

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN LA  
EXPLOTACIÓN DE YESO DE LA MINA EL TORO, LOS SANTOS- SANTANDER.

CRUZ MONTOYA NANCY MILENA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
SEDE SECCIONAL SOGAMOSO  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MINAS  
SOGAMOSO  
2018

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN LA  
EXPLOTACIÓN DE YESO DE LA MINA EL TORO, LOS SANTOS- SANTANDER.

CRUZ MONTOYA NANCY MILENA

**Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero de Minas Modalidad:  
Práctica Empresarial**

Director del Proyecto:  
EDGAR OMAR PARRA LEGUIZAMO  
Ingeniero en Minas  
Codirector  
ELKIN DAVID PALACIOS  
Ingeniero en Minas

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
SEDE SECCIONAL SOGAMOSO  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MINAS  
SOGAMOSO  
2018


Nota de aceptación:

---

---

---

---



Firma director de la escuela



Firma director del proyecto



Firma jurado



Firma jurado

Sogamoso, 24 de mayo de 2018

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION.	12
OBJETIVOS.	13
1. DESARROLLO DE LA PRACTICA.	14
1.1. CARGO ASIGNADO.	14
1.2. DESCRIPCION Y DESARROLLO DE LAS FUNCIONES ASIGNADAS.	14
1.3. CAPACITACIONES.	15
1.4. DESARROLLO DE LA PRACTICA.	15
1.4.1. Aportes de empresa a la formación profesional.	15
1.4.2. Aportes de la práctica a la empresa.	16
2. GENERALIDADES.	17
2.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y VÍAS DE ACCESO.	17
2.2. RASGOS FISIOGRÁFICOS.	18
2.3. GEOLOGÍA GENERAL.	19
2.3.1. Geología Estructural.	22
2.3.2. Geología Del Yacimiento.	24
2.4. GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO.	25
2.5. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN IMPLEMENTADO EN LA MINA EL TORO.	27
2.6. SOPORTE LEGAL.	29
3. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO.	31
3.1. ESTUDIO DE DIACLASAS	31
3.2. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LA ROCA.	33
4. SITUACIÓN ACTUAL DE LAS LABORES MINERAS.	40
4.1. INFRAESTRUCTURA EN SUPERFICIE Y EQUIPOS.	40
4.2. ASPECTOS TÉCNICOS.	42
4.2.1. Operaciones Unitarias	42
4.2.1.1. Desarrollo.	42
4.2.1.2. Preparación.	42
4.2.1.3. Explotación.	42

4.2.1.4. Beneficio.	43
4.3. DATOS DE EXPLOTACIÓN. (Periodo Agosto - Noviembre).	44
4.4. RECURSO HUMANO Y ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA.	49
5. PERFORACIÓN Y VOLADURA.	51
5.1. CONDICIONES ACTUALES.	51
5.1.1. Malla de perforación implementada en la operación.	52
5.1.1.1. Malla de perforación en bóveda.	52
5.1.1.2. Malla de perforación en banca.	53
5.1.2. Accesorios y equipos de perforación utilizados.	55
5.1.3. Consumo de explosivos y accesorios de voladura en la operación.	56
5.1.3.1. Características de los explosivos utilizados.	59
5.1.4. Rendimientos.	62
5.1.4.1. Voladura en bóveda.	62
5.1.4.2. Voladura en banca.	66
5.2. CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DE LOS MANTOS ECONÓMICAMENTE EXPLOTABLES.	71
5.2.1. Calidad en las pilas de acopio del mineral en rajón.	72
5.2.2. Resultados del análisis de contenido de sulfato de calcio del material triturado.	74
6. ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN LA MINA EL TORO.	79
6.1. EVALUACION PERFORACIÓN Y VOLADURA BANCA.	84
6.1.1. Resultados de la voladura.	85
6.2. ANALISIS Y EVALUACION DE LAS VARIABLES CONTROLABLES	89
6.3. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES QUE AFECTAN LA OPERACIÓN DE PERFORACION Y VOLADURA.	91
7. PROPUESTA DE MEJORA PARA LA OPERACIÓN DE PERFORACION Y VOLADURA EN LA MINA EL TORO.	95
CONCLUSIONES.	100
RECOMENDACIONES.	101
BIBLIOGRAFÍA	104
ANEXOS	105

## LISTA DE FIGURAS.

	pág.
<b>Figura 1.</b> Alinderación Contrato de Concesión 2491	17
<b>Figura 2.</b> Vías de acceso casco urbano M. Los Santos – Mina El Toro.	18
<b>Figura 3.</b> Contactos Geológicos en el sector de la mina El toro, desde la parte SE del contrato 2491.	20
<b>Figura 4.</b> Mapa geológico del contrato de concesión 2491	22
<b>Figura 5.</b> Expresión geomorfológica de la falla de Los Santos al Norte del pueblo, contacto fallado entre la Formación Los Santos y la Formación Rosa Blanca	23
<b>Figura 6.</b> Enfrentamiento de las Areniscas de la Formación Los Santos con las Calizas de la Formación Rosablanca, hacia el Norte de la falla Los Santos.	23
<b>Figura 7.</b> Columna estratigráfica generalizada Formación Rosablanca en la Mina El Toro.	24
<b>Figura 8.</b> Columna estratigráfica de la Mina El Toro.	25
<b>Figura 9.</b> Mapa Geomorfológico Contrato de Concesión 2491.	26
<b>Figura 10.</b> Geomorfología del área de estudio del proyecto.	26
<b>Figura 11.</b> Mapa de Amenazas por erosión y remoción en masa.	27
<b>Figura 12.</b> Esquema del método de explotación.	28
<b>Figura 13.</b> Método de explotación por cámaras y pilares.	28
<b>Figura 14.</b> Plano de labores de la mina El Toro.	29
<b>Figura 15.</b> Diagrama estadístico de fractura miento de la mina El Toro.	32
<b>Figura 16.</b> Roseta de diaclasas principales Mina El Toro.	32
<b>Figura 17.</b> Fenómeno de flexión de techo.	33
<b>Figura 18.</b> Esfuerzos sobre los pilares.	34
<b>Figura 19.</b> Grafica RQD vs discontinuidades por metro.	35
<b>Figura 20.</b> Escala descriptiva de observación para determinar la rugosidad.	36
<b>Figura 21.</b> Relación entre RMR de la roca y el espaciamiento posible para excavaciones subterráneas.	37
<b>Figura 22.</b> Maquinaria, Equipos y Herramientas de la operación Mina El Toro. <b>(a)</b> Compresor Kaeser 375, <b>(b)</b> Compresor Atlas Copco 375, <b>(c)</b> Cargadores CAT 930, <b>(d)</b> Martillo de Perforación Y19, <b>(e)</b> Campamento mina, <b>(f)</b> Polvorín.	41
<b>Figura 23.</b> Proceso de Beneficio de Yeso empresa Serrano Hermanos LTDA.	43
<b>Figura 24.</b> Porcentaje de Producción Mina El Toro, mes de agosto de 2017.	45
<b>Figura 25.</b> Porcentaje de Producción Mina El Toro, mes de septiembre de 2017.	46

<b>Figura 26.</b> Porcentaje de Producción Mina El Toro, mes de octubre de 2017.	47
<b>Figura 27.</b> Porcentaje de Producción Mina El Toro, mes de noviembre de 2017.	48
<b>Figura 28.</b> Organigrama de la empresa Serrano Hermanos LTDA.	50
<b>Figura 29.</b> Frentes de explotación en vista frontal y perfil mina El Toro.	52
<b>Figura 30.</b> Esquema de perforación en bóveda.	53
<b>Figura 31.</b> Esquema de perforación en banca.	54
<b>Figura 32.</b> Relación de metros de perforación real vs metros de perforación teórico.	58
<b>Figura 33.</b> Relación consumo de Anfo real vs consumo de Anfo teórico.	58
<b>Figura 34.</b> Relación consumo de mecha real vs consumo de mecha teórica.	59
<b>Figura 35.</b> Relación consumo de detonador No. 8 real vs consumo de detonador No. 8 teórica.	59
<b>Figura 36.</b> Características técnicas del detonador No. 8.	61
<b>Figura 37.</b> Efectos del contenido de aceite en el Anfo.	62
<b>Figura 38.</b> Perfil de carga del explosivo para barrenos en bóveda.	66
<b>Figura 39.</b> Perfil de carga del explosivo para barrenos en banca.	70
<b>Figura 40:</b> Fotografía de Material estéril (Lutita) obtenido del proceso de voladura.	72
<b>Figura 41:</b> Fotografía de Muestra de yeso obtenido del proceso de voladura, tomada en patio de Mina.	73
<b>Figura 42:</b> Fotografía de muestra de yeso con presencia de material estéril, tomada en patio de acopio Delicias.	73
<b>Figura 43.</b> Correlación entre velocidad sísmica y consumo específico.	94
<b>Figura 44.</b> Malla de perforación propuesta para voladura en banco.	97
<b>Figura 45:</b> Superficies irregulares en voladuras de banca.	99

## LISTA DE TABLAS.

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Área de alinderación contrato de concesión 2491.	17
<b>Tabla 2.</b> Columna estratigráfica de la geología general del Contrato de Concesión 2491	21
<b>Tabla 3:</b> Principales familias de diaclasas presentes en la mina El Toro.	31
<b>Tabla 4.</b> Valoración del macizo rocoso (RMR)	36
<b>Tabla 5.</b> Parámetros para el diseño de los pilares.	38
<b>Tabla 6:</b> Maquinaria, equipos y herramientas utilizadas en la mina El Toro.	40
<b>Tabla 7:</b> Datos de explotación mes de Agosto.	45
<b>Tabla 8:</b> Datos de explotación mes de Septiembre.	46
<b>Tabla 9:</b> Datos de explotación mes de Octubre.	47
<b>Tabla 10:</b> Datos de explotación mes de Noviembre.	48
<b>Tabla 11.</b> Consumo de explosivos y accesorios de voladura en la operación de la mina El Toro.	56
<b>Tabla 12:</b> Características técnicas del ANFO	60
<b>Tabla 13:</b> Características técnicas de la mecha de seguridad	60
<b>Tabla 14:</b> Características técnicas del detonador número 8.	61
<b>Tabla 15.</b> Rendimientos de operación para voladura en bóveda.	63
<b>Tabla 16.</b> Metros de mecha por voladura en bóveda.	65
<b>Tabla 17.</b> Rendimientos de operación para voladura en banca.	67
<b>Tabla 18:</b> Carga de explosivo de perforación en banca para cada una de las capas.	68
<b>Tabla 19.</b> Metros de mecha por voladura de yeso en banca.	69
<b>Tabla 20.</b> Metros de mecha por voladura de lutita en banca.	70
<b>Tabla 21.</b> Resumen de rendimientos de explosivos y accesorios de voladura.	70
<b>Tabla 22:</b> Resultados de laboratorio de calidades de los mantos explotables	71
<b>Tabla 23:</b> Resultados de laboratorio de calidades de los mantos explotables y capas estériles.	71
<b>Tabla 24:</b> Resultados de laboratorio de calidades de los mantos explotables acopiados en pilas.	72
<b>Tabla 25:</b> Reporte de calidad del material recibido en la planta de Cemex75 provenientes de la mina El Toro (Periodo 01/09/2017-17/09/2017)	75
<b>Tabla 26:</b> Reporte de calidad del material recibido en la planta de Cemex77 provenientes de la mina El Toro (Periodos 20/09/2017-08/10/2017 y 30/09/2017-06/11/2017)	77
<b>Tabla 27:</b> Reporte de calidad del material recibido en la planta de Cemex78 provenientes de la mina El Toro (Periodo 30/09/2017-06/11/2017)	78
<b>Tabla 28.</b> Registros de inspección de los frentes de operación de la mina.	79
<b>Tabla 29.</b> Seguimiento de la operación de perforación y voladura en los frentes de explotación mina El Toro.	86



<b>Tabla 30:</b> Características técnicas del Anfo.	96
<b>Tabla 31:</b> Calculos de diseño de malla de perforacion y consumo de explosivos.	97
<b>Tabla 32.</b> Calidades de los mantos de yeso muestreados en patio y en mina respectivamente.	102

## **LISTA DE ANEXOS**

**ANEXO A:** Equipos y accesorios de voladura

**ANEXO B:** Plano de Labores mina El Toro

## **RESUMEN.**

En el presente proyecto, denominado Evaluación del proceso de perforación y voladura en la explotación de yeso de la mina El Toro, Los Santos – Santander, realiza una serie de recopilación documental (Planes, Programas, Actualización geo mecánica del macizo rocoso, etc.), con el objetivo de analizar el estado inicial de la operación, con ello, se realizan inspecciones de campo en los frentes de cada uno de los grupos de trabajo para evaluar el estado de cumplimiento de ésta, teniendo en cuenta el conocimiento y experiencia tanto del jefe de mina como del personal operativo.

Resulta importante también, considerar la calidad del yeso explotado en la mina El Toro, teniendo en cuenta que las impurezas presentes en el material disminuyen ésta característica, además altera el proceso en la fabricación del cemento, debido a que los porcentajes de SO<sub>3</sub> (<28%- >35 %) no son constantes, por lo cual para la empresa Serrano Hermanos LTDA., mantener un yeso con alto contenido de Sulfato de Calcio, es trascendental ya que CEMEX Colombia S.A., comprador, establece unos premios y castigos, según los porcentajes anteriormente dados, y de esta manera se ve reflejada la rentabilidad. Por lo tanto, en el presente proyecto, el cual se dirige a la evaluación de la operación de perforación y voladura, expone un diseño de malla en banca, dirigido a mejorar la calidad del material explotado en la mina el toro.

## INTRODUCCION.

En Colombia la explotación de materiales con destino al sector de la construcción, especialmente la industria cementera, ha venido teniendo gran acogida ya que l. Una materia prima importante para la fabricación del cemento es el yeso, mineral explotado en algunos lugares del país; como Tolima, Cundinamarca, Boyacá y Santander. En este último departamento, la zona del cañón del Chicamocha es la región que tiene los mejores yacimientos de yeso, especialmente los municipios de: Los Santos, Villanueva y Zapatoca.

De acuerdo a la Agencia Nacional de Minería, en la caracterización de la actividad minera Departamento de Santander actualización 19/01/2017, entre 2013 y el tercer trimestre de 2016 la participación de Santander en la producción de yeso fue de 99,1%, lo cual demuestra el gran potencial minero en términos de la calidad del yeso que es extraído en el Departamento el cual pertenece a los estratos inferiores de la Formación Rosa Blanca de donde proviene la totalidad de producción de este mineral en Santander, Departamento que es el principal productor de yeso en el país, con una producción anual que varía entre 100.000 y 150.000 toneladas, la cual suple en gran porcentaje las necesidades de la industria cementera colombiana.<sup>1</sup>

La extracción de yeso que se lleva a cabo en el municipio de Los Santos, se realiza por el Método de explotación bajo tierra, implementando el método de Cámaras y Pilares con arranque por medio de perforación y voladura, obteniendo de este modo grandes secciones para el tránsito de volquetas que transportan el yeso hasta los centros de acopio, en donde se lleva a cabo el beneficio del material, con un proceso de trituración y posteriormente ser trasladado hasta los centros de consumo.

En el presente proyecto, se encamina por el análisis de la operación Perforación y Voladura que se lleva a cabo en la mina El Toro, propiedad de la empresa Serrano Hermanos Ltda., pretende encontrar y analizar las variables y características de la Operación de Perforación y Voladura que afectan en gran medida la calidad del mineral de yeso proveniente de la mina, dando así algunas recomendaciones o sugerencias que contribuyan a resolver las deficiencias que se lleguen a encontrar en la medida en que se desarrolle el presente estudio y su respectivo análisis.

---

<sup>1</sup> AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA, en la caracterización de la actividad minera Departamental - Departamento de Santander, actualización, (19, Enero, 2017).

## **OBJETIVOS.**

### **OBJETIVO GENERAL.**

Analizar la ejecución del Proceso de Perforación y Voladura en la mina El Toro, teniendo en cuenta las características y variables que intervienen en la Operación para la explotación de mineral de yeso garantizando estándares de calidad.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Realizar diagnóstico del proceso de Perforación y Voladura en la mina El Toro.
- Evaluar la malla de perforación implementada y estipulada en el Programa de Perforación y Voladura.
- Determinar el nivel de cumplimiento operacional de la malla de perforación estipulada en el Programa de Perforación y Voladura.
- Revisar el consumo de explosivo por frente de explotación.
- Proponer mejoras dirigidas a la ejecución del proceso de perforación y voladura en la mina El Toro.

## 1. DESARROLLO DE LA PRACTICA

### 1.1. CARGO ASIGNADO

**Nombre del Cargo:** Pasante de ingeniería de minas en el área de Producción y Seguridad.

### 1.2. DESCRIPCION Y DESARROLLO DE LAS FUNCIONES ASIGNADAS.

Dentro de las funciones asignadas se encuentran:

- Ejecutar el plan estratégico de producción teniendo en cuenta el proceso de explotación subterránea.
- Apoyar en el cumplimiento de normatividad ambiental y en Seguridad Industrial.
- Observar y cumplir las normas éticas y morales de la empresa.
- Asistir a las reuniones, seminarios o cursos convocados por el director de prácticas y/o respectivos coordinadores de práctica.
- Atender y cumplir las directrices que se rijen en la empresa para el manejo de equipos, maquinaria y demás instrumentos.
- Elaboración de actas y movimientos de explosivos dentro de la mina.
- Acompañamiento en la supervisión de los procesos realizados en la parte de ejecución de perforación y voladura en la mina.
- Control y seguimiento a las operaciones que se tienen establecidas en la empresa para ejecutar las actividades mineras.
- Diseñar y calcular la malla de perforación propuesta en el Proyecto, así como también el cálculo de los explosivos utilizados.

### **1.3. CAPACITACIONES**

- Inicialmente se realizó la respectiva Inducción al puesto de trabajo establecido por parte del ingeniero residente, en donde se dió a conocer el reglamento interno de trabajo de la empresa y todo lo referente a Seguridad Industrial.
- Se realizó un excelente acompañamiento durante este proceso por parte del jefe inmediato con ayuda de charlas y capacitaciones de seguridad en el manejo de explosivos y parte técnica de las operaciones.
- Suministro de información requerida para realizar el presente Proyecto (producción mes a mes, programas y planes establecidos en la empresa, planos y diagramas, etc.)

### **1.4. DESARROLLO DE LA PRACTICA**

**1.4.1. Aportes de empresa a la formación profesional.** Los aportes de la empresa a la formación profesional son:

- Conocimiento de las diferentes operaciones que se llevan a cabo en el proceso de explotación subterráneo.
- Apoyo y guía en el manejo de personal respecto a las normas éticas y morales, como trabajador de la empresa para generar un ambiente cordial y un desarrollo productivo estable.
- Se permite la aplicación de los conocimientos adquiridos en la academia para reforzar la práctica y experiencia como profesional, así como también la capacidad de implementar algunas ideas en los conceptos que se tienen en la operación para hacerla más óptima.
- Se forja conocimiento de los temas referentes a la operación de Perforación y Voladura con la ayuda del jefe inmediato y de los demás compañeros de trabajo.
- Se generan capacidades en el análisis y manejo de las diferentes normas y estrategias del proceso minero.

#### **1.4.2. Aportes de la práctica a la empresa**

- Principalmente el aporte que realiza la práctica a la empresa es plantear opiniones e ideas por parte del pasante de ingeniería de minas, para ayudar a optimizar la operación asignada en la empresa, ya que éste genera nuevas capacidades que son gran beneficio en los proyectos y planes que se tengan provistos.
- Se realizará como un aporte a la empresa este documento Proyecto que será de ayuda para facilitar las mejoras en la operación de Perforación y voladura que actualmente se realiza para obtener mayores rendimientos en producción.

**1.4.3. Conclusiones.** Esta práctica culminó de manera exitosa ya que se cumplieron con los objetivos propuestos en este documento con ayuda de los compañeros de trabajo y de la infraestructura de la empresa, que facilitó en gran medida el conocimiento asimilado en el transcurso de la práctica que generó beneficios a la operación.

La importancia que genera esta práctica a los estudiantes es muy grande ya que permite que se sus habilidades en todos los aspectos salgan a relucir y pueda llegar a tener una buena acogida en cualquier empresa.

**1.4.4. Recomendaciones.** Una de las recomendaciones es que se tiene que colocar una persona encargada de inspeccionar cada uno de los frentes de trabajo respecto a la Operación de Perforación y voladura para que se realice de la mejor manera posible.

Continuar con el proceso de admisiones para practicantes dentro de la empresa, para que demás compañeros tengan la posibilidad de optar por esta modalidad de grado.



## 2. GENERALIDADES

### 2.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y VÍAS DE ACCESO<sup>2</sup>

El área de estudio se localiza en la vereda La Loma jurisdicción del municipio de Los Santos, Departamento de Santander, al sur de la ciudad de Bucaramanga, sobre la vertiente oriental del río Chicamocha, a aproximadamente 2.5 km aguas arriba de la confluencia del río Chicamocha con el río Suarez.

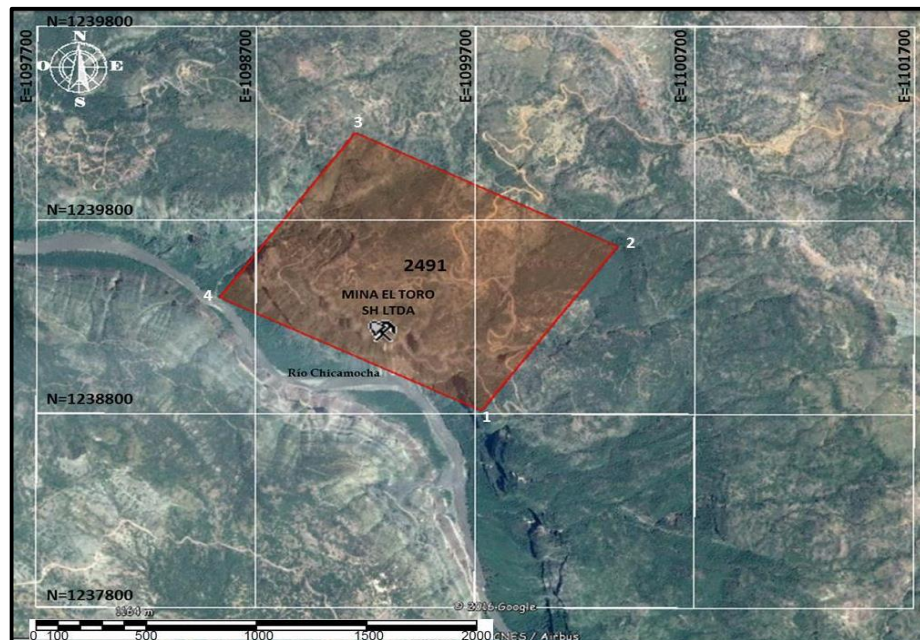
El título minero corresponde al contrato de concesión 2491 ubicado en las planchas 120-IV-C-4 y 135-II-A-2 del IGAC, con un área de 137,5308 Ha con punto arcifinio: Desembocadura de la quebrada La Caldera en el río Chicamocha.

**Tabla 1. Área de alinderación contrato de concesión 2491.**

Punto	COORDENADA	
	NORTE (m)	ESTE (m)
Arc.	1239400	1098530
1	1238816.65	1099739
2	1239665.63	1100348
3	1240249.63	1099152
4	1239399.65	1098535

Fuente: Serrano Hermanos LTDA.

**Figura 1. Área de alineación contrato de concesión 2491.**



Fuente: Google Earth, Editado por autor del informe.

<sup>2</sup> SERRANO HERMANOS LTDA, Estudio de Impacto Ambiental Contrato de Concesión 2491, Los Santos, 2009.

El acceso a la mina se realiza por la vía pavimentada Bucaramanga-San Gil a lo largo de unos 31 km hasta un poco más adelante del sitio Los Curos, desviando hacia el Sur-Occidente se toma la carretera pavimentada de unos 35 km, hasta el municipio de Los Santos, continuando después de 17 km al occidente del casco urbano del municipio, por una carretera en gran parte destapada (13 km), hasta la mina. En total son unos 78 km al sur de la ciudad de Bucaramanga, capital del Departamento de Santander.

**Figura 2.** Vías de acceso Casco Urbano M. Los Santos – Mina El Toro.



**Fuente:** Google Earth, Editado por autor del informe.

## 2.2. RASGOS FISIAGRÁFICOS<sup>3</sup>.

- **Hidrografía del área de influencia del proyecto.**

La zona se caracteriza por poseer numerosas cañadas o arroyos que permanecen secos durante casi todo el año, salvo después de los aguaceros cuando presentan crecidas de caudal variable, dependiendo de la intensidad de éste. Estos arroyos desembocan directamente sobre el cauce del río Chicamocha en forma casi perpendicular, recorriendo poca distancia en cauces de poca profundidad y lechos irregulares. En el sitio de confluencia diseñan pequeños conos de acumulación de sedimentos, que parcialmente desaparecen durante las crecidas del río Chicamocha.

<sup>3</sup> SERRANO HERMANOS LTDA, Estudio de Impacto Ambiental Contrato de Concesión 2491, Los Santos, 2009.

Las principales de estas corrientes son las quebradas La Caldera y Nevadas, que drenan el área de La Nacuma, y otra sin nombre que atraviesa el área de El Divisó.

- **Clima y vegetación.**

El medio geográfico en el que se enmarca el Departamento de Santander, caracterizado por grandes contrastes entre sus elementos constitutivos de una notable variedad de climas y microclimas.

El relieve es uno de los factores más importantes dentro de la caracterización del clima del Departamento. Está conformado por sistemas montañosos que se extienden siguiendo en general el rumbo de la cordillera oriental pero que son interrumpidos por fallas geológicas que originan valles transversales como es el caso del cañón del Chicamocha que bordea el límite intermunicipal del Municipio de Los Santos. El relieve del Municipio ofrece una gran variedad de geo formas y pendientes que van desde Planas a levemente inclinadas (entre 0-9 grados) y escarpados (desde 58 grados y más) con alturas entre los 300 m.s.n.m. y los 1.800m.s.n.m.

Esta variedad de relieve incide directamente en los componentes del clima tales como la Precipitación, la Temperatura, el brillo solar la humedad relativa, la evaporación y la evapotranspiración. La región se caracteriza por tener cuatro tipos de climas: cálido árido, Templado árido, cálido semiárido y templado semiárido con temperaturas altas. Este último es el clima predominante en la zona del proyecto.

