

**OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE RELLENO RDC PARA EL METODO DE  
EXPLOTACION CAMARAS Y PILARES CORTE Y RELLENO (DRIFT AND FILL)  
ASCENDENTE EN LA MINA EL ROBLE UBICADA EN EL MUNICIPIO EL CARMEN DE  
ATRATO DEL DEPARTAMENTO DE CHOCO, COLOMBIA**

**DIEGO FERNANDO RIVERA RIVERA**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MINAS  
SECCIONAL SOGAMOSO  
2017**

**OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE RELLENO RDC PARA EL METODO DE  
EXPLOTACION CAMARAS Y PILARES CORTE Y RELLENO (DRIFT AND FILL)  
ASCENDENTE EN LA MINA EL ROBLE UBICADA EN EL MUNICIPIO EL CARMEN DE  
ATRATO DEL DEPARTAMENTO DE CHOCO, COLOMBIA**

**DIEGO FERNANDO RIVERA RIVERA  
Cód. 201021602**

**Propuesta modalidad práctica con enfoque empresarial presentada como requisito  
para optar al título:  
INGENIERO DE MINAS**

**DIRECTOR(A)  
RUTH LILIANA CHAVEZ  
Ingeniera de Minas**

**COORDINADOR:  
DAVID MOLINA  
Ingeniero civil-Geotecnista  
Jefe de servicios auxiliares mina el Roble**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MINAS  
SECCIONAL SOGAMOSO  
2017**

Nota de Aceptación

---

---

---

---



Firma del presidente el Jurado

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'J. P. ...', is written over a horizontal line.

Firma del Director de Proyecto de grado

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'David Palencia', is written over a horizontal line.

Firma de jurado 1

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'David Palencia', is written over a horizontal line.

Firma de jurado 2

## TABLA DE CONTENIDO

	Pag
RESUMEN.....	11
INTRODUCCION.....	12
OBJETIVOS.....	13
OBJETIVO GENERAL	
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	
<b>1. GENERALIDADES</b>	
1.1 LOCALIZACION Y RASGOS FISIOGRAFICOS.....	14
1.2 HIDROLOGIA Y CLIMATOLOGIA.....	15
1.3 DESCRIPCION DE LA EMPRESA.....	16
1.4 TITULO MINERO .....	17
1.5 LICENCIA AMBIENTAL.....	18
<b>2. GEOLOGIA GENERAL</b>	
2.1 GEOLOGIA REGIONAL.....	19
2.2 GEOLOGIA LOCAL.....	20
2.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	21
<b>3. METODO DE EXPLOTACION MINA EL ROBLE</b>	
3.1 CAMARAS Y PILARES CORTE Y RELLENO (DRILL AND FILL) ASCENDENTE.....	23
3.2 CICLO DE MINADO.....	34
<b>4. SISTEMA DE RELLENO DETRITICO CEMENTADO RDC</b>	
4.1 MATERIALES.....	36
4.1.1 Arenas.....	36
4.1.2 Gravas de ¾.....	37
4.1.3 Aditivos.....	37
4.1.4 Cemento.....	38
4.2 PREPARACIÓN DE LA MEZCLA.....	39
4.3 DOSIFICACIÓN.....	40
4.4 EQUIPOS.....	41
4.4.1 Bomba schwing SP 2000.....	41
4.4.2 Camión mixer.....	42
4.4.3 Telehandler Manitou MT-X 1440 SL.....	43
4.4.4 Perforadora manual Jack-leg.....	44
4.5 PLANTA DE CONCRETO.....	45
4.5.1 Tolva dosificadora.....	45
4.5.2 Tolva de almacenamiento de gravas y finos.....	46
4.5.3 Silos de almacenamiento de cemento a granel.....	46
4.5.4 Bomba para el aditivo.....	47
4.6 SERVICIOS AUXILIARES.....	49
4.6.1 Accesorios.....	49

4.6.1.1 Tuberías.....	49
4.6.1.2 Abrazaderas.....	50
4.6.1.3 Vigas aceradas HEA de 12 m.....	51
4.6.1.4 Tablones 2x2.40 m de 8" de madera Roble.....	52
4.6.1.5 Geotextil.....	52
4.6.2 Instalación de las tuberías.....	53
4.6.3 Limpieza de tuberías.....	54
4.6.4 Vida útil.....	54
4.7 TRANSPORTE DE LA MEZCLA DETRÍTICA CEMENTADA.....	54
4.7.1 De planta a la bomba SCHWING.....	54
4.7.2 De la bomba SCHWING a la labor a rellenar.....	54
<b>5. UNIFILAR RED PRINCIPAL DEL SISTEMA DE RDC .....</b>	<b>56</b>
<b>6. PREPARACIÓN DE LOS TAJOS (TAPÓN) .....</b>	<b>57</b>
<b>7. EVALUACION DEL SISTEMA DE RELLENO RDC LA MINA EL ROBLE .....</b>	<b>60</b>
7.1 VENTAJAS	
7.2 DESVENTAJAS	
<b>8. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMA .....</b>	<b>61</b>
<b>9. APORTE DEL ESTUDIANTE EN LA OPTIMIZACION DEL RDC EN LA MINA EL ROBLE.....</b>	<b>64</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>70</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXOS</b>	

