

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.
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE MINAS
VALLEDUPAR
2018.

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

INFORME DE PRÁCTICA EMPRESARIAL PRESENTADO COMO REQUISITO
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA DE MINAS

DIRECTOR DEL TRABAJO
SANDRA MOLINA
INGENIERA DE MINAS
ASESORA ACADÉMICA
COORDINADOR DEL TRABAJO
ALVARO URANGO
DIRECTOR DE CANTERAS, EMPRESA ARGOS PLANTA TOLÚ VIEJO

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL ÁREA ANDINA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE MINAS
VALLEDUPAR

2018

DEDICATORIA.

A mi Dios fiel que me ha permitido tanto, a mis padres por su apoyo y lucha incansable para hacer de mí una mujer de convicciones y propósitos, a mis hermanos queridos y por último a mis amores eternos, mis abuelos, Miriam y Roberto Elías, “Papito” esto con orgullo es para ti.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a Dios y mis padres Sandra Rubio Solano, Roberto Elías Nader y Juan González Fuentes, por todo el esfuerzo realizado para que me consagrara como Ingeniera de minas, por otro lado, a la Fundación Universitaria del Area Andina por brindarme todas las herramientas y el conocimiento necesario para hacer de mí una profesional integra.

En segunda instancia y no menos importante agradezco a la empresa Argos S.A. y su planta de cementos Tolú Viejo, por darme la oportunidad de realizar mis prácticas profesionales; de igual manera agradecer al Ingeniero Álvaro José Urango Borja, Director de cantera, quien fue mi coordinador de prácticas, el cual me brindó su apoyo incondicional y en quien siempre encontré respuestas ante dudas de mi proyecto, de procesos o cualquier otro tema que desconociera. Por otro lado, agradezco también a mi tutora de proyecto asignada por la Fundación Universitaria del Área Andina, la ingeniera Sandra Molina, quien gracias a su apoyo y total compromiso aportó su granito de arena para hacer esto posible.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	10
2. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA	11
2.1. Posición Geográfica	11
2.2. Reseña Histórica	12
2.3 Aspectos Estratégicos	13
2.3.1 Misión	13
2.3.2 Visión	13
2.3.3 Valores.....	14
2.4 Estructura Organizacional	14
2.5. Portafolio De Productos Y Servicios.....	18
2.5.1 Concreto	18
2.5.2 Cemento	18
2.5.3 Agregados	19
3 INFORME DE LA PRACTICA.....	20
3.1 Generalidades.....	20
3.1.1 Descripción de cantera y proceso.....	20
3.2. Descripción De Equipos Actuales.	21
3.2.1 Equipos de cargue.....	21
3.2.2 Equipo de transporte.....	22
3.2.3 Equipo de perforación.....	24
3.2.4 Equipo de corte y arranque.....	25
3.2.5 Otros equipos.	26
3.3. DESCRIPCCION DE FUNCIONES	28
3.3.1. Reporte de paros y casusas trituradora Larón.....	28
3.3.2. Registro de paros en sistema Sap.....	28
3.3.3. Programa de Orden y Aseo.	28
3.3.4. Reporte de producción, trituradora Larón.	29
3.3.5. Entrega mensual de Epp.	29
3.3.6. Implementación de nuevos formatos pre-operacionales.....	29
3.4. Logros alcanzados.	30
3.5. Impactos recibidos por el estudiante.	31

3.6. Limitaciones.	32
4. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.....	33
4.1. Título.....	33
4.2. Planteamiento del problema.....	33
4.3. Justificación.....	34
5. OBJETIVOS.....	36
5.1. Objetivo General.	36
5.2 Objetivos Específicos.	36
5.3. Resultados Esperados.	37
6. Marco De Referencia	38
6.1. Marco de antecedentes.	38
6.1.1. Implementación del subsistema gestión de la producción en el proceso de perforación y voladura en la empresa argos, Planta Tolú Viejo.....	38
6.1.2. Perforación y voladura de rocas en minería.	38
6.1.3. Informe Final Servicios Técnicos Argos Planta Tolú Viejo.....	39
6.2. Marco conceptual.	39
7. METODOLOGÍA.	42
7.1. Enfoque metodológico del proyecto.	42
7.2. Diseño metodológico.....	42
7.2.1. Población	42
7.2.2. Muestra.....	42
7.2.3. Tipo de muestra.....	43
7.3. Metodología del Trabajo.....	43
7.3.1. Revisión bibliográfica de las pruebas hechas con las mallas anteriores por la empresa.....	44
7.3.2. Identificación de mejoras mediante resultado Vol. #4 2017, Nivel 70...51	
7.3.3. Prueba N°1, Voladura N° 8, Frente 1, Nivel 70, 2017.....	55
7.3.4. Prueba N°2, Voladura N° 2, Frente 1, Nivel 70, 2018.....	62
7.3.5. Comportamiento de los patrones de Voladura en el transcurso del proyecto	69
7.3.6. Mejoras obtenidas con la nueva malla 6m x 4,20m.	74
8. Cronograma.....	77
9. Logros Alcanzados.	79
10. Impactos recibidos.	80

11. Limitaciones.....	81
12. Análisis de Resultados.....	82
13. Conclusiones.	84
14. Recomendaciones.	85
15. Bibliografía	86

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1 Porcentaje cumplimiento de logros.	30
Tabla 2 Cronología de las mallas utilizadas en la Planta de cementos Tolú Viejo.	44
Tabla 3 Resultado granulométrico, Voladura N°4 Malla 5,70*4 , Nivel 70, 2017 ...	49
Tabla 4 Resultados, Voladura N°4 Malla 5,70*4 , Nivel 70, 2017	51
Tabla 5 Tipos de voladura considerados para la planta Tolú Viejo.....	53
Tabla 6 Datos de parámetros voladura N°4 Malla 5,70*4m , año. 2017	54
Tabla 7 Propuesta de nuevo parámetro de perforación, Voladura N°8 2017. Malla 6*4m.	56
Tabla 8 Resultados granulometría voladura n°8 2017. malla 6*4m.	61
Tabla 9 Rangos de finos y gruesos entre 30 y 50cm.	61
Tabla 10 Sobretamaños, rocas mayores a 70 cm de diámetro.....	62
Tabla 11 Resultados granulometría voladura n°2, 2018. malla 6* 4, 20m.	68
Tabla 12 Rangos de finos y gruesos entre (30 - 50cm.)	68
Tabla 13 Sobretamaños, rocas mayores a 70 cm de diámetro.....	69
Tabla 14 Comportamiento Voladura N°4 y Voladura N°8 2017.	69
Tabla 15 Comportamiento VOL N° 4 2017 & VOL N°2. 2018.	71
Tabla 16 Comportamiento general de las 3 mallas implementadas.....	73
Tabla 17 Resultados, Optimización hecha con Malla 6*4,20cm	75
Tabla 18 Logros Alcanzados.	79

LISTA DE IMÁGENES.

Imagen 1 Ubicación General del Proyecto,.....	11
Imagen 2 Estructura Organizacional Corporativa.	16
Imagen 3 Estructura Organizacional Regional Colombia.....	17
Imagen 4 Cargador WA 600 #10	22
Imagen 5 Cargador WA 600 #10	22
Imagen 6 Caterpillar 773F	23
Imagen 7 Caterpillar 773 G.....	23
Imagen 8 Dresser N°4.	24
Imagen 9 Perforador E.C.M. 720.	25
Imagen 10 Tractor D275A-5 y D275A-X	26
Imagen 11 Camión de Riego. TRL 410.....	27
Imagen 12 Motoniveladora 120G.....	27
Imagen 13 Marcación y levantamiento de los nuevos parámetros establecidos....	57
Imagen 14 Levantamiento Topográfico, Malla 6m*4m.....	58
Imagen 15 impresa para análisis granulométrico Prueba #1, Vol. N°8. Malla 6x4m.	60
Imagen 16 Área para disposición de voladura #2 malla 6 m *4,20m	64
Imagen 17 Medición y marcación de barrenos, malla 6* 4,20m	65
Imagen 18 levantamiento topográfico de la granulometría, Prueba #2.....	66
Imagen 19 Foto impresa para análisis granulométrico Prueba #2, Vol. N°2. 2018 Malla 6x4,20m.....	67

1. INTRODUCCIÓN

“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.”¹ 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.”²

“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.**”³

Teniendo en cuenta lo anterior, en el siguiente informe se realizarán pruebas de voladura en donde se buscará por medio de la implementación de nuevos parámetros de perforación y voladura una reducción en la cantidad de granos finos generados en las mismas, y un aumento gradual en la granulometría obtenida, en dónde por medio de análisis granulométricos se establecerá si los nuevos parámetros geométricos cumplen con el objetivo buscado.

¹ J. Bernaola Alonso, J. Castilla Gómez y J. Herrera Herbert, «Perforación y Voladura de Rocas en Minería,» Madrid, 2013.

² J. Bernaola Alonso, J. Castilla Gómez y J. Herrera Herbert, «Perforación y Voladura de Rocas en Minería,» Madrid, 2013.

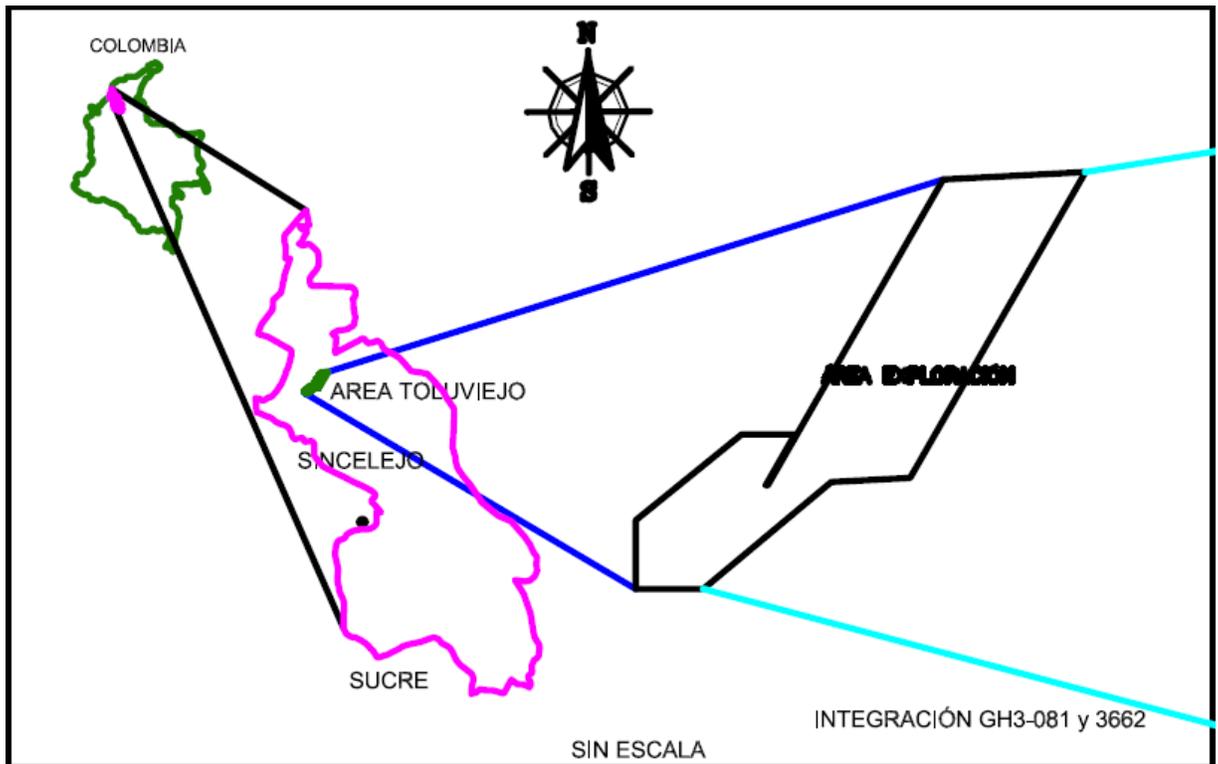
³ J. Bernaola Alonso, J. Castilla Gómez y J. Herrera Herbert, «Perforación y Voladura de Rocas en Minería,» Madrid, 2013.

2. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA

2.1. Posición Geográfica

La planta de cementos Tolú viejo, de la empresa Argos S.A. está ubicada en la vía que conduce al municipio de Santiago de Tolú, Sucre, a unos 24 kilómetros de Tolú viejo.

Imagen 1 Ubicación General del Proyecto,



Fuente: Base de datos Área de Planeamiento Minero, Planta Tolú Viejo.

2.2. Reseña Histórica

“El 2 de enero de 1934, Surge Argos. Surge la Compañía de Cementos Argos, convirtiéndose en una de las empresas más importantes y representativas de la economía colombiana de todos los tiempos. Luego el 2 enero de 1936. La fábrica de Medellín, en Colombia, produce el primer cemento para consumir. Más tarde en ese mismo año La Planta Nare, Colombia, comercializa el primer saco de cemento gris y posteriormente, el blanco.

Posteriormente el 2 de enero de 1937 se da la primera ampliación de la fábrica. Mediante nuevos equipos y desde este año, se comienzan a obtener utilidades. Al siguiente año el 2 de enero, se duplica la capacidad de producción original, a 100 toneladas diarias. Al mismo tiempo, se funda la planta en Yumbo, Valle, Colombia, después en enero 1944, se constituye la planta en Barranquilla (Colombia). Dos años más tarde el 2 de enero de 1946, nace la planta Cairo en Antioquia.

De esa misma forma el 2 enero de 1950, se montan los primeros tres mezcladores de concreto en la ciudad de Medellín, luego el 2 enero de 1972, la Compañía adquiere la Planta Tolú viejo en Colombia, que tendría una línea de producción de 600 toneladas diarias, 5 años más tardes el 2 de enero se constituye la planta Cartagena (Colombia), posteriormente el 2 de enero de 1986 se inaugura la Planta Rio Claro en Colombia de esa misma forma en enero de 1996 se adquiere cementos Paz de Rio

De esta misma manera el 2 enero 1998, Nacen alianzas estratégicas para adquirir compañías cementeras en Panamá, República dominicana y Haití, con ese mismo impulso el 2 de enero de 2003, comienza la reorganización corporativa, mediante fusión por absorción de las ocho compañías cementeras colombianas luego, el 2 de enero de 2005, finaliza la reorganización corporativa y se adquiere Sotuer Star Concrete y Concrete Express, en Estados Unidos

De esta manera Argos junto a sus colaboradores y amplio mercado en Colombia, Centro América y Estados Unidos. A logrado ser incluida en el ranking Climate

Disclosure Leadership Index (CDLI) para Latinoamérica, gracias a sus buenas prácticas en sostenibilidad y a la calidad y transparencia en la información relacionada al cambio climático, divulgada por la Compañía a través de Carbón Disclosure Project (CDP). A partir del 5 de noviembre de 2015.⁴

2.3 Aspectos Estratégicos

2.3.1 Misión

ARGOS tiene como fundamento de su misión trabajar en armonía con el medio ambiente y la comunidad. Consientes de este principio y del desafío mundial por proteger nuestro hábitat bajo condiciones de explotación y aprovechamiento racional de los recursos.⁵

2.3.2 Visión

Compañía Argos es una organización multioméstica, productora y comercializadora de cemento y concreto, con presencia en Colombia, Estados Unidos y el Caribe. En 2010 realizó ventas por 1,6 billones de dólares. En el negocio del cemento, Argos es el quinto productor más grande en América Latina y el

⁴ Implementación del Subsistema Gestión de la Producción en el Proceso de Perforación y Voladura en la Empresa Argos, Planta Tolú Viejo, M. Bracamonte. (2017)

⁵ Página web Grupo Argos, Disponible en: <https://www.argos.co/colombia/somos/historia> 2015

segundo más grande en el sureste de Estados Unidos. Cuenta con nueve plantas en Colombia y dos en Estados Unidos; seis molientes de clinker ubicadas en Colombia, Estados Unidos, Haití, Panamá, República Dominicana y Surinam; y cinco terminales de recepción y empaque ubicadas en Antigua, Curazao, Dominica, St. Marteen y St. Thomas. La capacidad instalada total es de 16 millones de toneladas de cemento al año. En el negocio del concreto, Argos es el cuarto productor más grande en Estados Unidos. Cuenta con 300 plantas ubicadas en Colombia, Estados Unidos y Panamá. La capacidad instalada total es de 14 millones de metros cúbicos de concreto al año. El modelo de negocio está centrado en el cliente y en el desarrollo sostenible, es decir, económicamente viable, respetuoso de las personas, responsable y amigable con el medio ambiente.⁶

2.3.3 Valores

- ✓ Transcendencia.
- ✓ Respeto.
- ✓ Liderazgo.
- ✓ Desarrollo
- ✓ Calidad de vida.

2.4 Estructura Organizacional

“La Administración de la Compañía está a cargo del Presidente y los Vicepresidentes, quienes atienden las directrices que les fijan la Asamblea General de Accionistas y la Junta Directiva.

⁶ Página web Grupo Argos, Disponible en: <https://www.argos.co/colombia/somos/historia> 2015

El Presidente y los Vicepresidentes se reúnen cada mes, en Comité Directivo, para analizar el desempeño de la Compañía, evaluar nuevos proyectos y hacer seguimiento a los proyectos en curso. Así mismo, las Vicepresidencias Regionales cuentan con un comité mensual al que también asiste el Presidente.”⁷

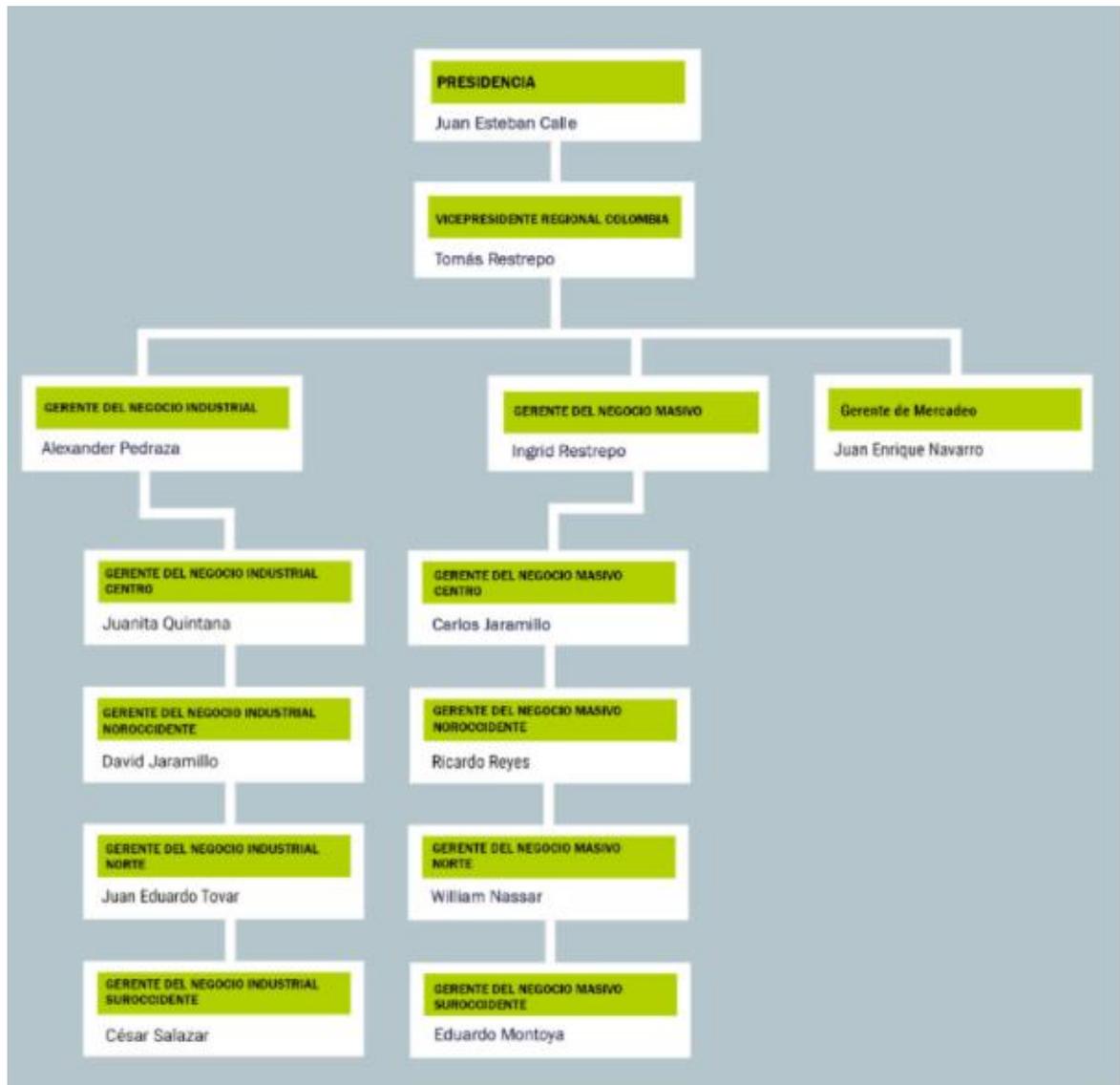
⁷ Página web Grupo Argos, Disponible en: <https://www.argos.co/ir/gobierno-corporativo/equipo-directivo>. 2018.

Imagen 2 Estructura Organizacional Corporativa.



Fuente: <https://www.argos.co/ir/gobierno-corporativo/equipo-directivo>. 2018

Imagen 3 Estructura Organizacional Regional Colombia.



Fuente: <https://www.argos.co/ir/gobierno-corporativo/equipo-directivo>

2.5. Portafolio De Productos Y Servicios

“El portafolio de productos de Argos, es el más completo de la industria cementera en el mercado. Con cementos y concretos, los productos de Argos cuentan con certificados de calidad y estrictos procesos de producción que aseguran el respectivo cumplimiento de la normatividad, siendo la variedad y la innovación constantes dentro de la amplia gama que ofrecemos.

Derivados de la trituración de diferentes rocas, grava y arena. Junto con el agua y el cemento, conforman el trío de ingredientes necesarios para la fabricación de concreto.”⁸

2.5.1 Concreto

“Argos ha diseñado una amplia gama de concretos elaborados con procesos controlados desde la materia prima hasta la entrega del producto, lo que permite calidad certificada, mezclas homogéneas y mínima segregación.”⁹

2.5.2 Cemento

“Diseñado para uso de mezclas de concreto o mortero, pega, pañete y acabados, para ser utilizados en diversas estructuras y construcciones.”¹⁰

⁸ Página web Argos Colombia, Disponible en: <https://www.argos.co/Productos>. 2017.

⁹ Página web Argos Colombia, Disponible en: <https://www.argos.co/Productos>. 2017.

¹⁰ Página web Argos Colombia, Disponible en: <https://www.argos.co/Productos>. 2017.

2.5.3 Agregados

“Derivados de la trituración de diferentes rocas, grava y arena. Junto con el agua y el cemento, conforman el trío de ingredientes necesarios para la fabricación de concreto.”¹¹

¹¹ Página web Argos Colombia, Disponible en: <https://www.argos.co/Productos>. 2017.