### **2.3. GEOLOGÍA GENERAL<sup>4</sup>.**

De acuerdo con los estudios existentes, en el área afloran rocas sedimentarias del Jurásico y del Cretáceo, correspondientes a las formaciones Girón, Tambor, Rosablanca, Paja y El Tablazo, además de algunos depósitos cuaternarios.

**Formación Girón (Jr)** es la más antigua (Jurásico Superior) y está constituida por areniscas, limolitas y conglomerados de colores predominantemente rojizos. Ella aflora solo parcialmente a lo largo de algunos sectores de los ríos Chicamocha y Suárez.

**Formación Los Santos (Kls) o Tambor (Kt)** descansa discordantemente sobre la Formación Girón y subyace a la Formación Rosablanca. Está compuesta de areniscas claras de grano fino a medio, cuarzosas, micáceas -en especial en los

---

<sup>4</sup> SERRANO HERMANOS LTDA, Estudio de Impacto Ambiental Contrato de Concesión 2491, Los Santos, 2009.

planos de estratificación-en bancos macizos de espesor variable y conglomerados cuarzosos. Es común la estratificación cruzada en algunos bancos de areniscas. Tiene un espesor de unos 150 m y constituye la parte más abrupta del Cañón del Chicamocha. Hacia su parte superior forma una especie de cornisa llamada "chincho" por los habitantes del lugar.

**Formación Rosablanca (Kir)** está conformada por calizas grises claras a azulosas, fosilíferas, ínterestratificadas con lutitas grises azulosas a grises oscuras y lutitas arenosas grises. Su espesor es de unos 300 m y constituye la parte superior del escarpe del Cañón del Chicamocha.

Hacia la parte inferior de la formación, a unos 16 m del contacto con la Formación Tambor, aflora una secuencia de 12 a 15 m de espesor, donde se presentan capas de yeso intercaladas con capas de calizas y lutitas grises. Las capas de yeso pasan lateralmente a calizas arcillosas, dándoles un carácter lenticular.

**Formación La Paja (Kp)** está representada por una serie de cerca de 300 m de lutitas grises oscuras, fosilíferas y yesíferas, con concreciones calcáreas frecuentes e intercalaciones menores de calizas arcillosas yesíferas y areniscas calcáreas grises oscuras. Ella constituye la mayor parte de la ladera inmediatamente por encima del escarpe del Cañón del Chicamocha.

**Figura 3.** Contactos Geológicos en el sector de la mina El toro, desde la parte SE del contrato 2491.



**Fuente:** EIA Contrato de Concesión 2491.



**Tabla 2:** Columna estratigráfica de la Geología Regional del contrato de concesión 2491.

PERIODO	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	PRINCIPALES CAMPOS PETROLEROS	LITOLOGÍA	AMBIENTE SEDIMENTARIO	DESCRIPCIÓN SEDIMENTOLÓGICA
CRETÁCICO	Formación Umir			Nerítico medio	Shale gris-violáceo limolita gris, arenisca arcillosa, siderita parda y carbón
	Formación La Luna			Mar relativamente bajo, poco ventilado	Shale negro, caliza, shale calcáreo, caliza, lidita negra y concreciones
	Caliza del Salto			Marino somero	Caliza arcillosa y shale negro
	Formación Simití			Nerítico inferior o medio	Shale gris y verdoso
	Formación Tablazo			Nerítico superior, lagoon	Calizas fosilíferas, arenisca calcárea y arcillolita gris
	Formación Paja			Nerítico inferior o medio	Shale negro calcáreo, concreciones
	Formación Rosablanca			Marino somero o nerítico superior	Caliza gris oscura, fosilífera
	Fm. Tambor			Continental, nerítico	Arenisca blanca y arcillolita gris
	Formación Los Santos			Intermareal, terrestre	Conglomerado y arenisca intercalada con lodolita gris y rojiza
JURÁSICO	Grupo Girón			Terrestre, fluvial	Arenisca amarillenta a rojiza, limolita violácea y conglomerado
<b>CONVENCIONES:</b> CONGLOMERADOS  ARENSICAS  SHALES  CALIZAS					

**Fuente:** Adaptado y modificado de: Mojica y Franco, 1990; Reyes y Ramírez, 1996; ANH, 2007. Tomada de Reyes, Germán; Flórez, Hernán. Geología Urbana de Barrancabermeja. 2016

**Cuaternario (Q)** está representado básicamente por derrubios de vertiente, originados por gravedad. Consta de cantos de caliza de hasta 2 m de diámetro, en una matriz arcillosa y en algunos sectores alcanza los 40 m de espesor, cubriendo la parte inferior de la Formación Rosa Blanca y las capas de yeso.

De las formaciones anteriormente descritas la única de interés económico para la extracción de yesos es la Formación Rosa Blanca (Krb).

**2.3.1. Geología Estructural<sup>5</sup>.** Desde el punto de vista de estructuras geológicas regionales, la mina de yeso está afectada por las fallas de los Santos y la Falla del Suárez, las cuales están ubicadas espacialmente a 2 y 10 Km., respectivamente, de la mina. Desde el punto de vista local, las rocas en el área del contrato no presentan pliegues y/o fallas de importancia que afecten su continuidad, Las rocas llevan tren estructural NE e inclinaciones entre 10° y 4° hacia el SW, y están afectadas por pequeñas fallas normales y por un fracturamiento producto de los esfuerzos regionales.

**Figura 4:** Mapa Geológico del Contrato de Concesión 2491.



**Fuente:** EIA Contrato de Concesión 2491.

**Falla los Teres.** Satélite de la falla los Santos, afecta rocas de la formación Rosa Blanca al sur-oeste del pueblo. El trazo es paralelo a la falla los Santos y su convergencia es occidental. Es una estructura importante porque está delimitando la mineralización de yeso, dado que este mineral se encuentra en el bloque Oeste y en el bloque Este no. El buzamiento de esta falla es aproximadamente de 25° a 30° al Este (Véanse figuras 5 y 6)

<sup>5</sup> SERRANO HERMANOS LTDA, Estudio de Impacto Ambiental Contrato de Concesión 2491, Los Santos, 2009.

**Figura 5:** Expresión geomorfológica de la falla de Los Santos al norte del pueblo, contacto fallado entre la formación Los Santos y Rosablanca.



**Fuente:** EIA Contrato de Concesión 2491.

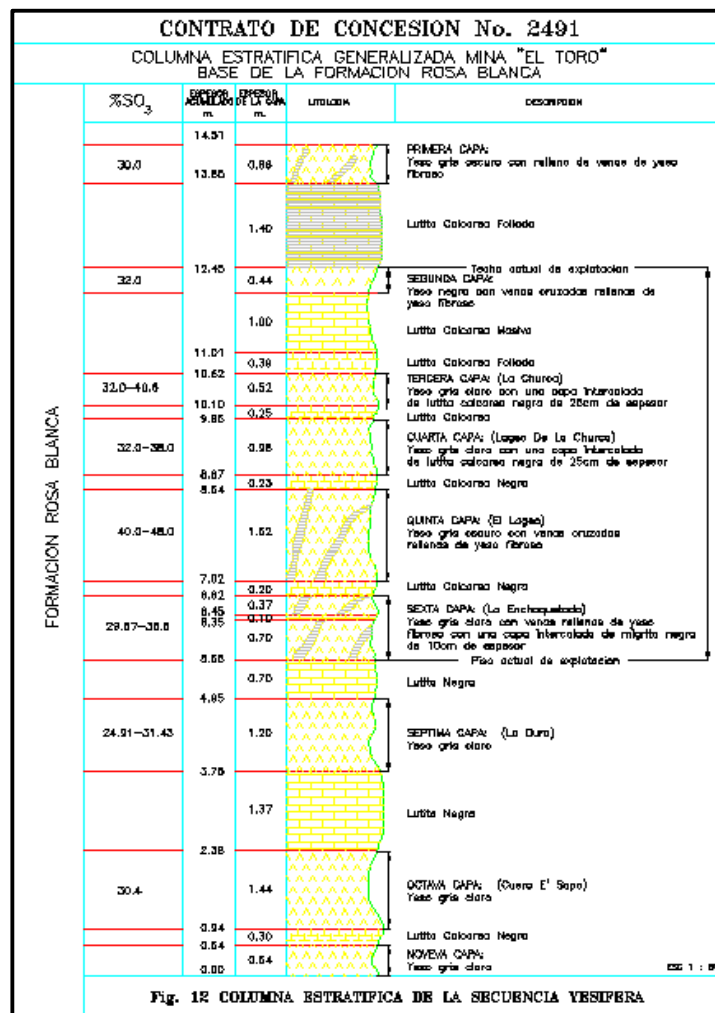
**Figura 6:** Enfrentamiento de las areniscas de la formación Los Santos con las calizas de la formación Rosa Blanca hacia el norte de la falla Los Santos.



**Fuente:** EIA Contrato de Concesión 2491.

**2.3.2. Geología Del Yacimiento<sup>6</sup>.** A lo largo del área del contrato de concesión 2491 afloran rocas del Jurásico, representadas en la formación Girón y se encuentran conformando la base del cañón formado por el Rio Chicamocha, suprayaciendo a esta unidad Jurásica se encuentran la Formación Los Santos (Tambor), perteneciente al Cretácico Inferior, seguidamente la Formación Rosa Blanca, que es donde se ubican los depósitos yesíferos explotados en el sector, los cuales presentan intercalaciones de caliza gris oscura fosilífera, masiva y con niveles de lutitas grises, estas capas de yeso aparecen de 18 a 25 m estratigráficamente a partir de la base del contacto geológico Kils-Kir.

**Figura 7:** Columna Estratigráfica Generalizada Formación Rosablanca en la mina El Toro.

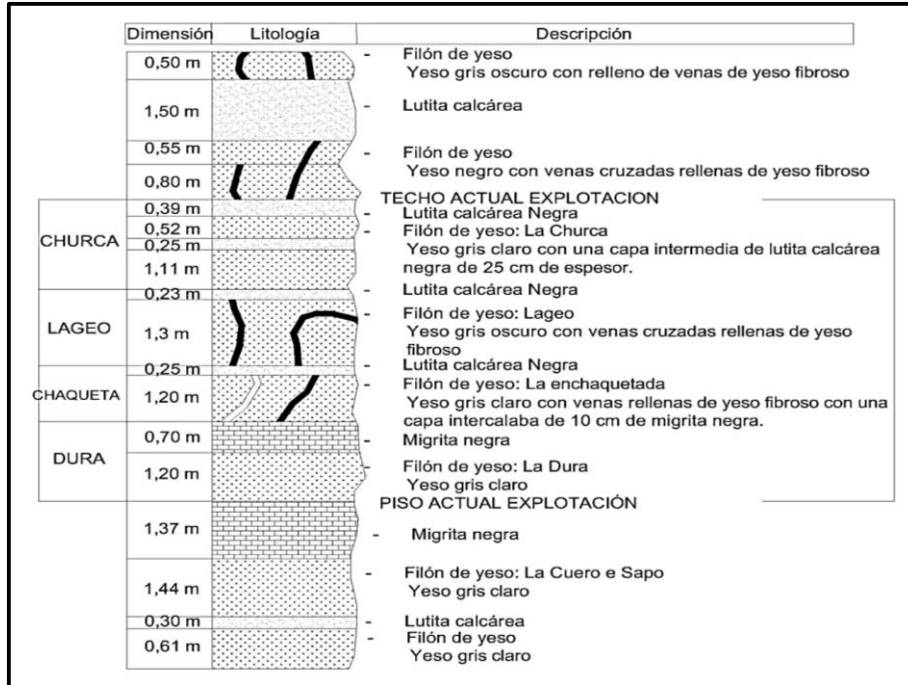


**Fuente:** Actualización EIA - Plan de Manejo Ambiental 2015 Titulo 2491.

<sup>6</sup> SERRANO HERMANOS LTDA, Estudio de Impacto Ambiental Contrato de Concesión 2491, Los Santos, 2009.



**Figura 8:** Columna estratigráfica de la mina El Toro.



**Fuente:** Serrano Hermanos LTDA.

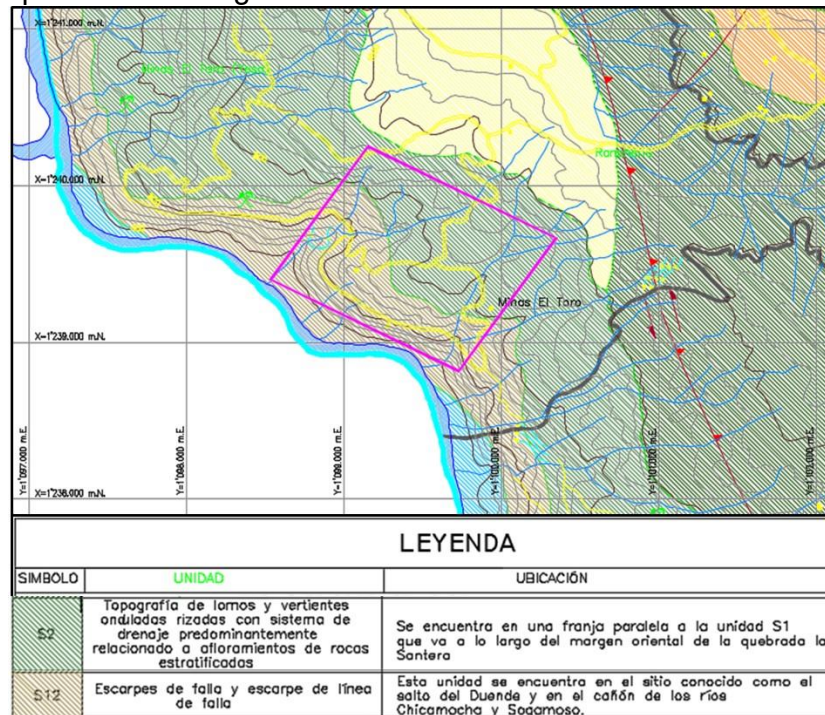
#### 2.4. GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO<sup>7</sup>.

Desde el punto de vista Morfo-estructural, el área forma parte de una estructura tabular (Mesa de Los Santos), profundamente disectada por los ríos Chicamocha, Sogamoso y Suárez, los cuales han labrado profundos cañones de hasta 600 m de profundidad, con flancos escarpados. La mina de yeso objeto del presente proyecto, se encuentra en el escarpe correspondiente al flanco derecho del Cañón del Chicamocha, a la altura de su confluencia con el Suárez.

- **(S2) Topografía de lomos y vertientes onduladas rizadas con sistema de drenaje predominantemente relacionado a afloramientos de rocas estratificadas.** Topografía con pendientes suaves a moderadamente empinadas con patrón lineal. Se encuentra en una franja paralela a la unidad S1 que va a lo largo del margen oriental de la quebrada la Santera. Abarca rocas de las formaciones Jordán, Rosa Blanca, Paja y Tablazo.
- **Escarpes de falla y escarpe de línea de falla. Pendientes moderadamente empinadas, moderadamente a severamente disectadas.** Esta unidad se encuentra en el sitio conocido como el salto del Duende, en rocas de la formación Jordán y en el cañón de los ríos Chicamocha y Sogamoso.

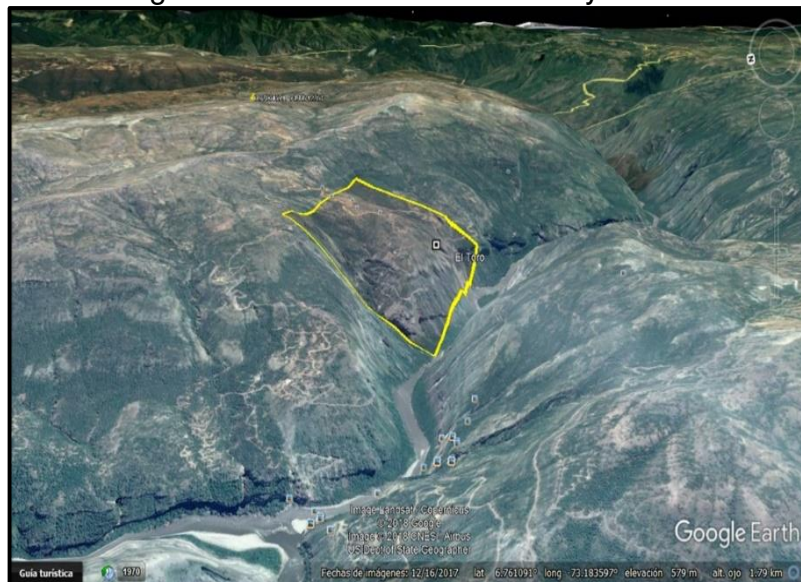
<sup>7</sup> Serrano Hermanos LTDA, Estudio de Impacto Ambiental Contrato de Concesión 2491, Los Santos, 2009.

**Figura 9:** Mapa Geomorfológico Contrato de Concesión 2491



**Fuente:** EIA Contrato de Concesión 2491

**Figura 10:** Geomorfología del área de estudio del Proyecto.

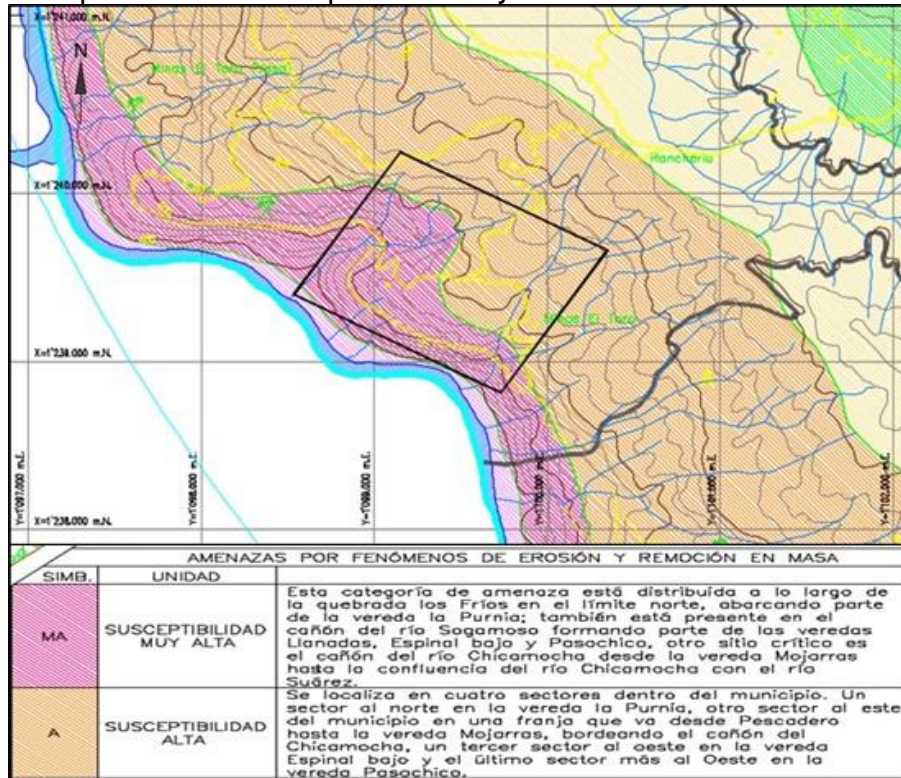


**Fuente:** Google Earth

En síntesis, se puede decir que el área presenta un grado de inestabilidad y erosión actuales relativamente alto, debido tanto al clima seco y agresivo, como a su topografía abrupta. En igual forma, por su posición al borde de la mesa y por la

presencia de capas gruesas de lutitas altamente erosivas, la zona ofrece una inestabilidad potencial alta.

**Figura 11:** Mapa de Amenazas por erosión y Remoción en masa.



**Fuente:** EIA Contrato de Concesión 2491.

## 2.5. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN IMPLEMENTADO EN LA MINA EL TORO.<sup>8</sup>

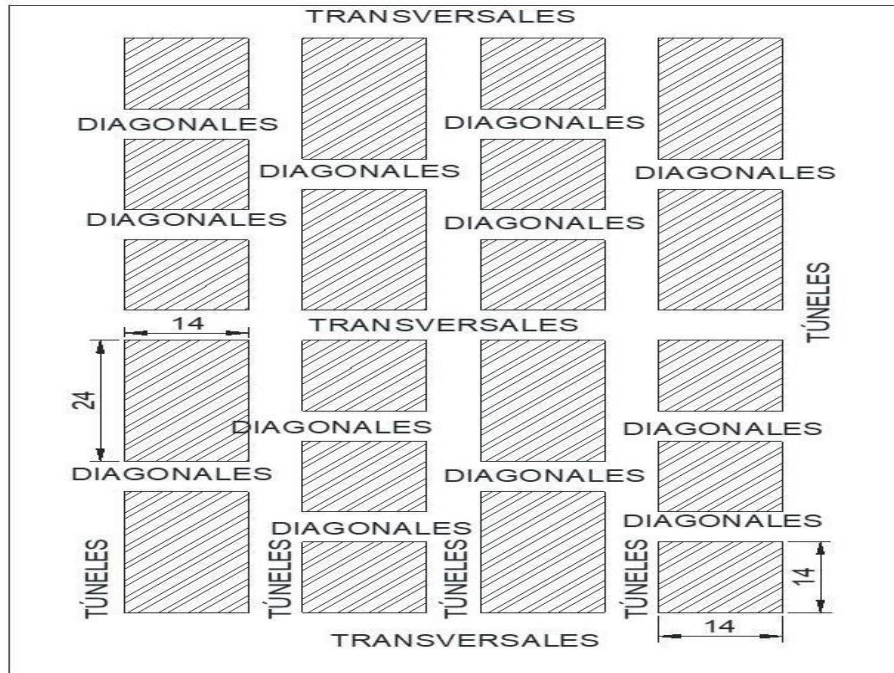
El Método de explotación llevado a cabo se denomina Cámaras y Pilares por niveles. Consiste en abrir cámaras con dimensiones de 8.0 metros de ancho, por 4.5 metros de alto en su etapa inicial. Posteriormente se realizará la recuperación del piso de dichas cámaras para que finalmente queden con dimensiones de 7.5.

Las vías construidas se comunican entre si cada 40 metros mediante cruzadas que tendrán en su etapa inicial 6 metros de ancho por 4.5 metros de alto, con posterior recuperación al piso, para dar unas dimensiones finales de 10.5 metros de alto por 5 metros de ancho. La separación entre cámara y cámara, es decir el ancho de machón continúa siendo 12 metros. Este variará de acuerdo a la cantidad de recubrimiento sobre los túneles.

<sup>8</sup> SERRANO HERMANOS LTDA, Estudio de Impacto Ambiental Contrato de Concesión 2491, Los Santos, 2009.

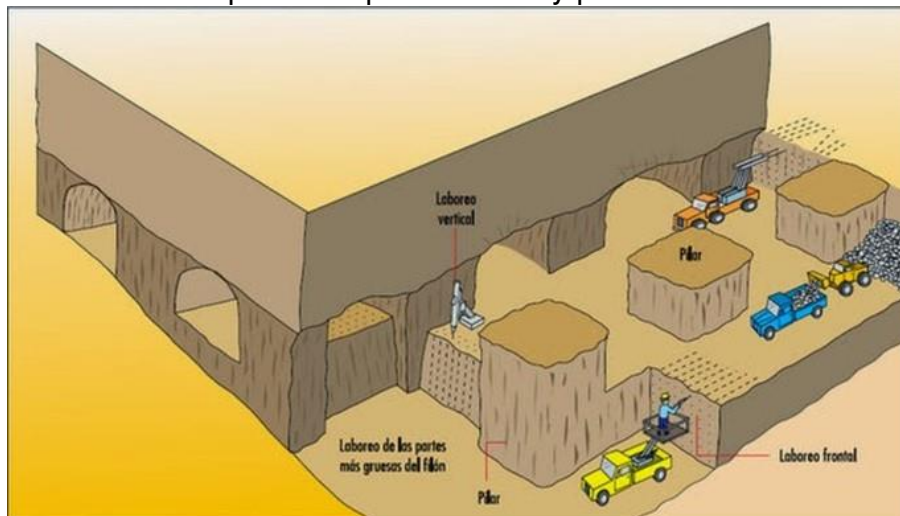


**Figura 12:** Esquema del método de explotación de la Mina El Toro.



**Fuente:** EIA Contrato de Concesión 2491

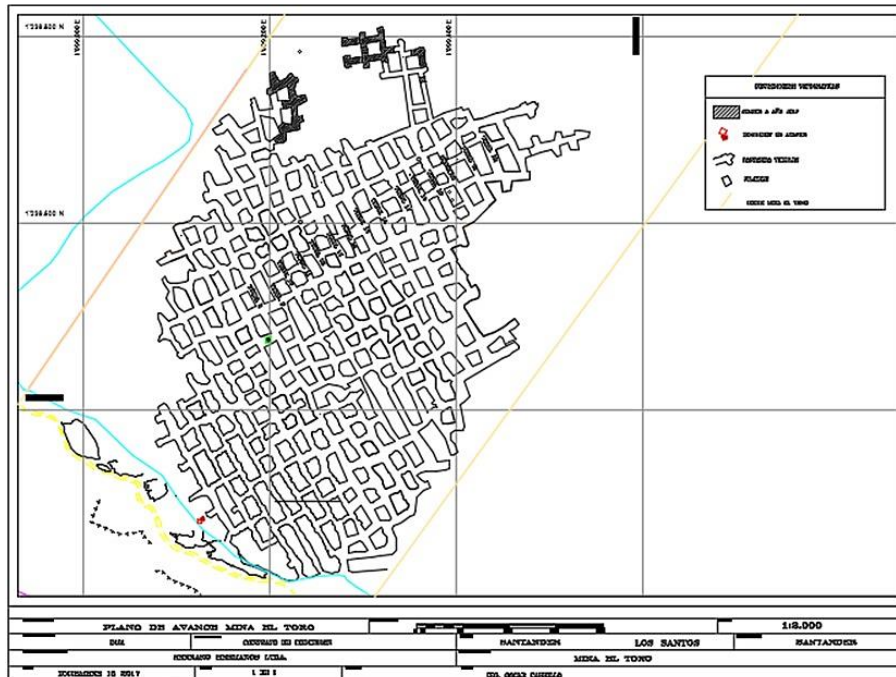
**Figura 13:** Método de explotación por cámaras y pilares.



**Fuente:** <http://metodosdeexplotacionenlamineria.blogspot.com.co/2015/>

A continuación, se presenta el plano de labores de la Mina El Toro actualizado Diciembre 2017, En donde se evidencia el método de explotación por cámaras y pilares implementado en la mina y el avance de la misma.