## LISTA DE IMÁGENES

- Imagen 1. Localización y vía de acceso a Carmen de Atrato y mina el Roble
- Imagen 2. Vías de acceso mina el Roble
- Imagen 3. Localización de la empresa Ático mining corporation y sede en Colombia
- Imagen 4. Información general del título minero.
- Imagen 5. Información geográfica título minero y polígono
- Imagen 6. Mapa geológico del sector noroccidental del territorio colombiano
- Imagen 7. Columna estratigráfica
- Imagen 8. Cuerpos mineralizados del yacimiento del Roble
- Imagen 9. Diseño de los tajos del cuerpo
- Imagen 10 .puntos operativos
- Imagen 11 .Paneleo y Relleno
- Imagen 12.labor de desarrollo rampa de acceso
- Imagen 13. Labor de desarrollo, ventana.
- Imagen 14. Labor de preparación, galería.
- Imagen 15 Secuencia de las labores de preparación y explotación en el método de explotación primer nivel o piso
- Imagen 16. Vista de perfil de los 6 pisos y secuencias de relleno RDC
- Imagen 17. Secuencia para la explotación de los pilares secundarios
- Imagen 18. Vista de perfil de los piso 1 y secuencias de relleno RDC de los pilares secundarios
- Imagen 19. Secuencia para la explotación de los pilares secundarios de nivel o piso 2 en adelante
- Imagen 20. Vista de perfil de los siguientes pisos y secuencias de relleno RDC de los pilares secundarios y relleno de detritos RD (desmonte o estéril)
- Imagen 21. Vista del relleno de los tajos primarios y tajos primarios y secundarios con RDC y RD
- Imagen 22. Galón SIKATARD-930
- Imagen 23. Barril SIKA® STABILIZER
- Imagen 23. Bomba SCHWING SP 2000
- Imagen 24. Telehandler Manitou MT-X 1440 SLT
- Imagen 25. JACK LEG
- Imagen 26. Tubería HD de 5"
- Imagen 27. Codos de 45° y 90
- Imagen 28. Abrazadera cola de ratón
- Imagen 29. Viga HEA 140
- Imagen 30. Chimeneas de ventilación y servicios auxiliares
- Imagen 31. Esfera de limpieza (Diablo)
- Imagen 32. Tabulación tipo barras de identificación de problemas
- Imagen 33. Giro de 90° de las tuberías
- Imagen 34. Reducción de costos segundo aporte
- Imagen 35. Reducción de costos tercer aporte
- Imagen 36. Tubería corrugada.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de minado

Figura 2 .flujo grama preparación RDC

Figura 3. Partes de un dosificador

Figura 5. Tuberías, codos y abrazaderas

Figura 6. Recorrido del RDC de planta a la bomba SCHIWING

Figura 7. Unifilar red principal del sistema de RDC

Figura 9. Identificación de problemas

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1. Camión mixer

Fotografía 2. Telehandler Manitou

Fotografía 3. Cargador frontal L120E

Fotografía 4. Planta de concreto Minera el Roble S.A

Fotografía 5. Tolva de almacenamiento de gravas y finos (arenas)

Fotografía 6. Bomba para los aditivos

Fotografía 7. Cámara o tajo finalizado en extracción.

Fotografía 8. Perforación de barrenos para los cacho de toros

Fotografía 9. Instalación de cacho de toro

Fotografía 10. Tapón finalizado

Fotografía 11. Instalación de tubería secundaria

Fotografía 12. Cilindros de concreto para ensayos de laboratorio

Fotografía 13. Muestras y pruebas a compresión simple

Fotografía 14. Primer giro de 180° línea secundaria

Fotografía 15. Marcas para identificar el posicionamiento de la tubería línea secundaria



## LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Coordenadas del polígono del título minero
- Tabla 2. Secuencia de minado primer nivel o piso
- Tabla 3. Granulometría utilizada
- Tabla 4. Resistencia mínima a la compresión simple (Mpa) del cemento Concretero Argos
- Tabla 5. Asentamiento requerido
- Tabla 6. Cantidades de materiales para una mezcla de 1 m<sup>3</sup> de RDC
- Tabla 7. Datos técnicos bomba schwing sp 2000
- Tabla 8. Especificaciones técnicas de la maquina Jack-leg
- Tabla 9. Especificaciones DN de las tuberías
- Tabla 10. Dimensiones de la viga HEA 140
- Tabla 11. Formulas ensayos de laboratorio
- Tabla 12. Comparativo nueva fórmula por m<sup>3</sup>
- Tabla 13. Comparativo nueva fórmula por 8 m<sup>3</sup> (capacidad de un mixer)
- Tabla 14. Comparativo nueva fórmula por 300 m<sup>3</sup> (promedio de una cámara o tajo a rellenar)
- Tabla 15. Vida útil de tuberías horizontales
- Tabla 16. Vida útil de unión de 45°
- Tabla 17. Reducción de costos primer aporte
- Tabla 18. Vida útil de unión de 90°
- Tabla 19. Reducción Taponamiento de accesorios
- Tabla 20. Resultados de optimización

## **GLOSARIO**

### **(Palabras utilizadas en la mina el Roble)**

**Asentamiento:** El asentamiento es la medida que da la facilidad de trabajo o consistencia del concreto. En otras palabras, mide la facilidad del concreto para empujar, moldear y alisar. En consecuencia, la calificación de asentamiento indica qué aplicación de concreto es buena para la construcción. Cuanto mayor sea el asentamiento, lo más viable es el concreto. Si el asentamiento del concreto es demasiado bajo, no se formará con mucha facilidad. Si es demasiado alto, se corre el riesgo de tener la grava, arena y cemento asentados fuera de la mezcla, por lo que es inutilizable.

**Cacho de toro:** Estructura hechiza hecha de barras de hierro con el fin de ser insertadas en barrenos, y utilizada como soporte de vigas tipo H.

**Chimeneas:** Una entrada vertical a una mina hecha hacia abajo desde la superficie. Excavación vertical o inclinada que desemboca directamente en la superficie y está destinada a la extracción del mineral, al descenso y al ascenso del mineral y los materiales. En la chimenea van canalizados los cables eléctricos, las tuberías de conducción de agua y aire comprimido; a través de la chimenea se efectúa la ventilación de todas las labores subterráneas

**Dámper:** El Camión Articulado Subterráneo está diseñado para acarreo de gran volumen y bajo costo por tonelada en aplicaciones de minería subterránea. Su construcción resistente y la simplificación de mantenimiento garantizan una vida útil prolongada con costos de operación bajos. Diseñado para ser cómodo y productivo, fabricado para durar.



**Diablo:** esfera de limpieza de tuberías; estas esferas son fabricadas en Caucho Natural de la mejor calidad y no son mezcladas con goma sintética o termoplástica

**Dosificación** La dosificación implica establecer las proporciones apropiadas de los materiales que componen el hormigón, a fin de obtener la resistencia y durabilidad requeridas, o bien, para obtener un acabado o pegado correctos. Generalmente expresado en gramos por metro (g/m)

**Hierro dúctil:** El hierro dúctil se produce mediante el tratamiento de hierro fundido de base de bajo contenido en azufre con magnesio bajo control estricto de condiciones. El cambio sorprendente en el metal se caracteriza por el grafito libre en hierro dúctil que se deposita en forma esferoidal o nodular en lugar de forma como escamas en el hierro gris. Con el grafito libre en forma nodular, la continuidad de la matriz de metal está al máximo, lo cual representa la formación de un material dúctil mucho más fuerte, más resistente, superior al hierro gris en resistencia, en ductilidad, y en características de impacto por amplios márgenes. Después del proceso de fundición, el hierro dúctil entonces se dirige a las máquinas centrífugas para fundición de tubería.