3 INFORME DE LA PRACTICA.

3.1 Generalidades.

3.1.1 Descripción de cantera y proceso.

La planta Tolú viejo, perteneciente a la empresa Argos S.A. es una productora de cementos quien cuenta con distintos procesos para su elaboración; el área encargada del primer proceso en la elaboración del cemento es “Cantera y Trituración” área donde se desarrollaron las prácticas, estos son los responsables por subprocesos pertenecientes a los sistemas de Gestión de la Extracción de las Materias Primas y la Gestión de la Trituración de las Materias Primas, los cuales se encargan de la explotación, cargue, transporte, beneficio y trituración de la caliza, margas y arcillas; este proceso cuentan con un personal a cargo, quienes son: el Director de canteras, profesional de canteras, supervisores y operadores, encargados del funcionamiento del area.

De esta manera la cantera cuenta con un yacimiento sinclinal formado por materias primas como caliza, margas y limos, estos son explotados por medio de banqueo descendente, los bancos cuentan con alturas de entre 9 y 15 metros de altura, que van desde el nivel 80 hasta el 145, último nivel del desarrollo, todos ellos extraídos mediante perforación y voladura y arranque mecánico, el material volado en este caso la caliza debe contar con una granulometría adecuada para garantizar la eficiencia en el proceso de trituración; además cuenta con cuatro frentes de explotación de los cuales dos están activos, “Frente uno” donde se extrae caliza y margas y “Frente 3” para los limos.

Conforme a esto, luego de la extracción de los materiales, mezclas y margas, son cargados y transportados a los patios de acopio donde posteriormente son apilados

para luego ser mezclados y triturados de manera proporcionada utilizando las relaciones dadas por el departamento de materias primas; la premezcla conformada por las margas y limos debe cumplir estándares de calidad que están ligados a la cantidad de óxidos de aluminio, hierro, sílice y caliza permisibles en la mezcla; por otra parte la caliza también es controlada con respecto a su calidad pues la cantidad de calcio presente en ella influye en gran medida en la calidad del cemento, es por ello que constantemente se realizan muestreos tanto en las pilas que serán trituradas como en el mismo proceso de trituración.

Finalmente, los materiales triturados son almacenados en un salón de acopio donde caen en dos pilas distintas tanto la caliza como la mezcla para luego crear con ambas una pre-mezcla homogenizada, producto final entregado correspondiente al área de cantera y trituración que luego sigue a los procesos finales de molienda en busca del Clinker, materia prima para la elaboración del cemento.

3.2. Descripción De Equipos Actuales.

3.2.1 Equipos de cargue.

La empresa cuenta con dos equipos de cargue, los cuales son de la marca Komatsu, modelos WA 600, de la serie uno y diez, (WA 600 N°1 y WA 600 N°10), ambos frontales y montados sobre llantas, cuya función principal en la cantera es el cargue del material volado.

Imagen 4 Cargador WA 600 #10



Fuente propia 2018.

Imagen 5 Cargador WA 600 #10



Fuente propia 2018.

3.2.2 Equipo de transporte.

Actualmente la Planta Tolú viejo de la empresa Argos S.A. dispone de cuatro equipos de transporte dispuestos para el transporte de material a tolva de trituración, acopio de material y requerimientos en otras áreas de ser necesario, asegurando la

producción requerida para la elaboración de Clinker. Se cuenta con tres camiones de marca Caterpillar modelos 773 G, 773 G N°1 y 773 F y por último un modelo de camión Dresser N° 4 de la marca Haulpak, cada uno variando en la capacidad nominal de carga útil que va desde los 54 hasta los 45 ton.

Imagen 6 Caterpillar 773F



Fuente propia 2018.

Imagen 7 Caterpillar 773 G.



Fuente propia 2018.

Imagen 8 Dresser N°4.



Fuente Propia 2018.

3.2.3 Equipo de perforación.

En la cantera existe según G. Perpiñán (2014) “Perforador rotopercutivo de oruga no echo para traslados a largas distancias, con martillo en cabeza, consta de seis varillas cada una de tres metros, este equipo realiza perforaciones de producción, realiza barrenos con profundidades que varían de 3 a 15 metros (1 a 5 varillas respectivamente). Los barrenos son los utilizados para el posterior cargue del explosivo para el arranque de la caliza mediante las voladuras.”¹²

¹² Optimización De Los Proceso Mineros Realizados En El Área De Cantera En La Planta Cementera Del Grupo Argos, Tolú Viejo. G. Perpiñán. (2014)

Imagen 9 Perforador E.C.M. 720.



Fuente propia 2018.

3.2.4 Equipo de corte y arranque.

Dos Buldócer Komatsu D275A-5 y D275A-X, utilizados para el acondicionamiento de plazas para voladura, cortar la caliza volada, margas y limolitas sueltas, apilamiento de material en patios de acopio, adecuación de vías, entre otras tareas.

Imagen 10 Tractor D275A-5 y D275A-X



Fuente propia 2018.

3.2.5 Otros equipos.

La operación cuenta con dos equipos de apoyo, una motoniveladora Caterpillar 120 G, encargada del acondicionamiento de las vías, nivelación de terrenos, canales de desagüe entre otros; por otro lado, también se tiene como equipo de apoyo un Camión de Riego TRL 410 encargado del riego de la cantera, vías, niveles y patios,

además de intervenir en zonas de la planta que lo requieran, con el fin de mitigar la emisión de material particulado presente en la plata.

Imagen 11 Camión de Riego. TRL 410.



Fuente propia 2018.

Imagen 12 Motoniveladora 120G.



Fuente propia 2018.

3.3. DESCRIPCCION DE FUNCIONES

3.3.1. Reporte de paros y casusas trituradora Larón.

Para medir la eficiencia del proceso, se lleva un reporte de los paros por día vencido de la trituradora Larón, donde se registra, la hora de inicio y finalización de cada parada con una breve descripción de lo ocurrido en un formato Excel, donde estas pueden ser por bloqueos de material, averías en el sistema de bandas, o por procesos externos a la trituradora, falta de equipo de cargue, material, equipo de corte, o cualquier motivo que pueda causar paros en la trituradora.

3.3.2. Registro de paros en sistema Sap.

A parte de registrar los paros en un formato Excel, estos se pasan al programa SAP, programa con que cuenta la empresa donde se suben cada una de las paradas y se les registra de manera individual con sus respectivos motivos y demás aspectos a llenar, por otro lado, se realiza el cierre mensual de las paradas, donde se verifica el número de paros totales mensuales, el tiempo real trabajado por la cinta placa y también el indicador el MTBS mensual que sirve para indicadores de mantenimiento, tiene como finalidad indicar el tiempo medio entre fallas.

3.3.3. Programa de Orden y Aseo.

Se le asigna al aprendiz de cantera liderar las jornadas de orden y aseo, en las cuales debe identificar las áreas que requieren mejoras u optimizaciones, bien sea a señalizaciones, limpieza de áreas afectadas por abarcamiento de maleza, residuos de la operación, o demás áreas que se deban mejorar; posteriormente toma evidencia con fotografías de cómo estaban anteriormente y como queda después de la mejora, para luego ser entregadas al jefe inmediato en

presentaciones de Power Point; estas jornadas de orden y aseo se realizan en toda el área de cantera, abarcando también la zona de trituración.

3.3.4. Reporte de producción, trituradora Larón.

Cada inicio de turno antes de las 8:00 a.m. se hace el registro en un formato Excel dispuesto por la empresa Argos S.A. de lo realizado el día anterior por la trituradora, se registra tanto las toneladas de caliza y mezcla realizadas en cada turno A 7:00 Am -15:00 pm y B 15:00 – 23:00 pm, como el hodómetro de la cinta placa de la trituradora, además también se lleva control del material transportado a los patios y si se realiza voladura, se registran las toneladas de material volado. Todo ello para conocer el rendimiento de la trituradora y saber si se está cumpliendo con lo requerido en cada turno.

3.3.5. Entrega mensual de Epp.

La empresa Argos está comprometida con la seguridad de sus trabajadores, es por esto que al inicio de cada mes cada área de la empresa hace entrega de los elementos de protección personal a cada uno de sus trabajadores, en el área de canteras el supervisor se encarga de tal función, o caso contrario se le delega al aprendiz, donde este realiza los vales en el sistema SAP para reclamarlos, calculando el número de gafas, guantes y mascarillas necesarias, estos se entregan a cada operador haciendo constancia mediante sus firmas en una hoja formato, llevando así un registro de la cantidad, la fecha y el tipo de elemento entregado.

3.3.6. Implementación de nuevos formatos pre-operacionales.

Para llevar a cabo un mejor control de los daños o deficiencias de la maquinaria amarilla se hace uso de nuevos formatos Pre operacionales creados por la empresa, donde mediante charlas inductivas y acompañamiento a los operarios se socializa como se deben utilizar, que se debe hacer y se resuelven las dudas al respecto a medida que se adaptan a estas; este formato se implementó a partir de la segunda semana del mes de febrero, por lo cual pasado el mes de enero, fue deber del aprendiz registrar en los nuevos formatos todas las falencias encontradas y registradas por los operarios en los formatos anteriores de cada una de las maquinas utilizadas en el mes de enero.

3.4. Logros alcanzados.

Tabla 1 Porcentaje cumplimiento de logros.

LOGROS	PORSENTAJE
Relaciones Interpersonales.	95%
Manejo del Personal.	85%
Conocer el proceso para la fabricación del cemento.	100%
Conocer la maquinaria utilizada en la operación.	95%
Aportar soluciones a situaciones presentadas en el transcurso de las prácticas.	85%
Desarrollar la propuesta de investigación dirigida al area de perforación y voladura.	100%

Implementar pruebas con nuevos parámetros de perforación.	100%
Conocer las operaciones que permiten la extracción de la materias primas y su proceso de trituración.	100%

3.5. Impactos recibidos por el estudiante.

Desde el ámbito laboral, uno de los mayores impactos positivos es tener una experiencia profesional en una empresa consolidada a nivel nacional por sus buenas prácticas, que inculca a sus trabajadores la seguridad en todos los procesos y quien desde el principio me acogió de sobremanera para hacerme sentir parte de empresa e importante en el proceso; por otra parte, la unión familiar y el trato equitativo entre ambas partes en mi área de operación deja en mí una enseñanza como profesional y ser humano, entendiendo que liderar va más allá de dar órdenes pues es también escuchar, recibir sugerencias y actuar de la forma más propia donde el bien común prime y ante todo la seguridad.

De la misma manera a nivel académico impacta conocer y ser parte del proceso de extracción de la materia, su perforación y voladura, transporte, proceso de trituración y beneficio, que ya no solo se adquiere conocimiento a nivel teórico en el largo recorrido de la carrera y desarrollo del pensum, sino que de forma vivencial en el transcurso del día a día en el desarrollo de las prácticas se enriquece el conocimiento adquirido en clases, pues aquí se pone en ejecución lo aprendido en el aula, se cuestiona la forma en que se realizan los procesos, pero sobretodo se aprende de la mejor manera, realizando, observando y siendo parte de la operación,

generando una gran experiencia en el campo de acción que como ingenieros de minas es muy importante para ser un buen profesional

3.6. Limitaciones.

Una de las limitaciones más marcadas que tuve el transcurso de las practicas fueron los conceptos utilizados por el personal encargado del manejo de los equipos, los operadores, pues me vi muchas veces en la necesidad que me explicaran a que se referían con ciertas partes de la maquinaria que mencionaban, pues o no sabía que era o en la mayoría de los casos conocía que trataba, pero el nombre o apelativo que le daban era distinto del cual me habían enseñado en la teoría.

Por otra parte, el desconocimiento total de la trituradora también fue una limitante, pues en esta área estaba bastante vacía con respecto a sus partes y conceptos, funciones de ciertos componentes, entre otros, sin embargo, la gran ayuda por parte del personal de trituración dio cabida a que con el paso de tiempo aprendiera sobre este tema y posteriormente comenzara a comprender a que se referían cuando había alguna avería del componente cualquiera, o que cuando me solicitaran algo o tenía que transmitir el problema a mi jefe hablara con propiedad sobre el tema.