**Figura 14:** Plano de labores de la mina El Toro.



**Fuente:** Formato Básico Minero 2017-I.

## 2.6. SOPORTE LEGAL<sup>9</sup>

**Explota la UPM El Toro:** SERRANO HERMANOS LTDA.

**Título Minero:** 2491.

**Titulares de la Concesión:** SOCIEDAD DE YESOS PRADA LTDA (Nit.: 8902002511) \ SERRANO HERMANOS LTDA (Nit.:8902091521) \ CEMEX COLOMBIA S.A. (Nit.:8600025231)

**Modalidad:** Contrato De Concesión (L 685).

**Generalidades:** Tiene un Área de 137 Hs 5858 m<sup>2</sup>. Posee Código Minero DGEN-01. Su Inscripción al Registro Minero es del 10 de abril de 2007, con duración de 24 años a partir del 01 de enero de 2005 hasta el 31 de diciembre de 2028 como consta en Informe de Fiscalización – IFI del 14 de abril de 2016 – ANM.

El proyecto de explotación de material de yeso en la mina El Toro, propiedad de la empresa Serrano Hermanos LTDA, se basa expresamente en el Código de Minas,

<sup>9</sup> MINMINAS-CAS, informe individual de caracterización Unidad de Producción Minera CAS-0035, Convenio Interadministrativo GGC-169-2016.

**Ley 685 de 2001**, el cual permite fomentar la exploración técnica y la explotación de los recursos mineros basándose en los principios y normas que allí se dictan para lograr una explotación racional de los minerales por medio del desarrollo sostenible y lograr el fortalecimiento económico y social del país.

**Etapas Contractuales:** 12 años de Explotación.

Según Informe de Fiscalización Integral – IFI del 14 de abril de 2016 – ANM: No se evidencia minería ilegal.

**El PTO fue aprobado:** Según Informe de Fiscalización – IFI del 14 de abril de 2016 – ANM.

### **Servidumbres Mineras**

Ninguna

### **Legalidad Ambiental**

En el Expediente consta que se dictan los siguientes actos:

- Solicitud de Licencia Ambiental: allegada en fecha 24 de septiembre de 2008 por el titular minero para su aprobación.
- Licencia Ambiental: Otorgada por la Corporación Autónoma Regional de Santander CAS, mediante Resolución DGL No. 00000529 del 16 de abril de 2012.
- Licencia Arqueológica: Aprobada por el Instituto Colombiano de Antropología e Historia – ICANH, otorgada el 16 de abril de 2010.

### 3. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO<sup>10</sup>.

Comprende un análisis de las características geológicas y geo mecánicas del macizo rocoso en la mina subterránea El Toro. Este análisis permite definir los modelos geo mecánicos que caracterizan en forma representativa el macizo en estas minas.

Teniendo en cuenta el tipo de sostenimiento natural implementado en la mina a través de pilares o machones, es de gran importancia el monitoreo y caracterización constante de las condiciones estructurales del macizo rocoso, especialmente las discontinuidades (fallas, diaclasas, entre otras) las cuales puedan generar una zona de debilidad y susceptibilidad ante desprendimientos de rocas e incidir en las condiciones de estabilidad de la mina.

Debido a que el techo inmediato del espacio explotado (cámara) actúa como una viga, soportado por machones y teniendo en cuenta los esfuerzos verticales que actúan sobre estos estratos es importante la verificación y monitoreo de techo en donde algunos casos especiales se pueden presentar asentamiento o hundimiento del mismo.

Otro aspecto importante a tener en cuenta en cuanto al análisis y monitoreo permanente son los pilares o machones, su dimensionamiento, estado de esfuerzos y en algunos casos particulares el ensanche de los mismos debido a las presiones que soportan, teniendo en cuenta el sostenimiento natural de la mina.

#### 3.1. ESTUDIO DE DIACLASAS<sup>11</sup>

Siguiendo la misma metodología implementada en el PTO, para el diseño de las cámaras y pilares, se realiza la actualización del estudio del macizo rocoso, debido a que a medida que avanzan los túneles se presentan nuevos esfuerzos y aparición de nuevas familias de diaclasas debido al esfuerzo producido por esta discontinuidad. Este estudio será importante para reevaluar la dirección de los túneles. Lo cual tendrá como base el análisis estructural estadístico con rosetas de diaclasas que permitan determinar las principales familias de discontinuidades.

Las principales familias de diaclasas son las siguientes:

**Tabla 3:** Principales familias de diaclasas presentes en la mina El Toro.

Esfuerzo Principal	73	N20E
Esfuerzo medio	93	S15W
Esfuerzo Inferior	98	N75E

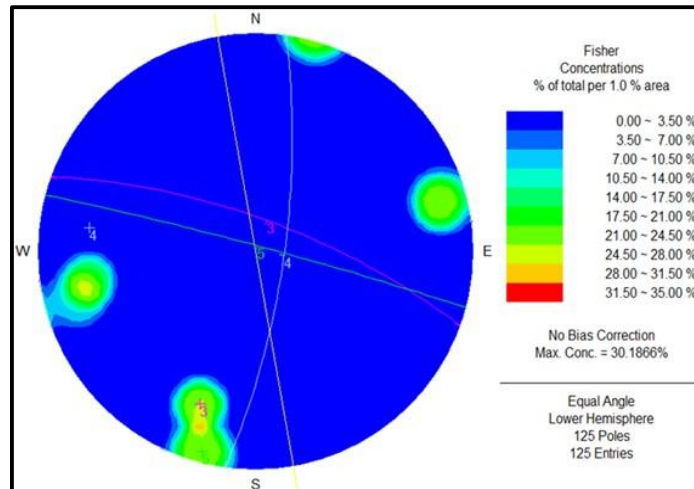
**Fuente:** Actualización del Macizo Rocosos de la mina El Toro.

<sup>10</sup> SERRANO HERMANOS LTDA, Actualización del Plan de Sostenimiento Mina El Toro, 2017.

<sup>11</sup> SERRANO HERMANOS LTDA, Actualización del Plan de Sostenimiento Mina El Toro, (2017).

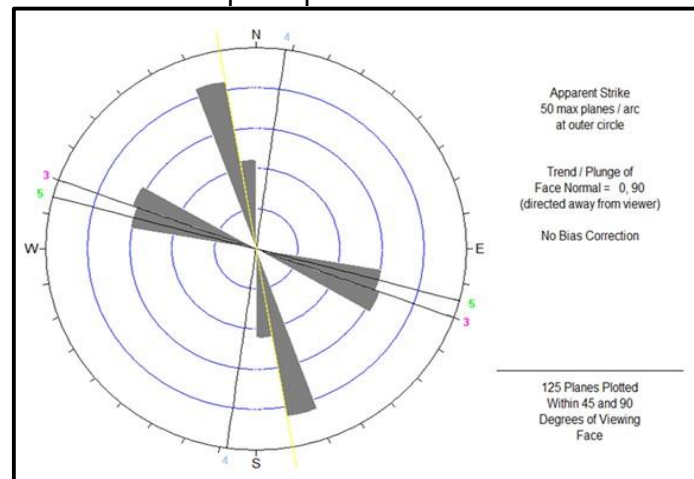
En la siguiente grafica se puede observar el diagrama de frecuencia estadística de fracturamiento en la mina El Toro.

**Figura 15:** Diagrama estadístico de fracturamiento en la mina El Toro.



**Fuente:** Actualización del Plan de Sostenimiento Mina El Toro.

**Figura 16:** Roseta de diaclasas principales en la Mina El Toro.



**Fuente:** Actualización del Plan de Sostenimiento Mina El Toro.

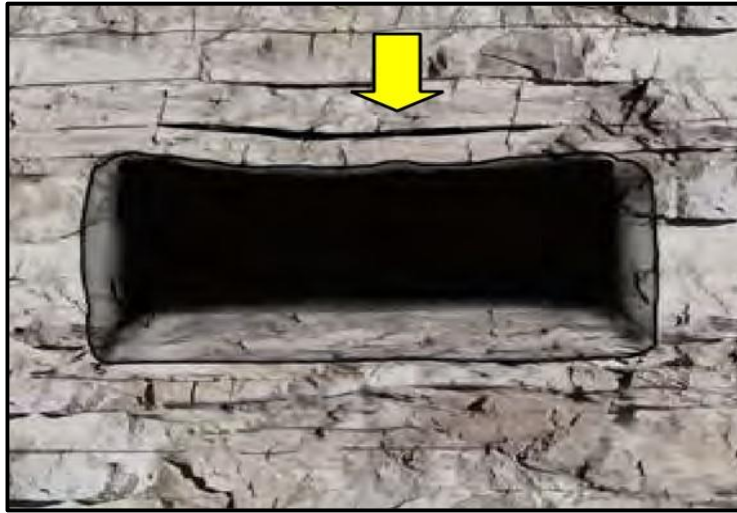
La orientación de los túneles tendrá un azimuth de 350° con base en la presentación del grafico anterior.



### 3.2. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LA ROCA.

**Esfuerzo de flexión:** En el caso de la mina El Toro, donde los buzamientos son inferiores a  $10^\circ$ , generalmente los techos y los pisos concuerdan con los estratos, por lo que es importante asegurar que la roca de techo sea competente como en este caso. Los problemas que pueden generarse, tienen relación con la separación o despegue de los bloques tabulares del techo inmediato y su carga de deflexión hacia el vacío minado por efecto de la gravedad.

**Figura 17:** Fenómeno de deflexión de techo.

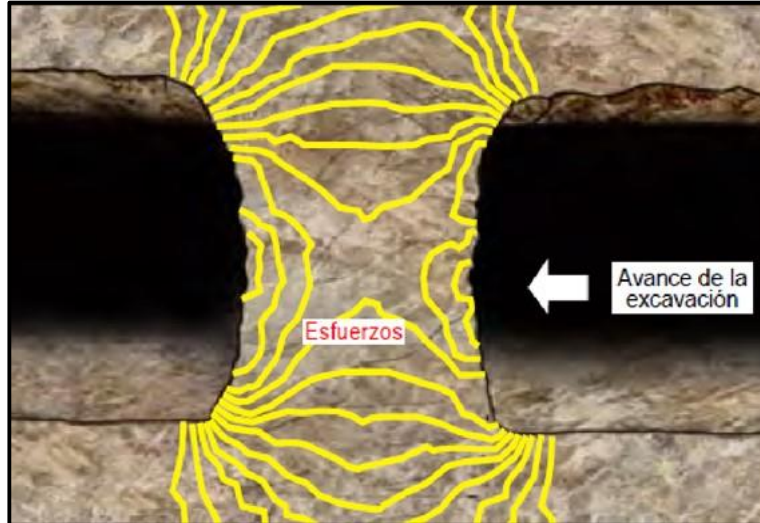


**Fuente:** Actualización del Plan de Sostenimiento Mina El Toro.

El esfuerzo de máximo resistente a la flexión de la roca de techo en la mina El Toro es de  $28.9 \text{ kg/cm}^2$ .

**Resistencia a la compresión uniaxial:** Esta resistencia se realiza en el material de los pilares la cual está compuesta por roca de yeso y estéril, que son filones de lutitas calcáreas y micrita negras.

**Figura 18:** Esfuerzos sobre los pilares.



**Fuente:** Actualización del Plan de Sostenimiento Mina El Toro.

El material de estéril de los pilares de las cámaras posee una resistencia a la compresión simple de  $605,683 \text{ kg/cm}^2$ .<sup>12</sup>

## **CAMARAS Y PILARES**

El estudio para el dimensionamiento de las cámaras de acceso, así como de los pilares de seguridad considera cuatro aspectos principales.

- Determinar un espaciamiento del techo que permita su estabilidad.
- Determinar la resistencia del pilar.
- Determinar la carga del pilar.
- Determinar el factor de seguridad.

### **Selección del espaciamiento del techo:**

La estimación para un seguro espaciamiento de techo se logra por medio de una clasificación de la masa rocosa o clasificación geo mecánica.

Para tal fin, se ha clasificado el macizo rocoso de acuerdo a la clasificación geo mecánica de Bieniawski (R.M.R), la cual arrojó clase II buena calidad, como se presenta a continuación.

### **Resistencia del material de roca intacta**

Este parámetro es equivalente a la resistencia compresiva de la roca intacta.

<sup>12</sup> SERRANO HERMANOS LTDA, Actualización del Plan de Sostenimiento Mina El Toro, 2017.

La resistencia a la compresión simple uniaxial de la roca es de 605.683 kg/cm<sup>2</sup> (8614.783 psi).<sup>13</sup>

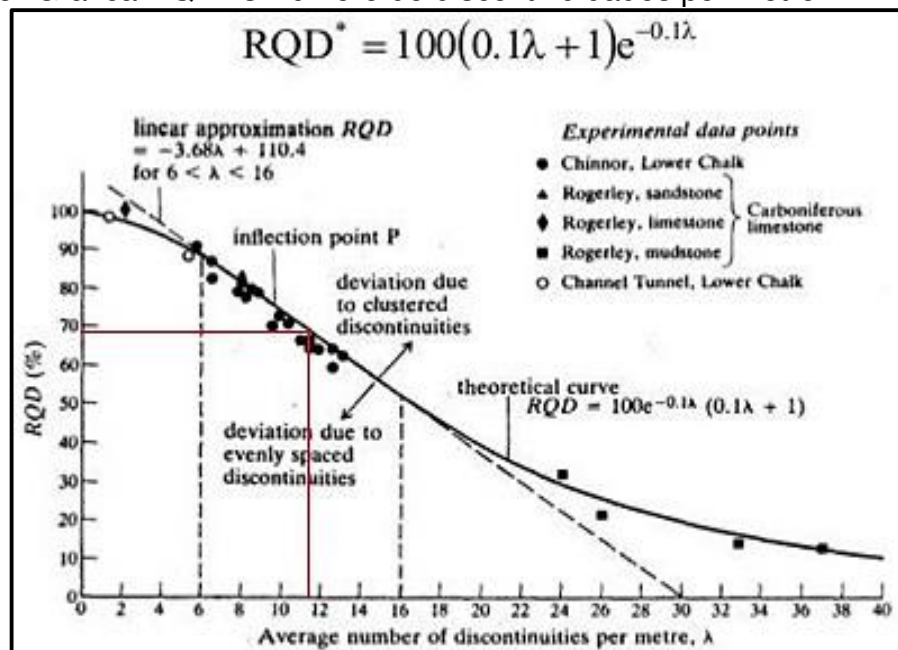
El R.Q.D El espaciamiento de diaclasas promedio es de 20 cm, en el túnel 19 existe una zona con espaciamientos de 9 cm, por efecto del paso de la falla, por tal razón y para mayor seguridad se calcula el RQD con este valor.

$X = 9 \text{ cm.}$

$$R.Q.D = 100(0.1\lambda + 1) e^{-0.1\lambda} = 100(2.11) \times e^{-1.11} = 69.5\%$$

$$\lambda = \frac{1}{0.09} = 11.1 \text{ m}$$

**Figura 19:** Grafica RQD vs Numero de discontinuidades por metro.



**Fuente:** Rock Slope Engineering, E. Hoek & J.W. Bray.

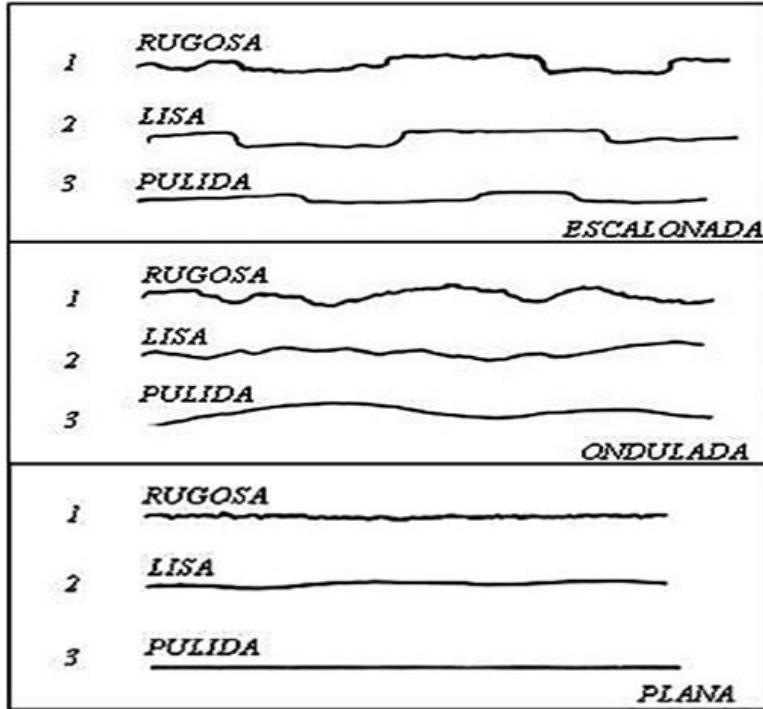
En la gráfica se puede corroborar el valor y el resultado arroja un R.Q.D = 69%.

**Condición de las diaclasas:**

En el área se encuentra diaclasas de las siguientes características:

<sup>13</sup> SERRANO HERMANOS LTDA, Actualización del Plan de Sostenimiento Mina El Toro, 2017.

**Figura 20:** Escala descriptiva de observación para determinar la rugosidad



**Fuente:** Rock Slope Engineering, E. Hoek & J.W. Bray.

Diaclasas con superficies plana rugosas, poco continuas (poco persistentes), bastantes próximas con relleno de dureza media alta, con apertura ligeramente abierta, con nula filtración.

Analizando los efectos del rumbo y buzamiento de las diaclasas encontramos que se encuentran juntas con rumbo perpendicular al eje del túnel y buzamiento tendiente a la vertical. De acuerdo a esto, Bieniawski clasifica la roca como buena a aceptable para el laboreo por túneles.

**Tabla 4:** Valoración del macizo rocoso (R.M.R)

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R)									
PARAMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES					VALOR			
RESIST.COMP.UNIAXIAL (MPa)	X	> 250 (15)	100 - 250 (12)	50 - 100 (7)	25 - 50 (4)	<25(2) <5 (1) <1(0)	1	15	
RQD %			X				2	13	
ESPACIAMIENTO ENTRE DIACLASAS (m)		> 2 (20)	0,6 2 (15)	0.2 - 0.6 (10)	X	0.06 - 0.2 (8)	< 0.06 (5)	3	8
CONDICIONES DE JUNTAS	persistencia	< 1m long (6)	1-3 m Long (4)	3-10 m (2)	X	10-20 m (1)	>20 m (0)	4A	1
	Apertura	Cerrada (6) X	<0.1 mm apert (5)	0.1 -1.0 mm (4)		1-5 mm (1)	>5 mm (0)	4B	5
	Rugosidad	Muy rugosa (6)	Rugosa (5) X	Lig. Rugosa (3)		Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3
	Relleno	Limpia (6)	Duro < 5 mm (4)	Duro > 5mm (2) X		Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	4D	1
Alteración	Sana (6) X	Lig. Alterada (5)	Med. Alterada (3)		Muy alterada (2)	Descompuesta (0)	4E	5	
AGUA SUBTERRANEA		Seco (15)	Hemedo (10)	Mojado (3)		Goteo (4)	Fijo (0)	5	15
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =							66		
CLASE DE MACIZO ROCOSO									
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0				
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA				

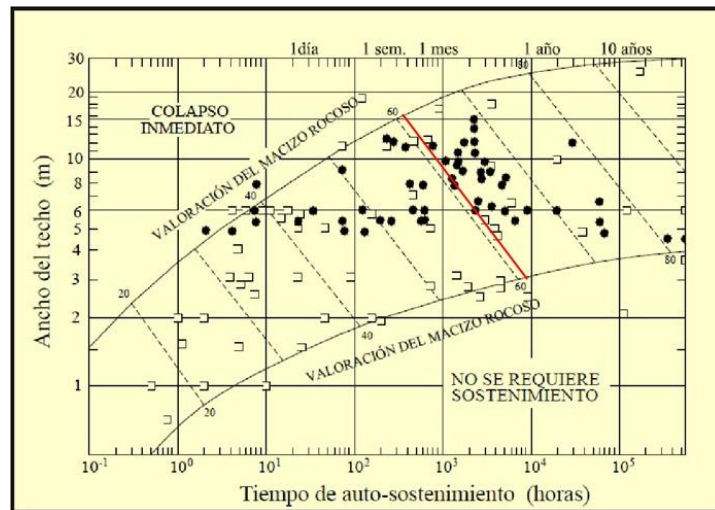
**Fuente:** Rock Slope Engineering, E. Hoek & J.W. Bray.

Este valor de RMR debe ser corregido tomando en cuenta como se presentan las discontinuidades con el avance de la excavación.

Teniendo en cuenta este efecto de orientación, se debe hacer un ajuste por orientación de -5, al R.M.R.

De esta manera tenemos un R.M.R reajustado en 61, corresponde a una masa rocosa de Clase II de calidad buena.

**Figura 21:** Relación entre el R.M.R de la roca y el espaciamiento posible para excavaciones subterráneas



**Fuente:** Rock Slope Engineering, E. Hoek & J.W. Bray.

Según la gráfica, el máximo espaciamiento posible para los túneles para la mina el Toro es de 15 m. Además de esto se atribuye una resistencia a la cohesión de 180 Kpa y un Ángulo de fricción de 35°

Con el fin de trabajar con un espaciamiento de techo seguro y no llevarlo al límite se trabajará con espaciamiento (B) de techo de 7 m.

Entonces los parámetros que tenemos para el diseño de los pilares son los siguientes:

**Tabla 5.** Parámetros para el diseño de los pilares

PARÁMETROS	SÍMBOLO	SISTEMA INGLES	SISTEMA CEGESIMAL
Resistencia de Compresiva uniáxial	$\sigma_c$	8614.783 psi	605.683 kg/cm <sup>2</sup>
Espaciamiento de techo	B	22.965 pies	7.0 m
Altura del pilar	h	22.3097 pies	6.8 m
Profundidad bajo superficie	H	492.126 pies	150 m
Ancho actual de los pilares	w	45.931 pies	14 m

**Fuente:** Actualización del Plan de Sostenimiento Mina El Toro.

La resistencia del pilar está dada por:

$$\sigma_{sp} = \sigma_1 \left( 0.64 + 0.36 \left( \frac{w}{h} \right) \right)$$

Donde  $\sigma_1$  es la resistencia de un pilar cúbico al tamaño crítico y w es el ancho del pilar.

$\sigma_1 = K / \sqrt{36}$  siendo K una constante característica de la forma del pilar.

$K = \sigma_c \sqrt{D}$  Siendo D la arista del cubo del laboratorio.  $D=2$

Luego,

$$\sigma_1 = \sigma_c \sqrt{\left( \frac{D}{36} \right)} = 8614.783 \text{ psi} * \sqrt{\frac{2.09}{36}} = 2,076.0536 \text{ psi}$$

Entonces:

$$\sigma_p = 2076.0536 \text{ psi} (0.64 + 0.016 * 45.931 \text{ pies}) = 2854.358 \text{ psi.}$$

En la actualidad los pilares son de 14m x 18 m y 14m x 22m, para simplificar el ejercicio asumimos que los pilares son cuadrados de 14 m x 14 m, con esto subestimamos la resistencia del pilar.

Calculamos la carga del pilar o resistencia sobre el pilar ( $S_p$ ), es:

$$S_p = 1.1H \left( \frac{w+B}{W} \right)^2 = 541.3386 * 2.25 = 1218.0119 \text{ psi}$$

$$S_p = 1218.0119 \text{ psi}$$

Para probar el ancho del pilar seleccionado es aceptable desde el punto de vista de estabilidad minera o si debe ser cambiado se debe calcular el factor de seguridad (F).

$$F = \frac{\sigma_p}{S_p} = \frac{2854.358 \text{ psi}}{1218.0119 \text{ psi}} = 2.34$$

Para un ancho de cámara de 12 m (39,370 pies)

$$F = \frac{\sigma_p}{S_p} = \frac{2636.422 \text{ psi}}{1218.0119 \text{ psi}} = 2.16$$

En efecto, el diseño de los pilares con un factor de seguridad de 2.34 y un azimut de 350° arroja los siguientes parámetros:

- Cámara con acceso de 7 metros de ancho
- Pilares con 14 metros de ancho
- Factor de seguridad de 2.3

#### 4. SITUACIÓN ACTUAL DE LAS LABORES MINERAS.

##### 4.1. INFRAESTRUCTURA EN SUPERFICIE Y EQUIPOS.

Para el desarrollo de la actividad minera, la empresa Serrano Hermanos LTDA, cuenta con:

- Campamento acondicionado para 20 personas
- Botadero de estériles
- Vía de acceso de 17 km en buen estado.
- Vías internas de 2 km en buen estado aproximadamente.
- Patio de compresores
- Patio de Acopio y trituración

**Tabla 6:** Maquinaria, equipos y herramientas utilizadas en la mina El Toro.

<b>HERRAMIENTAS – TORO</b>	
<b>ELEMENTO</b>	<b>CANTIDAD</b>
MARTILLO DE PERFORACION Y19	7
BARRENOS DE PERFORACION DE 80,1.60,2.40	7 Juegos
MANGUERA DE PRESION DE 3/4	1000 metros
TACADORES EN MADERA DE 1" POR 3 M DE LARGO	6 Unidades
ESCALERAS	6
PICA	6
PALA	12
PORRA	12
LAMPARAS MINERAS Y CARGADORES	12
COMPRESOR KAISER 375	1
COMPRESOR ATLASCOPCO 375	1
CARGADOR LIUGONG 835 - 1	1
CARGADOR CAT 930	1

**Fuente:** Serrano Hermanos LTDA.



**Figura 22:** Maquinaria, Equipos y Herramientas de la operación Mina El Toro. **(a)** Compresor Kaeser 375, **(b)** Compresor Atlas Copco 375, **(c)** Cargadores CAT 930, **(d)** Martillo de Perforación Y19, **(e)** Campamento mina, **(f)** Polvorín.



**(a)**



**(b)**



**(c)**



**(d)**



**(e)**



**(f)**

**Fuente:** Autor del Proyecto.

## **4.2. ASPECTOS TÉCNICOS.**

### **4.2.1. Operaciones unitarias.**

**4.2.1.1. Desarrollo.** Como labor de desarrollo o acceso a la mina, cuenta con un túnel principal que posee unas dimensiones de 7m de alto x 5 m de ancho totalmente horizontal, la cual tiene como función dar el acceso al personal y los equipos de cargue y transporte. Aproximadamente tiene una longitud de 1km hasta los frentes de avance.