**NTC 220** – Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico a la compresión, usando cubos de 50 mm o 2 pulgadas de lado

**Optimización:** Es la acción de buscar la mejor forma de hacer algo, esto quiere decir que es buscar mejores resultados, mayor eficiencia o mejor eficacia en el desempeño de algún trabajo u objetivo a lograr, en este caso del recurso de una empresa, llamándose optimización de recursos

**Pilar:** Bloque sólido de mena o de roca dejado en su lugar para estructuralmente sostener el pozo de acceso a la mina, las paredes o el techo de la mina.

**RD:** Relleno detrítico

**RDC:** Relleno detrítico cementado

**Scoop:** La imagen representa claramente el trabajo de este equipo denominado scoop, el cual es utilizado una vez que se ha realizado la tronadura o voladura en la frente de trabajo. El trabajo de este equipo consiste en el retiro de este material desde la frente hasta un punto de acopio de marina o bien a piques de vaciado



**Shotcreting:** El hormigón proyectado es hormigón transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a gran velocidad sobre una superficie, como técnica constructiva. Es reforzado por barras de acero convencionales, malla de acero y / o fibras. El refuerzo de fibra (acero o sintético) también se utiliza para la estabilización en aplicaciones tales como pendientes o túneles.

**St 52:** propiedades mecánicas de tubería de hierro dúctil (ver anexo 6)

**Tajo:** También conocido como cámara, es el sector de una mina subterránea donde se lleva a cabo la explotación gradual del depósito

**Tapón:** barrera realizada en la mina el Roble, con el cual se contiene el RDC; hecha de vigas tipo H, tablonés de madera roble y Geotextil.

**Título minero:** Es el acto administrativo escrito (documento) mediante el cual se otorga el derecho a explorar y explotar el suelo y el subsuelo minero de propiedad de la Nación.

**Unifilar:** Esquema o diagrama unifilar es una representación gráfica de una instalación de red eléctrica o de tuberías.

**Vms:** sulfuro masivo volcánico

## RESUMEN

La mina El Roble Ubicada en el Carmen de Atrato Chocó comenzó a operar industrialmente en 1990 y desde entonces, hasta hoy ha procesado más de 1.5 millones de toneladas de mineral de pirita y calcopirita con una ley media de 2.53% Cu y 2.54 g/t Au, de un depósito cretácico de VMS; la mina cuenta con un área de concesión de 6679 Ha y desde sus inicios y hasta el momento explota dichos minerales por medio de minería subterránea con una extracción aproximada de 400 t/día hasta el 2013, arrancadas en su totalidad por medio de perforación y voladura entre las cotas 2100 y 1990 msnm.

La mina desde el 2012, pasó a ser propiedad de la empresa Canadiense Atico, la cual por medio de exploraciones y reestructuración del método de minado ha aumentado la producción hasta 650 t/día para el 2014, abriendo un nuevo socavón sobre la cota 1880 msnm donde se encuentran cuerpos mineralizados de pirita y calcopirita con unas leyes de 4.45% Cu y 3.17 g/t, así mismo como se aumentaron los tenores y la extracción de la mina, con esto han aumentado las secciones del túnel y por ende las modificaciones en temas claves como lo son el sostenimiento, perforación, voladura, transporte y ventilación tuvieron que ser notorias para cumplir con los requerimientos de la nueva mina; por tal motivo la mina ha tenido que recurrir a empresas contratistas especializadas en cada una las necesidades que se tienen, de estas empresas las que se consideran más relevantes y de mayor influencia en la operación son Terraforte, empresa encargada de los trabajos de sostenimiento en la mina; Obras civiles que se encarga del relleno detrítico cementado en las cámaras que ya fueron explotadas y por último la empresa EXSA S.A. que se encarga del diseño, seguimiento y monitoreo de la perforación y voladura en todas las labores de la mina.

El método de explotación implementado en la mina el Roble se conoce como drift and fill o cámara y pilares corte y relleno ascendente; Este método de explotación es aplicado a depósitos metálicos de origen sedimentario. El cual consiste en arrancar el mineral por franjas horizontales y/o verticales conocidas como cámaras o tajos. Una vez extraída una franja se rellena con material estéril o en este caso relleno detrítico cementado (RDC), el cual sirve de piso de trabajo a los obreros y permite sostener las paredes de la cámara, y en algunos casos especiales el techo

El relleno detrítico cementado tiene las siguientes aplicaciones:

- Proveer una plataforma de trabajo.
- Evitar el movimiento y caída de las rocas.
- Facilitar la recuperación de pilares.
- Evitar o minimizar la subsidencia.
- Estabilizar el macizo rocoso en las minas, reduciendo la posibilidad de estallidos de roca.

## **INTRODUCCION**

El tema de RELLENO DETRICO CEMENTADO se sustenta en la posibilidad de disminuir los problemas de inestabilidad del macizo rocoso y con ello minimizar los riesgos de caída y fracturamiento de rocas.

El método de explotación implementado en la mina el Roble se conoce como cámara y pilares drift and fill o cámara y pilares corte y relleno; Este método de explotación es aplicado a depósitos metálicos de origen sedimentario. El cual consiste en arrancar el mineral por franjas horizontales y/o verticales conocidas como cámaras o tajos. Una vez extraída una franja se rellena con material estéril y/o relleno detrítico cementado (RDC), el cual sirve de piso de trabajo a los obreros y permite sostener las paredes de la cámara, y en algunos casos especiales el techo.

