos operativos por labor, comparándose con los costos de las emulsiones y los accesorios de la voladura utilizados en las pruebas. Finalmente, para realizar la comparación y análisis de fragmentación, se tomaron diferentes fotografías del material producto de la prueba voladura, con el fin de determinar las curvas granulométricas de las pruebas de voladura, y hacer

comparaciones de tamaño. También, las fotografías fueron analizadas por el software WipFrag.

En el análisis de datos se utilizó estadística no paramétrica ya que los datos no presentaron distribución normal, solo se realizaron comparaciones directas entre los valores estándar y los propuestos en la investigación, el software utilizado fue Microsoft Excel 2019.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las comparaciones y análisis de costos, de las pruebas de envoltura que se muestra en la Tabla 2, resaltan que Tj 632-N presentó una diferencia de \$42,72 estableciéndose como la mejor opción dentro de los costos comparados, como consecuencia directa de un número reducido de emulsiones, mientras que la menor diferencia obtenida, fue de \$1,61 en la comparación de los costos, esto lo presentó Rp 640b, debido a que la cantidad de emulsiones estándar y propuesto, fueron 334 y 332 respectivamente, lo que no genera gran diferencia numérica. Estos resultados afirman que existe una consecuencia directa sobre los costos de producción, si se elige de manera correcta el tipo de voladura y la cantidad de emulsiones. Ya que, según la cantidad y direccionamiento de la energía durante la explosión, se puede aprovechar su efecto el cual tiende a ser de 20 a 30%, mientras que el restante es energía desperdiciada en el ambiente, generando consecuencias secundarias (Ghasemi et al. 2012). La reducción de costos es posible ya que se produce una reducción en el uso de taladros y la reducción de emulsiones, como consecuencia de un mayor aprovechamiento de las fuerzas expansivas de los explosivos (Yilmaz, 2009).

Tabla 2. Diferencias de costos operativos con el estándar establecido y el estándar propuesto.

Labor	Tipo de voladura	N° Emulsiones estándar	N° Emulsiones Propuesto	Costos Estándar \$	Costo Presupuesto \$	Diferencia \$
Tj 632-N	Bresting	138	65	88,31	45,59	42,72
Rp 8010	Frente	354	324	207,24	195,17	12,07
Rp 640a	Frente	340	291	206,91	193,15	13,76
Rp 640b	Frente	334	332	205,83	204,22	1,61
Tj 8093-N	Frente	230	220	149,17	144,43	4,74

Como se puede observar en la Figura 2a, las emulsiones propuestas, en todas las labores, mantienen valores menores que las emulsiones estándar, por lo que se asume, que la aplicación de la metodología propuesta fue favorable, lo que fue corroborado en la Figura 2b referente a los costos propuestos, los mismos que presentaron valores inferiores a los costos

estándar, como consecuencia directa de la reducción de emulsiones, y taladros en la corona (Tabla 1). Por ello se considera, que al generar una operación de perforación estratégicamente direccionada a aumentar la dureza y abrasividad de la roca, se logró producir el resultado esperado (Correa, 2009).