De la misma forma algo que me tomó por sorpresa fue el proceso de fabricación del cemento, en este tema también estaba algo perdida, pues en el tema de los óxidos y su importancia en la calidad del cemento no era del todo mi fuerte, pero gracias a todo el personal de materias primas, topografía, canteras, con los días fui asimilando aún más todo este tema hasta el punto de interpretar las calidades transmitidas por radio y comprender si eran buenas o no.

4. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.

4.1. Título.

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.

4.2. Planteamiento del problema.

La Empresa Cementos Argos S.A., Planta Tolú viejo, actualmente es productora de cemento de uso general, concretero y de exportación. “En la industria del cemento se exige una explotación continua de minerales que permitan realizar el proceso de elaboración del Clinker,”¹³ La roca caliza como principal elemento junto con arcillas demandan de un proceso de perforación y voladura que como resultado debe arrojar una granulometría óptima.

Dado esto “la empresa ARGOS planta de cementos tolú viejo fue asesorada por Orica Mining Services en el año 2013 definiendo una línea base que consta de una malla de un burden de 4 metros y un espaciamiento de 5.70 metros, altura de banco de 10 metros y diámetro de barreno 4 pulgadas”¹⁴, esto con el motivo de disminuir el porcentaje de finos sin incrementar los sobretamaños en las voladuras.

¹³ Optimización De Los Proceso Mineros Realizados En El Área De Cantera En La Planta Cementera Del Grupo Argos, Tolú Viejo. G. Perpiñán. (2014).

¹⁴ Implementación del Subsistema Gestión de la Producción en el Proceso de Perforación y Voladura en la Empresa Argos, Planta Tolú Viejo, M. Bracamonte. (2017)

“La generación de finos en la voladura, en combinación con la humedad o presencia de agua al ingreso de la trituración, genera atascamientos que hacen más lento el proceso de trituración e incluso pueden generar la detención de la operación.”¹⁵ incluyendo también los sobretamaños que de igual forma generan atascamientos y baja productividad; presentándose de forma más marcada este problema en el último nivel de la cantera, Nivel 70, zona en donde se evidencia luego de la post voladura material muy fino y otros de gran granulometría.

De acuerdo a lo anterior se evidencia la necesidad de replantear nuevamente los parámetros de la malla de perforación utilizada en este nivel, es por esto que podemos plantear como interrogante ¿Es posible Implementar un aumento gradual en los parámetros de perforación y voladura en el frente #1, nivel 70 de la Cantera, Planta Tolú viejo de la empresa Cementos Argos S.A?

4.3. Justificación.

Esta investigación busca analizar los parámetros de voladura que se han venido implementado con anterioridad e identificar las oportunidades de mejora alcanzables con el fin de proponer y aplicar nuevos modelos de perforación, obteniendo resultados mediante pruebas realizadas en campo con las cuales se compare y evalúe la eficiencia de las voladuras con modificaciones en mallas a través de un análisis granulométrico post voladura, generando un antecedente que sirvan de soporte para futuros proyectos investigativos que la empresa Argos S.A. quiera llevar a cabo en esta área.

¹⁵ INFORME FINAL SERVICIOS TECNICOS ARGOS PLANTA TOLUVIEJO Orica Mining Services (Julio Del 2013)

De acuerdo con lo anterior, el objetivo principal de este proyecto es implementar nuevos parámetros de perforación y voladura en las áreas que evidencien mayor dificultad con respecto a la granulometría del material, tomando como referencia el nivel 70 de la cantera Tolú viejo, generando así un trabajo en conjunto que retroalimente a ambas partes, Empresa y aprendiz.

Es por ello que a través de este trabajo se pretende aportar información confiable y de utilidad en cuanto al proceso de perforación y voladura desarrollado en la Cementera Tolú Viejo, de la empresa Argos S.A; en cuanto a la implementación de nuevos parámetros de perforación y voladura que involucren zonas con dificultades post voladura, altos finos o sobretamaños, dado que este es uno de los problemas que más genera perturbaciones en el proceso de trituración. Este proyecto investigativo dejará datos y resultados que serán de gran apoyo a futuros proyectos que vayan dirigidos a la corroboración u optimización de los parámetros de voladura

Se evidencia la importancia de esta investigación desde el ámbito científico, ya que aporta no solo información conceptual al proceso que será de utilidad para futuros trabajos, sino que también aporta información sobre la importancia de replanteo de los procesos, ensayando prueba y error en busca de mejores resultados que logren aportar beneficios no solo a la empresa sino al conocimiento y aprendizaje.

5. OBJETIVOS.

5.1. Objetivo General.

Implementar parámetros de perforación y voladura en el nivel 70, frente 1 de la cantera, planta Tolú viejo de la empresa cementos Argos S.A.

5.2 Objetivos Específicos.

- ✓ Analizar los parámetros de perforación y voladura implementados anteriormente en el Nivel 70 mediante el comportamiento de la Post voladura.
- ✓ Identificar las oportunidades de mejora en los parámetros de perforación y voladura.
- ✓ Proponer nuevos parámetros de perforación para el aprovechamiento de los recursos de la cantera.
- ✓ Aplicar nuevos parámetros de perforación en conjunto con el personal de perforación.
- ✓ Realizar pruebas con los nuevos parámetros propuestos en el Nivel 70, frente 1 de la cantera.
- ✓ Comparar el comportamiento del patrón actual utilizado con los propuestos en el transcurso del Proyecto.
- ✓ Evaluar la eficiencia de los patrones mediante el comportamiento de la Post Voladura a través de análisis granulométricos.

5.3. Resultados Esperados.

Inicialmente se espera realizar una revisión bibliográfica, con el fin de obtener antecedentes de los trabajos realizados dirigidos al monitoreo del comportamiento de las mallas de perforación y voladura implementadas en la planta, además de participar de la mano con el equipo de perforación realizando acompañamiento en la instancia de las prácticas, para aprender del proceso y tener conocimiento de la forma en que se desarrolla, de esta manera se espera identificar las mejoras u optimizaciones posibles que se puedan realizar a los parámetros implementados con anterioridad al proyecto mediante un análisis hecho a los resultados de la granulometría obtenida en las post voladura.

De la misma manera, se espera proponer nuevos parámetros tomando como punto de partida los utilizados anteriormente en la cantera, con el fin de informar, se espera entonces divulgar y posteriormente implementar los nuevos factores geométricos propuestos, realizando pruebas con estos en el transcurso de las prácticas, comparando cada patrón mediante el resultado del análisis granulométrico generado después de realizar las voladuras, de esta manera se espera tomar resultados y conforme a ello evaluar que malla se ajusta más a los requerimientos buscados.

6. Marco De Referencia

6.1. Marco de antecedentes.

6.1.1. Implementación del subsistema gestión de la producción en el proceso de perforación y voladura en la empresa argos, Planta Tolú Viejo.

Autor: BRACAMONTE SEGURA, Mario Andrés.

“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. “¹⁶

6.1.2. Perforación y voladura de rocas en minería.

Autor: GÓMEZ CASTILLA, Jorge; ALONSO BERNAOLA, José; HERBERT HERRERA, Juan.

“Las rocas responden de forma muy diferente a la onda de detonación del explosivo en lo que respecta a la primera etapa de formación de fisuras, primordial y origen del fenómeno de rotura y fragmentación. Generalmente se relaciona la volabilidad de una roca con su dureza. Una roca más dura exige una mayor cantidad de explosivo para ser volada. Esto no es exacto pues además del término dureza se debe incluir el aspecto fragilidad.”¹⁷

¹⁶ Implementación del subsistema gestión de la producción en el proceso de perforación y voladura en la empresa argos, Planta Tolú Viejo. M. Bracamonte. 2017.

¹⁷ J. Bernaola Alonso, J. Castilla Gómez y J. Herrera Herbert, «Perforación y Voladura de Rocas en Minería,» Madrid, 2013.

6.1.3. Informe Final Servicios Técnicos Argos Planta Tolú Viejo.

Autor: Orica Mining Services.

“La generación de finos en la voladura, en combinación con la humedad o presencia de agua al ingreso de la trituración, genera atascamientos que hacen más lento el proceso de trituración e incluso pueden generar la detención de la operación. Disminuir el porcentaje de finos que se generan en la voladura es vital para poder aumentar la productividad de los equipos de trituración.”¹⁸

6.2. Marco conceptual.

Este trabajo es realizado en la Planta de Cementos Tolú Viejo, perteneciente a la empresa Argos S.A., en la cual se extrae la roca caliza “Roca sedimentaria (generalmente de origen orgánico) carbonatada que contiene al menos un 50% de calcita (CaCO₃), Contienen frecuentemente fósiles, por lo que son de gran importancia en estratigrafía, así como diversas aplicaciones industriales. Usos: el mayor consumo de caliza se efectúa en la fabricación de cementos; es materia prima de la industria química (grandes masas de caliza se utilizan anualmente como fundentes en la extracción de diversas menas metálicas).”¹⁹ “mediante el sistema de explotación a cielo abierto para extraer de él rocas o minerales no disgregados, utilizados como material de construcción.”²⁰ Denominado cantera.

¹⁸ INFORME FINAL SERVICIOS TECNICOS ARGOS PLANTA TOLUVIEJO Orica Mining Services (Julio Del 2013)

¹⁹ Glosario Técnico Minero. Ministerio De Minas Y Energía (Bogotá D.C, agosto de 2003)

²⁰ Glosario Técnico Minero. Ministerio De Minas Y Energía (Bogotá D.C, agosto de 2003)

Por otra parte la extracción de este mineral se realiza por medio de voladura, la cual “comprende el cargue de los huecos hechos en la perforación, con una sustancia explosiva, que al entrar en acción origina una onda de choque y, mediante una reacción, libera gases a una alta presión y temperatura de una forma substancialmente instantánea, para arrancar, fracturar o remover una cantidad de material según los parámetros de diseño de la voladura misma.”²¹ Estos parámetros de diseño de voladura son importantes ya que juegan un papel vital en el resultado final de la granulometría del material, en los cuales se encuentra como principales para el diseño de malla el burden o “Piedra: Distancia entre el barreno y la cara libre.”²² y el “Espaciamiento: Distancia entre dos barrenos adyacentes en la misma fila.”²³

De esta manera, cada parámetro influye de determinada forma, en donde la disposición que se le dé a la malla que está conformada por estos parámetros juega un papel fundamental, dado que, si “el burden es excesivo, la explosión del barreno encontrará mucha resistencia para romper adecuadamente al cuerpo de la roca, los gases generados tenderán a soplar y a craterizar la boca del barreno. Por el contrario, si es reducido, habrá exceso de energía, la misma que se traducirá en fuerte proyección de fragmentos de roca y vibraciones. El espaciamiento es el parámetro de diseño de mayor influencia sobre los resultados de la fragmentación de la roca del material volado. Al igual que el burden, para dimensiones de espaciamientos pequeños existe una alta probabilidad de eyección del retacado y partición entre barrenos (estimulando liberación de gases) ruido y golpe aéreo. Mientras que, para dimensiones de espaciamientos grandes, esta propenso a una inadecuada fragmentación entre barrenos, dejando incluso pisos irregulares.”²⁴

²¹ Glosario Técnico Minero. Ministerio De Minas Y Energía (Bogotá D.C, agosto de 2003)

²² J. Bernaola Alonso, J. Castilla Gómez y J. Herrera Herbert, «Perforación y Voladura de Rocas en Minería,» Madrid, 2013.

²³ J. Bernaola Alonso, J. Castilla Gómez y J. Herrera Herbert, «Perforación y Voladura de Rocas en Minería,» Madrid, 2013.