**4.2.1.2. Preparación.** Como labores de Preparación, se realizan transversales y diagonales, las cuales permiten el avance de los frentes y el circuito de ventilación de las labores en ejecución.

**4.2.1.3. Explotación.** El método de explotación implementado en la Mina El Toro, es por “CÁMARAS Y PILARES”; para su aplicación es necesario dividir estas labores en Bloques de preparación y explotación, la cual se logra a través de la proyección de Túneles y Cruces para el caso específico, los cuales serán ortogonales, el ancho de las cámaras permitirá dejar pilares que se aprovecharán inicialmente en el sostenimiento del techo; estos pilares serán recuperados una vez las labores hayan llegado a los límites del área. Las labores de explotación La recuperación del mineral en las áreas de explotación se efectuará en avance, el arranque de mineral en el frente de las labores será de forma descendente, a través de banqueos, el cual permitirá una explotación selectiva.

El sostenimiento a empleado en la mina es de tipo natural. Las características geo mecánicas y geométricas del yacimiento, permiten utilizar los pilares dejados en la explotación de las cámaras como elementos de soporte del techo, para mantener las condiciones de estabilidad y seguridad en el laboreo minero, las dimensiones tanto de las cámaras como de los pilares fueron previamente determinadas, para evitar la correcta distribución de los esfuerzos en pilar y por ende evitar su colapso.

- **Arranque.**

Para llevar a cabo el arranque del material se utiliza perforación y voladura, la perforación se realiza por medio manual con martillo neumático Y19, accionado por un compresor KAESER 375 cfm, se utiliza sustancia explosiva ANFO para el arranque del material de las cámaras de explotación.

La Mina El Toro cuenta con el permiso del Departamento Control Comercio de Armas Municiones y Explosivos (DCCA) para la compra y uso de los explosivos mencionados y cumple con las normas para tal dispuestas por la industria militar.

- **Cargue.**

El cargue del yeso explotado en la mina el Toro se realiza directamente de los frentes de explotación posterior a las tronaduras, se lleva a cabo por medio de cargadores frontales LIUGONG 835 y CATERPILLAR 920 los cuales depositan el material a las volquetas sencillas y doble troques para su posterior transporte hasta el centro de acopio y trituración.

- **Transporte.**

El transporte tanto de mineral como de estéril se efectúa a través de volquetas sencillas y doble troques, estos vehículos ingresaran hasta los frentes de la mina, por las rutas internas preestablecidas, el material estéril, será transportado hasta el sitio de escombrera ubicado en superficie y el mineral hasta el patio de acopio ubicado en la vereda Las Delicias del municipio de Los Santos. Las pendientes de estas vías oscilan desde 0% hasta 15%. El mantenimiento de la vía la realizan los cotitulares, en ocasiones con la colaboración del municipio.

**4.2.1.4. Beneficio. Acopio y trituración.** El material extraído de la mina El Toro es transportado al Patio de Acopio de acopio de la empresa, localizado en la vereda Las Delicias a 2 km del municipio de los Santos, en donde se realiza la siguiente etapa, el Beneficio del mineral por medio de una Trituradora Primaria de mandíbulas y un Impactó de martillos (secundaria), las cuales fragmentan el material hasta un tamaño inferior a 2”, tamaño exigido por la empresa CEMEX Colombia, posteriormente el material procesado se despacha al segundo Patio de Acopio, ubicado en el Sector “Los Cueros” del municipio de Piedecuesta, en donde se realiza el cargue de las tracto mulas hacia las planta de fabricación de Cemento

**Figura 23:** Proceso de Beneficio de yeso empresa Serrano Hermanos LTDA.



**Fuente:** Serrano Hermanos LTDA.

### **4.3. DATOS DE EXPLOTACIÓN. (Periodo Agosto - Noviembre).**

El yeso en su estado natural se encuentra como un sulfato de calcio dihidratado, es decir, tiene dos moléculas de agua de hidratación. En el proceso de calcinación pierde parte de esa agua, dependiendo de la temperatura a que se someta. Idealmente se debe alcanzar la forma de hemidrato, en la cual el yeso ha perdido molécula y media de agua.

Las impurezas de los yesos de mina, son generalmente arcillas, lutitas, dolomitas y calcitas. Se obtiene también químicamente como un sulfato de calcio de alta pureza.

Las impurezas presentes en el yeso, deterioran la calidad de este y aumentan los costos de transporte, elevando el valor del flete hasta la empresa cementera, además altera el proceso en la fabricación del cemento, debido que los porcentajes de SO<sub>3</sub> no son constantes sino fluctuantes, dificultando el cálculo fijo de yeso por tonelada de cemento producido.

- **Manto la churca.**

Es el primero en la columna estratigráfica de la mina (techo de explotación), se caracteriza ya que posee un estrato de 0,39 m de lutita calcárea negra, siguiendo con un filón de yeso gris claro (churca) de 1,63 m con una capa intermedia de lutita calcárea negra de 25 cm de espesor.

- **Manto la geo.**

Se constituye de un estrato de lutita calcárea negra de 0,23 m de espesor, seguido de un filón de yeso (lageo), yeso oscuro con venas cruzadas rellenas de yeso fibroso de 1,3 m de espesor. Se identifica como el manto con mayor contenido de sulfato de calcio dentro de los mantos explotables en la mina.

- **Manto enchaquetada o chaqueta**

Este manto posee también un estrato de lutita calcárea negra en el techo, de 0,25 m de espesor, seguido de un filón de yeso (la chaqueta), yeso gris con venas rellenas de yeso fibroso con una capa intercalada de 10 cm de migrita negra. Dentro del grupo de mantos explotables, es el de menor contenido de Sulfato de Calcio.

- **Manto la dura.**

Este último manto de explotación, conocido como el piso de explotación, se identifica por un estrato de migrita negra con un espesor de 0,70 m; seguido del filón de yeso (la dura o piso) yeso gris claro, con un espesor de 1,20 m.

A continuación, se presentan los datos de producción obtenidos en la Mina el Toro, en el periodo comprendido entre los meses de Agosto – Noviembre, clasificados en tres (3) grupos de trabajo y discriminados de acuerdo a los mantos explotados. Los valores de producción se encuentran medidos en Toneladas.

**Tabla 7:** Datos de explotación mes de Agosto.

	<b>CHAQUETA</b>	<b>CHURCA</b>	<b>LAGEO</b>	<b>PISO</b>	<b>Total general</b>
<b>Agosto</b>	<b>1295</b>	<b>3183</b>	<b>1946</b>	<b>2627</b>	<b>9051</b>
CELSO	683	2102	1103	1366	5254
HERMES	426	780	757	402	2365
SAMUEL	186	301	86	859	1432
<b>Total general</b>	<b>1295</b>	<b>3183</b>	<b>1946</b>	<b>2627</b>	<b>9051</b>
		<b>YESO</b>	<b>CASCAJO</b>		<b>Total general</b>
CELSO		5254	316		<b>5570</b>
HERMES		2365	620		<b>2985</b>
SAMUEL		1432	404		<b>1836</b>
<b>Total general</b>		<b>9051</b>	<b>1340</b>		<b>10391</b>

**Fuente:** Base de datos (Nomina Agosto- Noviembre)

**Figura 24:** Porcentaje de producción Mina El Toro en el mes de Agosto 2017.



**Fuente:** Base de datos (Nomina Agosto- Noviembre)



**Tabla 8:** Datos de explotación mes de Septiembre.

	<b>CHAQUETA</b>	<b>CHURCA</b>	<b>LAGEO</b>	<b>PISO</b>	<b>Total general</b>
<b>Septiembre</b>	<b>1142</b>	<b>2728</b>	<b>1633</b>	<b>2519</b>	<b>8022</b>
CELSO	551	1694	889	1101	4235
HERMES	358	656	636	338	1987
SAMUEL	234	378	108	1080	1800
<b>Total general</b>	<b>1142</b>	<b>2728</b>	<b>1633</b>	<b>2519</b>	<b>8022</b>
		<b>YESO</b>	<b>CASCAJO</b>		<b>Total general</b>
CELSO		4235	561		<b>4796</b>
HERMES		1987	652		<b>2639</b>
SAMUEL		1800	600		<b>2400</b>
<b>Total general</b>		<b>8022</b>	<b>1813</b>		<b>9835</b>

**Fuente:** Base de datos (Nomina Agosto- Noviembre)

**Figura 25:** Porcentaje de producción Mina El Toro en el mes de Septiembre 2017.



**Fuente:** Base de datos (Nomina Agosto- Noviembre)

**Tabla 9:** Datos de explotación mes de Octubre.

	<b>CHAQUETA</b>	<b>CHURCA</b>	<b>LAGEO</b>	<b>PISO</b>	<b>Total general</b>
<b>Octubre</b>	<b>1337</b>	<b>2289</b>	<b>1639</b>	<b>2721</b>	<b>7986</b>
CELSO	688	1193	825	1881	4587
HERMES	206	400	245	439	1290
SAMUEL	443	696	569	401	2109
<b>Total general</b>	<b>1337</b>	<b>2289</b>	<b>1639</b>	<b>2721</b>	<b>7986</b>
		<b>YESO</b>	<b>CASCAJO</b>		<b>Total general</b>
CELSO		4587	470		<b>5057</b>
HERMES		1290	535		<b>1825</b>
SAMUEL		2109	696		<b>2805</b>
<b>Total general</b>		<b>7986</b>	<b>1701</b>		<b>9687</b>

**Fuente:** Base de datos (Nomina Agosto- Noviembre)

**Figura 26:** Porcentaje de producción Mina El Toro en el mes de Octubre 2017.



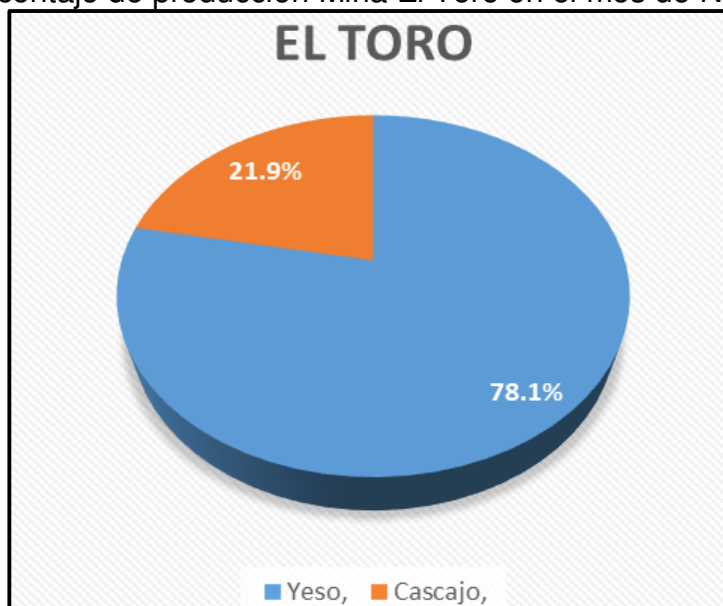
**Fuente:** Base de datos (Nomina Agosto- Noviembre)

**Tabla 10:** Datos de explotación mes de Noviembre.

	<b>CHAQUETA</b>	<b>CHURCA</b>	<b>LAGEO</b>	<b>PISO</b>	<b>Total general</b>
<b>Noviembre</b>	<b>1012</b>	<b>2359</b>	<b>1348</b>	<b>2486</b>	<b>7204</b>
CELSO	456	1402	736	911	3504
HERMES	270	495	480	255	1500
SAMUEL	286	462	132	1320	2200
<b>Total general</b>	<b>1012</b>	<b>2359</b>	<b>1348</b>	<b>2486</b>	<b>7204</b>
		<b>YESO</b>	<b>CASCAJO</b>		<b>Total general</b>
CELSO		3504	472		<b>3976</b>
HERMES		1500	620		<b>2120</b>
SAMUEL		2200	924		<b>3124</b>
<b>Total general</b>		<b>7204</b>	<b>2016</b>		<b>9220</b>

**Fuente:** Base de datos (Nomina Agosto- Noviembre)

**Figura 27:** Porcentaje de producción Mina El Toro en el mes de Noviembre 2017.



**Fuente:** Base de datos (Nomina Agosto- Noviembre)

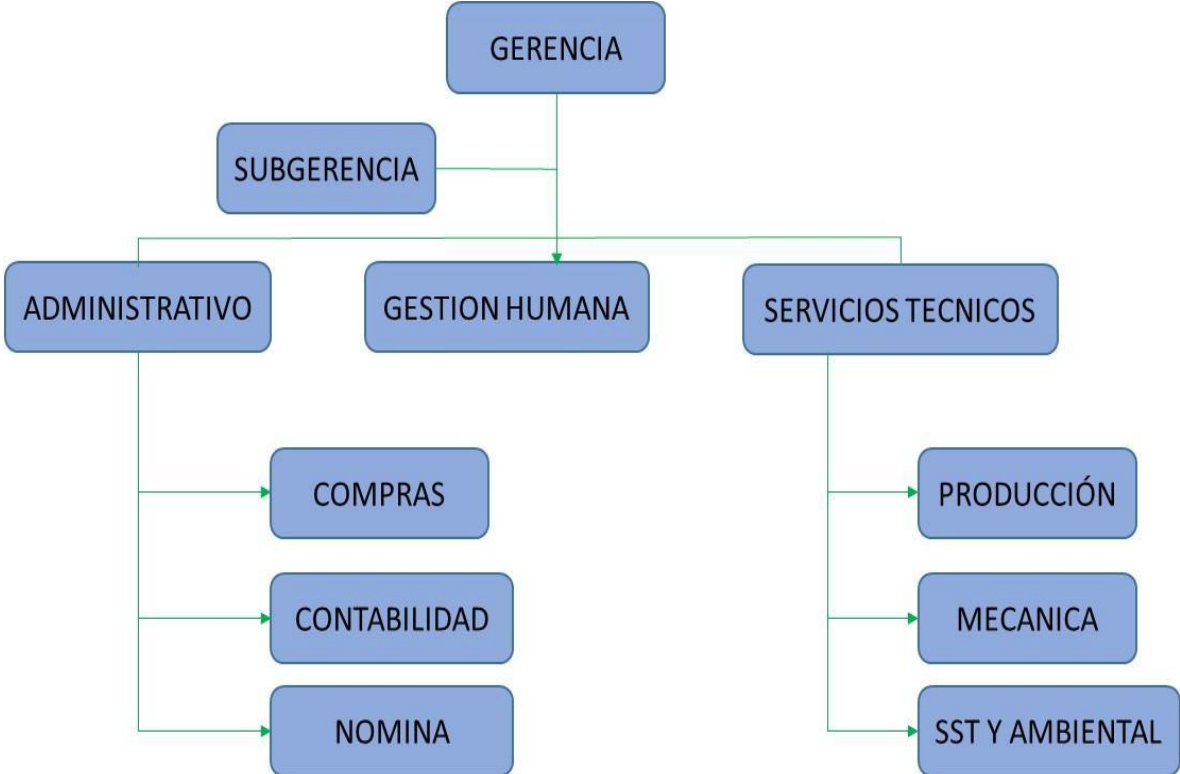


#### **4.4. RECURSO HUMANO Y ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA.**

La empresa cuenta con un mediano número de trabajadores entre los cuales tenemos:

- OFICINA PRINCIPAL
  - 1 gerente
  - 2 subgerentes
  - 3 contadoras
  - 2 secretarias
  
- CAMPAMENTO – MINA
  - 1 ingeniero de minas (Jefe de mina y Seguridad Industrial)
  - 1 ingeniero de minas practicante
  - 1 SISO
  - 1 administrador de la mina.
  - 12 mineros
  - 1 jefe de mantenimiento
  - 2 operadores de maquinaria
  
- PATIO DE ACOPIO
  - 4 conductores de volquetas
  - 2 soldadores
  - 4 personas de oficios varios y calidad
  - 4 operadores de maquinaria
  
- PATIO DESPACHOS
  - 2 Despachadoras
  - 4 carperos
  - 2 operadores

**Figura 28:** Organigrama de la empresa Serrano Hermanos LTDA.



**Fuente:** Autor del proyecto.

## 5. PERFORACIÓN Y VOLADURA.

### 5.1. CONDICIONES ACTUALES<sup>14</sup>.

En la mina El Toro, actualmente se realizan en promedio 5 voladuras diarias en horarios establecidos, para obtener una producción de aproximadamente 500 Ton/día. La perforación de los barrenos se lleva a cabo de forma manual utilizando martillos neumáticos, posteriormente a la preparación del frente se lleva a cabo la tronadura para lo cual se utiliza agente explosivo ANFO. El proceso de perforación y voladura de la mina se puede distinguir en dos métodos, voladura en Bóveda y voladura en Banca, los cuales se describen ampliamente a continuación.

- **Voladura en Bóveda.** Se realiza en los primeros 2,50 metros a partir del techo, donde se hace una perforación y voladura horizontal y tiene como características principales el diseño de voladura subterránea (sin cara libre). Para esta perforación, se realizan barrenos de 3,8 cm de diámetro y longitudes de 1,6 m y 2,4 m; Para un barreno de 1,6 metros tenemos una longitud de carga de 1m y una longitud de recado de 0,6 m; mientras que los barrenos de 2,4 tendrán una longitud de carga de 1,6 m y una longitud el retacado de 0.8 m.
- **Voladura en Banca.** Una vez realizada el Área 1, la misma da campo a un banco de explotación (área 2) de 4.65 metros de altura, en donde se aplica un método de Perforación y voladura en banca, tipo a cielo abierto. La perforación en banca se realiza con barrenos de 0,8 m y 1,6 m con diámetro de 3.8 cm, la longitud de cargue para los barrenos de 1,6m es de 1,2m y el retacado es de 0,4 m; para los barrenos de 80 cm la longitud de carga es de 0,6 m y el retacado de 0,2 m.

---

<sup>14</sup> SERRANO HERMANOS LTDA, Programa de perforación y voladura mina El Toro, 2017.

**Figura 29:** Frentes de explotación en vista Frontal y Perfil Mina El Toro.



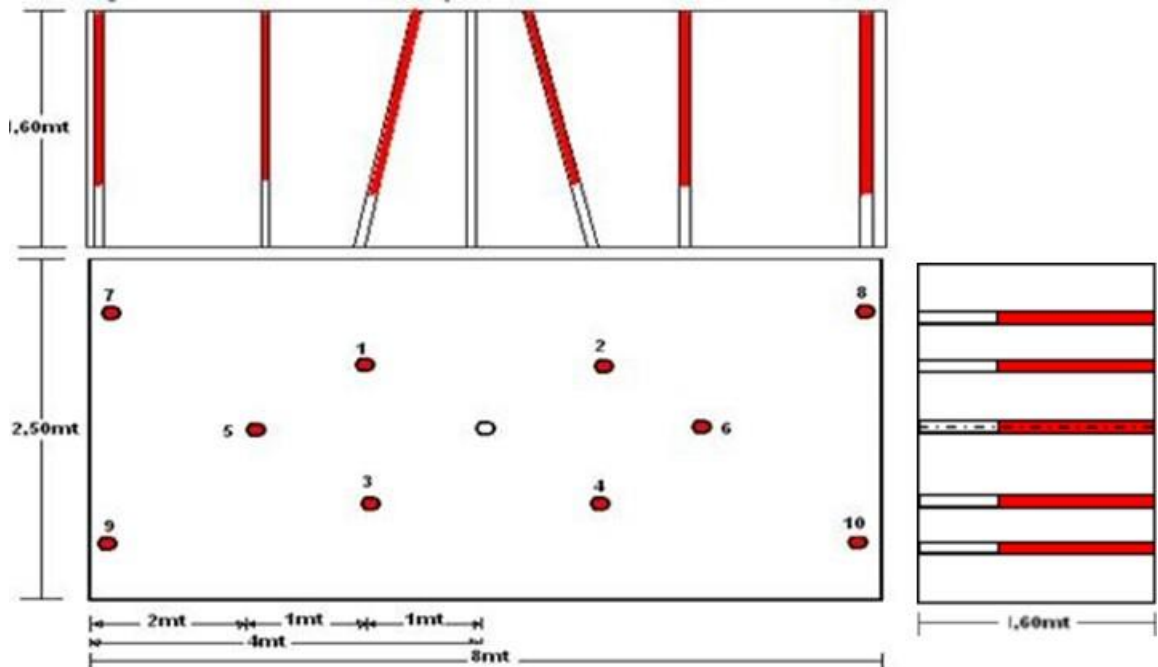
**Fuente:** Programa de Perforación y voladura Mina El Toro.

### 5.1.1. Malla de perforación implementada en la operación.

#### 5.1.1.1. Malla de perforación en bóveda.

En bóveda se realizan 4 barrenos de 2,40 metros de longitud y 6 barrenos de 1,60 metros de longitud distribuidos como muestra la siguiente a continuación:

**Figura 30:** Esquema de perforación en bóveda Mina El Toro.

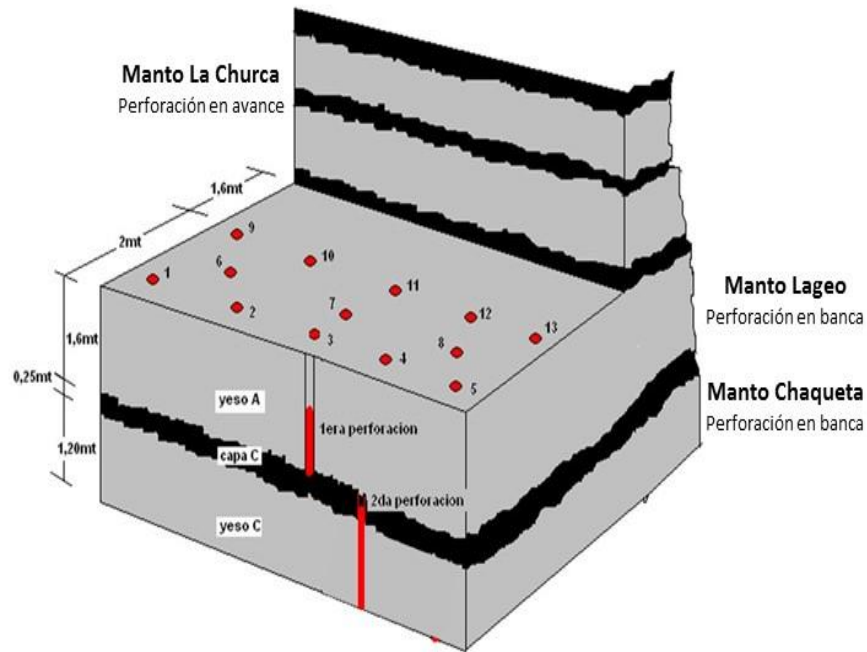


**Fuente:** Programa de perforación y voladura Mina El Toro.

Los barrenos 1, 2, 3 y 4 tienen una longitud de perforación de 2,40 metros, con un Angulo de desviación de 30° que forman una cuña y los barrenos 5, 6, 7, 8, 9 y 10 su longitud es de 1,60 metros y se perforan horizontal como lo muestra la Figura.

**5.1.1.2. Malla de perforación en banca.** En banca se realizan 3 perforaciones y voladuras en tiempos diferentes, debido a que existen dos mantos o capas de yeso separados por una intercalación de lutita calcárea negra, la distribución de la malla de perforación en los tres tiempos no cambia, solo se modifican las profundidades de perforación, como lo muestra la figura.

**Figura 31:** Esquema de Perforación en Banca Mina El Toro.



**Fuente:** Autor del Proyecto

En la primera perforación y voladura se realizan 13 barrenos de 1,60mt de profundidad para extraer el manto de yeso “Lageo”, de diámetro 38 mm. (Ver Figura).

Una segunda perforación en donde se detona los mismos 13 barrenos con una profundidad de 1,60mt para extraer el manto de yeso “Chaqueta” (Ver Figura).

La tercera perforación en banco se realiza para extraer el piso (Manto La Dura), en donde se detona los mismos 13 barrenos con una profundidad de 1,60mt. (No se muestra en la figura por ser una recuperación de piso que se realiza en periodos posteriores al ciclo normal de minado)

En el programa de perforación y voladura, se tienen estipuladas las horas de voladura, de la siguiente manera:

- ✓ **8:00 am**
- ✓ **10:00 am**
- ✓ **12:00 pm**
- ✓ **2:00 pm**
- ✓ **4:00 pm**

**5.1.2. Accesorios y equipos de perforación utilizados.** La longitud de perforación es esta constituida generalmente por los siguientes elementos: adaptadores de culata, manguitos, varillas de extensión, y bocas.<sup>15</sup>

Las roscas tienen por objetivo unir las culatas, los manguitos, las varillas y las bocas durante la perforación. Ver anexo(A)

Para nuestro caso, se utilizan los siguientes accesorios:

- Varillas integrales
- Aspas, resortes, coronas y abrazaderas para mangueras de los martillos neumáticos.
- Bocas de botones
- Compresor ATLAS COPCO 375
- Compresor KAISER 375

---

<sup>15</sup>CAPITULO 2: Accesorios de Perforación Rotopercutiva, Manual de Voladura- Manual López de Jimeno.