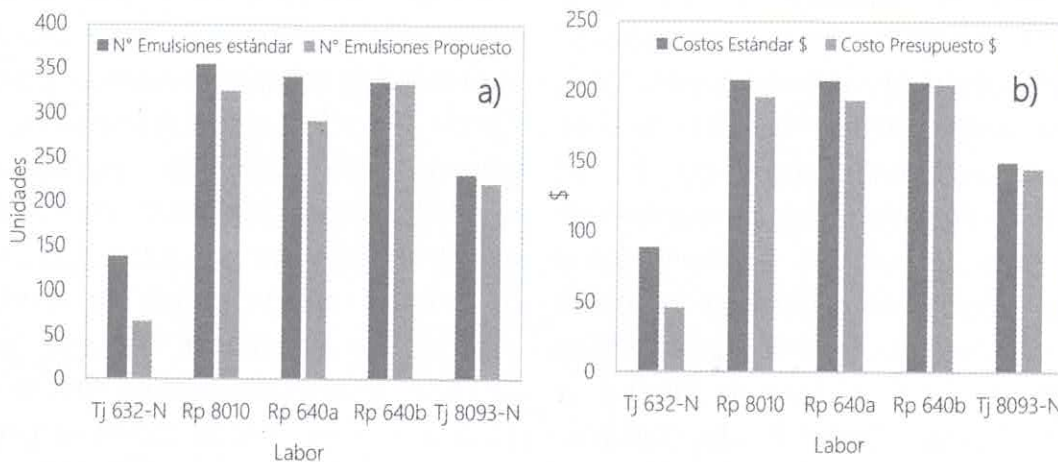


Figura 2. Análisis de fragmentación de roca. a) comparación del número de emulsiones, y b) costos establecidos.

Por otra parte, en el análisis de fragmentación que se produjo a cada una de las pruebas de voladura, se obtuvo como resultado promedio un P80 de 16,40 cm como indican los resultados del Software WipFrag. Con lo que se confirma que para romper una roca con eficiencia debe utilizarse su resistencia a la tensión en lugar de

su resistencia a la compresión (Afeni & Osasan, 2009).

El resultado de la fragmentación producto de las pruebas de voladura que se realizó en el nivel 1515, mantuvo una diferencia entre la fragmentación estándar y la fragmentación propuesta mostrando una diferencia de 2 a 4 cm.

Esta variación, mostró una clara diferencia en la fragmentación estableciéndose como la opción más favorable y efectiva, tal como se muestra en la Figura 3.

Se considera que la fragmentación del macizo rocoso es causada inmediatamente después de la detonación, esta puede variar según el impacto de la onda de choque y de los gases en rápida expansión sobre la pared del taladro, esta se transfiere a la roca circundante, difundiéndose a través de ella en forma de fuerzas de compresión, provocándole solo deformación elástica, ya que las rocas son muy resistentes a la compresión (Zhantao & Itakura, 2012).

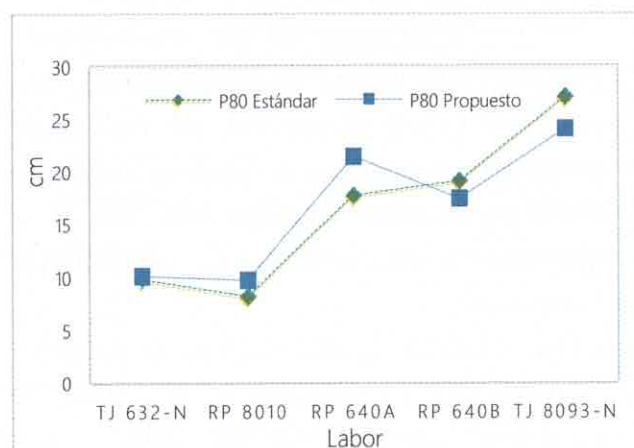


Figura 3. Análisis de fragmentación comparando el P80, estándar y propuesto.

Como se observa en la Figura 3, se determinó mayores valores de P80 propuesto en el TJ632-N, RP8010 y Rp 640A, con diferencias de 0,27, 1,5 y 3,66 cm al comparar con P80 estándar; contrariamente se determinó menores valores para el P80 propuesto en RP 640B y TJ 8093-N con diferencias de 1,69 y 3,07 cm respectivamente. Por ello se afirma que, según el tipo de espaciamiento, existen ciertos factores que pueden o no, favorecer la eficiencia de las voladuras, ya sea la variación en la cantidad de explosivo en los barrenos y las secuencias de

detonación, estos parámetros también pueden traer beneficios en la granulometría, a menores afectaciones a la roca encajante y costos (Medoro, 2011).

## CONCLUSIONES

Se obtuvo mayor eficiencia con el estándar propuesto, a comparación del estándar establecido, pues la fragmentación de roca de las labores donde se realizó las pruebas de voladura dio un P80 promedio de 16,40 cm, estando próximo al estándar que es 15,00 cm.