²⁴ INFORME FINAL SERVICIOS TECNICOS ARGOS PLANTA TOLUVIEJO Orica Mining Services (Julio Del 2013)

Dado esto, unos parámetros de voladura inadecuados conllevan a “una mala fragmentación puede hacer necesario la realización de voladuras secundarias o taqueos, o bien, la necesidad de romper los sobretamaños mediante medios mecánicos, con el sobre coste añadido que supone. El tamaño máximo deseado en voladuras a cielo abierto en canteras de áridos vendrá definido por la capacidad de la planta de tratamiento, en concreto por el tamaño máximo de admisión del triturador primario.”²⁵

Por otra parte, es posible que no solo se generen sobretamaños, sino que en caso contrario se dé “la generación de finos en la voladura, en combinación con la humedad o presencia de agua al ingreso de la trituración, genera atascamientos que hacen más lento el proceso de trituración e incluso pueden generar la detención de la operación. Disminuir el porcentaje de finos que se generan en la voladura es vital para poder aumentar la productividad de los equipos de trituración”²⁶

Es por ello que, “con una fragmentación adecuada es posible la optimización de los equipos de carga y transporte, pudiendo trabajar ambos a plena capacidad, sin pérdidas de tiempo de ciclo ni viajes a media carga por tener que transportar grandes bloques de roca.”²⁷

²⁵ J. Bernaola Alonso, J. Castilla Gómez y J. Herrera Herbert, «Perforación y Voladura de Rocas en Minería,» Madrid, 2013.

²⁶ INFORME FINAL SERVICIOS TECNICOS ARGOS PLANTA TOLUVIEJO Orica Mining Services (Julio Del 2013).

²⁷ J. Bernaola Alonso, J. Castilla Gómez y J. Herrera Herbert, «Perforación y Voladura de Rocas en Minería,» Madrid, 2013.

7. METODOLOGÍA.

7.1. Enfoque metodológico del proyecto.

Este trabajo tiene un enfoque mixto ya que “La investigación mixta es un nuevo enfoque e implica combinar los métodos cuantitativo y cualitativo en un mismo estudio”²⁸ , por otra parte según Hernández Sampieri y Mendoza, (2008). “Los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada (metainferencias) y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio”²⁹

7.2. Diseño metodológico.

7.2.1. Población

Perforación y voladura nivel 70, frente 1 de la planta de cemento Tolú Viejo de la empresa Argos S.A.

7.2.2. Muestra.

Mallas de perforación y voladura N° 4 y N°8 del 2017 y N°2 del año 2018.

²⁸ R. Hernández Sampieri., C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio, Metodología de la Investigación, 4 ed., México: McGraw-Hill, 2004, pp. 37-38.

²⁹ R. Hernández Sampieri., C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio, Metodología de la Investigación. 5 ed. México: McGraw-Hill, 2010, pp. 546.

7.2.3. Tipo de muestra.

Este trabajo es de tipo **probabilístico** ya que “La característica de este tipo de muestras es que todos los elementos de la población al inicio tienen la misma probabilidad de ser elegidos. Así, los elementos muestrales tendrán valores muy aproximados a los valores de la población, ya que las mediciones del subconjunto serán estimaciones muy precisas del conjunto mayor.”³⁰

7.3. Metodología del Trabajo.

Para un mejor desarrollo del proyecto en primera instancia se inicia con un empalme y adaptación a la operación tanto de la cantera en general como del proceso de perforación y la voladura, en ella se conoce los equipos, el personal, los procedimientos y demás actividades que sean de utilidad para las prácticas.

Para la realización de este trabajo primero se realiza una inclusión en la operación de perforación y voladura, en donde se hace acompañamiento contante para aprender acerca de la forma en que realizan los diferentes procedimientos para las voladuras; en este acompañamiento se resuelven dudas, se aprende del proceso y se registran cada uno de los pasos para la ejecución de las mismas.

Dado que en un que este trabajo se trata de modificar los parámetros actuantes en las mallas de perforación, en esta inclusión se observa que tipo de mallas utilizan, de qué forma se marca, como se toman los datos, de qué manera se analizan y todo aquello que sea de utilidad para tener en claro la operación y sus procesos.

³⁰ R. Hernandez Sampieri., C. Fernandez Collado y P. Baptista Lucio, Metodología de la Investigación. 5 ed. México: McGraw-Hill, 2010, pp, 191.

7.3.1. Revisión bibliográfica de las pruebas hechas con las mallas anteriores por la empresa.

Para el replanteo de la malla de perforación se realiza 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),

Tabla 2 Cronología de las mallas utilizadas en la Planta de cementos Tolú Viejo.

Diámetro de perforación	Año	burden (m)	espaciamiento(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

Fuente propia 2018.

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

Dado estos cambios, desde el segundo semestre del año 2017 la planta Tolú viejo trabajó un proyecto dirigido al monitoreo y/o auditoria de las mallas de perforación utilizadas en las voladuras, estas auditorías tenían como finalidad establecer que tanto se respetaba la malla de perforación con respecto a su distancia (burden y espaciamiento), marcación y altura de barrenos como se muestra en la siguiente imagen.



Figura 1. Tomado de: Implementación del subsistema gestión de la producción en el proceso de perforación y voladura en la empresa Argos, Planta Tolú Viejo. M. Bracamonte. 2017.

Se evaluó el comportamiento de la malla a través de análisis granulométricos post voladura, donde se establecía la cantidad de sobretamaños que se obtenía y a cuanto equivalía en Toneladas del volumen total por medio de un levantamiento topográfico utilizando un balón como medida de referencia para el posterior conteo de rocas y su diámetro real, como se muestra en las siguientes imágenes:



Figura 2. Tomado de: Implementación del subsistema gestión de la producción en el proceso de perforación y voladura en la empresa Argos, Planta Tolú Viejo. M. Bracamonte. 2017.



Figura 3. Tomado de: Implementación del subsistema gestión de la producción en el proceso de perforación y voladura en la empresa Argos, Planta Tolú Viejo. M. Bracamonte. 2017.

Luego de haberse realizado las auditorías y los análisis del estudio se obtuvo los siguientes resultados para los parámetros de burden y espaciamento.

ESPACIAMIENTO: Bracamonte Segura (2017) afirma que “**35%** de los barrenos cumple con el espaciamento de la voladura, mientras que **65%** de los barrenos incumplen con el espaciamento de **5,70m** establecido en la malla de perforación, donde el **21%** está por debajo de **5,70m** y el **43%** por encima de **5,70m**.”³¹

Parametro Espaciamento		
Dimensiones	Numero	Porcentaje
< 5.70	16	21%
> 5.70	33	43%
Igual a 5.70	28	36%
Total	77	100%

Figura 4. Tomado de: Implementación del subsistema gestión de la producción en el proceso de perforación y voladura en la empresa Argos, Planta Tolú Viejo. Mario Bracamonte. 2017.

BURDEN: “El **19%** de los barrenos cumple con el burden de la voladura, mientras que **81%** de los barrenos incumplen con el burden de **4m** establecido en la malla de perforación, donde el **54%** está por debajo de **4m** y el **27%** por encima de **4m**.”³²

³¹ Implementación del subsistema gestión de la producción en el proceso de perforación y voladura en la empresa argos, Planta Tolú Viejo. M. Bracamonte. 2017

³² Implementación del subsistema gestión de la producción en el proceso de perforación y voladura en la empresa argos, Planta Tolú Viejo. M. Bracamonte. 2017

Parámetro Burden		
Dimensiones	Numero	Porcentaje
< 4	71	54%
> 4	35	27%
Igual a 4	25	19%
Total	131	100%

Figura 5. Tomado de: Implementación del subsistema gestión de la producción en el proceso de perforación y voladura en la empresa Argos, Planta Tolú Viejo. Mario Bracamonte. 2017.

De la misma manera los análisis granulométricos realizados en el nivel 80, frente 1, Voladura N°6 2017 arrojaron que, “Se observa que el 8,81% de las rocas contadas y medidas equivale a sobre tamaños. De esa misma forma se observa que el 8,81% equivale a las 55,24 Toneladas de la caliza extraída.”³³

RANGOS	NUMERO	%
0cm-30cm	327	68, 55%
> 30 cm	150	31,45
70cm a 100cm	34	7,13%
Mayor a 100	8	1,68%
Sub Total Sobre Tamaño	42	8,81%

Figura 6. Tomado de: implementación del subsistema gestión de la producción en el proceso de perforación y voladura en la empresa Argos, Planta Tolú Viejo. Mario Bracamonte. 2017

³³ Implementación del subsistema gestión de la producción en el proceso de perforación y voladura en la empresa argos, Planta Tolú Viejo. M. Bracamonte. 2017

El análisis granulométrico realizado en el nivel 70, frente 1, con la voladura N°4 del año 2017, arrojó los siguientes datos

Tabla 3 Resultado granulométrico, Voladura N°4 Malla 5,70*4 , Nivel 70, 2017

RANGOS	NÚMERO	PORCENTAJE
0cm-10cm	196	34%
10cm-20cm	240	41%
20cm-30cm	94	16%
< 30cm total	530	91%
Mayor a 30cm	51	9%
70cm a 100cm	1	0,17%
Mayor a 100cm	0	0,0%
Sub Total Sobre Tamaño	1	0,17%

Figura 7. Tomado de: Base de datos granulometrías post-voladura. Argos (2017)

En la anterior tabla se observa que 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, por otra parte, el porcentaje de sobretamaños es casi nulo, pues solo llega a 0,17% de la totalidad de la muestra.

Luego de evaluar las mallas y realizar el respectivo análisis se aplicaron medidas de mejora las cuales se citan a continuación:

1. "Proceso de perforación y voladura, se propone ejecutar las mediciones con ayuda de la estación topográfica y las marcaciones con pintura."³⁴

³⁴ Implementación del subsistema gestión de la producción en el proceso de perforación y voladura en la empresa argos, Planta Tolú Viejo. M. Bracamonte. 2017

2. “Charla de retroalimentación con el personal de perforación y topografía, en la cual se explique la nueva forma de marcar y medir los barrenos para la próxima voladura.”³⁵
3. “Levantamiento topográfico de los barrenos una vez estos ya se hayan perforado, para obtener información del cumplimiento de la malla.”³⁶

Después de implementar las medidas mencionadas se toman nuevos datos los cuales arrojan las siguientes conclusiones después de analizar los nuevos resultados; con respecto al burden, espaciamento y granulometría se concluye que:

- **CONCLUSIONES.**

“La inclusión de una nueva forma de marcar la malla de perforación en el terreno, brinda una mayor precisión para la ejecución de las perforaciones rutinarias que se llevan a cabo en la extracción de la materia prima, lo anterior es afirmado basando en que se pasó de tener **65%** de incumplimiento en el espaciamento a reducirlo en un **60%**, es decir que del **65%** que se tenía de incumplimiento, hoy se obtiene solo un **26%** con la nueva forma de medir y marcar la malla de perforación.

De esa misma forma, se pasó de tener **81%** de incumplimiento en el burden a reducirlo en un **66,05%**, es decir que del **81%** que se tenía de incumplimiento, hoy se obtiene solo un **27,50%** con la nueva forma de medir y marcar la malla de perforación”³⁷

Por otra parte, el análisis granulométrico realizado con las nuevas propuestas de mejora los sobretamaños obtenidos fueron “reducidos en un **55,27%** debido a que

³⁵ Implementación del subsistema gestión de la producción en el proceso de perforación y voladura en la empresa argos, Planta Tolú Viejo. M. Bracamonte. 2017

³⁶ Implementación del subsistema gestión de la producción en el proceso de perforación y voladura en la empresa argos, Planta Tolú Viejo. M. Bracamonte. 2017

³⁷ Implementación del subsistema gestión de la producción en el proceso de perforación y voladura en la empresa argos, Planta Tolú Viejo. M. Bracamonte. 2017

se pasó de tener un **8,81%** de sobre tamaños en el frente uno nivel 80 a tener solo un **3,94%** de sobre tamaños en el frente uno nivel 80.”³⁸

RECOMENDACIONES GENERALES.