Con este proyecto se pretende realizar una evaluación y así poder realizar una optimización del sistema de relleno detrítico cementado RDC utilizado en la mina subterránea el Roble, logrando así obtener alternativas positivas que den posibilidades al empresario de disminuir el costo de operación en el sistema RDC.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Optimización del sistema de relleno RDC para el método de explotación cámaras y pilares corte y relleno (Drift and Fill) en la mina el roble ubicada en el municipio el Carmen de Atrato del departamento de choco, Colombia

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Descripción del método de explotación cámaras y pilares corte y relleno ascendente
2. Diagnóstico del sistema de relleno RCD, desde planta de concreto hasta vaciado en las labores a rellenas
3. Analizar variables que influyan negativamente en el sistema de relleno RCD
4. Identificación de la red de tuberías primarias y secundarias.
5. Mostrar los aportes del estudiante en la optimización del relleno RDC

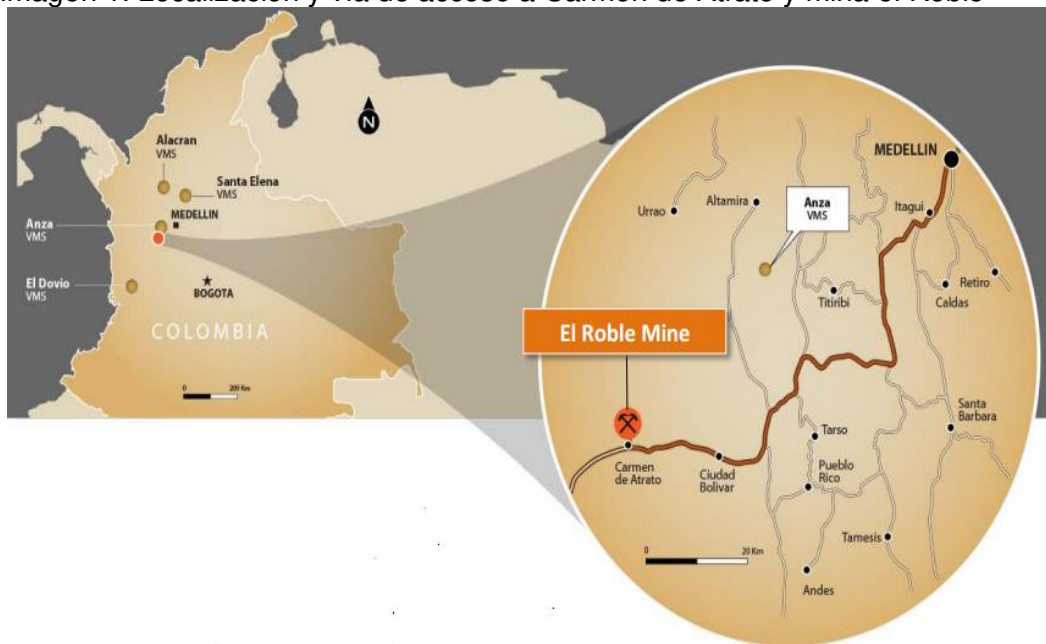
## 1. GENERALIDADES

### 1.1 LOCALIZACION Y RASGOS FISIOGRAFICOS

La explotación minera, la planta de beneficio y las instalaciones de apoyo y manejo ambiental, están ubicadas en la vertiente occidental de la Cordillera occidental del sistema ortográfico colombiano, margen izquierda del río Atrato en la vereda el Roble, jurisdicción del Carmen de Atrato, Departamento del Chocó

La mina el Roble se ubicada aproximadamente a 5 km del municipio de Carmen de Atrato en el departamento Choco, con coordenadas 1144458,867 N y 1106835,991 E en la vereda el Roble; al municipio ya mencionado, se localiza a unos 85 km de Quibdó, Choco y a unos 145 km de Medellín, Antioquia; la mina se localiza en una altitud de 1880 msnm. (Ver imagen 1 Y 2)

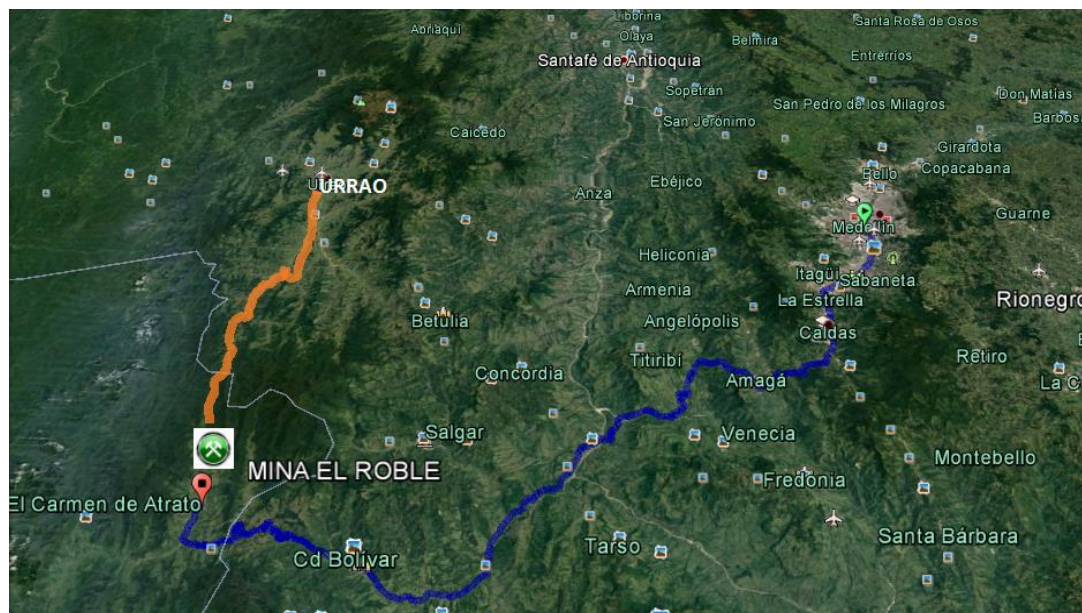
Imagen 1. Localización y vía de acceso a Carmen de Atrato y mina el Roble



Fuente: <http://aticominig.com/resources/presentations/corporate-presentation.pdf?v=0.473>

El acceso a la mina el Roble, se realiza desde el municipio el Carmen de Atrato mediante una vía en buenas condiciones que conecta con el municipio de Urrao, con un recorrido de 5 km aproximadamente y con un tiempo de 10 minutos en vehículo .la mina se encuentra a unos 150 km de la ciudad de Medellín; allí se ubican la oficinas administrativas de la misma. (Ver imagen 1 y 2)

