

IMPLEMENTACIÓN DE PARÁMETROS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN EL NIVEL 70, FRENTE 1 DE LA CANTERA PLANTA TOLÚ VIEJO DE LA EMPRESA CEMENTOS ARGOS S.A

Nacira Nader Rubio.
Fundación Universitaria del Área Andina.
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas.
Valledupar-Cesar.
nnader@estudiantes.areandina.edu.co

Resumen.

Este artículo resume el estudio realizado en la Cantera, Planta Tolú Viejo perteneciente a la Empresa Cementos Argos S.A. El campo de interés está centrado en la aplicación de nuevos parámetros de perforación y voladura dirigidos a un subsector específico de la cantera, en donde a través de la modificación de los factores geométricos actuales implementados en la misma, mediante pruebas y análisis granulométricos posteriores a las voladuras se buscará disminuir el porcentaje de los granos finos que se ha venido obteniendo en las voladuras y los cuales son afectados en mayor medida por las temporadas invernales perjudicando los procesos posteriores a la extracción.

Abstract.

This article summarizes the study in the Quarry, Plant Tolu Old belonging to the Company Cementos Argos S.A. The field of interest is focused on the application of new parameters of drilling and blasting directed to a specific sub-sector of the quarry, where through the modification of the current geometric factors implemented in the same, through subsequent granulometric testing and analysis to the blasting will decrease the percentage of the fine grains that has been getting in the blasting and which are affected to a greater extent by the winter seasons damaging processes after the removal.

Palabras clave: Parámetros de Perforación, Análisis granulométrico, Granos finos,

1. Introducción.

Bernaola, Castilla y Herrera (2013) señalan que “Se entiende por voladura la disposición de un grupo de barrenos, en los que se ha colocado una cierta carga de explosivo y se inicia con una secuencia tal que se consiguen los resultados de fragmentación y desplazamiento deseados, sin afectar a elementos ajenos a la misma.” en donde “El Diseño de Voladuras es una técnica que se basa en la aplicación de técnicas de cálculo en un medio heterogéneo, en el cual los resultados obtenidos pueden influir en gran medida en el desarrollo del método de explotación.” Bernaola, Castilla y Herrera (2013)

“Así, es importante destacar que para saber si los resultados de una voladura son buenos o no, es necesario saber qué es lo que iba buscando cuándo se diseñó la misma. Se puede decir que una voladura ha sido realizada con éxito si los resultados obtenidos coinciden con el objetivo buscado.” Bernaola, Castilla y Herrera (2013).

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizaron pruebas de voladura en donde se buscó por medio de la implementación de nuevos parámetros de perforación y voladura una reducción en la cantidad de granos finos generados en las mismas, con un aumento en los tamaños de gruesos en la granulometría obtenida, en dónde por medio de análisis granulométricos se estableció si los nuevos parámetros geométricos cumplen con el objetivo buscado.

2. Estudio Realizado.

A continuación, se describen las principales acciones realizadas.

2.1. Revisión documental de los parámetros utilizados en Nivel 70, Frente N°1 de la cantera.

Para el replanteo de la malla de perforación se realizó una indagación mediante una revisión documental, en esta se encontró que los tipos de mallas utilizados han ido evolucionando a través de los años, como se muestra en la siguiente tabla N°1

Tabla N°1. Cronología de las mallas utilizadas en la Planta de cementos Tolú Viejo.

Diámetro de perforación	Año	burden (m)	espaciamento(m)
4	2009	3,7	3,70
4	2010	3,7	4
4	2011	3,7	4,20
4	2012	4,0	5,50
4	2013	4,0	5,50
4	2014	4,0	5,50
4	2015	4,0	5,70
4	2016	4,0	5,70
4	2017	4,0	6
4	2018	4,2	6,00

Conforme a la anterior tabla se observa una variación gradual de los dos parámetros más importantes, burden y espaciamento a través del tiempo, en ella se nota un incremento máximo de 30 centímetros para cada parámetro, donde el espaciamento ha sido quien más variaciones desde el año 2009, alrededor de un 100% desde ese año a la actualidad.

Para el segundo semestre del año 2017 se encuentra un registro granulométrico de la voladura N°4 del mismo año realizada en el nivel 70 de la cantera, subsector de estudio, en esta los datos de la granulometría arrojada son los siguientes mostrados en la tabla N°2.

Tabla N°2. Resultados, Voladura N°4 Malla 5,70m*4m, Nivel 70, 2017.