De la misma manera en este informe se recomienda según M. Bracamonte Segura. (2017):

- “Realizar análisis granulométrico a todas las voladuras posteriores a este informe Y detectar en cual nivel la malla puede ser ampliada.”³⁹
- “Dar una nueva verificación al diseño geométrico de la malla especialmente en el nivel inferior (nivel 70) zona cerca de la planta.”⁴⁰

7.3.2. Identificación de mejoras mediante resultado Vol. #4 2017, Nivel 70.

Conforme a las recomendaciones dadas por las auditorías realizadas en el segundo semestre del año 2017 citadas anteriormente para rediseñar la geometría de la malla utilizada en el nivel 70, frente 1 de la cantera, partimos de los siguientes datos granulométricos mostrados en la tabla.

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

RANGOS	NÚMERO	PORCENTAJE
0cm-10cm	196	34%

³⁸ Implementación del subsistema gestión de la producción en el proceso de perforación y voladura en la empresa argos, Planta Tolú Viejo. M. Bracamonte. 2017

³⁹ Implementación del subsistema gestión de la producción en el proceso de perforación y voladura en la empresa argos, Planta Tolú Viejo. M. Bracamonte. 2017

⁴⁰ Implementación del subsistema gestión de la producción en el proceso de perforación y voladura en la empresa argos, Planta Tolú Viejo. M. Bracamonte. 2017

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%
Sub Total Sobre Tamaño	1	0,17%

Fuente propia 2018. Voladura N°4, frente 1, nivel 70.

En la anterior tabla se observa que:

- 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.
- 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) Director de cantera en la Planta de cementos Tolú Viejo, Argos S.A. 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%.”⁴¹

Tabla 5 Tipos de voladura considerados para la planta Tolú Viejo.

	Voladura deficiente.	Buena voladura	Voladura óptima.
Finos	Bajo % finos < 20cm	Alto > %	Bajo % finos < 20cm
Gruesos	Alto % (30~50 cm)	Regular. (30~50 cm)	Alto % (30~50 cm)
Sobretamaños	Alto % >10%	Bajo % < 10%	Bajo % < 10%
Clima	Bajo % de recuperación.	Seco (bueno) Lluvioso (malo)	Seco y lluvioso (optima) Alto % recuperación.

Fuente propia. 2018.

Después de obtener estos resultados, para el mismo semestre del año 2017 se lleva a cabo la voladura N°8, en ella se replantea la malla de perforación, donde se modifica el **espaciamiento** puesto que se requiere aumentar el tamaño granulométrico del material dado que el arrojado en la voladura N°4 utilizando una

⁴¹Entrevista con Director de cantera Planta de cemento Tolú Viejo, Argos. A. Urango (2017)

malla con espaciamento de **5,70m** y burden de **4m** el tamaño de los granos menores a 30cm fue por encima del **70%**, esta fue considerada como buena según lo establecido en la tabla #5, pero con **oportunidad de mejora**, buscando una voladura más óptima, aumentando el porcentaje del tamaño de material entre (30 y 50cm). Por tanto “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.”⁴²

Para realizar el ampliamento del **espaciamento** partimos de lo aplicado en la práctica según 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” ⁴³ que traduce lo siguiente, el espaciamento (**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.

Aplicando la teoría se obtiene los siguientes parámetros para la voladura N°4 del 2017.

Tabla 6 Datos de parámetros **voladura N°4 Malla 5,70*4m , año. 2017**

PARÁMETROS	(Metros)
Burden (B)	4
Altura Banco	15
Espaciamento (S)	5,70

Fuente propia 2018.

⁴² J. Bernaola Alonso, J. Castilla Gómez y J. Herrera Herbert, «Perforación y Voladura de Rocas en Minería,» Madrid, 2013.

⁴³ INFORME FINAL SERVICIOS TECNICOS ARGOS PLANTA TOLUVIEJO Orica Mining Services (Julio Del 2013)

Ecuación 1 Ecuación de espaciamento.

$$S = (1,3 \sim 1,5) * B^{44}$$

$$S = 1,42 * B$$

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

$$S = 5,68 \sim 5,70m \text{ Espaciamento con un factor de } 1,42.$$

Después de realizar los cálculos se aprecia que aún no se llega al factor máximo de **1,50**; por otra parte con esta malla **5,70 * 4** y este factor de **1,42** se obtuvo un grado alto de finos, por tal motivo **se haya una oportunidad de mejora** para este parámetro, aumentando el factor al límite máximo y así tener como resultado espaciamento más grande y con ello buscar un mayor porcentaje de “gruesos” (tamaños de grano entre 30 y 50 cm), ya que “El espaciamento es el parámetro de diseño de mayor influencia sobre los resultados de la fragmentación de la roca del material volado” ⁴⁵por consiguiente, se toman los datos y se realizan los nuevos cálculos mostrados a continuación para la Voladura #8 Nivel 70, 2017.

7.3.3. Prueba N°1, Voladura N° 8, Frente 1, Nivel 70, 2017.

7.3.3.1 Propuesta, nuevo parámetro de perforación.

Modificación (espaciamento).

Calculo de nuevo espaciamento VOL. # 8 N°70

⁴⁴ INFORME FINAL SERVICIOS TECNICOS ARGOS PLANTA TOLUVIEJO Orica Mining Services (Julio Del 2013)

⁴⁵ INFORME FINAL SERVICIOS TECNICOS ARGOS PLANTA TOLUVIEJO Orica Mining Services (Julio Del 2013)

$$"S = (1,3\sim 1,5) * B"^{46}$$

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

$$S = 6m$$

Nueva malla S = 6m, B = 4 m

Tabla 7 Propuesta de nuevo parámetro de perforación, Voladura N°8 2017. Malla 6*4m.

PARÁMETROS	(metros)
Burden (B)	4
Altura Banco	15,4
Espaciamiento (S)	6

Fuente propia 2018

El nuevo espaciamento obtenido con el factor límite establecido por la práctica de **1,5** es de **6 metros**, para las distancias entre barrenos horizontales, conforme a este nuevo parámetro se avanza en la nueva malla de perforación.

7.3.3.2. Aplicación de nuevo parámetro (espaciamento)

Después de analizar las oportunidades de mejora y establecer de qué forma se puede graduar la nueva malla, se pone en ejecución lo establecido en conjunto con el equipo de perforación y topografía, para el levantamiento, marcación y perforación de la malla.

⁴⁶ INFORME FINAL SERVICIOS TECNICOS ARGOS PLANTA TOLUVIEJO Orica Mining Services (Julio Del 2013)

Imagen 13 Marcación y levantamiento de los nuevos parámetros establecidos.



Fuente propia 2018.

Con el fin de conocer el comportamiento de los parámetros de voladura utilizados en la voladura N°8 del mes de diciembre del 2017 en la planta de cementos Tolú Viejo de la empresa Argos S.A., se realiza un análisis por medio de un registro granulométrico post voladura por medio de fotografías, esta medición de tamaños se da por medio de un procedimiento ya establecido anteriormente, 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.”⁴⁷

Imagen 14 Levantamiento Topográfico, Malla 6m*4m



Fuente propia 2018

Este levantamiento se toma como referencia un balón de 32cm de diámetro que es tomado de referencia para escalar las rocas que luego serán contadas. Como se muestra en las siguientes imágenes.

⁴⁷ Implementación del subsistema gestión de la producción en el proceso de perforación y voladura en la empresa argos, Planta Tolú Viejo. M. Bracamonte. 2017

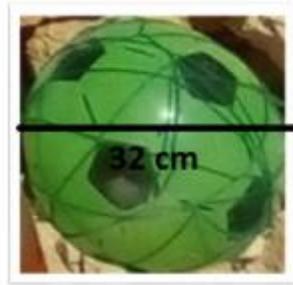


Figura 7. Tomado de: Implementación del subsistema gestión de la producción en el proceso de perforación y voladura en la empresa Argos, Planta Tolú Viejo. Mario Bracamonte. 2017.

Posterior a esto se comienza con la medición del diámetro de cada una de las rocas, como se explica en el texto anteriormente citado, este conteo de rocas es muy importante, ya que con estos se medirá el tamaño granulométrico post voladura. Por otra parte, este conteo de rocas es importante, ya que da una idea de cuanta cantidad de material que se está quedando sin triturar y a cuanto equivale en toneladas de la cantidad total volada.

Imagen 15 impresa para análisis granulométrico Prueba #1, Vol. N°8. Malla 6x4m.



Fuente propia 2018.

7.3.3.3. Resultados análisis granulométrico.

Con el software Microsoft Excel, y estableciendo los rangos en los cuales se pueden presentar los tamaños granulométricos de las post voladuras, y basándonos en lo dicho por A. Urango (2018) Director de cantera en la Planta de cementos Tolú Viejo, Argos S.A. 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 clima, por otra parte para 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.”⁴⁸ con forme a esto se obtienen los siguientes datos.

Tabla 8 Resultados granulometría voladura n°8 2017. malla 6*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%

Fuente propia 2018.

- 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%**.

Tabla 9 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%

⁴⁸Entrevista con Director de cantera Planta de cemento Tolú Viejo, Argos. A. Urango (2017)

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

Fuente propia 2018.

- Se obtiene que el **49,56%** está por encima del tamaño óptimo buscado de 30 a 50 cm, equivalente a **198 ton**.
- El **35,96 %** de está en el rango óptimo de **30cm-50cm** de diámetro

Tabla 10 Sobretamaños, rocas mayores a 70 cm de diámetro.

Rangos	Numero	Porcentaje %
0cm - 70cm	175	76,75%
70cm a 100cm	33	14,47%
Mayor a 100	10	4,39%
sub-Sobre Tamaño	43	18,86%
Ton Caliza extraída	Porcentaje Sobre Tamaño	Ton Encima de 70 cm Por
40.000	18,86%	75,44

Fuente propia 2018.

- El porcentaje de sobretamaños llegó a **18,86%** en la malla N°8. Generando **75,44 ton** de material mayor a **70cm**.

7.3.4. Prueba N°2, Voladura N° 2, Frente 1, Nivel 70, 2018.

7.3.4.1. Implementación de nuevo parámetro (Burden.)

Luego de los resultados obtenidos en la prueba 1, y después de llegar al tope máximo de el parámetro utilizado, se decide modificar el burden para la siguiente voladura. Con forme a esto nos basamos en lo expuesto por Orica Mining Services (2013) “En la práctica, el burden se considera igual al diámetro del barrenos en pulgadas, pero expresado en metros. Así, para un diámetro de 4” el burden aproximado será de 4 m⁴⁹” conociéndose como burden práctico a la relación empírica:

Ecuación 2 Burden.

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

De esta manera, el burden que se ha venido implementado en la Planta de Cementos Tolú Viejo desde el año 2012 ha sido de 4m puesto que el diámetro de la broca es de 4 pulgadas; tomando en consideración la práctica dada por la empresa Orica, en conjunto con el personal de perforación y voladura, topografía, profesional de canteras y director de cantera, se estableció en común acuerdo aumentar 20cm de longitud al burden normal para la siguiente prueba y a partir de ahí analizar el comportamiento que esta tendrá a través del análisis granulométrico. Conforme a esto se avanza con la aplicación de la nueva malla, **6m de espaciamiento** y **4,20m de burden** o piedra.

⁴⁹ Informe Final Servicios Técnicos Argos Planta Toluviejo; Orica Mining Services (Julio Del 2013)

Imagen 16 Área para disposición de voladura #2 malla 6 m *4,20m



Fuente propia 2018.

Imagen 17 Medición y marcación de barrenos, malla 6* 4,20m





Fuente propia 2018.