Imagen 2. Vías de acceso mina el Roble



FUENTE: Start Google Earth

## 1.2 HIDROLOGIA Y CLIMATOLOGIA (Alcaldía de Carmen de Atrato , Choco)

El Municipio de El Carmen de Atrato hace parte de la Cuenca del Río Atrato, siendo la más importante del Departamento, este río nace en el cerro del Plateado perteneciente a la cadena de montañas de los Farallones del Citará (Municipio de El Carmen de Atrato) a los 37° 10' de latitud W del Meridiano de Bogotá; atraviesa el municipio de Norte a Sur. Tiene un recorrido de 700 Kilómetros, de los cuáles 500 kilómetros son navegables por barcos de alto calado El río Atrato desemboca en el Golfo de Urabá por dieciséis bocas, el caudal del río está formado por la gran cantidad de ríos afluentes, alrededor de 150 y 3000 quebradas y arroyos que le desembocan a través de todo su territorio hasta la desembocadura en el Océano Atlántico o Mar Caribe. Entre muchos de sus afluentes tenemos: Río Grande, Habita, Aguilón, El Barbudo, Atrático, El Piñón, El Toro, Girardot, La Playa. El Río Atrato, con relación a su recorrido, es considerado como el río más caudaloso del Mundo, arrastra aproximadamente 4000 metros cúbicos de agua por segundo. Por su condición de río caudaloso se ha considerado como de alto potencial hidroeléctrico en sectores del Municipio como el Siete, que aún se encuentra en estudio.

- Micro cuenca del Río Grande: Nace en los Farallones de Citará en los límites de los municipios de Betania y Andes. Recorre la zona Suroriental del Municipio, cuenta con afluentes de importancia como son el río Guaduas, el Pedral y río Claro.



- Micro cuenca del Río Habita: Nace al igual que el Río Atrato en el Cerro Plateado, cursa por el sector Nororiental del Municipio para desembocar al Río Atrato a la altura de la Vereda El Siete. Su extensión es aproximada de 23 Km.
- Micro cuenca del Río La Playa: Marca el límite con el Municipio de Quibdó poco antes de desembocar al Río Atrato en la Vereda el Dieciocho. Además, en su recorrido por la parte Suroccidental del Municipio, bordea las veredas del Lamento y el Encanto. Su extensión aproximada es de 24 Km.
- Micro cuenca del Río Aguilón Tiene una extensión de 9 Km. aproximados, desemboca al río Atrato a la altura de la vereda el Doce. Se origina en el Cerro del Toro.
- Micro cuenca del Río Barbudo. Nace igualmente en el Cerro del Toro y presenta una extensión aproximada de 12 Km. Desemboca al río Atrato en los límites de las veredas el Doce y el Quince

## **Clima**

De acuerdo a la clasificación climática para Colombia el municipio cuenta con tres tipos dominantes de climas que están relacionados con los pisos altitudinales.

Frío 2000 – 3000 m.s.n.m

Templado muy húmedo 1000 – 2000 m.s.n.m

Cálido muy húmedo 150 – 1000 m.s.n.m

El piso térmico frío comprende las partes altas de la vertiente occidental de la Cordillera Occidental, entre 2000 y 3000 m.s.n.m y con una temperatura no inferior a 12°C, está constituido por los Farallones de Citará y otros Cerros importantes, con una pluviosidad aproximada de 1.500 mm.

### **1.3 DESCRIPCION DE LA EMPRESA**

Atico Mining Corporation es una compañía con sede en Canadá que se dedica a la operación, administración y gestión de proyectos mineros de cobre y oro en América Latina. Su proyecto más representativo en estos momentos está ubicado en el Carmen de Atrato, Colombia, con la mina El Roble, una mina subterránea que en los últimos 22 años ha procesado Aproximadamente 1.5 millones de toneladas de mineral de cobre y oro; evaluaciones recientes de la compañía certifican un recurso inferido en El Roble de 1.58 millones de toneladas con una ley media de cobre de 4.45% y 3.17 g/t de oro. (Atico, 2015). (Ver imagen 3)

Imagen 3. Localización de la empresa Atico mining corporation y sede en Colombia

Fuente: Atico mining corporatin



#### 1.4 TITULO MINERO

El título minero registrado con placas 9319 es donde se está avanzando el proyecto minero polimetálico en el departamento del Choco, y a la vez lugar donde se desarrolló el presente proyecto académico (ver imagen 4-5 y tabla 1.)

Imagen 4. Información general del título minero.  
Fuente: Catastro minero nacional

Información General					
Código Expediente	9319	Clasificación	TITULO	Modalidad Actual	CONTRATO DE CONCESION (D 2655)
Estado Jurídico Actual	TITULO VIGENTE	Grupo de Trabajo	PAR MEDELLIN		
<b>Detalle Expediente</b>					
Fecha de Contrato		Fecha Inscripción		1990-03-20 00:00:00.0	
Grupo de Trabajo	PAR MEDELLIN	Código RMN		FAVD-01	
Categoría		Código Anterior		90-00048-09319-03-00000-00	
Duración Total Meses	382	Duración Total Años		31	
Observación	MIGRADO DEL SISTEMA SIEM				
<b>Información de Etapas</b>					
Nombre		Duracion Meses			
CONSTRUCCION Y MONTAJE					
EXPLOTACION					
<b>Información Modalidades</b>					
Nombre		Fecha Creación	Fecha Modificación	Duración	
CONTRATO DE CONCESION (D 2655)		1990-03-20 00:00:00.0			
<b>Información Titulares</b>					
Nombre(s)	Primer Apellido	Segundo Apellido	Razón Social	Tipo Identificación	Número Identificación
			MINERA EL ROBLE S.A.	NIT	8110007619
			MINERA EL ROBLE S.A - MINER S.A	NIT USUARIO	7777704990
<b>Información Minerales</b>					
Nombre		Fecha Creación	Fecha Modificación		
SULFUROS POLIMETALICOS		2009-12-31 14:44:37.0			
<b>Municipios Asociados</b>					
Departamento		Municipio	Porcentaje Participación		
CHOCO		EL CARMEN	100.0		
<b>Información Geografica</b>					
Área Otorgada	9991875.0	Área Definitiva	1.0000998E7		
<b>Detalle de Áreas</b>					
Sistema Origen	Área	Perimetro	Cota	Punto Arcifinio	Descripción P.A.
OESTE	9991875.0	0.0	0	26252	DESEMBOLCADURA DE LA QUEBRADA LA CALERA EN EL RIO ATRATO (AEROFOTOGRAFIA M-1368/38637