La fragmentación de roca, usando emulsiones encartuchadas permite generar una reducción de emulsiones con el estándar propuesto, ya que se reduce los costos operativos y la fragmentación de roca tiene una diferencia de 4 cm con el estándar propuesto, generando un producto terminado rentable.

Al no sobrepasar los 30,00 cm de fragmentación, se confirma un buen esponjamiento ya que mantuvo poca bolonería, por lo que se consideró que la propuesta aplicada, es eficiente y viable, siempre y cuando se genere una adecuada distribución de la carga explosiva.

Al usar las emulsiones con el estándar propuesto, permite reducir costos de voladura, manteniendo un P80 moderado en los frentes de minado, mientras los costos se reducen al usar el estándar propuesto obteniendo un ahorro promedio de \$10,55 por labor.

## REFERENCIAS

Afeni, T. & Osasan, S. (2009). Assessment of noise and ground vibration induced during blasting operations in an open pit mine. A case study on Ewekoro limestone quarry, Nigeria. Mining science and technology. Nigeria.

- Barrera, L. (2017). Validación del modelo Kuz-Ram para optimizar la fragmentación de roca por Voladura. Ciudad Universitaria, Cd. Mx.
- Carrasco, P. (2015). Aplicación de Método Holmberg para optimizar la Malla de Perforación y Voladura en la Unidad Parcoy – Cía. Consorcio Minero Horizonte S.A. Ayacucho, Perú.
- Correa, A. (2009). La geomecánica en la perforación y voladura de rocas. Información minera de Colombia. Colombia.
- Díaz, A. & Ramírez, J. (2009). Compendio de rocas y minerales en la región Macro-Sur del Perú. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, 107(3), 180-184.
- Díaz, A., Carpio, M. & Ramírez, J. (2010). Estudio geológicoeconómico de las rocas y minerales industriales en el Perú. Boletín del INGEMMET, Serie B. Geología Económica, 26(1), 168.
- Díaz, A., Carpio, M. & Ramírez, J. (2013). Importancia de las rocas y minerales industriales en el Perú. Boletín del INGEMMET, Serie B. Geología Económica, 46(3), 156-167.
- Frisancho, G. (2006). Diseño de Mallas de Perforación en Minería Subterránea. Geología Económica, 19(2), 45-57.
- Ghasemi, E., Sari, M. & Ataei, M. (2012). Development of an empirical model for predicting the effects of controllable blasting parameters on flyrock distance in surface mines. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. Turkey.
- Mamani, P. (2019). Optimización de la fragmentación y diseño de malla por alteración en perforación y voladura de U.E.A. Valeria – ANABI S.A.C. Puno, Perú.
- Medoro, R. (2011). Mineral resource estimate of Marmato project, Colombia. SRK Consulting Engineers and Scientist, Toronto, Canadá, pp. 158.
- Quezada, J. (2017). "Optimización de perforación y tronadura empleando modelo matemático Holmberg en secciones de 3.5m\*3m en roca tipo II veta papagayo mina". Tesis (Ingeniería de Minas). Perú: Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería, 2017. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/10020/Quezada%20Jacob%20Wilmer%20Ubemar.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Obtenido el 4 de noviembre de 2021.
- Quispe, H. (2018). Reducción de costos de perforación y voladura con nuevo diseño de malla en el frente Crucero 340 NW de la empresa minera Yansur S.A.C. – Rinconada. Puno, Perú.
- Sánchez, Y. (2012). Optimización en los procesos de perforación y voladura en el avance de rampas en la mina Bethzabeth. Quito.
- Ticlavilca, E. (2010). Diseño de Perforación y Voladura en el Tajo Susan de la Unidad Minera Corihuarmi Compañía Minera I. R. L. Puno, Perú.
- Yilmaz, I. (2009). A new testing method for indirect determination of the unconfined compressive strength of rocks. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. Turkey.
- Zhantao, L. & Itakura, K. (2012). An analytical drilling model of drag bits for evaluation of rock strength. Soils and Foundations. China.