Rangos	Número	Porcentaje
0cm-10cm	196	34%
10cm-20cm	240	41%
20cm-30cm	94	16%
< 30cm total	530	91%
30cm-40cm	21	4%
40cm-50cm	18	3%
50cm-60cm	7	1%
60cm-70cm	4	1%
70cm a 100cm	1	0,17%
Mayor a 100cm	0	0,0%
Total Sobre Tamaño	1	0,17%

Aquí el 91% de las rocas contadas son menores a 30cm, de ese porcentaje el 41% está entre 10 y 20 cm, y el 34% entre 0 y 10cm, y el otro 16% entre 20 y 30cm. El porcentaje de sobretamaños es casi nulo, pues solo llega a 0,17% de la totalidad de la muestra. Además, el porcentaje granulométrico de rocas entre 30 y 50cm de diámetro es de 7%.

Estos datos nos llevan a reevaluar el comportamiento de la malla conforme a los resultados de la voladura, ya que, aunque no se obtuvo un porcentaje de sobretamaños superior al 1%, lo cual es favorable, se tiene que el 75% está por debajo de los 20 cm de diámetro y en consideración de lo dicho por A. Urango (2018). quien afirma que “Un tamaño óptimo para el proceso de trituración va entre 30 y 50cm de diámetro, los llamados “gruesos”, tamaños granulométricos que son afectados en menor medida por el invierno;

muchos finos en esta época por cuestiones de humedad en el material ocasiona bajo rendimiento, tamaños menores a 20cm de diámetro son en estas temporadas deficientes para el proceso de trituración, pero mucho sobretamaños genera porcentajes de recuperación por debajo de la meta, es decir no realizar un consumo de material entre el 85 y 95%.”

2.2. Revisión y Modificación de los parámetros utilizados.

La malla implementada en la voladura N°4 del Año 2017 dio como resultado que 70% de tamaños son inferiores a 30cm de diámetro, tamaños considerados como “granos finos”, la malla utilizada tuvo como parámetros un espaciamiento de 5,70m y un Burden de 4m, en donde este diseño geométrico es el utilizado en todos los niveles de la planta y el cual ha tenido buenos resultados, sin embargo, en el subsector de la cantera o Nivel 70, esta malla generaba resultados poco óptimos para el proceso, pues el diseño realizado apunta a generar tamaños entre 30 y 50cm de diámetro los cuales son óptimos para el proceso de trituración y como lo dice Bernaola, Castilla y Herrera (2013) “Si los resultados de una voladura son buenos o no, es necesario saber qué es lo que iba buscando cuándo se diseñó la misma. Se puede decir que una voladura ha sido realizada con éxito si los resultados obtenidos coinciden con el objetivo buscado.”

Dado lo anterior, en un primer momento se rediseñó la malla modificando un solo parámetro, interviniendo para la voladura en donde se realizó la primera prueba el espaciamiento, puesto que se requiere aumentar el tamaño granulométrico del material dado que el arrojado en la voladura N°4 y ya que según Orica Mining Services (2013) “El espaciamiento es el parámetro de

diseño de mayor influencia sobre los resultados de la fragmentación de la roca del material volado”, dentro de lo siguiente, para modificar el espaciamiento anterior se parte de lo dicho por Orica Mining Services (2013) afirma que, “En la práctica, está dada por la relación ($S = 1,3 * B$ a $1,5 * B$)” normalmente esta longitud” que traduce lo siguiente, el espaciamiento (S) es el resultado de la multiplicación del Burden (B) por un factor establecido que va de 1,3 a un máximo de 1,5. Conforme a esto,

$$S = (1,3 \sim 1,5) * B$$

$$S = 1,42 * B$$

$$S = 1,4 * 4m$$

$S = 5,68 \sim 5,70m$ Espaciamiento con un factor de 1,42.

S: Espaciamiento.

B: Burden Normal.

Este espaciamiento fue aplicado en la voladura N°4 del año 2017, con la cual se obtuvo un alto grado de tamaño granulométrico inferior a 30cm, conforme a lo dicho anteriormente se aplica la misma fórmula, pero esta vez con el factor máximo de 1,5 para obtener un espaciamiento aun mayor y aplicarlo en las pruebas posteriores.

$$S = (1,3 \sim 1,5) * B$$

$$S = 1,5 * 4m$$

$$S = 6m$$

Nueva malla $S = 6m$, $B = 4 m$

S: Espaciamiento.

B: Burden Normal.