**5.1.3. Consumo de explosivos y accesorios de voladura en la operación.** Actualmente en la operación de la Mina El Toro se tienen 3 grupos de trabajo activos, de los cuales cada uno de ellos tiene a su cargo 7-9 frentes de explotación. Se muestran a continuación el reporte de consumos de agente explosivo y accesorios de voladura en el periodo de Agosto - Noviembre:

**Factor de Potencia Real ANFO=** Consumo ANFO Kilogramos/Producción Toneladas Yeso.

**Factor de Potencia Real MECHA=** Consumo Mecha metros/Producción Toneladas Yeso.

**Factor de Potencia Real DETONADOR No. 8=** Consumo Detonadores No. 8/Producción Toneladas Yeso.

**Tabla 11.** Consumo de explosivos y accesorios de voladura en la operación Mina El Toro (Agosto-Noviembre).

GRUPO MES	PRODUCCION TONELADAS YESO	ANALISIS METROS DE PERFORACION			ANALISIS DE ANFO		
		METROS DE PERFORACION	METROS POR TONELADAS	VALOR TEORICO	CONSUMO ANFO KILOGRAMOS	FACTOR DE POTENCIA	FACTOR TEORICO
<b>GRUPO 1</b>	<b>17580</b>	<b>5175.20</b>	<b>0.294</b>	<b>0.410</b>	<b>2740</b>	<b>0.156</b>	<b>0.880</b>
Agosto	5254	1530.40	0.291	<b>0.410</b>	854	0.163	<b>0.880</b>
Septiembre	4235	1247.20	0.294	<b>0.410</b>	663	0.157	<b>0.880</b>
Octubre	4587	1386.40	0.302	<b>0.410</b>	683	0.149	<b>0.880</b>
Noviembre	3504	1011.20	0.289	<b>0.410</b>	540	0.154	<b>0.880</b>
<b>GRUPO 2</b>	<b>7142</b>	<b>2077.60</b>	<b>0.291</b>	<b>0.410</b>	<b>1091</b>	<b>0.153</b>	<b>0.880</b>
Agosto	2365	626.40	0.265	<b>0.410</b>	378	0.160	<b>0.880</b>
Septiembre	1987	533.60	0.269	<b>0.410</b>	303	0.152	<b>0.880</b>
Octubre	1290	413.60	0.321	<b>0.410</b>	188	0.146	<b>0.880</b>
Noviembre	1500	504.00	0.336	<b>0.410</b>	222	0.148	<b>0.880</b>
<b>GRUPO 3</b>	<b>7541</b>	<b>2315.20</b>	<b>0.307</b>	<b>0.410</b>	<b>1150</b>	<b>0.152</b>	<b>0.880</b>
Agosto	1432	360.00	0.251	<b>0.410</b>	225	0.157	<b>0.880</b>
Septiembre	1800	573.60	0.319	<b>0.410</b>	271	0.151	<b>0.880</b>
Octubre	2109	684.80	0.325	<b>0.410</b>	323	0.153	<b>0.880</b>
Noviembre	2200	696.80	0.317	<b>0.410</b>	331	0.150	<b>0.880</b>
<b>Total gral.</b>	<b>32263</b>	<b>9568</b>	<b>0.297</b>	<b>0.410</b>	<b>4981</b>	<b>0.154</b>	<b>0.880</b>

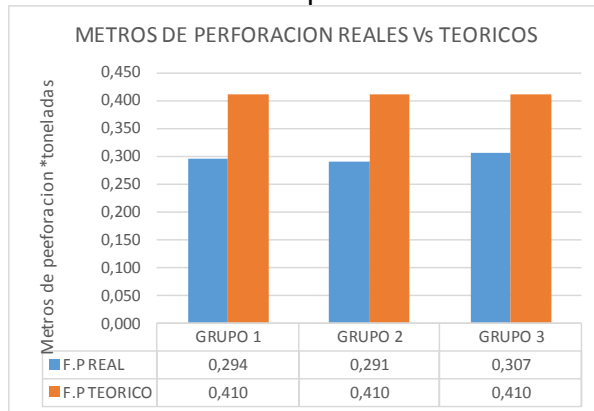


**Tabla 11.** Continuación Tabla de Consumo de explosivos y accesorios de voladura en la operación Mina El Toro (Agosto-Noviembre).

GRUPO MES	PRODUCCION TONELADAS YESO	ANALISIS DE MECHA			ANALISIS DE DETONADOR COMUN No 8		
		CONSUMO MECHA METROS	FACTOR DE POTENCIA	FACTOR TEORICO	CONSUMO DETONADORES No. 8	FACTOR DE POTENCIA	FACTOR TEORICO
<b>GRUPO 1</b>	<b>17580</b>	<b>5294</b>	<b>0.301</b>	<b>1.570</b>	<b>2960</b>	<b>0.168</b>	<b>1.400</b>
Agosto	5254	1548	0.295	<b>1.570</b>	989	0.188	<b>1.400</b>
Septiembre	4235	1361	0.321	<b>1.570</b>	680	0.161	<b>1.400</b>
Octubre	4587	1630	0.355	<b>1.570</b>	730	0.159	<b>1.400</b>
Noviembre	3504	755	0.215	<b>1.570</b>	561	0.160	<b>1.400</b>
<b>GRUPO 2</b>	<b>7142</b>	<b>2318</b>	<b>0.325</b>	<b>1.570</b>	<b>1200</b>	<b>0.168</b>	<b>1.400</b>
Agosto	2365	717	0.303	<b>1.570</b>	412	0.174	<b>1.400</b>
Septiembre	1987	553	0.278	<b>1.570</b>	301	0.151	<b>1.400</b>
Octubre	1290	435	0.337	<b>1.570</b>	214	0.166	<b>1.400</b>
Noviembre	1500	613	0.409	<b>1.570</b>	273	0.182	<b>1.400</b>
<b>GRUPO 3</b>	<b>7541</b>	<b>2574</b>	<b>0.341</b>	<b>1.570</b>	<b>1273</b>	<b>0.169</b>	<b>1.400</b>
Agosto	1432	401	0.280	<b>1.570</b>	211	0.147	<b>1.400</b>
Septiembre	1800	600	0.333	<b>1.570</b>	314	0.174	<b>1.400</b>
Octubre	2109	720	0.341	<b>1.570</b>	366	0.174	<b>1.400</b>
Noviembre	2200	853	0.388	<b>1.570</b>	382	0.174	<b>1.400</b>
<b>Total general</b>	<b>32263</b>	<b>10186</b>	<b>0.316</b>	<b>1.570</b>	<b>5433</b>	<b>0.168</b>	<b>1.400</b>

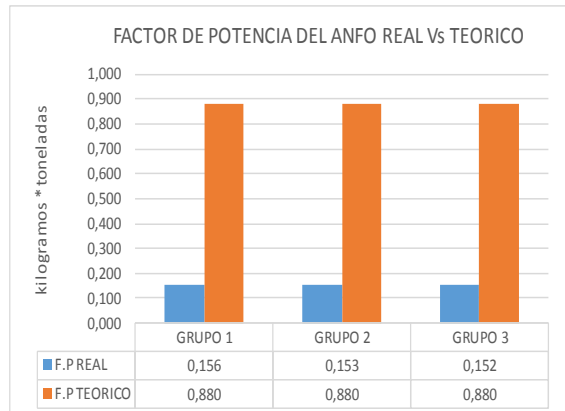
**Fuente:** Autor de Proyecto

**Figura 32:** Relacion Metros de perforación real vs Metros de perforación teórico.



**Fuente:** Autor de Proyecto

**Figura 33:** Relacion consumo de Anfo real vs Consumo de Anfo teórico.



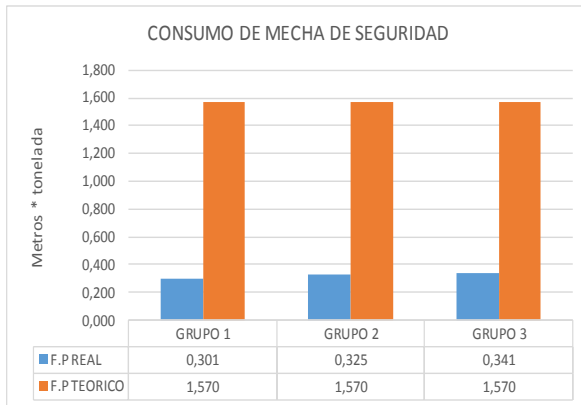
- **METROS DE PERFORACION REAL VS TEORICO:**

Es este grafico se representa los metros de perforación reales VS los metros de perforación teóricos, se puede ver que en los grupos 1 y 2, los metros reales medidos durante los meses de Agosto- Noviembre, fueron menores a los metros de perforación teóricos, por lo cual concluimos que no están realizando los metros de perforación calculados y requeridos para la producción estipulada.

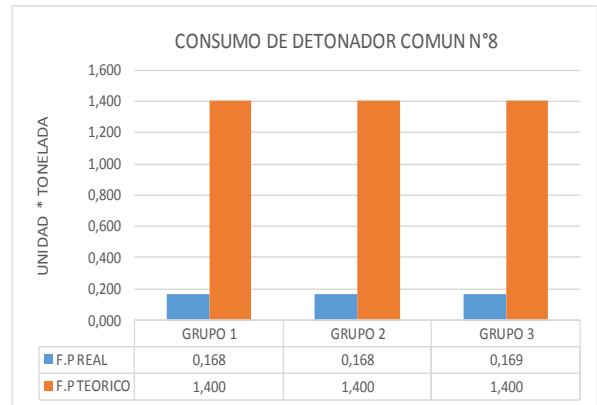
- **CONSUMO DE ANFO:**

Respecto a este gráfico, se encuentra la comparación entre un Factor de Potencia real VS un Factor de potencia teórico establecido por la empresa Serrano Hermanos LTDA para el consumo de explosivo ANFO (que se encuentra calculado y referenciado en la tabla 11), por lo cual observamos que el consumo real está muy por debajo del consumo teórico calculado,

**Figura 34:** Relacion consumo de mecha real vs Consumo de mecha teorica.



**Figura 35:** Relacion consumo detonador No.8 real vs Consumo de Detonador No. 8 teorico.



**Fuente:** Autor de Proyecto

- **CONSUMO DE MECHA DE SEGURIDAD**

Respecto a este gráfico, donde se analiza el factor de potencia real VS el factor de la mecha de seguridad utilizada como conductor de la iniciación del detonador, se encuentra que el consumo real de este accesorio está por debajo por ende se realiza un análisis que determine cuáles son las causas y los efectos en la operación de Voladura.

- **CONSUMO DETONADOR COMUN N°8:**

Se puede observar que el factor de potencia real del detonador común es muy bajo respecto al teórico, se tiene que revisar por qué están bajo respecto a las condiciones que lo afectan.

**5.1.3.1. Características de los explosivos utilizados.** A continuación, se describen los explosivos y accesorios utilizados para la operación de Perforación y voladura en la mina el toro:

**AGENTE EXPLOSIVO: ANFO A GRANEL:** Es un explosivo tipo agente de voladura conformado por una mezcla de nitrato de amonio, biodiesel o mezclas de hidrocarburos, sensible a la iniciación por un multiplicador, con poca resistencia a la humedad e inadecuado para operaciones subterráneas. Es muy seguro durante su manipulación y uso. Permite ser cargado en forma manual o neumática en los barrenos. Es empleado en voladuras a campo abierto, se emplea como explosivo de carga de columna

**Tabla 12:** Características técnicas del ANFO

DENSIDAD	RESISTENCIA A LA HUMEDAD	VELOCIDAD DE DETONACION
0,85 +- 0,05 g/cm <sup>3</sup>	Ninguna	3.000 +- 300 m/s

**Fuente:** Catálogo de Productos INDUMIL

**ACCESORIOS DE VOLADURA:** Son elementos pirotécnicos usados para cebar cargas explosivas o transmitir una llama que genere la detonación de un explosivo, llevar una onda detonadora de un punto a otro o de una carga explosiva a otra. A continuación, se describe los accesorios de voladura usados en la mina El Toro:

- **Mecha de Seguridad**

Es un accesorio de voladura conformado por un núcleo de pólvora negra recubierto de papel, varias capas de hilo de algodón, asfalto y una capa de PVC para garantizar impermeabilidad, flexibilidad y resistencia a la abrasión. Este accesorio transmite una llama o fuego, a una velocidad conocida y constante para iniciar un detonador común, que explota y se encarga de sensibilizar los explosivos que estén en contacto con él. Se emplea como medio de iniciación del detonador número 8 fijado en uno de sus extremos.

La mecha de seguridad tiene un tiempo de combustión por unidad lineal requerido para protección de la persona que realiza la iniciación de la voladura. Sensible bajo ciertas condiciones al golpe, fricción, chispa o fuego.

Muy buena resistencia al agua siempre y cuando no se haya maltratado su capa impermeabilizante. Aceptable resistencia a la tracción, abrasión y esfuerzos mecánicos.

**Tabla 13:** Características técnicas de la mecha de seguridad

DENSIDAD DE CARGA (G/M)	VELOCIDAD DE COMBUSTIÓN (S/M)	ALCANCE DE LLAMA ( MM )	RESISTENCIA A LA HUMEDAD
5.0	130	40	Excelente

**Fuente:** Catálogo de productos INDUMIL

- **Detonador común número 8:**

Es un accesorio de voladura constituido por una cápsula cilíndrica de aluminio cerrada en uno de sus extremos, en cuyo interior lleva un explosivo primario muy sensible a la chispa de la mecha de seguridad y otro secundario de alto poder explosivo. Dada la calidad de los insumos utilizados en la fabricación del producto, estos le proporcionan máxima seguridad y eficiencia en el uso.

**Tabla 14:** Características técnicas del detonador número 8.

Longitud del fulminante	Resistencia a la humedad	Resistencia al impacto
45	Detona	detona

**Fuente:** Catálogo FAMESA

**Figura 36:** Características técnicas del detonador número 8.

Características técnicas	FULMINANTE COMÚN N° 6	FULMINANTE COMÚN N° 8
	LONGITUD DEL FULMINANTE (mm)	45
DIÁMETRO DEL FULMINANTE (mm)	6,3	6,3
PRUEBA DE ESOP, DIÁMETRO DE PERFORACIÓN (mm)	9,0	10,0
VOLUMEN TRAUZL (cm <sup>3</sup> )	20	23
RESISTENCIA A LA HUMEDAD RELATIVA DEL 100% POR 24 HORAS	Detona	Detona
RESISTENCIA AL IMPACTO 2 kg/1m	No Detona	No Detona
SENSIBILIDAD A LA CHISPA DE LA MECHA DE SEGURIDAD	Buena	Buena

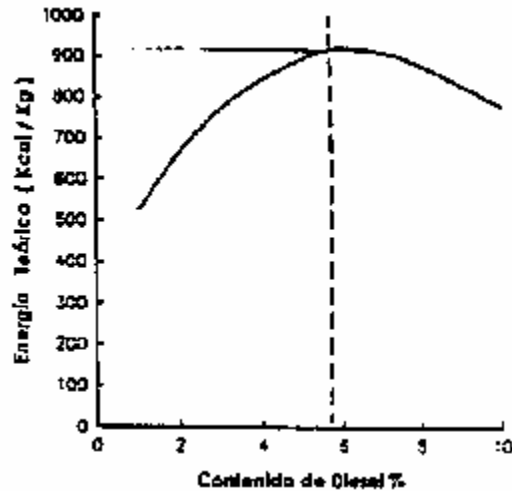
**Fuente:** Google, características técnicas de los explosivos

Cuando se elaboran mezclas de nitrato de amonio y diésel en el campo, pueden ocurrir variaciones en el contenido de aceite fácilmente. Las mezclas empacadas en bolsa que se reciben de los distribuidores tienen problemas similares. La cantidad de diésel agregada al nitrato de amonio es extremadamente crítica desde el punto de vista de la eficiencia de la detonación (Figura 37). Para obtener la liberación de energía óptima, es deseable una mezcla que contenga 94.5% de nitrato de amonio y 5.5% de diésel. Si por alguna razón, en vez del contenido requerido de 5.5% en las perlas, la mezcla contiene sólo del 2 al 4% de aceite, una cantidad significativa de energía se desperdicia y el explosivo no se desempeña apropiadamente. El tener un contenido muy pequeño de combustible provocará la formación de vapores de óxido de nitrógeno de color ocre aún en barrenos secos.

Por otro lado, al tener un exceso de combustible en la mezcla, la producción máxima de energía se ve también afectada. La pérdida de energía es menor al tener un porcentaje mayor de combustible que si se tiene un porcentaje menor al óptimo. La figura 37 indica el efecto que tienen los diferentes porcentajes de combustible en la energía teórica. La gráfica indica que la potencia del cebo es menor cuando la mezcla tiene menos combustible. El ANFO es más sensitivo cuando tiene menos combustible que cuando el porcentaje es el adecuado. Una

vez que la iniciación tiene lugar, una mezcla con menor contenido de combustible no producirá una cantidad de energía siquiera cercana al nivel óptimo.<sup>16</sup>

**Figura 37:** Efectos del Contenido de Aceite en el ANFO



**Fuente:** Manual de Voladura- Manual López de Jimeno.

**5.1.4. Rendimientos.** A continuación, se observan los cálculos de los rendimientos de la perforación de la voladura, según el Programa de Perforación y voladura de la empresa:

**5.1.4.1. Voladura en bóveda.** Con una altura de 2,50 metros, donde se realiza una perforación y voladura horizontal y tiene como característica principal el diseño de voladura subterránea (sin cara libre).

A continuación, se muestra una Tabla, con todos los resultados de los cálculos realizados a los rendimientos de la voladura En bóveda con sus respectivas descripciones de variables.

---

<sup>16</sup> Manual, Konya.

**Tabla 15:** Rendimientos de operación para voladura en bóveda.

VOLADURA EN BOVEDA	VARIABLE	Carga de barrenos de 2,40 m (Kg)	Carga de barrenos de 1,60 m (Kg)	CONSUMO TOTAL EN EL AVANCE (Kg)	PRODUCCION DE YESO POR VOLADURA (m3.)	TONELADAS POR QUEMA	Consumo de Anfo en Bóveda (Kg)	RENDIMIENTO DEL ANFO (kg/ton)	AVANCE EFECTIVO (m)
	FORMULA	$(Qd = \frac{2}{3} \pi r^2 L D A) (1)$	$(Qd = \frac{2}{3} \pi r^2 L D A) (1)$	$Qt = (q \cdot L1 \cdot n \cdot S1) + (q \cdot L2 \cdot n \cdot S2) (2)$	$(V = \text{Área a extraer} \times \text{profundidad o avance}) (3)$	$V \cdot \text{densidad del yeso}$	$(Qta = Paa \cdot (Qt/Pq)) (4)$	$(Re = Qta/Paa) (5)$	2,4 m x coseno 30°
	RESULTADO	1,3	0,87	25,55	40	96	3.591	0,3	2

**Fuente:** Autor del proyecto.

➤ **Súper-Anfo para voladura en bóveda**

**(1) Dónde:**

Qd= Carga por barreno

2/3= parte de la longitud que se rellena con Anfo en un barreno

$\pi$ = Constante Pi para cálculo de área de una circunferencia (3,1416)

r= Radio de la broca de perforación 1,9 cm.

L= Longitud del barreno 240 cm y 160 cm.

D= Densidad del explosivo (0,9 gr/cm<sup>3</sup>)

A= Relación de volumen (0,8)

Teniendo la cantidad de Anfo necesaria para cada barreno se procede a calcular la cantidad de Anfo necesaria para realizar el avance necesario de la bóveda mediante la siguiente ecuación:

**(2) Dónde:**

Qt= Consumo total en el avance

q= Gasto específico del explosivo (Entre 0,5- 3,0 Kg/m<sup>3</sup>) de acuerdo a la dureza de la roca=0,88 Kg/m<sup>3</sup>

S1= Área transversal Lateral del avance para barrenos de 1,6 m. (5 m<sup>2</sup>).

S2= Área transversal Central del avance para barrenos de 2,4 m. (15 m<sup>2</sup>).

L1= Longitud de barrenos Laterales (1,6 m.)

L2= Longitud de barrenos Centrales (2,4 m.)

n= Coeficiente de utilización del barreno (0,66)

➤ **Producción de yeso por voladura (3)**

Con la efectividad de la voladura del 95% quedan 91,2 Toneladas y restándole el material estéril quedan aproximadamente **82,08Ton** de yeso por quema en bóveda.

➤ **Consumo de Anfo en Bóveda (Qta)**

**(4) Dónde:**

Qta=Consumo de Anfo en Bóveda

Paa= Producción relativa a Bóveda para 37.333 ton (producción establecida total) (11.585 Ton., producción establecida solo en bóveda,)

Qt= Consumo total en avance (25,55 Kg)



Pq= Producción por quema (82,08 Ton.)

➤ **Rendimiento del Anfo en Bóveda**

(5) Donde:

Re= Qta/Paa

➤ **Mecha de Seguridad en Bóveda**

Para voladura en bóveda según el diseño se realizan perforación de dos longitudes, para iniciarlos se debe tener en cuenta el tiempo que demora en detonar ya que este se hace barreno a barreno, por tal motivo se usarán 3 metros de mecha de seguridad con el objeto de que este sea suficiente tiempo al minero de iniciar y salir caminando tranquilamente gritando fuego por los frentes más cercanos.

**Tabla 16:** Metros de mecha por voladura en bóveda.

<b>BARRENOS</b>	<b>LONGITUD MECHA (M)</b>	<b>LONGITUD ADICIONAL (M)</b>	<b>TOTAL (M)</b>
4	2,4	0,6	12
6	1,6	1,4	18
Testigo	3		3
<b>Total metros de Mecha por Voladura</b>			<b>33</b>

**Fuente:** Programa de Perforación y Voladura Mina El Toro.

**Uso de testigo:** El gasto de mechas por la utilización de testigo es de 3 metros por voladura

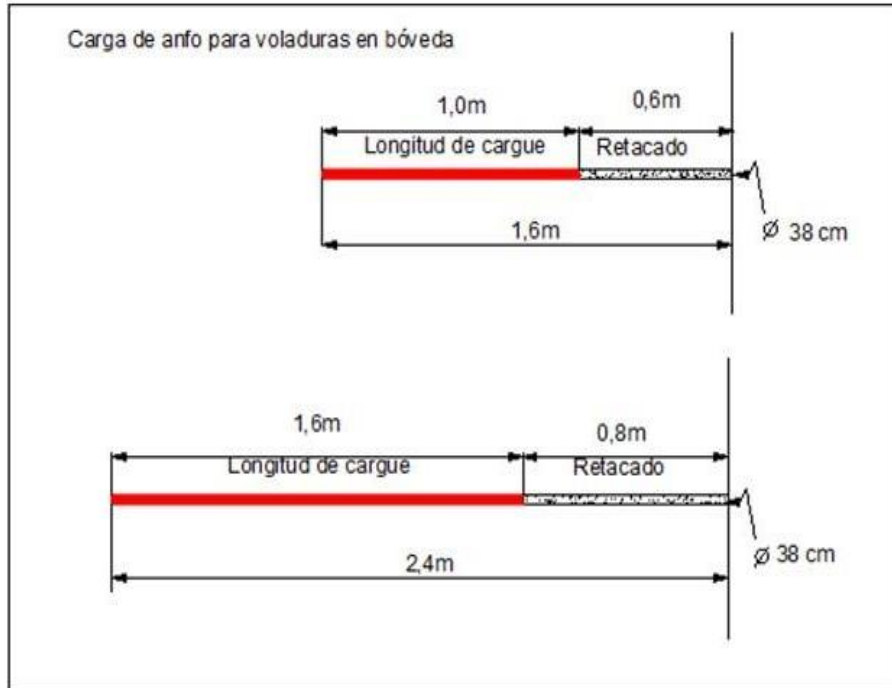
➤ **Detonadores n° 8**

Debido a baja sensibilidad del Anfo para iniciarse, se hace necesaria la utilización de Detonador Común, a continuación, se presenta los cálculos para determinar el consumo del mismo.

**Detonadores N° 8 en Bóveda por quema = 1 unidad por cada barreno**

Teniendo en cuenta que la cantidad de barrenos en Bóveda son 10 unidades y que la cantidad de yeso producido por quema en Bóveda es de 82,08 Toneladas, tenemos que el consumo de Detonadores N° 8 es de **0,12 U/Ton.**

**Figura 38:** Perfil de carga de explosivo para barrenos en bóveda



**Fuente:** Autor del Proyecto

**5.1.4.2. Voladura en banca.** Una vez realizada la voladura y posterior extracción del Área 1 (la misma da campo a un banco de explotación (Área 2) de 4,65 metros de altura, en donde se aplica un método de perforación y voladura vertical o voladura en banca, tipo a cielo abierto.

**Tabla 17:** Rendimientos de operación para voladura en banca.

VOLADURA EN BANCA	VARIABLE	BURDEN (m)	ESPACIAMIENTO (m * barreno)	Carga de barrenosTOTAL ES(Kg)	CANTIDAD DE BARRENOS PARA LAS BANCAS	PRODUCCION DE YESO POR VOLADURA (ton)	Consumo de Anfo en Banca(Kg)	RENDIMIENTO DEL ANFO (Kg/ton)	RENDIMIENTO DE LA MECHA DE SEGURIDAD (m/ton)	RENDIMIENTOS DE DETONADORES N° 8 (U/ton)
	FORMULA	$B = 40d$ (1)	$E = 0,85 * B$	$QdT = \frac{3}{4} * \pi * r^2 * L * A * D$ (2)		$Yr = X * Y * B * \zeta * Fr$ (3)	$Qb = (Pab/Yr) * [(Ny * Qy) + (Ne * Qe)]$	$Re = QT/37.333$ (5)	$Re = QT/37.333$	$Re = QT/37.333$
	RESULTADO	2	17	0,49	13	85,03	14.801	0,88	1,57	1,4

**Fuente:** Autor del proyecto.

➤ **súper-Anfo para voladura en banca**

En la banca a volar se encuentran tres tipos de yeso de diferente porcentaje de SO<sub>3</sub> separados por una capa de Lutita. Por Motivos de manejo de calidad estas cinco capas se detonan por separado obteniendo diferentes consumos para cada capa.

**(1) Dónde:**

d= Diámetro del barreno (3,81 cm.)

Ahora se procede a calcular la cantidad de Anfo por barreno mediante la siguiente ecuación:

**(2) Dónde:**

QdT= Carga por barreno total

$$QdT = \frac{3}{4} \pi r^2 L A D$$

**Tabla 18:** Carga de explosivo de perforación en banca para cada una de las capas.

CAPA	LONG. BARRENO	ABREVIATURA	CARGA POR BARRENO
Banca de Estéril Lageo	20 cm	Qd <sub>EL</sub> =	0,12kg
Banca de Lageo	130 cm	Qd <sub>L</sub> =	0,79kg
Banca Chaqueta	120 cm	Qd <sub>ch</sub> =	0,73kg
Estéril chaqueta	25 cm	Qd <sub>che</sub> =	0,15kg
Estéril Dura	70 cm	Qd <sub>ED</sub> =	0,43kg
Banca La Dura	120 cm	Qd <sub>D</sub> =	0,73kg
	485cm	QdT=	0,49kg

**Fuente:** Autor del proyecto.

➤ **Producción de yeso por voladura en banca**

Cálculo de la Cantidad de Yeso por voladura producido en las capas A, B y C

**(3) Donde:**

Yr= Cantidad de yeso producido en banca

X= Ancho (7 m.)

Y= Alto (3,7 m.)

B= Piedra (1,52 m.)

Ç= Densidad del Yeso (2,4 Ton/m<sup>3</sup>)

Fr= Factor de recuperación. (0,9)

➤ **Cantidad total de explosivo en banca**

**(4) Donde:**

Qb= Cantidad total de explosivos

Qy= Cantidad de explosivos por barreno en yeso (0,92 Kg)

Qe= Cantidad de explosivos por barreno en estéril (0,5 Kg)

Ny= Cantidad de barrenos en yeso (39)

Ne= Cantidad de barrenos en estéril (26)

Pab= Producción relativa a Banca para 37.333 (25.748 Ton.)