Imagen 18 levantamiento topográfico de la granulometría, Prueba #2.



Fuente propia 2018.

Imagen 19 Foto impresa para análisis granulométrico Prueba #2, Vol. N°2. 2018
Malla 6x4,20m.



Fuente propia 2018.

7.3.4.2. Resultados granulometría.

- En esta segunda prueba 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%**

Tabla 11 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%

Fuente propia 2018.

- 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**.

Tabla 12 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

Fuente propia 2018.

- 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.

Tabla 13 Sobretamaños, rocas mayores a 70 cm de diámetro.

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

Fuente propia 2018.

7.3.5. Comportamiento de los patrones de Voladura en el transcurso del proyecto.

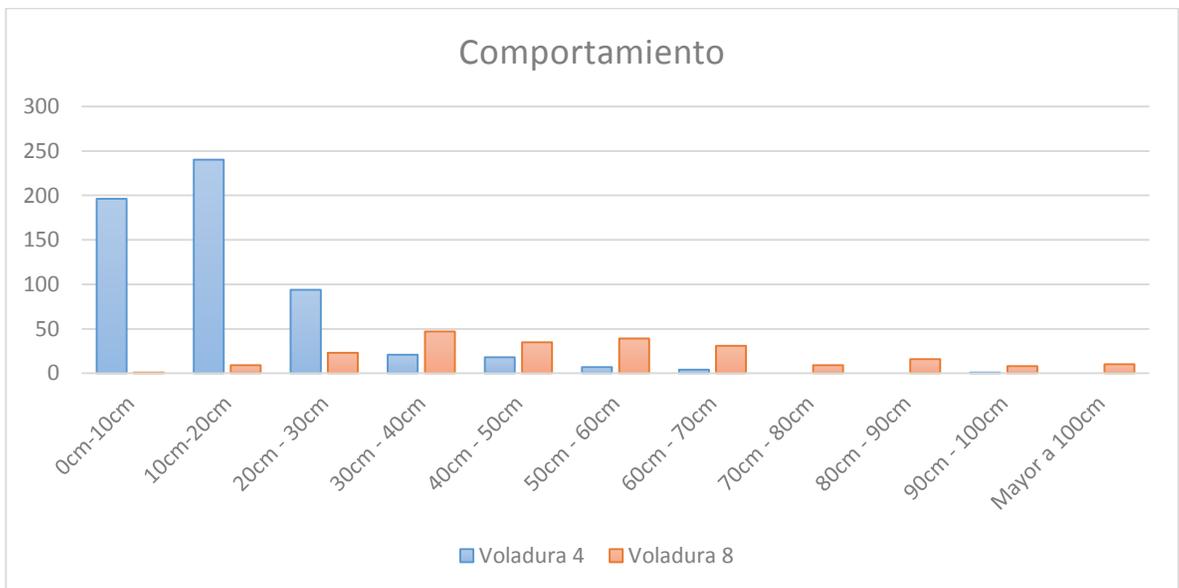
Se compara cada malla modificada de forma independiente con respecto a la primera utilizada de 5,70*4m en la voladura N°4 del año 2017 en el Nivel 70, Frente #1, esto con el fin de ver las variaciones con respecto a la granulometría y evaluar si el cambio realizado tuvo incidencia positiva o negativa en el tamaño del material.

7.3.5.1. Voladura N°4 y Voladura N°8 2017.

Tabla 14 Comportamiento Voladura N°4 y Voladura N°8 2017.

COMPORTAMIENTO				
			Prueba 1 (modificación de espaciamiento.)	
RANGOS	Voladura 4 (malla 5,70*4)	Porcentaje 4	Voladura 8. Malla (6*4)	Porcentaje 8
0cm-10cm	196	33,7%	1	0,4%
10cm-20cm	240	41,3%	9	3,9%
20cm - 30cm	94	16,2%	23	10,1%
30cm - 40cm	21	3,6%	47	20,6%
40cm - 50cm	18	3,1%	35	15,4%
50cm - 60cm	7	1,2%	39	17,1%
60cm - 70cm	4	0,7%	31	13,6%
70cm - 80cm	0	0,0%	9	3,9%
80cm - 90cm	0	0,0%	16	7,0%
90cm - 100cm	1	0,2%	8	3,5%
Mayor a 100cm	0	0,0%	10	4,4%
Total	581		228	

Fuente propia 2018.



Fuente propia 2018.

Análisis.

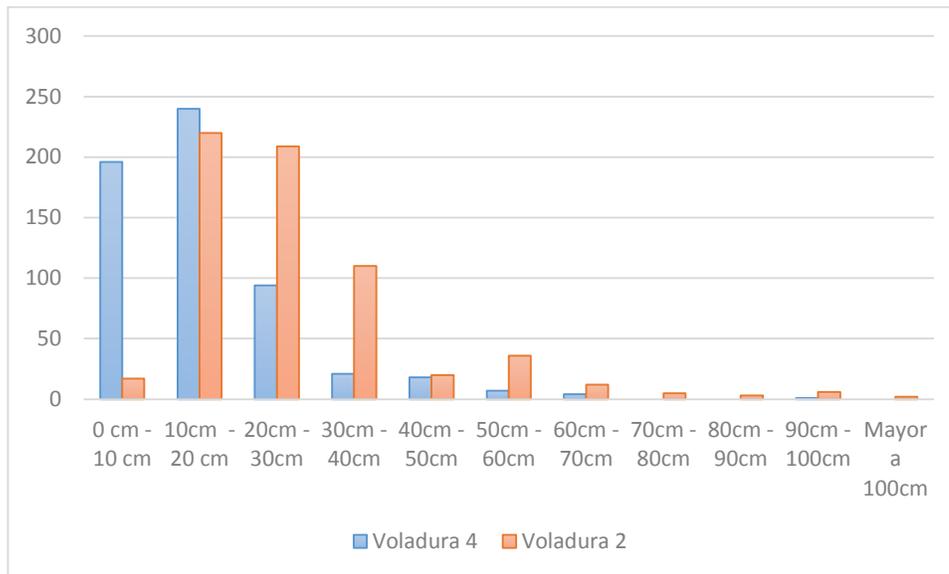
- Se observa que con el cambio en el espaciamiento el nivel de granos inferiores a **20cm** varió de un **75%** a un **4,3%**, reduciendo en un **70.1%** el tamaño de los granos menores a 20cm con la nueva malla aplicada en la voladura N°8 de 6*4m.
- Para el tamaño de granos gruesos entre **(30-50cm)** con la variación del espaciamiento **se** logró incrementar en un **29,3%**, pues cambió de **6,7%** en la voladura N°4 2017, a **36%** con la voladura N°8 del mismo año.
- La cantidad de sobretamaños en esta prueba incrementó considerablemente, pues del **0,2%** que se obtuvo en la **voladura N°4**, pasó a **18% en la N°8**, aumentado en un con respecto a la primera en un **17.8%** granos mayores a **70cm** de diámetro.

7.3.5.2. Voladura N°4, 2017 y Voladura N°2 2018.

Tabla 15 Comportamiento VOL N° 4 2017 & VOL N°2. 2018.

COMPORTAMIENTO				
RANGO	Voladura 4 Malla (5,70*4)	Porcentaje V4	Prueba 2 (modificación de Burden.)	
			Voladura 2. Malla (6*4,20)	Porcentaje V2.
0 cm - 10 cm	196	33,73%	17	2,66%
10cm - 20 cm	240	41,31%	220	34,38%
20cm - 30cm	94	16,18%	209	32,66%
30cm - 40cm	21	3,61%	110	17,19%
40cm - 50cm	18	3,10%	20	3,13%
50cm - 60cm	7	1,20%	36	5,63%
60cm - 70cm	4	0,69%	12	1,88%
70cm - 80cm	0	0,00%	5	0,78%
80cm - 90cm	0	0,00%	3	0,47%
90cm - 100cm	1	0,17%	6	0,94%
Mayor a 100cm	0	0,00%	2	0,31%

Fuente propia 2018.



Fuente propia 2018.

Análisis.

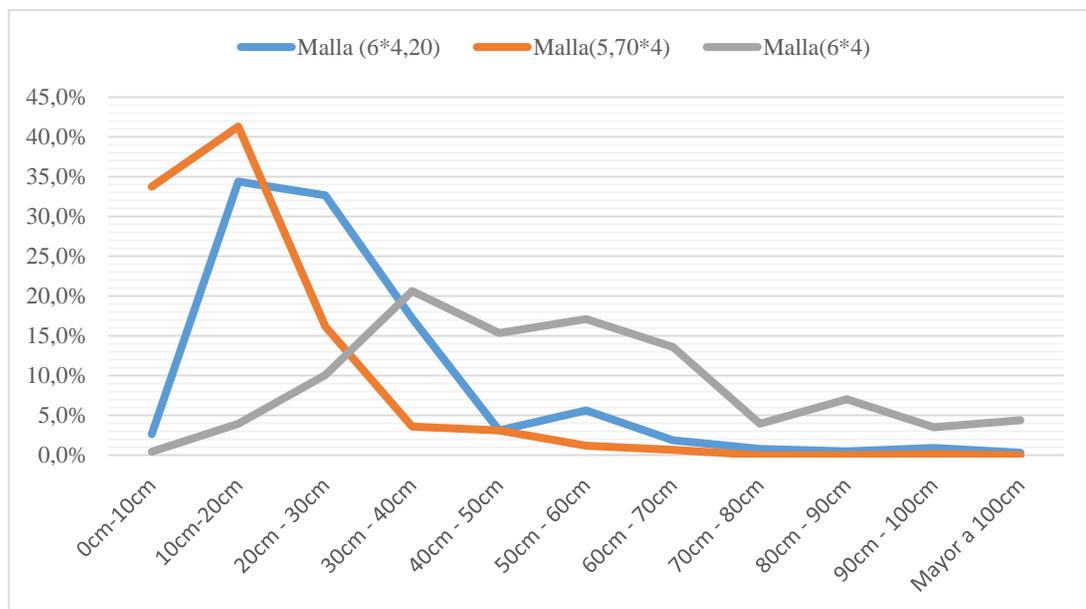
- Se observa que la última modificación reduce el porcentaje de granos inferiores a **20cm** con respecto a la primera malla en un **38,06%**, pasando de **75%** al **37%** en tamaños entre **10 -20cm**
- Con respecto al tamaño de granos gruesos entre **(30-50cm)** con la variación del burden se logró incrementar **13,61%** con respecto a la malla 5,70*4m pues cambió de **6,7%** en la voladura N°4 2017, a **20,32%** en la voladura N°2, del año 2018 con una malla de **6m*4,20m**.
- Aunque la cantidad de sobretamaños con la nueva malla incrementó en un **2,33%**, pues del **0,2%** que se obtuvo en la **voladura N°4 del 2017**, pasó a **2,5% en la N°2 del 2018**; sin embargo, este incremento está muy por debajo del porcentaje máximo de **10%** en cantidad de sobretamaños por voladura.

7.3.5.3. Comportamiento general de las 3 mallas implementadas.

Tabla 16 Comportamiento general de las 3 mallas implementadas.

RANGOS	Voladura N°2 malla (6x4,20)	Voladura N°4 Malla(5,70x4)	Voladura N°8 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%

Fuente propia 2018.



Fuente propia 2018.

Análisis

Con respecto al comportamiento de las 3 mallas utilizadas en las voladuras N°4, N°8 y N°2, se nota lo siguiente:

- 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.
- 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).
- El tamaño de granos gruesos (30-50cm) es bueno tanto para las mallas (6*4m como la de 6*4,20) 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 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.