Este nuevo parámetro fue aplicado y probado en una voladura N°8 del año 2017, pues la única forma de determinar si la nueva malla diseñada es óptima para el proceso y cumple con el objetivo buscado que es la disminución del porcentaje de finos en el nivel 70 de la cantera es a partir de la prueba y posterior análisis de los tamaños granulométricos obtenidos luego de su ejecución, ya que no hay otra forma establecer si este nuevo diseño es mejor que el anterior.

2.3. Voladura N°8, Año 2017, Aplicación con rediseño de Malla. Espaciamiento.

Después de que se establecieron los nuevos parámetros a utilizar en la revisión anterior, en este caso el uso de una nueva malla rediseñada con un espaciamiento mayor de 6 metros y un mismo burden de 4m, se llevó a cabo la voladura N°8 del año 2017, en esta el nuevo diseño de la malla obtenido a partir de las formulas mostradas anteriormente se ejecutó en donde por medio de un análisis granulométrico el cual según M. Bracamonte (2017) “se procede a hacer un levantamiento fotográfico de la voladura identificando 3 sectores estratégicos, en donde a estos, se les realizara un análisis de las rocas en un área de 12m² correspondiente a cada sector. Cada una de estas fotografías son impresas a una escala, este procedimiento consiste en ir contando roca por roca dentro del área establecida y con una regla medir en centímetros su tamaño y luego pasarlos a un tamaño real con ayuda de la escala, de acuerdo con esto el cálculo de la escala consiste en tener una medida real en campo la cual la definen los conos, dicha medida será la base para saber el tamaño real de cada roca contada y medida.” y se obtuvo los siguientes resultados representados en la tabla N°3.

Tabla N°3. Resultados granulométría voladura N°8 2017. malla 6m*4m.

Rangos	Numero	Porcentaje %
0 cm–10 cm	1	0,44%
10cm-20cm	10	3,95%
20cm - 30cm	23	10,09%
30cm - 40cm	47	20,61%
40cm - 50cm	35	15,35%
50cm - 60cm	39	17,11%
60cm - 70cm	31	13,60%
70cm - 80cm	9	3,95%
80cm - 90cm	16	7,02%
90cm - 100cm	8	3,51%
> a 100cm	10	4,39%
Total	228	100,00%

En esta segunda prueba se obtiene que el 14,47% de las rocas contadas son menores a 30 cm, donde el 3,95% está entre 10 y 20 cm, y el otro 0,44% entre 0 y 10 cm de diámetro, dejando un 10% entre 20 y 30cm. El porcentaje estimado total de granulometría menor a 20cm es de 4,39%. Estos datos muestran una disminución en el porcentaje de granos finos con el primer rediseño de malla, ya que cayó en un 76,53%.

El tamaño considerado óptimo para el proceso de trituración va de 30 a 50cm de diámetro, con lo cual para esta primera prueba los resultados fueron; el 49,56% está por encima del tamaño óptimo buscado de 30 a 50 cm, equivalente a 198 ton, y el 35,96 % de está en el rango óptimo de 30cm-50cm de diámetro, mostrados en la tabla siguiente N°4.

Tabla N° 4. Rangos de finos y gruesos entre 30 y 50cm.

Rangos	Numero	Porcentaje %
0cm- 30cm	32	14,04%
30cm-50cm	82	35,96%

>50cm	113	49,56%
Tonelaje extraído	Porcentaje por Encima de 50cm	Ton Encima de 50 cm
40.000	49,56%	198,25

Sin embargo, se tomó en cuenta otro factor, en donde según A. Urango (2013) “en el proceso de trituración el diámetro de la roca caliza no debe ser mayor a 70cm, ya que a partir de allí son considerados sobretamaños.” Es por ello que se analizó para los nuevos diseños, la cantidad de sobretamaños, de esta manera resultan los siguientes datos mostrados en la tabla en donde el porcentaje de sobretamaños llegó a 18,86% en la malla N°8. Generando 75, 44 ton de material mayor a 70cm.

Tabla N°5. Sobretamaños, rocas mayores a 70 cm de diámetro.

Rangos	Número	Porcentaje
0cm - 70cm	175	76,75%
70cm a 100cm	33	14,47%
Mayor a 100	10	4,39%
sub-Sobre Tamaño	43	18,86%

2.4. Prueba N°2, Voladura N°2, Año 2018, Modificación de Burden Normal.

Luego de los resultados obtenidos en la Prueba N°1 en donde se diseñó una nueva malla modificando e implementando un nuevo espaciamiento, y después de llegar al tope máximo del factor definido en la fórmula para hallar el parámetro utilizado, se decidió modificar el burden para la siguiente voladura. Con forme a esto nos basamos en lo afirmado por Orica Mining Services (2013)

“En la práctica, el burden se considera igual al diámetro del barreno en pulgadas, pero expresado en metros. Así, para un diámetro de 4” el burden aproximado será de 4 m”.

conociéndose como burden práctico a la relación empírica:

$$\emptyset(\text{EN PULGADAS})=B(\text{EN METROS})$$

\emptyset : Diámetro del barreno.