Imagen 5. Información geográfica título minero y polígono

Fuente: Catastro minero nacional

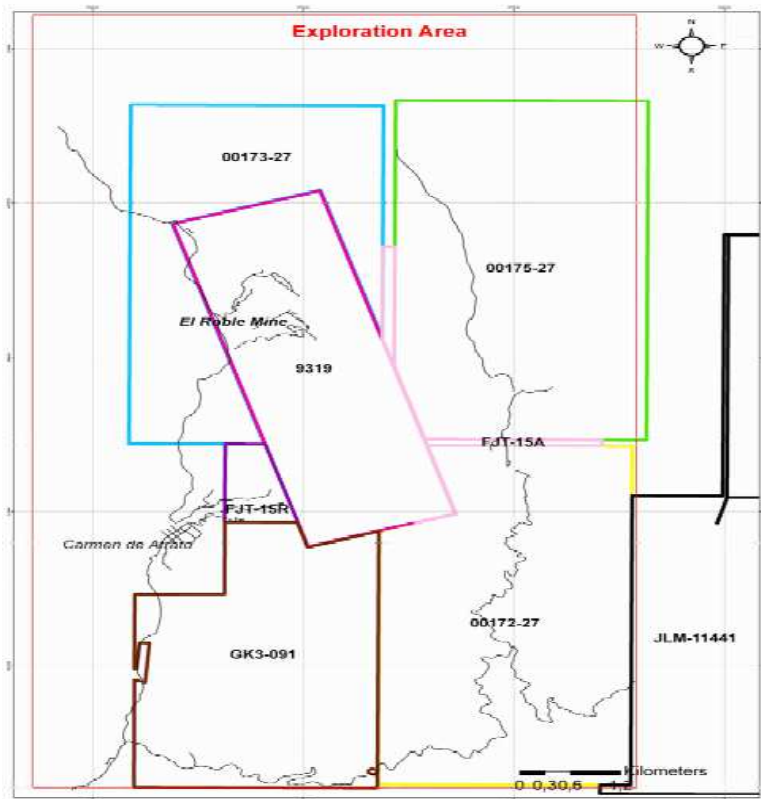


Tabla 1. Coordenadas del polígono del título minero  
 Fuente: Catastro minero nacional

LICENCIA O CONTRATO	PUNTO	COORDENADAS		AREA (ha)
		N	E	
9319	1	1144458,867	1106835,991	999,2
	2	1145511	1103027	
	3	1145511	1104577	
	4	1144318	1104094	

### 1.5 LICENCIA AMBIENTAL

(Ver anexo 1. Requerimiento ministerio de ambiente y desarrollo sostenible)

## 2. GEOLOGIA GENERAL

### 2.1 GEOLOGIA REGIONAL

La mina El Roble está ubicada sobre el sector central de la cordillera occidental, en una unidad dominante volcánica que es la formación Barroso y una unidad sedimentaria como lo es la formación Penderisco; junto con rocas intrusivas tonalíticas y delimitada por el río Cauca al oriente y el río San Juan de Atrato al occidente; este yacimiento está formado dentro de una corteza oceánica asociado a procesos volcánicos que se vieron afectadas por el magmatismo tonalítico. En la imagen 6 se puede observar el mapa geológico de la parte noroccidental de Colombia donde se observan con detalle la formación Barrosa y la formación Penderisco con el detalle de las rocas intrusivas y metamórficas paleozoicas.

La formación Barroso aflora en dos grandes franjas a ambos lados de la cordillera occidental; en medio de estas dos franjas se encuentra una franja de rocas volcánicas de 1 Km de ancho y 12 Km de largo; esta franja aflora en el eje de la cordillera y asociada con la mineralización; el depósito se localiza en el contacto fallado con Cherts negros y grises en el margen occidental; estos Cherts en el sector de la mineralización afloran a una extensión de 100 m a lado y lado.

La formación barroso ocupa aproximadamente un 15% del área de la cordillera occidental cortando las secuencias anteriores y siendo portadoras de las importantes mineralizaciones de pórfidos cupríferos y también de numerosas vetas auríferas. Los mejores ejemplos de esto son el Batolito de Mandé los plutones de Urao y Farallones en la región norte.

Tanto el depósito de El Roble como la mineralización Santa Anita se encuentra dentro de rocas del grupo cañas gordas donde diques félsicos asociados a un pequeño Stock diorítico intuyen las rocas de este grupo, cortando la mineralización; los Cherts se presentan en un horizonte predominantemente carbonoso con 90 metros de espesor encerrando los cuerpos mineralizados VMS. (Ortiz, 1993)

### 2.2 GEOLOGIA LOCAL

El depósito consta de varios cuerpos masivos de forma lenticular e inclinación casi vertical; consta principalmente de sulfuros masivos y una brecha silíceo de bajo tenor, esta brecha se presenta casi paralela al buzamiento de la roca caja; el depósito se considera de origen volcánico-exhalativo, mostrando grandes rasgos de un depósito tipo Chipre. (Ortiz, 1993)

El Roble es un cuerpo masivo vulcano-génico originalmente bandeado y ubicado en el contacto entre las rocas sedimentarias pelágicas y las rocas volcánicas; Las dimensiones actualmente definidas de El Roble describen un depósito de 360 metros a lo largo y de los 550 metros de profundidad por un máximo de 45 metros de espesor. El depósito se encuentra en el contacto entre las corrientes volcánicas máficas de la Formación Barroso y recubre tobas félsicas silicificadas y sedimentos pelágicos de la Formación Penderisco. Los trabajos de exploración bajo el nivel 2000 indican la continuidad del VMS y demuestran que el depósito permanece abierto en Profundidad, al sur-este y noreste. (Miner S.A., 2013).