7.3.6. Mejoras obtenidas con la nueva malla 6m x 4,20m.

Las mejoras obtenidas con la última malla de perforación modificada e implementada en la Prueba #2 Voladura N°2 del año 2018 con parámetros de 6m de espaciamiento y 4,20m de burden están dadas con respecto a los resultados teóricos que se hubieran obtenido implementando una malla de 5,70m de

espaciamiento por 4m de Burden, dado esto, se realizan los cálculos y se comparan cada uno de los resultados de las dos mallas.

Para esta malla se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 17 Resultados, Optimización hecha con Malla 6*4,20cm

Optimización hecha con Malla 6*4,20cm, Frente 1.				
	Parámetros		Diferencia.	Reducción anual
	MALLA 5,70*4	MALLA 6*4,20		
Número de barrenos	68	62	6 barrenas	36 barrenas
Volumen volado reportado (ton)	45760	48000	2240 ton	13440 ton
Total, kg Explosivo utilizado. (promedio)	5100	4650	450 kg	2700 kg
Sacos requeridos totales.	205	186	19 sacos	108

Fuente propia 2018.

7.3.6.1. Resultados de las mejoras obtenidas.

La prueba N°2 realizada esta vez con una malla modificada tanto en burden como en espaciamiento arroja resultados en conceptos de mejora u/o optimizaciones a la operación de perforación y voladura ya que:

1. Con la nueva malla se reduce el número de barrenos perforados pasando **de 68 barrenos** con una malla de 5,70*4m a **62 barrenos** con los nuevos parámetros implementados, ahorrándose una totalidad de 6 barrenos que representan menos tiempo de perforación, menor consumo de combustible, y de la misma manera menor consumo de explosivos, y materiales para la voladura.
2. Con la nueva malla se reducen el número de sacos con agente explosivo para la voladura, pues 6 pozos menos ahorrados con la nueva malla, representan un aproximado de 19 sacos de 25kg cada uno, los cuales en tema de costos favorecen mucho al proceso de perforación.

3. Con un burden mayor **4,20m** se genera un avance de 21m, 1 metro adicional con respecto a los **20 metros** que se hubieren avanzado con un burden de **4m** con la anterior malla; este metro adicional representa un aproximado de **2240ton**, generando entonces un mayor rendimiento en la operación, ya que se obtiene más toneladas voladas con menos barrenos, menos materiales para la voladura, ratas de perforación, consumo de combustible, personal, etc.

4. Con una proyección estimada anual utilizando la nueva malla de perforación (6x4,20m) y suponiendo 6 voladuras para el mismo nivel durante todo el año, el número de barrenos ahorrados serían de **36 barrenas**, con un total de **108 sacos** de explosivo menos que equivaldrían a **2700kg** de explosivo ahorrado, además la cantidad de toneladas se estimarían en **13440 ton** por encima de lo que se volaría con la malla (5,70x4), tomando en cuenta el **1m** de avance más por cada voladura realizada.

8. Cronograma.

ACTIVIDADES	MES: OCT.			MES: NOV.				MES: DIC.				MES: ENE.				
	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Firma de Contrato, inducción al puesto de trabajo.																
Empalme de actividades y grupo de trabajo.																
Conocimiento de los procesos de la planta.																
Entrega del tema a ejecutar en las practicas.																
Consulta bibliográfica sobre el tema asignado.																
Revisión y análisis de datos, Vol. N°4 2017.																
Identificación de mejoras para nuevos parámetros.																
Propuesta y discusión de nuevos parámetros.																
Acompañamiento en el proceso de voladura.																
Prueba #1, Vol. N°8, 2017. Nuevo parámetro Espaciamiento. Nivel 70.																
Análisis granulométrico voladura N°8.																
Identificación oportunidades de mejora siguiente voladura. Nivel 70.																

9. Logros Alcanzados.

Tabla 18 Logros Alcanzados.

Logros	Porcentaje.
Analizar los parámetros de perforación y voladura implementados anteriormente en el Nivel 70 mediante el comportamiento de la Post voladura	95%
Identificar las oportunidades de mejora en los parámetros de perforación y voladura.	90%
Proponer nuevos parámetros de perforación para el aprovechamiento de los recursos de la cantera.	100%
Aplicar nuevos parámetros de perforación en conjunto con el personal de perforación.	100%
Realizar pruebas con los nuevos parámetros propuestos en el Nivel 70, frente 1 de la cantera.	100%
Comparar el comportamiento del patrón actual utilizado con los propuestos en el transcurso del Proyecto	100%
Evaluar la eficiencia de los patrones mediante el comportamiento de la Post Voladura a través de análisis granulométricos	100%

10. Impactos recibidos.

En el transcurso de la investigación se evidencia la importancia en cuanto al impacto sobre los nuevos conocimientos adquiridos en cuanto al proceso de perforación y voladura ya que a medida que se iba desarrollando el proyecto, se logró poner en práctica la teoría aprendida en el aula de clases, evidenciando que muchas veces lo dictaminado en clases correspondía en poca medida a la verdadera forma de ejecutar una voladura; por otra parte en el campo laboral se evidencia una nueva formación en cuanto a liderazgo de equipo y ejecución de tareas asignadas.

De la misma manera, en el ámbito personal, se fomentan valores como liderazgo, respeto, y sobretodo trabajo en equipo con todo el equipo de canteras, quienes a través de su trabajo y personalidad conjunta generan un buen clima laboral para la ejecución y retroalimentación de trabajos.

11. Limitaciones.

La limitación principal para llevar a cabo la investigación está dada por el largo tiempo entre la ejecución de una voladura y la otra, ya que el volumen de material volado alcanza para un periodo aproximado de dos meses, ocasionando que las pruebas realizadas para este proyecto sean limitadas lo que en consecuencia impidió aplicar nuevas mallas con distintos parámetros, ocasionando que el número de muestras para este proyecto fuesen pocas.

El registro de datos con respecto a la granulometría obtenida en cada voladura realizada con sus respectivas mallas en los diferentes niveles de la cantera es deficiente, pues la Planta no cuenta con softwares que se encarguen de esta labor o en su defecto personal, generando limitaciones con respecto a la poca información sobre el tema.

12. Análisis de Resultados.

➤ Análisis granulométrico.

La implementación de una nueva malla de perforación da como resultado una voladura más eficiente, ya que el material obtenido a partir de la modificación de los parámetros de burden y espaciamiento tiende a aumentar los granos gruesos y disminuir aquella granulometría que en temporada invernal es poco conveniente para el proceso de titulación, lo anterior es afirmado basado en que de un **75%** de granos menores a **20cm** con la malla de **5,70mx4m** implementada en la voladura **N°4 del 2017** se pasó a un **37%** con los parámetros de **6mx4,20m** de burden aplicados en la malla **N°2 del 2018**, disminuyendo en un **38,06%** con este nuevo modelo.

Se pasó de tener **6,7% en granos gruesos (30-50cm)** con la malla **5,70mx4m** en la voladura **N°4 2017** a **20,32%** en la voladura **N°2, del año 2018** con la malla de **6m*4, 20m.**, incrementando en un **13,61%** la cantidad de material óptimo para el proceso de tripulación.

De la misma manera es importante recalcar que con esta nueva malla el porcentaje de sobretamaños aumentó un **2,33%**, pasando de **0,2%** en Vol. N°4 a **2,5%** con Vol. N°2 2018, sin embargo, este porcentaje es aceptado, ya que, aunque aumentó, se mantuvo en el rango aceptable, pues no superó el **10%** de tamaños mayores al 70cm de diámetro.

➤ Análisis de optimización proyectada.

Con una proyección estimada anual utilizando la nueva malla de perforación (6x4,20m) y suponiendo 6 voladuras para el mismo nivel durante todo el año, el número de barreros ahorrados serían de **36 barrenas**, con un total de **108 sacos** de explosivo menos que equivaldrían a **2700kg** de explosivo ahorrado, además la cantidad de toneladas se estimarían en **13440 ton** por encima de lo que se volaría

con la malla (5,70x4), tomando en cuenta el **1m** de avance más por cada voladura realizada.

➤ Optimización de la operación.

Con la modificación e implementación de los nuevos parámetros de 4,20 burden y 6m de espaciamiento utilizadas en la malla de la Voladura N°2 del 2018 se optimizó el proceso de perforación ya que hubo una reducción con respecto al número de barrenos generados entre la malla anterior al proyecto y la propuesta que aplicó en la última prueba, pues se pasó de tener **68 barrenos** a **62 barrenos** con la malla propuesta, ahorrándose **6 barrenas**.

El consumo de explosivo se vio disminuido, ya que de **5100 kg** de explosivo se pasó a **4.650 kg**, reduciendo el consumo en **450 kg**, esto equivalente a **19 sacos** de explosivo menos utilizado con la aplicación de la malla final 6x4,20m, generando consigo un ahorro considerable en los costos de operación.

La cantidad de material volado con la nueva malla deja un aproximado de **2.240 ton** de material por encima de lo calculado con los parámetros de 5,70x4m, quien en teoría si hubiese sido aplicada generaría menos toneladas de material con más barrenos y explosivos, aproximadamente **45760 ton** y con la malla 6mx4,20 se obtuvieron **48.000 ton** con menos barrenos, significando menos materiales, tiempo de trabajo y costos.

13. Conclusiones.

Se demuestra la importancia del acompañamiento en los procesos, pues por medio del seguimiento y control en cada una de las operaciones en donde a través de estos se generan inquietudes con respecto a cómo se desarrollan las tareas diarias y de qué forma pueden ser mejoradas, algo fundamental en el reconocimiento ya sea de falencias en el sistema o por el contrario encontrar oportunidades para optimizar el proceso.

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 transcurso 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.

14. Recomendaciones.

- Se recomienda seguir realizando análisis granulométricos en las voladuras siguientes a este proyecto, fundamentalmente en el nivel 70 de la cantera, zona donde se realizó cambios en las geometrías de las mallas y se obtuvo un buen resultado al ampliarse tanto burden como espaciamiento, reflejándose este en el comportamiento de la granulometría.
- Las auditorías fueron de vital importancia para la elaboración de este proyecto, pues a través de ella se generó la inquietud y posterior estudio del comportamiento de la malla implementada en el Nivel 70 de la planta, es por esto que se recomienda realizar auditorías a aquellas mallas que presenten condiciones favorables para poder ser intervenidas y mejoradas.
- Los factores geométricos juegan un papel fundamental en el resultado de las voladuras, es por esto que se recomienda evaluar qué factores distintos a los intervenidos pueden representar oportunidades de mejora para la operación de perforación y voladura.

15. Bibliografía

- [1] A. S.A., «Argos Colombia.,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.argos.co/colombia/somos/historia> .
- [2] J. Bernaola Alonso, J. Castilla Gómez y J. Herrera Herbert, «Perforación y Voladura de Rocas en Minería,» Madrid, 2013.
- [3] R. Hernandez Sampieri., C. Fernandez Collado y P. Baptista Lucio, Metodología de la Investigación, 4 edición ed., México: McGraw-Hill, 2004, pp. 37-38.
- [4] Ministerio de Minas y Energía., *Glosario Técnico Minero*, Bogotá, 2003.
- [5] O. M. Services, «INFORME FINAL SERVICIOS TECNICOS ARGOS PLANTA TOLUVIEJO,» Tolú Viejo, Julio 2013.
- [6] M. A. Bracamonte Segura, «IMPLEMENTACIÓN DEL SUBSISTEMA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN EL PROCESO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN LA EMPRESA ARGOS, PLANTA TOLÚ VIEJO,» Valledupar, 2017.
- [7] A. J. Urango Borja, Interviewee, *Entrevista con Director de cantera Planta de cemento Tolú Viejo, Argos S.A.*. [Entrevista]. 18 Diciembre 2017.
- [8] G. A. Perpiñán Reyes, «OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESO MINEROS REALIZADOS EN EL ÁREA DE CANTERA EN LA PLANTA CEMENTERA DEL GRUPO ARGOS, TOLÚ VIEJO,» Tolú Viejo, 2014.