B: Burden en metros.

El burden implementado por tanto fue dado hasta la fecha de la voladura N°2 del año 2018 en 4 metros como se puede observar en la tabla N°1 mostrada en la revisión documental que se realizó con anterioridad. Las formulas aplicadas en el cálculo de los parámetros de voladura Según Bernaola, Alonso y Herrera (2013) “han sido desarrolladas de manera empírica y, lógicamente, muchas de ellas, aun siendo adecuadas para aplicaciones similares a las de partida, presentan desviaciones importantes en circunstancias radicalmente diferentes.” Es por esto que dado que se cumple la relación de la formula anterior se modifica este parámetro aumentando en 20cm la longitud total, dejándolo en 4,20m para la nueva prueba, de manera arbitraria, pues, aunque esté cimentada sobre bases teóricas, las voladuras son operaciones mayormente de prueba y error, donde los buenos resultados están basados en que el cumplimiento del objetivo buscado y el resultado obtenido sean concordantes.

La voladura N°2 se llevó acabo con un nuevo diseño dado por un espaciamiento actual de 6 metros utilizado en la voladura N°8 del año 2017 y con el nuevo burden de 4,20 metros, los resultados arrojados en esta segunda prueba son los siguientes.

Para el rango de rocas menores a los 30 cm se obtiene que el 69% de las rocas contadas son menores a 30 cm, donde el 38,22% está entre 10 y 20 cm, y el otro 3,53% 0 y 10cm, y el 31,34% entre tamaños de 20-30cm, el porcentaje estimado total de granulometría menor a 20cm es del 41.75% como se muestra en la siguiente tabla N°6.

Tabla N° 6. Resultados granulometría voladura N°2, 2018. malla 6* 4, 20m.

Rango	Rocas	Porcentaje
0 cm - 10 cm	39	3,53%
10cm - 20cm	422	38,22%
20cm - 30cm	346	31,34%
30cm - 40cm	167	15,13%
40cm - 50cm	41	3,71%
50cm - 60cm	48	4,35%
60cm - 70cm	16	1,45%
70cm - 80cm	6	0,54%
80cm - 90cm	5	0,45%
90cm - 100cm	9	0,82%
Mayor a 100cm	5	0,45%
Total	1104	100,00%

De la misma manera que en la prueba N°, para esta se realizó un análisis para los tamaños establecidos como óptimos, entre 30-50cm, los resultados obtenidos fueron: el porcentaje granulométrico de rocas entre 30 y 50cm de diámetro es de 20%. Se obtiene que el 8,1 % está por encima de 50cm tamaño óptimo buscado para el proceso de trituración que va desde 30-a 50 cm, equivalente a 39 ton. Mostrados a continuación en la tabla N°7.

Tabla N°7. Rangos de finos y gruesos entre (30 - 50cm.)

Rangos	Numero	Porcentaje %
0cm - 30cm	807	73%
30cm- 50cm	208	19%
>50cm	89	8,1%
Tonelaje extraído	%>50cm	Ton > 50cm
48.000	8%	39

Por otra parte, se consideró el porcentaje de sobretamaños obtenidos, estos resultados mostraron que para la nueva malla con un burden diferente el porcentaje de sobretamaños para esta prueba dio un resultado de 2,72%. equivalentes a 13,04 Ton. Rango aceptable siendo menor a 10% de la totalidad de la muestra. Ver la tabla N°8.

Tabla N°8. Sobretamaños, rocas mayores a 70 cm de diámetro.

Rangos	Numero	Porcentaje
0cm - 70cm	1079	97,74%
70cm a 100cm	25	2,26%
Mayor a 100cm	5	0,45%
Total Sobre Tamaño	30	2,72%
Tonelaje extraído	Porcentaje Sobre Tamaño	Ton Por Encima de 70 cm
48.000	2,72%	13,04

2.5. Comportamiento de las mallas utilizadas.

Conforme a las dos pruebas realizadas en donde se implementaron nuevos parámetros de perforación, en la primera modificando el espaciamiento, y en la segunda con una modificación gradual del Burden Normal, se

analizó el comportamiento de las 3 mallas con el fin de evaluar cuál de ellas se aproximó más al objetivo buscado, quien es la reducción de los granos finos obtenidos en la voladura del subsector de la cantera o Nivel N°70, esta comparación se demuestra a continuación en la tabla N°9

Tabla N°9. Comportamiento general de las 3 mallas implementadas.