Yr= Yeso producido en banca por quema (85,03 Ton.)

➤ **Rendimiento de Anfo**

**(5) Donde:**

**Re= QT/37.333**

➤ **Mecha de seguridad en banca**

Este consumo está relacionado con los metros perforados por barrenos en cada voladura, además por cada barreno dejamos una longitud de mecha adicional para hacer de una forma fácil y segura el inicio de la voladura. Además, también se considerará la utilización de testigo que considera un tramo de mecha cuya longitud depende de la voladura realizada.

**Tabla 19:** Metros de mecha por voladura de yeso en banca

<b>CAPA BANCA</b>	<b>Barrenos</b>	<b>Longitud Mecha</b>	<b>Longitud Adicional</b>	<b>Total</b>
CAPA A	13	1,6	1,4	39
CAPA B	13	1,6	1,4	39
CAPA C	13	1,6	1,4	39
	Testigo	3		3
<b>Total metros de Mecha por Voladura</b>				<b>120</b>

**Fuente:** Programa de Perforación y Voladura Mina El Toro.

**Tabla 20:** Metros de mecha por voladura de Lutita en banca

Capa banca Lutita	Barrenos	Longitud Mecha	Longitud Adicional	Total
CAPA A	13	0,8	1,2	26
CAPA B	13	0,8	1,2	26
	Testigo	2		2
<b>Total metros de Mecha por Voladura</b>				<b>54</b>

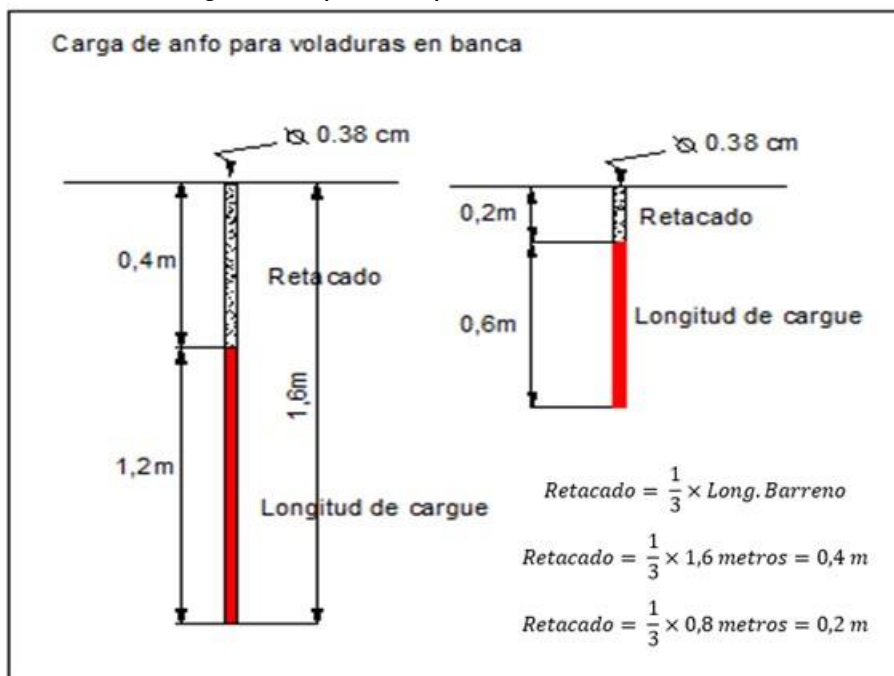
**Fuente:** Programa de Perforación y Voladura Mina El Toro.

➤ **Detonadores N° 8 en Banca**

**13 unidades por capa = 65 unidades por Banca**

Teniendo en cuenta que la cantidad de yeso producido por quema en Banca es de 85,03 Toneladas, tenemos que el consumo de Detonadores N° 8 es de **1,3 U/Ton.**

**Figura 39:** Perfil de carga de explosivo para barrenos en banca.



**Fuente.** Autor del proyecto

**Tabla 21.** Resumen de rendimientos explosivos y accesorios de voladura.

ELEMENTOS	ANFO	MECHA	DETONADOR N°8
CONSUMO	0,88 Kg/Ton.	1,57 m/Ton.	1,4 Unid./Ton.

**Fuente:** Autor del proyecto.

## 5.2. CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DE LOS MANTOS ECONÓMICAMENTE EXPLOTABLES.

Los porcentajes de SO<sub>3</sub> reportados a continuación, se obtuvieron de información bibliográfica de estudios y proyectos cercanos al área de concesión, así como también de análisis de calidad a los mantos explotables efectuados por Cemex Colombia.

Las muestras recolectadas y referenciadas en campo se trasladaron al laboratorio de AGRILAB para su posterior análisis por parte de este laboratorio certificado. Los parámetros que se evaluaron corresponden a: CaO, MgO y SO<sub>3</sub>.

A continuación, se muestran los resultados de laboratorio, de las diferentes muestras tomadas a lo largo del contrato de concesión<sup>17</sup>

**Tabla 22:** Resultados de laboratorio de calidades de los mantos explotables

MANTO	ESPESOR (m)	NOMBRE DE MUESTRA	%SO <sub>3</sub>
La Churca	1,5	M-CHU1	40,2
Lajeo	1,5	M-LAJ	43,6
Chaqueta	1	M-CHAQ3	38,5

**Fuente:** EIA para el contrato de concesión FJ4-101, Ingeminera.

Se tomaron muestras de las capas La Churca, Lageo y Enchaquetada tanto en la mina como en el patio de acopio, adicionalmente se tomaron muestras de las capas intermedias de estériles, las muestras se enviaron a los laboratorios de Bucaramanga<sup>18</sup>

**MMCHU1:** Muestra Mina Capa Churca.

**MMCA1:** Muestra Mina Capa Estéril 1.

**MMLA1:** Muestra Mina Capa Lageo.

**MMCA2:** Muestra Mina Capa Estéril 2.

**MMCHA1:** Muestra Mina Capa Chaqueta.

**Tabla 23:** Resultados de laboratorio de calidades de los mantos explotables y capas estériles.

LABORATORIO	% de SO <sub>3</sub>				
	MMCHU1	MMCA1	MMLA1	MMCA2	MMCHA1
Bucaramanga	38,89	1,8	45,76	1,5	39,21

**Fuente:** Informe de yeso Áreas de Oportunidad, CEMEX, 2014.

<sup>17</sup> ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA EL CONTRATO DE CONCESIÓN FJ4-101, YESO LOS SANTOS – SANTANDER, Estupiñan Cancino Ingeniería, 2015.

<sup>18</sup> INFORME DE YESO, Andrés Contento, Cemex, 2014.



**5.2.1. Calidad en las pilas de acopio del mineral en rajón.** Realizando una inspección de las pilas de material en el Patio de acopio, se evidencia una cantidad considerable de estéril, que alcanza a ser cargado y transportado en las volquetas de la mina, lo cual indica una mala separación y clasificación en la mina.

**Tabla 24:** Resultados de laboratorio de calidades de los mantos explotables acopiados en pilas.

LABORATORIO	% de SO <sub>3</sub>		
	MPCHU1	MPLA1	MPCHA1
Bucaramanga	39,61	41,96	35,13

**Fuente:** Informe de yeso Áreas de Oportunidad, CEMEX, 2014.

A continuación, se presenta el material que es extraído de la mina de yeso el Toro.

**Figura 40:** Fotografía de material estéril (Lutita) obtenido del proceso de voladura.



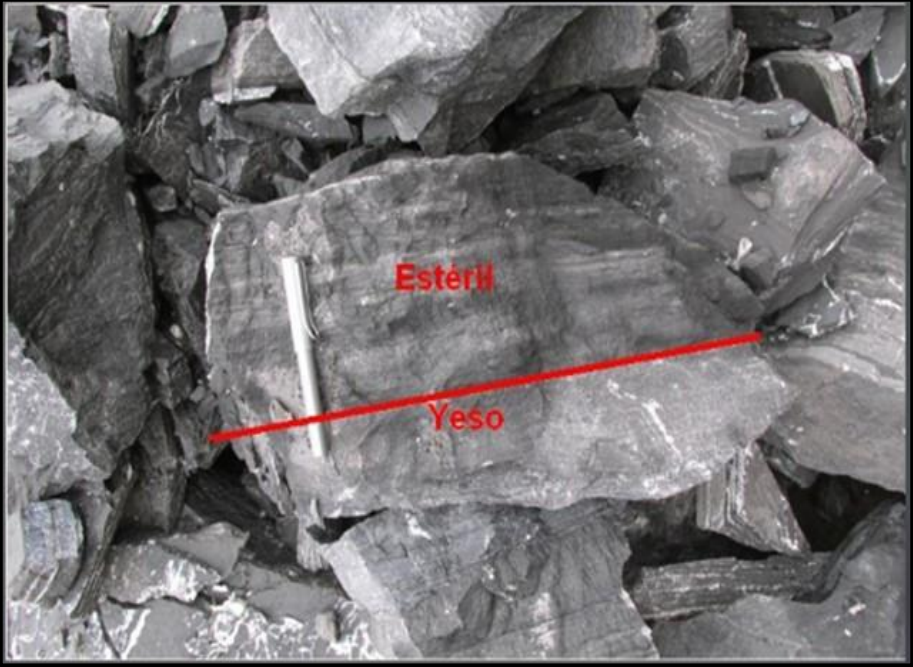
**Fuente:** Visita de campo

**Figura 41:** Fotografía de muestra de yeso obtenido del proceso de voladura, tomada en patio de Mina.



**Fuente:** Visita de campo

**Figura 42:** Fotografía de muestra de yeso con presencia de material estéril, tomada en patio de acopio Delicias.



**Fuente:** Visita de campo

**5.2.2. Resultados del análisis de contenido de Sulfato de Calcio del material triturado.** Como bien se mencionó anteriormente, la empresa SERRANO HERMANOS suministra el Yeso explotado en la Mina El Toro a la cementera CEMEX COLOMBIA S.A., esta última cuenta con unos parámetros de calidad definidos los cuales son exigidos a sus proveedores, como se explican a continuación.

El yeso recibido por CEMEX proveniente de Serrano Hermanos debe tener un  $28 \leq \%SO_3 \leq 35$ .

Se descontará 3% por cada punto debajo del límite inferior (28), máximo 2 puntos.

Se premiará 3% por cada punto por encima del límite superior (35), máximo 2 puntos.

De este modo se expone la importancia de mantener una buena calidad de los yesos explotados en la mina el toro y suministrados a CEMEX COLOMBIA S.A., lo cual se ve fuertemente representado en la rentabilidad económica de la empresa SERRANO HERMANOS LTDA., a través de la operación desarrollada en la Mina El Toro.

**Tabla 25:** Reporte de calidad del material recibido en la planta de Cemex provenientes de la mina El Toro (Periodo 01/09/2017-17/09/2017)

Periodo de Liquidación :	01.09.2017 a 17.09.2017		Facturar a :								
Proveedor :	900001775 SP- YESOS Y CALIZAS TORO		CEMEX COLOMBIA S.A.								
Dirección :	CR 53 No 72 13		BOG	Cl 99 No. 9a 54 P 7							
C.P./Ciudad :	00000 .		BOGOTA DC	Bogotá D.C.							
Tel/Fax :			8600025231								
Material :	1400000545 YESO NAT TRIT GRIS COMP										
Contrato :	4600036952										
Val.Un.Contrato :	64.680 COP 1 TN										
Cons.Folio :											
Centro :	P150 CO-PTA CARACOLITO - CDI										
Característica	Base	Val Premio/Castigo	Min/Max No Pago	Cantidad a Liquidar							
Calidad 1	28,000	1.164,000	15,000	Bascula							
Calidad 2	35,000	1.164,000	15,000								
Fecha:	No.Orden:	Ticket	Remisión	Matrícula	Cant. Bascula	Cant. Liq.:	Monto	Valor Prem-Cast	Fecha Lab. % Humedad	Calidad 1	Calidad 2
11.09.2017	4512471106	5529264	20001673	SPO372	33,430 TN	33,430 TN	2.162.252 COP	33.465	11.09.2017 1,440	35,860	35,860
11.09.2017	4512471106	5529568	10003406	TGY859	32,780 TN	32,780 TN	2.120.210 COP	32.814	11.09.2017 1,440	35,860	35,860
11.09.2017	4512471106	5530264	20001670	SNM869	33,580 TN	33,580 TN	2.171.954 COP	33.615	11.09.2017 1,440	35,860	35,860
11.09.2017	4512471106	5530352	20001653	XJA997	34,210 TN	34,210 TN	2.212.703 COP	34.246	11.09.2017 1,440	35,860	35,860
Totales:		4 Tickets			134 TN	134 TN	8.667.120 COP	134.139			
Ticket :		4 Tickets									
Monto :		8.667.120 COP									
Imp. Total Premio/Castigo :		134.139 COP									
Monto Total a Facturar :		8.801.259 COP									

Fuente: SERRANO HERMANOS LTDA.

**Tabla 25:** Continuación de reporte de calidad del material recibido en la planta de Cemex provenientes de la mina El Toro (Periodo 01/09/2017-17/09/2017)

Periodo de Liquidación	01.09.2017 a 17.09.2017		Facturar a :								
Proveedor	900001775 SF- YESOS Y CALIZAS TORO		CEMEX COLOMBIA S.A.								
Dirección	CR 53 No 72 13		BOG	Cl 99 No. 9a 54 P 7							
C.P./Ciudad	00000		BOGOTA DC	Bogotá D.C.							
Tel./Fax			8600025231								
Material	1400000545 YESO NAT TRIT GRIS COMP										
Contrato	4600036952										
Val.Un.Contrato	64.680	COP	1	TN							
Cons.Folio											
Centro	F150 CO-PTA CARACOLITO - CDI										
Característica	Base	Val Premio/Castigo	Min/Max No Pago	Cantidad a Liquidar							
Calidad 1	28,000	1.164,000	15,000	Bascula							
Calidad 2	35,000	1.164,000	15,000								
Fecha:	No.Orden:	Ticket	Remisión	Matrícula	Cant. Bascula	Cant. Liq.:	Monto	Valor Prem-Cast	Fecha Lab. % Humedad	Calidad 1	Calidad 2
14.09.2017	4512489085	5533936	20001705	TIO109	32,930 TN	32,930 TN	2.129.912 COP	67.462	14.09.2017 1,120	36,760	36,760
14.09.2017	4512489085	5533992	20001698	XIK356	32,750 TN	32,750 TN	2.118.270 COP	67.093	14.09.2017 1,120	36,760	36,760
14.09.2017	4512489085	5534307	2017	SWO747	33,670 TN	33,670 TN	2.177.776 COP	68.978	14.09.2017 1,120	36,760	36,760
14.09.2017	4512489085	5534485	10003443	TBZ025	32,880 TN	32,880 TN	2.126.678 COP	67.359	14.09.2017 1,120	36,760	36,760
14.09.2017	4512489085	5534799	20001708	WTQ664	33,260 TN	33,260 TN	2.151.257 COP	68.138	14.09.2017 1,120	36,760	36,760
14.09.2017	4512489085	5534896	20001704	TAM544	34,170 TN	34,170 TN	2.210.116 COP	70.002	14.09.2017 1,120	36,760	36,760
14.09.2017	4512489085	5535070	2000710	TIO126	32,470 TN	32,470 TN	2.100.160 COP	66.519	14.09.2017 1,120	36,760	36,760
14.09.2017	4512489085	5535601	20001657	TGY928	33,280 TN	33,280 TN	2.152.550 COP	68.179	14.09.2017 1,120	36,760	36,760
Totales:	8	Tickets			265,410 TN	265,410 TN	17.166.719 COP	543.730			
Ticket	: 8 Tickets										
Monto	: 17.166.719 COP										
Imp. Total Premio/Castigo	: 543.730 COP										
Monto Total a Facturar	: 17.710.448 COP										

Fuente: SERRANO HERMANOS LTDA



**Tabla 26:** Reporte de calidad del material recibido en la planta de Cemex provenientes de la mina El Toro (Periodos 20/09/2017-08/10/2017 y 30/09/2017-06/11/2017)

Periodo de Liquidación :	20.09.2017 a 08.10.2017		Facturar a :									
Proveedor :	900001775 SF- YESOS Y CALIZAS TORO		CEMEX COLOMBIA S.A.									
Dirección :	CR 53 No 72 13		BOG	CI 99 No. 9a 54 P 7								
C.P./Ciudad :	00000		BOGOTA DC	Bogotá D.C.								
Tel/Fax :			8600025231									
Material :	1400000545 YESO NAT TRIT GRIS COMP											
Contrato :	4600036952											
Val.Un. Contrato :	64.680 COP 1 TN											
Cons.Folio :												
Centro :	F150 CO-PTA CARACOLITO - CDI											
Característica	Base	Val Premio/Castigo	Min/Max No Pago	Cantidad a Liquidar								
Calidad 1	28,000	1.164,000	15,000	Bascula								
Calidad 2	35,000	1.164,000	15,000									
Fecha:	No.Orden:	Ticket	Remisión	Matrícula	Cant. Bascula	Cant. Liq.:	Monto	Valor Prem-Cast	Fecha Lab.	% Humedad	Calidad 1	Calidad 2
02.10.2017	4512567435	5565371	20001825	TT0117	34,220 TN	34,220 TN	2.213.350 COP	131.844	02.10.2017	1,960	38,310	38,310
02.10.2017	4512567435	5565887	20001826	TT0118	33,930 TN	33,930 TN	2.194.592 COP	130.727	02.10.2017	1,960	38,310	38,310
Totales:	2	Tickets			68,150 TN	68,150 TN	4.407.942 COP	262.571				
Ticket :	2 Tickets											
Monto :	4.407.942 COP											
Imp. Total Premio/Castigo :	262.571 COP											
Periodo de Liquidación :	30.09.2017 a 06.11.2017		Facturar a :									
Proveedor :	900001775 SF- YESOS Y CALIZAS TORO		CEMEX COLOMBIA S.A.									
Dirección :	CR 53 No 72 13		BOG	CI 99 No. 9a 54 P 7								
C.P./Ciudad :	00000		BOGOTA DC	Bogotá D.C.								
Tel/Fax :			8600025231									
Material :	1400000545 YESO NAT TRIT GRIS COMP											
Contrato :	4600036952											
Val.Un. Contrato :	64.680 COP 1 TN											
Cons.Folio :												
Centro :	F150 CO-PTA CARACOLITO - CDI											
Característica	Base	Val Premio/Castigo	Min/Max No Pago	Cantidad a Liquidar								
Calidad 1	28,000	1.164,000	15,000	Bascula								
Calidad 2	35,000	1.164,000	15,000									
Fecha:	No.Orden:	Ticket	Remisión	Matrícula	Cant. Bascula	Cant. Liq.:	Monto	Valor Prem-Cast	Fecha Lab.	% Humedad	Calidad 1	Calidad 2
31.10.2017	4512711259	5614640	20001989	TT0119	32,860 TN	32,860 TN	2.125.385 COP	0	31.10.2017	5,080	32,160	32,160
31.10.2017	4512711259	5614689	20001993	TT0134	32,550 TN	32,550 TN	2.105.334 COP	0	31.10.2017	5,080	32,160	32,160
31.10.2017	4512711259	5614749	20001996	SMN034	33,900 TN	33,900 TN	2.192.652 COP	0	31.10.2017	5,080	32,160	32,160
31.10.2017	4512711259	5614855	20001992	TT0141	33,010 TN	33,010 TN	2.135.087 COP	0	31.10.2017	5,080	32,160	32,160
31.10.2017	4512711259	5615131	20001994	TT0118	32,490 TN	32,490 TN	2.101.453 COP	0	31.10.2017	5,080	32,160	32,160
31.10.2017	4512711259	5615393	20001990	TT0105	32,850 TN	32,850 TN	2.124.738 COP	0	31.10.2017	5,080	32,160	32,160
31.10.2017	4512711259	5615543	20001988	TAM544	33,850 TN	33,850 TN	2.189.418 COP	0	31.10.2017	5,080	32,160	32,160
31.10.2017	4512711259	5615725	20001995	SK0550	34,420 TN	34,420 TN	2.226.286 COP	0	31.10.2017	5,080	32,160	32,160
31.10.2017	4512711259	5615888	20001998	TSV871	33,770 TN	33,770 TN	2.184.244 COP	0	31.10.2017	5,080	32,160	32,160
Totales:	9	Tickets			299,700 TN	299,700 TN	19.384.596 COP	0				
Ticket :	9 Tickets											
Monto :	19.384.596 COP											
Imp. Total Premio/Castigo :												
Monto Total a Facturar :	19.384.596 COP											

**Tabla 27:** Reporte de calidad del material recibido en la planta de Cemex provenientes de la mina El Toro (Periodo 30/09/2017-06/11/2017)

<b>Periodo de Liquidación :</b>	30.09.2017 a 06.11.2017		<b>Facturar a :</b>								
<b>Proveedor :</b>	900001775 SF- YESOS Y CALIZAS TORO		<b>CEMEX COLOMBIA S.A.</b>								
<b>Dirección :</b>	CR 53 No 72 13		<b>BOG</b>	<b>Cl 99 No. 9a 54 P 7</b>							
<b>C.F/Ciudad :</b>	00000		<b>BOGOTA DC Bogotá D.C.</b>								
<b>Tel/Fax :</b>			<b>8600025231</b>								
<b>Material :</b>	1400000545 YESO NAT TRIT GRIS COMP										
<b>Contrato :</b>	4600036952										
<b>Val.Un.Contrato :</b>	64.680 COP 1 TN										
<b>Cons.Folio :</b>											
<b>Centro :</b>	F150 CO-PTA CARACOLITO - CDI										
<b>Característica</b>	<b>Base</b>	<b>Val Premio/Castigo</b>	<b>Min/Max No Pago</b>	<b>Cantidad a Liquidar</b>							
<b>Calidad 1</b>	28,000	1.164,000	15,000	Bascula							
<b>Calidad 2</b>	35,000	1.164,000	15,000								
<b>Fecha:</b>	<b>No.Orden:</b>	<b>Ticket</b>	<b>Remisión</b>	<b>Matrícula</b>	<b>Cant. Bascula</b>	<b>Cant. Liq.:</b>	<b>Monto</b>	<b>Valor Prem-Cast</b>	<b>Fecha Lab. % Humedad</b>	<b>Calidad 1</b>	<b>Calidad 2</b>
03.11.2017	4512726402	5621821	20002017	TSV871	33,170 TN	33,170 TN	2.145.436 COP	10.811	03.11.2017 1,790	35,280	35,280
03.11.2017	4512726402	5622066	20002026	TTO111	32,700 TN	32,700 TN	2.115.036 COP	10.658	03.11.2017 1,790	35,280	35,280
03.11.2017	4512726402	5622143	20002015	SWMS76	33,100 TN	33,100 TN	2.140.908 COP	10.788	03.11.2017 1,790	35,280	35,280
03.11.2017	4512726402	5622300	20002021	SKO619	34,390 TN	34,390 TN	2.224.345 COP	11.208	03.11.2017 1,790	35,280	35,280
03.11.2017	4512726402	5622368	20002025	TTO109	33,990 TN	33,990 TN	2.198.473 COP	11.078	03.11.2017 1,790	35,280	35,280
03.11.2017	4512726402	5622476	20002023	SND995	33,500 TN	33,500 TN	2.166.780 COP	10.918	03.11.2017 1,790	35,280	35,280
03.11.2017	4512726402	5622832	20002022	TGY859	33,190 TN	33,190 TN	2.146.729 COP	10.817	03.11.2017 1,790	35,280	35,280
03.11.2017	4512726402	5623072	20002030	SKM768	34,050 TN	34,050 TN	2.202.354 COP	11.098	03.11.2017 1,790	35,280	35,280
03.11.2017	4512726402	5623195	20002028	SZM865	33,290 TN	33,290 TN	2.153.197 COP	10.850	03.11.2017 1,790	35,280	35,280
03.11.2017	4512726402	5623221	20002029	SML912	33,020 TN	33,020 TN	2.135.734 COP	10.762	03.11.2017 1,790	35,280	35,280
03.11.2017	4512726402	5623230	20002027	SWMS74	33,800 TN	33,800 TN	2.186.184 COP	11.016	03.11.2017 1,790	35,280	35,280
<b>Totales:</b>	<b>11</b>	<b>Tickets</b>			<b>368,200 TN</b>	<b>368,200 TN</b>	<b>23.815.176 COP</b>	<b>120.004</b>			
<b>Ticket :</b>	11 Tickets										
<b>Monto :</b>	23.815.176 COP										
<b>Imp. Total Premio/Castigo :</b>	120.004 COP										
<b>Monto Total a Facturar :</b>	23.935.180 COP										

Fuente: SERRANO HERMANOS LTDA




## 6. ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN LA MINA EL TORO.

La perforación es la primera operación fundamental en el ciclo de minado, que consiste en obtener aberturas de un diámetro en específico, de acuerdo a una malla establecida, según sea el tipo de roca y el sistema de perforación a implementar. Depende de una rotación que hace girar la broca entre impactos sucesivos, tiene como misión hacer que ésta actúe sobre los puntos distintos de la roca en el fondo de la perforación.

En este caso, para realizar el análisis de esta operación en la mina “El Toro”, fue necesario hacer una serie de inspecciones a los frentes de avance, para verificar el trabajo y que se cumpla conforme en el Programa de Perforación y Voladura establecido.

A continuación, se presentan los registros de las inspecciones de los frentes de explotación, en el transcurso de la práctica:

**Tabla 28.** Registros de inspecciones de los frentes de explotación mina El Toro.

<b>PERFORACIÓN EN BOVEDA (avance)</b>	<b>EVIDENCIAS FOTOGRAFICAS</b>
<p>La perforación de la roca se da por medios manuales con el uso de martillos neumáticos Y19.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• El proceso de perforación y cargue de barrenos en cada frente de explotación dura aproximadamente 3 horas (2 horas y media proceso de perforación y 30 minutos con el cargue de los barrenos)</li></ul>	

Se maneja un esquema de perforación que cuenta con un cuele de 4 barrenos cargados y un barreno central vacío para generar la cara libre.

- Se evidencia que los barrenos de la malla de perforación en avance no se realizan de la manera estipulada en el programa de perforación y voladura, ya que los frentes son irregulares, por lo tanto los mineros perforan en los sitios más adecuados de acuerdo a las experiencias de cada uno de ellos.