La mineralización del depósito consta principalmente de pirita, calcopirita y pirrotina, también con presencia en bajas cantidades de esfalerita, marcasita y grafito, la ganga principal consta de cuarzo en su gran mayoría con algo de calcita y dolomita. En la imagen 7 se puede observar una

vista de perfil de los cuerpos mineralizados en el yacimiento, con una forma y dimensión aparente, como resultado de las exploraciones realizadas (entre el nivel 2000 msnm y el nivel 1700 msnm). (Ver imagen 8)

### 2.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Las fallas y fracturas en el yacimiento tienen una dirección principalmente N-S en dirección paralela al tren de la cordillera, aunque estructuras N-W son notorias por su forma en S cuando se unen con las N-S; se encuentran grandes, pequeñas fallas y zonas de cizalla dentro y fuera de los cuerpos mineralizados, las de tipo N-W son las que controlan el límite este de los cuerpos mineralizados, se tiene un grupo con direcciones N 30° - 45° E, el cual se creó después de cortar las fallas N-S; las de tipo N-E y S-E son 4 fallas que se encuentran directamente en la zona de cizallamiento del cuerpo, con distancias entre ellas de 50 metros aproximadamente. (Peña, 2003)

Imagen 7. Columna estratigráfica  
Fuente: Departamento de geología Minera el Roble S.A

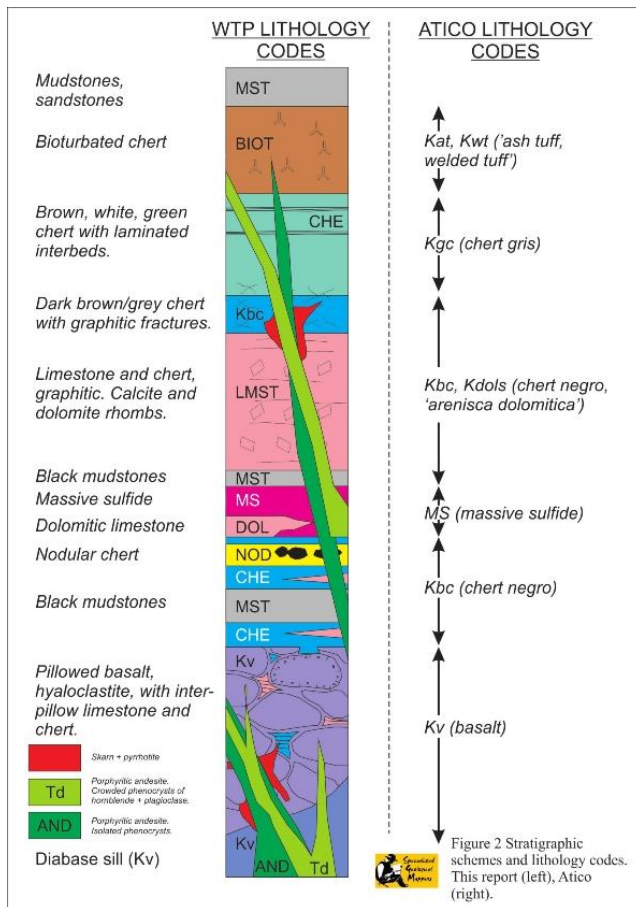
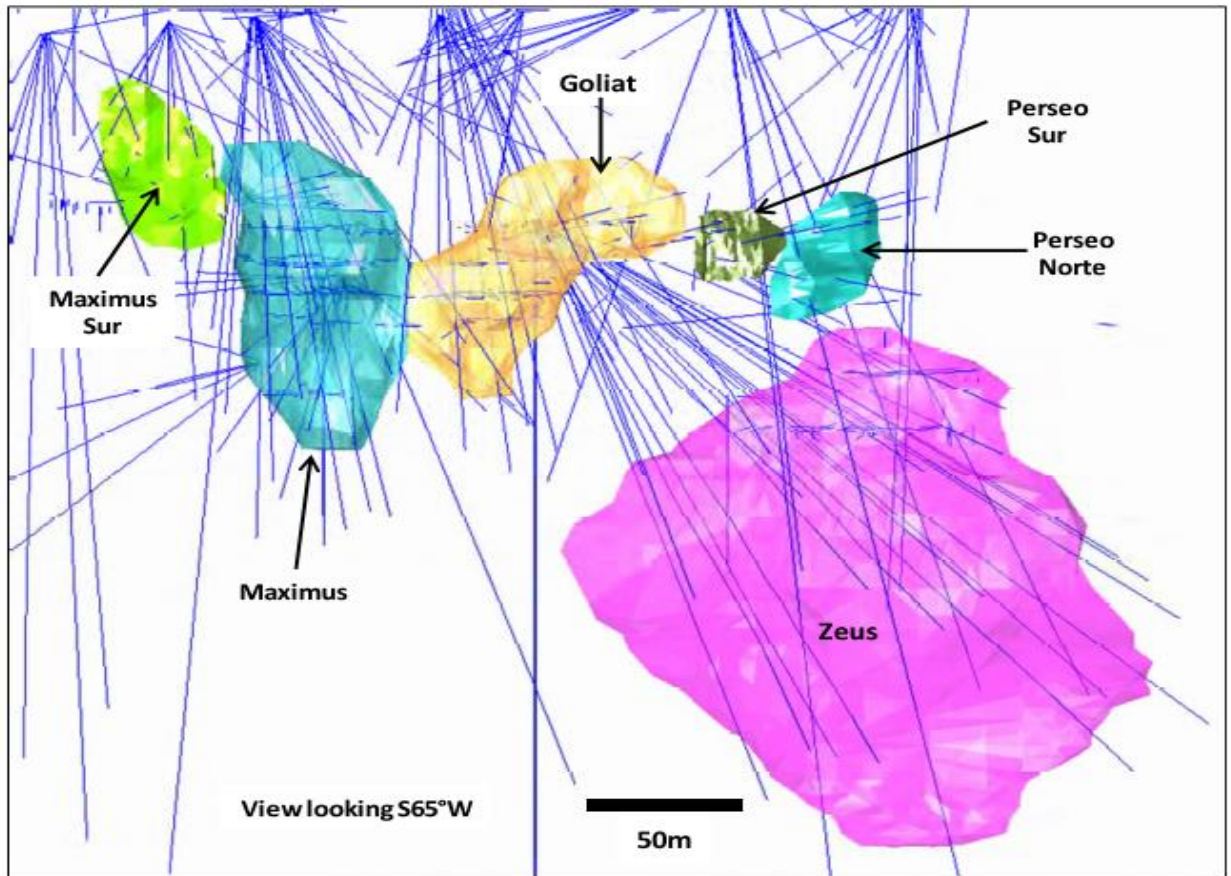


Imagen 8. Cuerpos mineralizados del yacimiento del Roble

Fuente: departamento de geología Minera el Roble S.A



### 3. METODO DE EXPLOTACION MINA EL ROBLE

#### 3.1 CAMARAS Y PILARES CORTE Y RELLENO (DRILL AND FILL) ASCENDENTE

El método de explotación implementado en la mina el Roble se conoce como drill and fill o cámara y pilares corte y relleno; Este método de explotación es aplicado a depósitos metálicos de origen sedimentario. El cual consiste en arrancar el mineral por franjas horizontales y/o verticales conocidas como cámaras o tajos. Una vez extraída una franja se rellena con cemento detrítico (RDC).