Voladura N°2 Voladura N°4 Voladura N°8

	Voladura N°2	Voladura N°4	Voladura N°8
Rangos	malla (6x4,20)	Malla(5,70x4)	Malla(6*4)
0cm-10cm	2,7%	33,7%	0,4%
10cm-20cm	34,4%	41,3%	3,9%
20cm - 30cm	32,7%	16,2%	10,1%
30cm - 40cm	17,2%	3,6%	20,6%
40cm-50cm	3,1%	3,1%	15,4%
50cm - 60cm	5,6%	1,2%	17,1%
60cm - 70cm	1,9%	0,7%	13,6%
70cm - 80cm	0,8%	0,0%	3,9%
80cm - 90cm	0,5%	0,0%	7,0%
90cm - 100cm	0,9%	0,2%	3,5%
Mayor a 100cm	0,3%	0,0%	4,4%

Aquí el número de granos inferiores a 10cm de diámetro disminuyó con las mallas 6*4m y 6*4,20m, logrando el primer objetivo de estas modificaciones el cual era reducir el tamaño en los granos finos menores a 20cm, de los cuales los tamaños inferiores a 10cm fueron los más representativos con la primera malla de 5,70*4m. sin embargo, El número de

tamaños en consideración entre (10 y 20cm) disminuye con la malla de 6*4m de la Voladura N°8, y aumenta considerablemente con la malla (6*4,20cm).

Por otra parte, se nota que el tamaño de granos gruesos (30-50cm) es bueno tanto para las mallas (6*4m como la de 6*4,20) prueba N°1 y N°2 pues en ambas la tendencia es a aumentar, sin embargo, la malla de 6*4m presenta un mejor comportamiento para este sesgo generando el mejor porcentaje que va en picos de 15 a 20%.

La mejor tendencia en sobretamaños está dada para la Prueba N°2, malla 6*4,20m de la Voladura N°2 del 2018. Pues su porcentaje de sobretamaños no supera el 2% manteniendo una tendencia baja a comparación de los resultados de la malla 6*4m de la Vol. N°4 donde el porcentaje de sobretamaños sobrepasó el 10% aceptado.

Conclusiones.

La adaptación gradual a los requerimientos establecidos ya sea por procesos secundarios como trituración, genera en la creación de la malla un juego constante con los parámetros influyentes en la fragmentación del material, dado esto las voladuras están sujetas a pruebas y error, pues no hay forma de establecer que parámetros serán más convenientes o eficientes para suplir las condiciones que se presenten a menos que se ejecuten y se realicen pruebas, abriendo la ventana al replanteo constante de los factores geométricos como se da en este proyecto.

Al replantear los parámetros tanto de burden como espaciamiento en el trascurso de las pruebas realizadas en campo, se logró disminuir la cantidad de granos que son afectados mayormente por las temporadas invernales, incrementando por otro lado el diámetro del material para hacerlo más óptimo en estas épocas, todo esto sin afectar en gran medida el porcentaje de sobretamaños en las voladuras.

se concluye que la geometría de la malla de perforación va ligada al comportamiento granulométrico del material, es por ello que es muy importante tener una buena malla, puesto que al tener los parámetros adecuados se conseguirá un material óptimo para el proceso de trituración y, por otro lado si se optimizan los parámetros los actores secundarios como el material utilizado para la voladura, la mano de obra, el tiempo de perforación y demás aranceles también se verán afectados positivamente, haciendo la operación más productiva y eficiente.

Bibliografía

Bernaola Alonso, J., Castilla Gómez, J., & Herrera Herbert, J. (2013). Perforación y Voladura de Rocas en Minería. Madrid.

Bracamonte Segura, M. A. (2017). IMPLEMENTACIÓN DEL SUBSISTEMA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN EL PROCESO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN LA EMPRESA ARGOS, PLANTA TOLÚ VIEJO. Valledupar.

Services, O. M. (Julio 2013). INFORME FINAL SERVICIOS TECNICOS ARGOS PLANTA TOLUVIEJO. Tolú Viejo.

Urango Borja, A. J. (18 de Diciembre de 2017). Entrevista con Director de cantera Planta de cemento Tolú Viejo, Argos S.A.