Se maneja una longitud inicial de 0,8 m de perforación para luego perforar con las varillas de 1.6 m (contorno) y 2.4 m (cuña).



Se perforan barrenos con un diámetro de 3.8 cm.

- Esta medida se cumple ya que se encuentra en función de las características de la varilla de perforación utilizada durante el proceso

Los barrenos se cargan con ANFO en una longitud de 1.0 m ( $L_p=1.6$  m) y 1.6 ( $L_p=2.4$  m). el retacado tendrá longitudes de aproximadamente 0.6 m y 0.8 m respectivamente. El consumo de explosivos teórico es de 0.60 Kg ANFO/metro.

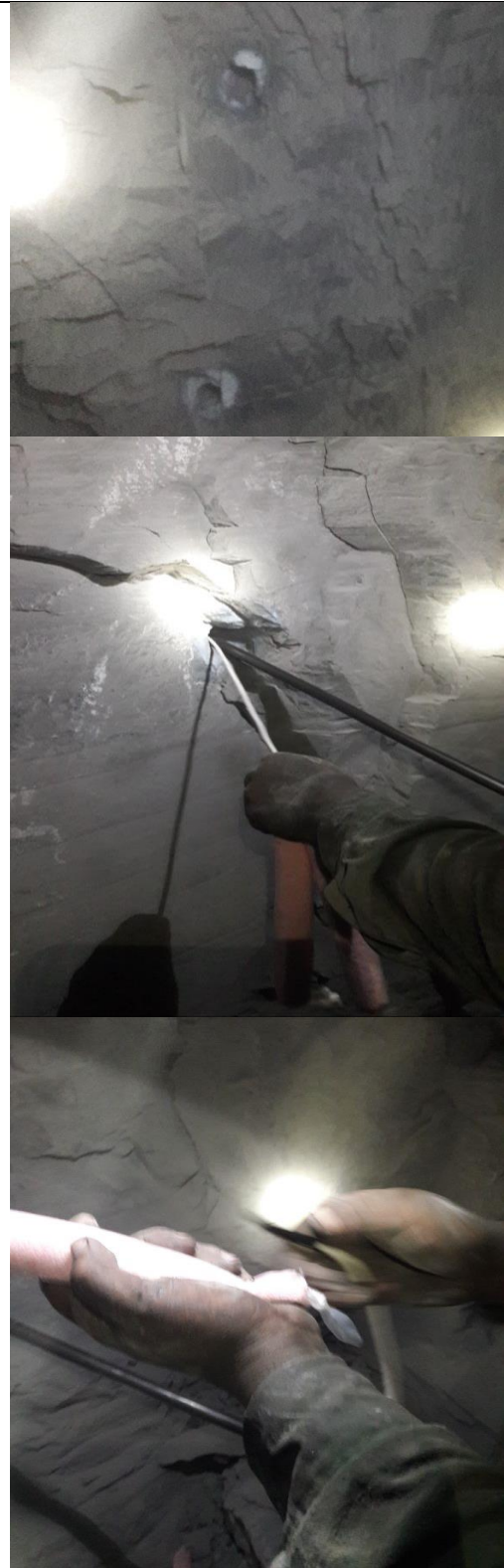
De acuerdo a los cálculos de **6.1.4 rendimiento**, el consumo de ANFO para la carga de barrenos de 2,4 m es de 1.30 Kg y para barrenos de 1,60 m es de 0.87 Kg.




Para avances de 2.4 m, en la mayoría de los frentes no se utiliza el retacado, por el contrario, se evidencia que se deja aproximadamente 0.2 m de barreno vacío. Se insertan cerca de 9 tacos de ANFO con 145 gr cada una, para un consumo real de 0.60 Kg/m




La carga de ANFO para estos barrenos se calculó en 1.32 Kg.

Para avances de 1.6 m, en la mayoría de los frentes no se utiliza el retacado, por el contrario, se evidencia que se deja aproximadamente 0.2 m de barreno vacío. Se insertan cerca de 5 tacos de ANFO con 145 gr cada una, para un consumo real de 0.52 Kg/m

La carga de ANFO para estos barrenos se calculó en 0.73 Kg.



PERFORACIÓN EN BANCA	EVIDENCIAS FOTOGRAFICAS
<p>La perforación de la roca se da por medios manuales con el uso de martillos neumáticos Y19. Se realiza una perforación vertical.</p>	
<p>Se maneja un esquema de perforación tres bolillos que cuenta con 13 barrenos verticales.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Algunos frentes de explotación no aplican de manera rigurosa la geometría tres bolillos, como bien se argumenta anteriormente gran parte de los frentes presentan superficies irregulares.</li> </ul>	
<p>Se maneja una longitud de perforación de 1.6 m y 0.8m.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se evidencian que las longitudes de perforación están menores que lo estipulado (0.7 m barreno de la izquierda y 1.20 m barreno de la derecha)</li> </ul>	

<p>Se perforan barrenos con un diámetro de 3.8 cm.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Esta medida se cumple ya que se encuentra en función de las características de la varilla de perforación utilizada durante el proceso</li> </ul>	
<p>Los barrenos se cargan con ANFO en una longitud de 1.2 m (<math>L_p=1.6</math> m). El retacado tendrá longitudes de aproximadamente 0.4 m. El consumo de explosivos teórico es de 0.60 Kg ANFO/metro.</p> <p>De acuerdo a los cálculos de <b>6.1.4 rendimiento</b>, el consumo de ANFO para la carga de barrenos de 1.6 m es de 0.73 Kg.</p> <p>Para avances de 1.6 m, en la mayoría de los frentes no se utiliza el retacado, por el contrario, se evidencia que se deja aproximadamente 0.4 m de barreno vacío. Se insertan cerca de 5 tacos de ANFO con 145 gr cada una, para un consumo real de 0.60 Kg/m.</p> <p>En algunos frentes se hace retacado con detritus de perforación en una longitud promedio de 0.2 m. La carga de ANFO para estos barrenos se calculó en 0.728 Kg.</p>	 

**Fuente:**



## **6.1. EVALUACION PERFORACIÓN Y VOLADURA.**

De acuerdo a lo anteriormente observado en los frentes de avance y de banca en los frentes de explotación de la mina El Toro, a continuación, se analizan algunos problemas o fallas de la operación de perforación y voladura, en lo que se ve afectado principalmente la efectividad de esta y la producción de la mina:

- **PERFORACION DE AVANCE** (Longitud de barrenos):

Se puede evidenciar que los frentes de trabajo en avance “manto la churca”, son irregulares lo que dificulta la marcación de la malla de perforación ( que no se realiza) para los barrenos de 0,8 m, 1,6 m y 2,4 m, teniendo en cuenta el grado de desviación que debe de ser de 30°, por ello no se realiza la longitud teórica total de los barrenos, ya que el frente que se deja de la voladura anterior no se desabomba correctamente y quedan partes irregulares, lo que genera una perdida en el avance y por lo tanto una banca muy corta para realizar la voladura de los demás mantos.

Se debe hacer un seguimiento e inspección en el manejo del ángulo de desviación de los barrenos de 2,4 m en V donde que es de gran importancia, estas desviaciones pueden afectar el poder del ANFO y por lo tanto la fragmentación del material y el avance del frente, generando sobredimensionamiento en el frente que afectan la geometría (regularidad) de la sección volada.

- **RETACADO DE LOS BARRENOS:**

El retacado de los barrenos tiene gran importancia en la operación de voladura, ya que ayuda al explosivo a generar mayor potencia y rotura de la roca debido al confinamiento, según el Programa de Perforación y voladura de la mina El Toro, se debe tomar la tercera parte de la longitud total del barreno, pero este aspecto tan importante no se está llevando a cabo en su totalidad ya que en algunos de los frentes de explotación, llegan a ser solo la mitad de lo establecido y en la gran mayoría de los frentes no se implementa el retacado, lo cual repercute en la efectividad de la operación al generar un aporte mayor de sobre tamaños en las detonaciones.

- **USO DE EXPLOSIVOS:**

En las inspecciones realizadas de los frentes, se puede observar que los explosivos se manejan de forma segura y adecuada por los trabajadores, pero respecto al parámetro anterior (retacado), el ANFO que se utiliza para cargar los barrenos varían en cada uno de los frentes, por ello es importante generar una evaluación del procedimiento de cargue de barrenos y la cantidad necesaria para que la operación sea exitosa. Se debe buscar la opción de tener una persona inspeccionando este proceso.

- **LIMPIEZA DE BANCAS:**

Teniendo en cuenta que en la mina se implementa un sistema de Sostenimiento natural, es de gran importancia realizar por seguridad y operatividad el desabombe de techo, paredes y piso de los frentes de explotación, ya que permite tener las zonas de perforación limpias y regulares para una mejor ejecución del ciclo de minado.

- **TIEMPOS DE RETARDOS:**

El tiempo de iniciación es una de las variables de diseño más importante, desafortunadamente, es la más frecuentemente ignorada. Un diseño del tiempo de iniciación pobre en combinación con otras insuficiencias del diseño son las responsables de la mayoría de los inconvenientes de voladura. Cuando los barrenos están cargados adecuadamente, el tiempo de iniciación controla el tamaño de la fragmentación, el apilado del material quebrado, el nivel máximo de vibración, la cantidad de ruido generada, la cantidad de roca en vuelo producida y el rompimiento trasero y lateral.

En el caso particular del proceso de voladura de la Mina El Toro, no hay tiempos de retardo en la tronadura de avance, por el contrario, la detonación de los diez (10) barrenos se realiza al mismo tiempo (Mecha de seguridad). En las voladuras de banca, se realizan tres (3) voladuras diferentes, de igual forma sin tiempos de retardo. Es de gran importancia este parámetro, analizarlo y llevarlo de alguna manera a su ejecución de acuerdo al Programa de Perforación y Voladura.

**6.1.1. Resultados de la voladura.** Es fundamental que los resultados de la voladura se estén evaluando continuamente con el fin de asegurar la efectividad de la misma; la presencia de estructuras geológicas, presencia de agua en los frentes, cambios en el espesor de los bancos, que pueden ser identificados rápidamente y así poder hacer los ajustes correspondientes.

Los aspectos que se deben tener en cuenta al momento de analizar los resultados de la voladura son:

- Avance efectivo de la voladura.
- Fragmentación y porcentaje de sobre tamaño.
- Perfil de las pilas formadas para facilitar la pernada.
- Afectación de los techos y los pilares.
- Regularidad de los frentes para facilitar el descargue.
- Regularidad en los pisos.

- Contorno de la labor.

A continuación, se presenta un seguimiento realizado al proceso de perforación y voladura de cada grupo de trabajo de la mina El Toro durante el periodo correspondiente a Agosto-Noviembre de 2017. El resultado de este seguimiento se consigna en la siguiente tabla.

**Tabla 29:** Seguimiento de la Operación de perforación y voladura en los frentes de explotación Mina El Toro.

<b>FECHA DEL SEGUIMIENTO</b>	<b>FRENTE</b>	<b>INPECCION DEL FRENTE</b>
6/08/2017	<b>FRENTE SAMUEL</b> (Perforación de avance).	Se realiza la inspección de la perforación en el frente de avance (manto churca), se observa que no se realizan las perforaciones de acuerdo con el Programa de perforación y voladura, ya que el estado del frente es irregular, lo cual dificulta el proceso de perforación.
15/08/2017	<b>FRENTE HERMES</b> (Perforación de avance)	Se realiza la inspección del frente, los mineros realizan la perforación de avance del manto” la churca”, se evidencia que solo hay 2 barrenos de longitud 2,4 metros, deberían ser 4 barrenos.
25/08/2017	<b>FRENTE CELSO</b> (voladura de piso)	Se realiza la inspección del material producto de la voladura del manto “piso”, se observa de gran tamaño, se debe verificar el retacado.
		Se realiza la visita al frente, donde están realizando la perforación en banca del manto “piso”, se observa



8/09/2017	<b>FRENTE SAMUEL</b> (Perforación en banca)	que el espaciamiento entre barrenos de la banca, es muy grande (2 metros), hay que guiar a los trabajadores para que dimensionen bien la banca y se distribuyan mejor los barrenos.
17/09/2017	<b>FRENTE HERMES</b> (Perforación de avance)	Se realiza la marcación de la malla de perforación en frente de avance, pero hay dificultades ya que el frente es discontinuo e irregular. Las brocas están gastadas, lo que dificulta la operación.
30/09/2017	<b>FRENTE CELSO</b> (Voladura de avance)	Se toma el avance de la voladura en el frente que es de 2 m aproximadamente. Se debe analizar la perforación que se está realizando en la cuña, ya que se realizan 4 perforaciones de 2,4 m y 4 de 1,6 m.
8/10/2017	<b>FRENTE SAMUEL</b> (Voladura de banca)	Se realiza inspección al frente se evidencia que hay mecha de seguridad que no se quemó, por lo cual hay que analizar cuál fue el problema y buscar una solución, ya que es costo de mecha innecesaria.
16/10/2017	<b>FRENTE HERMES</b> (Tacado de barrenos en frente de avance)	Se realiza la inspección de la voladura, el tacado del ANFO, y del procedimiento para la iniciación, se observa que realizan bien el tacado del agente explosivo, pero el retacado con detritus no lo hacen en su totalidad. Se les explica a los trabajadores la importancia

		del retacado.
22/10/2017	<b>FRENTE CELSO</b> (Perforación de avance , barrenos de 2,4m)	Se realiza la inspección de la perforación de avance de los barrenos de 2,4m, se observa que el ángulo de desviación es mayor de 45°, por lo cual se verá afectado el avance del frente.
9/11/2017	<b>FRENTE SAMUEL</b> (voladura de banca)	Se realiza la inspección y evaluación del material de banca (manto la geo) arrancado. Se evidencia que ha disminuido de tamaño, ya se realiza el retacado de una mejor manera, hay que seguir capacitando al personal en la implementación de este aspecto.
17/11/2017	<b>FRENTE HERMES</b> (Tacado de barrenos en frente de avance)	En esta inspección del tacado y retacado, los trabajadores ya realizan un buen retacado con detritus, ya tiene muy claro que deben medir bien los barrenos, y que la tercera parte de cada uno debe estar lleno de detritus.
28/11/2017	<b>FRENTE CELSO</b> (Perforación frente de avance)	Se evidencian algunas mejoras como la regularidad del frente de avance de "churca" y el ángulo de desviación de los barrenos de 2,4m, se está realizando mucho mejor.

**Fuente:** Autor del Proyecto.

## 6.2. ANALISIS Y EVALUACION DE LAS VARIABLES CONTROLABLES<sup>19</sup>

Para realizar el análisis de la perforación y voladura de la mina “El Toro” se analiza las siguientes variables controlables, las cuales como su nombre lo indica se pueden manejar y calcular según sea el caso y así poder mejorar los resultados de la operación:

- **Diámetro de perforación:** Los diámetros de perforación que se deben manejar para los frentes de avance y de banca son de 38 mm, ejecutándolo con un martillo manual neumático. Este parámetro se cumple en la operación, ya que depende específicamente de las características de los accesorios de perforación (varilla).
- **Inclinación:** En los frentes que se realizan el avance en bóveda, se realizan 4 barrenos en cuña de 2,4 m con un ángulo de 45°. es un parámetro que se cumple medianamente, observándose ángulos de perforación generalmente mayores, que inciden directamente en el avance efectivo de la voladura. Su nivel de cumplimiento se debe principalmente a la dificultad de medir este aspecto en la práctica.
- **Esquemas de perforación:** Los esquemas se deben realizar de acuerdo a lo establecido en el Programa de Perforación y Voladura de la mina, para mayor rendimiento y ejecución del mismo.
- **Tiempos de retardo y secuencias de salida:** Dentro de los tiempos de retardo en la perforación y voladura de avance en bóveda (manto la churca) se deben verificar las salidas de la cuña y el cuele de los esquemas para asegurar la cara libre que permite el desplazamiento de las demás líneas de barrenos para los esquemas de perforación. Mientras que en la voladura en banca (manto lageo, chaqueta y piso), no se tiene tiempos de retardo.
- **Longitud de Retacado:** Dentro de la longitud de retacado que se debe manejar para el óptimo desarrollo de la quema se recomienda utilizar una tercera parte de la longitud de perforación del barreno. Se tiene de la siguiente manera. En Bóveda: para barrenos de 2,4 m de longitud, 0,8 m de retacado; para un barreno de 1,6 m se tiene 0,6m de retacado. En Banca: Para barrenos de 1,6 m de longitud, 0,4 m de retacado y para barrenos de 0,8 m de longitud, 0,2 m de retacado, según el Programa de perforación y Voladura. Sin embargo, en el seguimiento a la operación, se evidencia que gran parte de los frentes no realizan el retacado, y en los casos en que, si se realiza, este tiene longitudes en promedio de 0.2 m.

---

<sup>19</sup> EMILIO LOPEZ JIMENO, Influencia de las propiedades de las rocas y de los macizos rocosos en el diseño y resultado de las voladuras.

- **Burden (B):** Distancia más corta a la cara libre, en una malla de perforación, esta variable depende del diámetro de la perforación, de las propiedades de la roca, de los explosivos a utilizar, de la altura del banco y el grado de fragmentación y desplazamiento del material deseado, los valores de esta se encuentran entre 25 a 40D, dependiendo fundamentalmente del macizo rocoso. Valores menores o mayores con respecto al teórico previsto pueden darse en las siguientes situaciones:

- a. Error de posicionamiento o replanteo del barreno.
- b. Falta de paralelismo entre el barreno y la cara del banco.
- c. Desviaciones del barreno durante la perforación.
- d. Irregularidades en el frente del talud.

Si el burden es excesivo, los gases de explosión encuentran mucha resistencia para agrietar y desplazar la roca y parte de la energía se transforma en energía sísmica aumentando la intensidad de las vibraciones, este fenómeno se puede observar en las voladuras de precorte donde el confinamiento es total y se registran niveles de vibraciones hasta cinco veces superiores a los registrados en voladuras en banco, si por el contrario los valores son reducidos los gases se escapan y expanden a una velocidad muy alta hacia el frente libre, impulsando a los fragmentos de roca, proyectándolos de forma incontrolada y produciendo un aumento en la sobrepresión aérea y el ruido.

El Burden establecido por el programa de perforación y voladura de la Mina El Toro es de 1.52 m. Al presentar dificultades en algunos frentes para la implementación de la geometría de la malla de perforación, no se da cumplimiento a este parámetro de gran importancia dentro de la operación.

- **Espaciamiento (S):** Distancia más larga entre barrenos de una misma fila en una malla de perforación, así como en el cálculo del Burden, esta variable depende del retiro y se calcula en función al retiro, el tiempo de retardo de los barrenos y entre barrenos y de la secuencia de encendido. Espaciamientos pequeños producen entre las cargas un exceso de trituración y roturas superficiales en cráter, bloques de gran tamaño por delante de la fila de barrenos y problemas de repiés.

El espaciamiento establecido por el programa de perforación y voladura de la Mina El Toro es de 1.3 m.

- **Posicionamiento del equipo de perforación:** El avance están firmemente apoyado en la roca para evitar desplazamientos durante la perforación por que los movimientos en el mecanismo de avance ocasionan flexiones en el barreno que pueden ocasionar roturas. Debido a las superficies irregulares que se generan

posterior a la voladura, el posicionamiento del equipo de perforación generalmente durante la operación, obliga a la perforación de barrenos en superficies planas afectando en gran medida a la geometría de la malla de perforación.

### **6.3. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES QUE AFECTAN LA OPERACIÓN DE PERFORACION Y VOLADURA.<sup>20</sup>**

Para el desarrollo efectivo de la perforación y voladura es necesario distinguir aquellos factores y condiciones sobre los que es posible actuar de los que viene impuestos por condicionantes ajenos que no pueden ser modificados. Así es posible distinguir factores de diseño y factores dependientes del macizo rocoso en el que se está trabajando.

Siempre hay que tener en cuenta que, por definición, en macizo rocoso es un medio heterogéneo que debe ser considerado como tal, de modo que hay que asumir que siempre que se apliquen conceptos generales, o fórmulas más o menos desarrolladas de cálculo de voladuras, son derivadas de modelizaciones y generalizaciones más o menos simplificadas de un medio heterogéneo.

Así, se debe actuar siempre con cautela en la aplicación de las mismas, así como hacer todas las pruebas necesarias para comprobar que dichas modelizaciones teóricas, son aplicables al macizo rocoso que se está estudiando. Además, muchas de las citadas fórmulas de cálculo son derivadas de resultados empíricos, con lo que siempre existirá una cierta incertidumbre en los desarrollos.

En todo caso, los conceptos desarrollados son de aplicación generalizada en el área del diseño de voladuras, con lo que su validez está totalmente contrastada.

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.**

El objetivo de una voladura es buscar unos resultados en fragmentación y desplazamiento, además, de no afectar a elementos ajenos a la voladura.

Para lograr este objetivo, y evaluar el correcto rendimiento de una voladura se deben tener en cuenta tres factores fundamentales que son clave en un correcto diseño y control, que son:

---

<sup>20</sup> EMILIO LOPEZ JIMENO, Influencia de las propiedades de las rocas y de los macizos rocosos en el diseño y resultado de las voladuras.

- **Una correcta cantidad de energía.** Para lograr los resultados deseados hace falta la cantidad de explosivo adecuada en cada caso.

- **Una correcta distribución de energía.** El explosivo es un producto que implica la transformación de energía química en energía mecánica, de modo que una mala distribución nos puede dar lugar a una fragmentación no deseada o bien, a concentraciones de energía tales que afecten a elementos ajenos a la misma

**Un correcto confinamiento de energía.** Para que el explosivo trabaje correctamente es necesario que los gases generados estén confinados en el barreno, de modo que la pérdida de energía por este hecho sea mínima.

Así se obtienen tres conceptos que están íntimamente relacionados entre sí, de modo que la falta de uno de ellos, hace que el rendimiento obtenido no se corresponda con el deseado.

A diferencia de los factores anteriores, y como se ha descrito anteriormente, el macizo rocoso es un medio heterogéneo por definición. Así, existen parámetros que no se pueden controlar, pero que sí es imprescindible tener en cuenta para la obtención de un rendimiento óptimo de voladura. Entre estos factores se encuentran los siguientes:

- **Densidad de la roca:** Para el mineral de yeso de la Mina El Toro, su densidad oscila entre 2,3 a 2,4 g/cm<sup>3</sup>.

Las rocas densas requieren una mayor cantidad de energía para lograr una fragmentación satisfactoria, así como un buen desplazamiento y esponjamiento del escombro.

De su análisis se deduce que en rocas con una gran densidad, deberán tomarse las siguientes medidas.

- Aumentar el diámetro de perforación (La presión de barreno  $p_b = K \cdot \rho \cdot v^2$  y "v - velocidad de detonación" aumenta en algunos explosivos como el ANFO, con el diámetro del barreno.
- Reducir el esquema (a= Espaciamiento efectivo x Altura de banco) y modificar la secuencia de encendido.
- Controlar la efectividad del retacado con el fin de aumentar "t<sub>v</sub>" y hacer que los gases escapen por el frente libre y no por el retacado.
- Utilizar explosivos con una alta energía de burbuja.

Cuando la proyección y el esponjamiento son de vital importancia (como es el caso de los minerales fisurados o friables de alta densidad) es más ortodoxo expresar los consumos energéticos en Kg/ton que en unidades de Kg/m<sup>3</sup>.

• **Resistencia o dureza de la roca:** La resistencia a la compresión simple uniaxial de la roca es de 605.683 kg/cm<sup>2</sup> (8614.783 psi).

Desafortunadamente, los parámetros dinámicos de la roca determinados en laboratorio no son representativos por la heterogeneidad y anisotropía de los macizos rocosos y por la imposibilidad de reproducir los ensayos en condiciones similares a los periodos de carga de una voladura, que son inferiores a 0,1 ms. En ocasiones, los valores de laboratorio han superado los obtenidos "in situ" en proporciones de 5 a 8, siendo las macro fisuras y las tensiones residuales de la roca las responsables de tales discrepancias.

Cuando la intensidad de la onda de choque supera a la resistencia dinámica a la compresión ( $R'c$ ), se produce una trituración de la roca circundante a las paredes del barreno por colapso de la estructura intercrystalina. Pero esta trituración contribuye muy poco a la fragmentación (<1%, Hagan 1978) y provoca una fuerte disminución de la energía de tensión, llegando en rocas porosas a suponer el 30% (Cook, 1958).

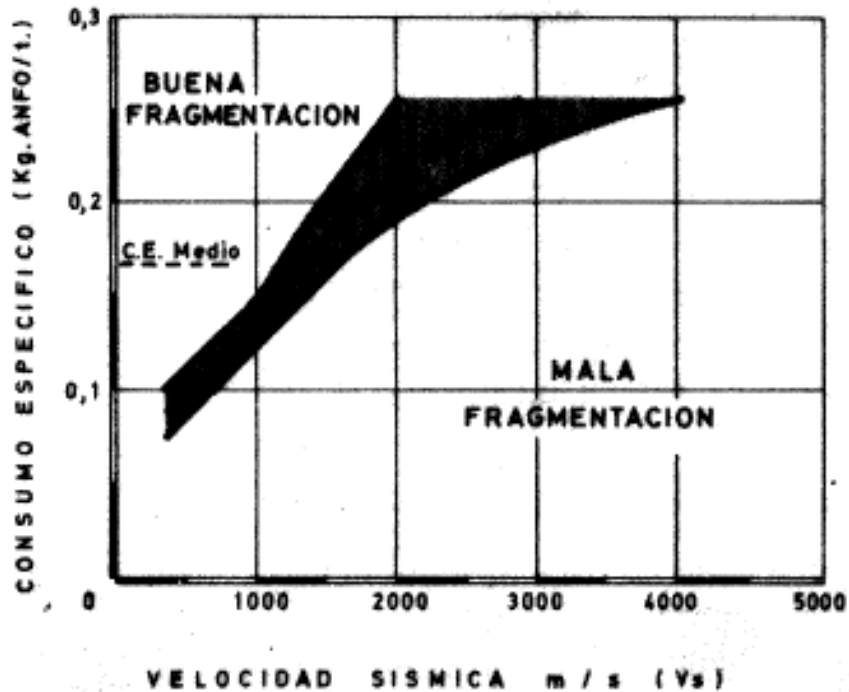
Por ello se recomienda:

- Seleccionar explosivos que desarrollen en las paredes del barreno tensiones inferiores o iguales a  $R'c$ .
- Para un explosivo dado, provocar una variación de la curva presión-tiempo (P-t), por desacoplamiento de la carga dentro del barreno.

Estos puntos tienen su máxima expresión en el diseño de voladuras perimetrales o de contorno.

• **Velocidad sísmica del macizo rocoso:** algunas de las aplicaciones más directas al campo de las voladuras son las desarrolladas por Broadbent (1974), Heinen y Dimock (1976), en las que se relacionan con éxito los resultados de las voladuras con las velocidades sísmicas de propagación, en otras palabras, el consumo específico de explosivo o más concretamente el factor de energía y la velocidad sísmica.

**Figura 43:** Correlación entre velocidad sísmica y consumo específico.



**Fuente:** Manual de perforación y voladura – López Jimeno.

Como puede observarse, conforme aumenta la velocidad sísmica se requiere una mayor cantidad de energía para una fragmentación satisfactoria. Es ampliamente conocido el criterio de acoplamiento de impedancias ( $\text{Velocidad de propagación de la roca} \times \text{densidad de la roca} = \text{Velocidad de detonación} \times \text{densidad del explosivo}$ ) en el intento de maximizar la transferencia de energía del explosivo a la roca.

Este método ha tenido gran éxito en una explotación americana de cobre donde se han llegado a reducir los costes de perforación y voladura hasta un 17%.



## **7.PROPUESTA DE MEJORA PARA LA OPERACIÓN DE PERFORACION Y VOLADURA EN LA MINA EL TORO.**

Una vez evaluado el proceso de perforación y voladura implementado operacionalmente en la Mina El Toro y comparada con lo establecido por la empresa en el programa de perforación y voladura, surge la necesidad de proponer el replanteo del diseño de la malla de perforación, especialmente para las perforaciones realizadas en banca. Lo anterior teniendo en cuenta que se han venido presentando sobre tamaños en el material explotado los cuales pueden incidir en la irregularidad de los pisos de los mantos inferiores, dificultando actualmente la implementación de una malla de perforación definida.

Teniendo en cuenta la importancia en de los parámetros de diseño de la malla de perforación Burden (B) y Espaciado (S), se determinó la necesidad de replantear estos parámetros, indagando distintos autores, que relacionen las propiedades de la roca explotada en la mina y las características del explosivo implementado en la misma.

La Piedra o Burden como se ha indicado, es la variable geométrica más criticada en el diseño de la voladura. Para su determinación, desde hace varias épocas se han llevado a cabo numerosas investigaciones y se han desarrollado diferentes metodologías de cálculo.

Las expresiones más complejas requieren el conocimiento de un gran número de datos que en la mayoría de los casos no se conocen con exactitud, pues las características de los lugares donde se realizan las voladuras cambian con mucha frecuencia y no es rentable un estudio global detallado.

Teniendo en cuenta lo anterior, se analizaron las formulas consignadas en el Manual de Perforación y Voladura de Rocas del Instituto Geológico y Minero de España, Capitulo 20. Voladuras en Banco, concluyendo que la mejor expresión en el que se relacionan parámetros conocidos en la operación de perforación y voladura tales como el diámetro del explosivo y la densidad de la roca, corresponde a la propuesta por Konya en 1976, la cual se describe a continuación.

## Replanteo de la malla de perforación (Banca).<sup>21</sup>

$$B = 3,15 \times D \times \left[ \frac{\rho_e}{\rho_r} \right]^{0,33}$$

donde:

- B = Piedra (pies).
- D = Diámetro de la carga (pulgadas).
- $\rho_e$  = Densidad del explosivo.
- $\rho_r$  = Densidad de la roca.

A continuación, se presentan los parámetros específicos de la operación de perforación y voladura en la Mina El Toro.

$$D = 3.8 \text{ cm} = 0.038 \text{ m} = 1.496063 \text{ pulg.}$$

$$\rho_e = 0.9 \text{ g/cm}^3$$

**Tabla 30:** Características técnicas del Anfo.

DENSIDAD	RESISTENCIA A LA HUMEDAD	VELOCIDAD DE DETONACION
0,85+-0,05 g/cm <sup>3</sup>	Ninguna	3.000 +- 300 m/s

**Fuente:** Catálogo de productos INDUMIL.

$\rho_r$  = Densidad del yeso (2.4 ton/m<sup>3</sup>)

$$B = 3.15 \times 1.496063 \times \left[ \frac{0.9 \frac{g}{cm^3}}{2.4 \frac{g}{cm^3}} \right]^{0.33}$$

$$B = 3.15 \times 1.496063 \times 0.7235$$

$$B = 3.41 \text{ Pies} = 1.04 \text{ metros.}$$

El espaciamiento se determina a partir de las siguientes expresiones.

H=Altura de Banco = Longitud de perforación = 1.6 m.

$$4B = 4 \times (1.04) = 4.16$$

$$1.6 \text{ m} < 4.16 \text{ m}$$

<sup>21</sup>

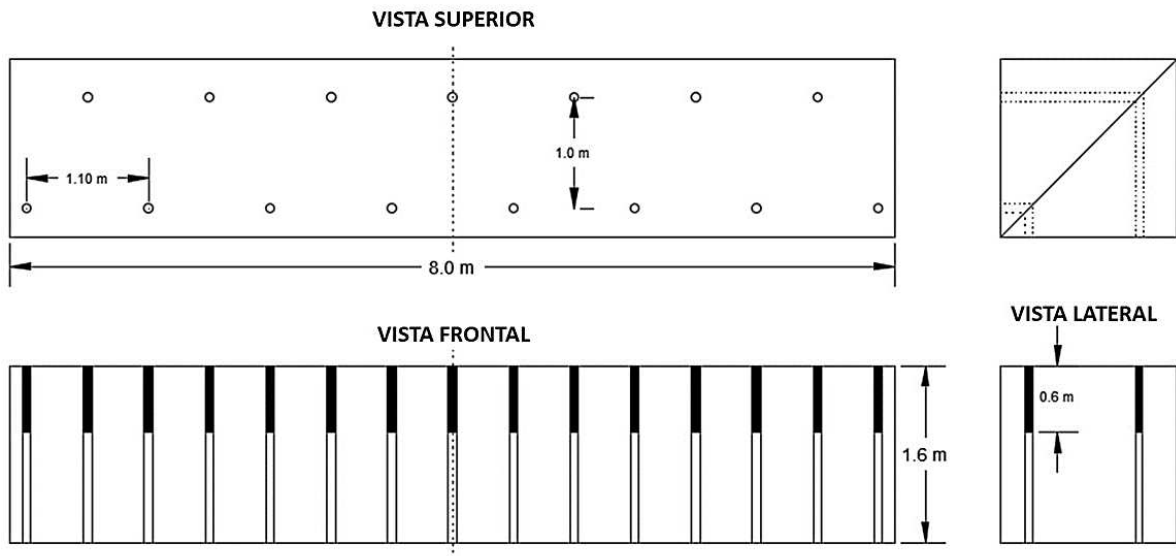
KONYA, Manual de voladura.

$$S = \frac{1.6 + (7 \times 1.04)}{8}$$

$$S = \frac{8.88}{8} = 1.10 \text{ m}$$

a continuación, se presenta el diseño de la malla de perforación, de acuerdo al dimensionamiento de las cámaras de explotación.

**Figura 44:** Malla de perforación propuesta para voladura en banca.



**Fuente:** Autor del proyecto.

**Tabla 31:** Calculos de diseño de malla de perforacion y consumo de explosivos.

DISEÑO BARRENOS DE PRODUCCION EN AVANCE		PRODUCCION	
DIAMETRO DEL BARRENO	38.0 mm	PRODUCCION POR BARRENO	4.3 tn/hole
ESPACIAMIENTO	1.10 mt	PRODUCCION VOLADURA	56 ton
BURDEN	1.0 mt	FACTOR	
SOBREPERFORACION	0.0 mt	FACTOR DE CARGA	216 gr/ton
PROFUNDIDAD DEL BARRENO	1.6 mt	FACTOR DE ENERGIA	203.1 Kcal/ton
RETACADO	0.6 mt	PESO DE CARGA POR RETARDO	7.42 kg
BARRENOS TOTALES	15	ACCESORIOS DE VOLADURA	
FILAS	2	Detonador común N°8	2 un 0 msg
BARRENOS POR FILA	8	Mecha de Seguridad	10 un 120 sg/mt
BARRENOS POR RETARDO	8	Cordón Detonante de 3 gramos	48 un 0 msg
DENSIDAD	2.6 tn/m3	Retardos entre filas	1 un 25 msg

Carga por Barreno	mt	Explosivo	Factor lineal	Carga por barreno	Carga voladura
Column charge (indugel)	0	Indugel	1.4 kg/m	0 kg 0.0 caja	0 kg 0.0 caja
Column charge (anfo)	0.90	Anfo	1.0 kg/m	0.93 kg 0.0371 sacco	13.91 kg 0.6 sacco
Botton charge		Pentofex	0.0 un	0.0 un 0 caja	0 un 0.0 caja
Total charge long	0.90			0.93 kg	13.91 kg

**Fuente:** Autor del Proyecto.

### **Verificar el cumplimiento del retacado en cada frente de explotación.**

Como bien se mencionó anteriormente, durante las inspecciones a los frentes de trabajo, se evidenció que algunos en algunos procesos de perforación y voladura, no se está implementando el retacado, por el contrario, se deja una proporción de la longitud de perforación vacía, impidiendo de este modo el confinamiento de la carga explosiva (ANFO) al interior del barreno, aspecto que posiblemente afecta la efectividad de la voladura. Se debe hacer un seguimiento riguroso, en el cumplimiento de este aspecto tan importante dentro de la operación.

Por lo general se emplea el material de detritus de perforación ya que está disponible junto al barreno, el tamaño del material de retacado debe estar entre  $1/17\varnothing b$  y  $1/25\varnothing b$ .

Respecto a la longitud del retacado óptima se considera entre  $20\varnothing b$  y  $60\varnothing b$ , aumentando está conforme disminuye la competencia y calidad de la roca, se recomienda contar con una longitud de retacado superior a  $25\varnothing b$ , para evitar problemas de onda aérea, proyecciones, cortes y sobre excavaciones.

En la propuesta de malla de perforación para voladuras en banca, se determinó una longitud de retacado de 0.6 m.

- Como material de retacado se empleará detritus de perforación, arcilla, etc., siempre que posea la granulometría adecuada, asegurando que no hay tamaños gruesos que actúen como posibles proyecciones.
- Está demostrado que para el retacado de barrenos es más efectivo el uso de gravilla de tamaño granulométrico de 6-20 mm, ó 12-20 mm.
- Los atacadores serán de madera o cualquier otro material antiestático, sin aristas vivas, que pudieran dañar la conexión con el detonador (cable eléctrico o tubo de transmisión)

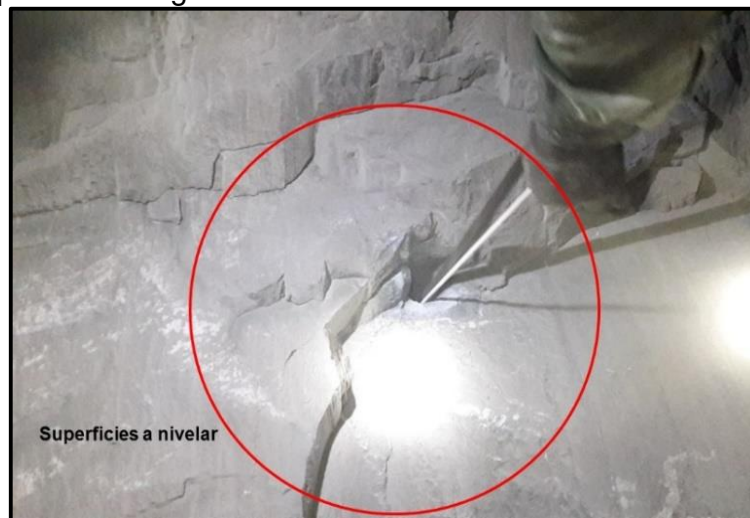
### **Nivelación de la superficie de banca posterior a la tronadura.**

Durante la evaluación realizada al proceso de perforación y voladura en la Mina El Toro, fue posible conocer por parte de los mineros (perforadores), los motivos por los cuales no se implementa en gran parte de los frentes la malla de perforación de acuerdo a lo establecido en el programa de perforación y voladura, coincidiendo gran parte de ellos en que debido a las superficies irregulares que presentan la banca posterior a la voladura inmediatamente anterior, en donde se presentan repies que dificultan el posicionamiento del martillo picador en los puntos donde específicamente estarían ubicados algunos barrenos.

De acuerdo a lo anterior, se plantea a la dirección operativa de la Mina El Toro, en estos casos, se lleve a cabo un proceso de nivelación de estas superficies con el objetivo de conformar una banca lo más horizontal o uniformemente posible, esta nivelación se puede realizar por medio de herramientas manuales como picas, cincel, barras y palas.

De acuerdo a lo evidenciado durante la evaluación en campo en cada frente de explotación, este proceso no involucra una pérdida excesiva de tiempo y podría beneficiar el cumplimiento de los parámetros de diseño de la malla de perforación.

**Figura 45:** Superficies irregulares en voladuras de banca.



**Fuente:** Autor del Proyecto – visitas de campo.

### **Garantizar la clasificación de material en el frente de explotación antes del cargue.**

Resulta importante llevar a cabo la separación del mineral de yeso y de las capas de estéril posterior a la tronadura, con el fin de que el material llegue directamente al patio de acopio clasificado, con bajo contenido de impurezas que pueden incidir directamente en el muestreo de  $\%SO_3$  que realiza la empresa CEMEX COLOMBIA. En el frente de explotación se ha dificultado un poco esta selección debido a las condiciones de iluminación de la mina, sin embargo, teniendo en cuenta que el material que allí se arranca tiene tamaños relativamente grandes ( $>15$  cm), y sumando la experiencia del personal encargado de cada frente, facilita la clasificación del material antes de que sea transportado al patio de acopio. En el patio de acopio se acumula en pilas de gran tamaño y por ende resulta más complicada su separación, material que posteriormente es triturado y despachado al comprador.

## CONCLUSIONES.

Teniendo en cuenta el Programa de Perforación y voladura establecido en la Mina El toro, propiedad de la empresa SERRANO HERMANOS LTDA., se pudo evidenciar que el proceso de estas operaciones de minado, se llevan a cabo de una manera experimental en cada frente de operación, principalmente por que no se realiza acompañamiento ni seguimiento a los trabajadores.

Se realizó la revisión de la malla de perforación estipulada en el programa de perforación y voladura, la cual cuenta con sus respectivos cálculos de rendimientos. Sin embargo, en la práctica no se da cumplimiento al número de barrenos perforados, así como tampoco a la longitud establecida, por lo que se considera importante realizar capacitaciones al personal encargado de estas operaciones en lo referente a la importancia del cumplimiento en lo dispuesto en el programa de perforación y voladura.

El nivel de cumplimiento operacional de la malla de perforación es bajo, ya que en aspectos como, marcación y geometría de la malla, longitud de barrenos, Angulo de desviación para el cuele en cuña y retacado, no se cumplen a cabalidad en la gran mayoría de los frentes de explotación, dando como resultado sobre tamaños, superficies irregulares y desperdicio del consumo específico de explosivo en referencia con lo establecido por la empresa SERRANO HERMANOS LTDA.

Con el fin de hacer un seguimiento a los consumos de explosivos y accesorios de voladura utilizados en la producción de yeso de la mina El Toro, se diseñó una base de datos en la cual se evidencia los consumos de ANFO, mecha de seguridad y detonadores por cada grupo de trabajo, en función de la producción obtenida y los metros perforados. Estos datos se consignan en el subcapítulo **CONSUMO DE EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS DE VOLADURA EN LA OPERACION**. Se evidencia que los valores reales de la operación se encuentran en casi todos los escenarios muy por debajo de los valores teóricos, así mismo, el grupo de trabajo 3 (CELSO) presenta mejor desempeño en cuanto a los metros perforados.

De acuerdo a la evaluación y análisis del Programa de Perforación y Voladura y lo evidenciado en los frentes de explotación durante el seguimiento a la operación, se propuso una nueva malla de perforación y voladura y otras recomendaciones de inspección, limpieza y selección de los frentes, que nos ayudarán a tener mejores resultados en cuanto a la granulometría obtenida por la tronadura y la calidad de material exigida por CEMEX COLOMBIA, las cuales se presentan a continuación.

## RECOMENDACIONES.

Teniendo en cuenta las actividades de beneficio del material explotado que se realizan en el acopio Las Delicias por parte de la empresa Serrano Hermanos LTDA., y considerando un aspecto de vital importancia en las condiciones de mercado como lo es la calidad del yeso ( $\%SO_3$ ), parámetro frecuentemente analizado en laboratorio por parte de la empresa CEMEX COLOMBIA, de la cual se establecen unas condiciones de compra y bonificaciones de acuerdo a lo requerido por la industria cementera. Por lo anterior, a continuación, se presentan algunas recomendaciones a implementar en el acopio y trituración del mineral de yeso.

**Principalmente llevar a cabo la separación y selección de cada uno de los tipos de yeso (Churca, Lageo, Chaqueta y Piso o La Dura) en las pilas del Patio de acopio.**

Ya que se evidencia que el descargue de los viajes provenientes de la mina, se acopian algunas veces en una sola rampa y no se tiene presente la identificación de uno a uno de los viajes de que mantos provienen.

**Laboratorio en el patio de acopio de la empresa SERRANO HERMANOS LTDA.**

Contemplar la posibilidad de construir un Laboratorio en pequeña escala que ayude a registrar los resultados de las calidades del material que se despacha hacia el siguiente patio, para así tener un manejo de las concentraciones de  $SO_3$ , que se entrega al comprador, ya que de acuerdo a este contenido se castiga o se bonifica las toneladas de material vendido.

Teniendo la facilidad de muestrear y analizar las distintas pilas de los mantos explotados en la mina y que son transportados al patio de acopio Las Delicias, se presentan las siguientes ecuaciones, para definir la calidad de mineral de yeso que debe enviarse a la planta de CEMEX, según las cantidades y composiciones de cada una de las capas.

$$D = A+B+C$$

Siendo:

A = Toneladas de yeso de manto La Churca.

B = Toneladas de yeso de manto La Encaquetada o Chaqueta.

C = Toneladas de yeso de manto Lageo.

$$E = x(A+B+C)$$

Siendo:

x = % de SO<sub>3</sub> del manto La Churca.

y = % de SO<sub>3</sub> del manto La Encaquetada o Chaqueta.

z = % de SO<sub>3</sub> del manto Lageo.

E/D = 0.37 siendo este el máximo valor que se requiere en la mezcla de capas según oferta mercantil.

Tomando como consideración, los resultados de laboratorio de CEMEX, en donde se analizan los %SO<sub>3</sub> de cada uno de los mantos Lageo, Churca y Chaqueta, se propone a continuación un plan de producción y beneficio, que cumpla con lo requerido por CEMEX para el proceso de fabricación de cemento, teniendo en cuenta los castigos y abonos que esta empresa ofrece en términos de calidad.

**Tabla 32.** Calidades de los mantos de yeso muestreados en patio y en mina respectivamente.

LABORATORIO	% de SO <sub>3</sub>				
	MPCHU1	MPLA1	MPCHA1		
Bucaramanga	39,61	41,96	35,13		
	% de SO <sub>3</sub>				
	MMCHU1	MMCA1	MMLA1	MMCA2	MMCHA1
	38,89	1,8	45,76	1,5	39,21

**Fuente:** Autor del proyecto.

Para una producción promedio de 10000 Ton.

Se propone una relación de producción para mezcla de 25% Manto Lageo y 75% Mezcla de Mantos Churca y Enchaquetada. De este modo, se efectuaría una mezcla general de 2500 Ton de manto Lageo con un %SO<sub>3</sub> de 41% (partiendo como referencia del menor dato reportado para patio en el cuadro anterior) y 7500 Ton de yeso proveniente de los mantos La Churca y Chaqueta con un %SO<sub>3</sub> de 34% (Su calidad es posible que disminuya de acuerdo a la referencia del cuadro, teniendo en cuenta las intercalaciones que tienen estos dos mantos, 70 cm y 25 cm respectivamente). De este modo, se garantiza un %SO<sub>3</sub> del 36%, lo cual beneficiaría a la empresa Serrano Hermanos LTDA, al recibir bonificación por tonelada suministrada a la empresa CEMEX en estas condiciones de calidad.



### **Selección y retiro de material estéril de las pilas para trituración.**

Contratar más personal en el área de calidad, el cual cumple la función de seleccionar el material estéril del yeso que algunas veces se presentan en los viajes, producto de la mala limpieza y cargue en los frentes de explotación de la mina El Toro. No obstante, si se toma en cuenta la cuarta recomendación en mina **“Garantizar la clasificación de material en el frente de explotación antes del cargue”**, este paso se facilitaría considerablemente.

### **Otras recomendaciones generales**

- Dotar al personal del patio de todos los elementos de protección personal requeridos para los trabajos que allí se realizan (trituración, selección de material, operación de maquinaria pesada, entre otras).
- Continuar con las charlas diarias y capacitaciones integrales de Seguridad de acuerdo al Cronograma de SG-SST.
- Realizar Procedimiento de trabajo seguro a los trabajadores para la operación de trituración en el Patio.
- Implementar balanza electrónica en el campamento de la mina para la medición y empaquetado de ANFO, teniendo en cuenta que actualmente se cuenta con una Balanza Colgante Mecánica la cual no arroja valores exactos dándose un consumo de explosivo mayor al establecido por voladura.
- Difundir y capacitar continuamente al personal involucrado en el proceso de perforación y voladura, socializando el Protocolo de Prevoladura de la empresa Serrano Hermanos LTDA.
- Realizar Procedimiento de trabajo seguro a los trabajadores para la operación de perforación y voladura que se desarrolla en la Mina El Toro.

## BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA, en la caracterización de la actividad minera Departamental - Departamento de Santander, actualización, (19, Enero, 2017).

ANDRES CONTENTO, Informe de yeso Áreas de Oportunidad, CEMEX, (2014).

EMILIO LOPEZ JIMENO, Influencia de las propiedades de las rocas y de los macizos rocosos en el diseño y resultado de las voladuras.

INGEMINERA LTDA, ESTUPIÑAN CANCINO INGENIERIA., Estudio de Impacto Ambiental para la explotación de Yeso contrato de concesión FJ4-101, (2014).  
EMPRESA SERRANO HERMANOS LTDA., Programa de Perforación y Voladura, (2016).

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA, Manual de perforación y voladura de rocas.

ING. JOSÉ L. CONTRERAS, Variables Controlables De La Voladura Explosivos De Uso Minero Mecanismos De Rotura De La Roca, UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA.

Instituto Colombiano De Nomas Técnicas. Normas colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Santafé de Bogotá DC. ICONTEC NTC 1486, (2012).

Información suministrada por el Jefe de Minas, empresa SERRANO HERMANOS LTDA, (2017-2018).

JOSÉ BERNAOLA ALONSO, JORGE CASTILLA GÓMEZ, JUAN HERRERA HERBERT, Perforación y voladura de rocas en minería, Madrid, (2013).  
KONYA, Manual de voladura.


SERRANO HERMANOS LTDA, Actualización Plan De Manejo Ambiental Contrato De Concesión N° 2491, (2012).

SERRANO HERMANOS LTDA, Actualización del Plan de Sostenimiento Mina El Toro, (2017).

KONYA, Manual de voladura.

WALTER PARDAVE LIVIA, beneficio de minerales de yeso provenientes de la mina La Nacuma “municipio de los Santos”, UIS, (2007).

ANEXO A  
EQUIPOS Y ACCESORIOS DE VOLADURA

EQUIPO Y/O ACCESORIO	CARACTERISTICAS
<p style="text-align: center;"><b>VARILLAS</b></p>  <p style="text-align: center;">)) INTEGRAL CON CULATA</p>	<p>Las barrenas integrales están ordenadas en series, donde el diámetro del inserto disminuye conforme aumenta la longitud de las mismas. Los principales tipos son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Barrenas de tipo cincel: Son las más usadas y se caracterizan por su fácil afilado y bajo coste.</li> <li>- Barrenas de insertos múltiples: Se usan en la perforación mecanizada de rocas blandas y fisuradas.</li> <li>- Barrenas de botones: Se emplean en rocas poco abrasivas de fácil penetración, como por ejemplo el carbón.</li> <li>- Barrenas para trabajos en Mármol: Disponen de cuatro insertos y canales especiales para evacuar los detritus.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>BROCAS</b></p> 	<p>Estas bocas disponen de unos botones o insertos cilíndricos de carburo de tungsteno distribuidos sobre la superficie de la misma. Se fabrican en diámetros que van desde los 50 mm hasta los 251 mm.</p> <p>Las bocas de botones se adaptan mejor a la perforación con rotación, obteniéndose velocidades de avance superiores que con bocas de pastillas. También presentan una mayor resistencia al desgaste, debido no solo a la forma de los botones sino incluso a la sujeción más efectiva del acero, por contracción o presión en frío, sobre todo el contorno de los insertos.</p>

**MARTILLO PERFORADOR  
NEUMÁTICO Y19A**



**Peso 19kgs**  
**Dimensión total 600x534x157mm**  
**Cilindro de diámetro 65mm**  
**Carrera 54 mm**  
**Presión de funcionamiento 0,4 ~ 0,5Mpa**  
**Frecuencia de impacto  $\geq 28 \sim 35\text{Hz}$**   
**Consumo de aire 1.5M3**  
**Energía de impacto  $\geq 28 - 40\text{J}$**   
**Manguera de aire de diámetro interior 19 mm**  
**El agua de la manguera de diámetro interior 13 mm**  
**Max. La profundidad de la perforación 5M**  
**La rotación de la perforación  $\geq 180 \sim 200\text{rpm}$**   
**Perforación Tamaño de Rod H22 x 108mm**  
**Aire Tipo Pata FT100**  
**Carrera 810 mm**  
**Cilindro de diámetro 52mm**  
**Peso 11kgs**

**COMPRESORES KAISER y ATLAS  
COPCO**



**KAISER**

**ESPECIFICACIONES**

Flujo volumétrico (CAUDAL)	375 cfm
Presión de trabajo	100 psi
Marca motor	kubota
Modelo motor	V3800
Potencia nominal motor	36 kw
Revoluciones plena de carga	2600 rpm
Deposito combustible	151.4 ltr
Peso en servicios	1478.72 kgs
Nivel de potencia acústica	< 76 dB(A)