Se considera la realización de este método, ya que el macizo rocoso presenta una roca de tipo 3, es decir una roca muy friable o de alto grado de fracturamiento.

#### **Objetivo del método**

Extraer todo el mineral en dos pasos con un método seguro:

- a) Primer paso: extrae 50% del mineral en un piso de un nivel y re-emplazar mineral con relleno detrítico cementado de alta resistencia (9.5 Mpa);
- b) Segundo paso: extrae los pilares remanentes, rellenar con relleno detrítico cementado;  
La masa del cuerpo mineralizado es re-emplazado por el relleno detrítico cementado.

#### **El método cuenta con dos condiciones que no se pueden variar:**

- a) El sistema tiene una secuencia de extracción que no se puede cambiar;
- b) El sistema contempla la transferencia de los esfuerzos desde los pilares del mismo cuerpo a los pilares de relleno detrítico cementado para tener éxito.

#### **Parámetros Claves**

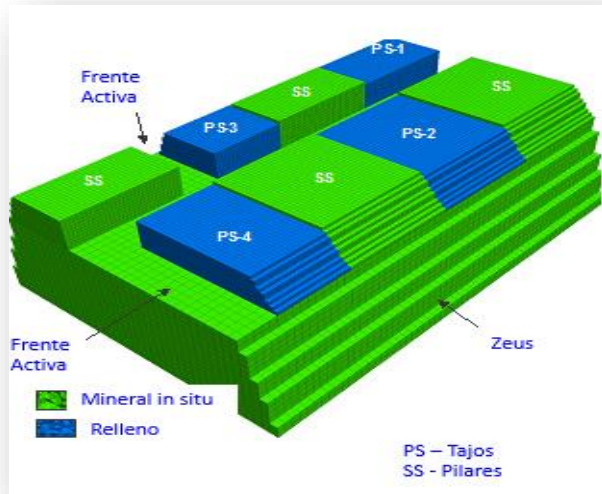
- a) Cada frente tiene un ancho y alto máximo de cinco metros.
- b) Sostenimiento debe ser adecuado solo para terminar el frente ( $\pm$  5-9 días); Cuando el minado termina en un frente, de inmediato este debe ser llenado con relleno detrítico cementado de alta resistencia (9-9.5Mpa promedio de resistencia)
- c) Frentes paralelos a los frentes cementados pueden ser explotados tres o cuatro días después de terminar de bombear el relleno detrítico cementado.
- d) No se puede abrir frentes opuestos
- e) Pueden abrir frentes más pequeñas, por ejemplo 3.5m x 3.5m y después ampliados a 5mX 5m, seguido de inmediato con relleno cementado de alta resistencia.
- f) El relleno detrítico cementado no tiene que ser topeado al techo de la obra pero no debe haber más que 30-50 cm abierto dentro la superficie del relleno y el techo de la obra.





## Imagen 10 .puntos operativos

Fuente: departamento de planeamiento minero Minera el Roble S.A



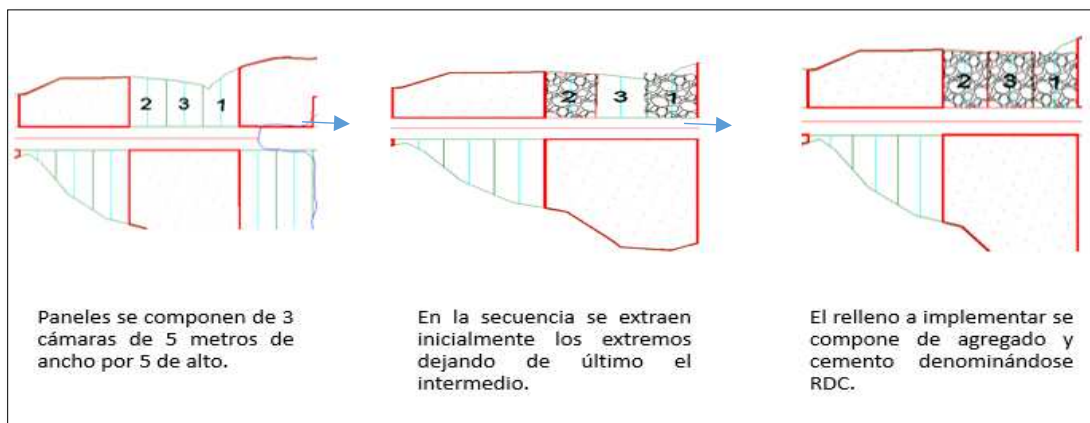
### **Segundo y siguientes cortes:**

- El proceso es el mismo.
- Primero establecer y empezar a desarrollar la galería principal.
- Segundo abrir tajos según los parámetros mencionados.
- Mantenga la misma política de producción.
- Sólo un frente por tajo abierto en cualquier momento.
- Frentes en varios tajos pueden ser abiertos simultáneamente.
- Desarrollo de frentes es por minado tipo breasting sobre relleno.

### **Paneleo y relleno**

#### Imagen 10 .puntos operativos

Fuente: departamento de planeamiento minero Minera el Roble S.A



**Secuencia de las labores de desarrollo, preparación y explotación en el método de explotación.**

Labor de desarrollo : Para las labores de desarrollo se avanza una rampa descendente , con una pendiente no mayor al 14 %, con el fin de que los equipos puedan transitar por la misma, como se observa en la imagen 12, (ver Anexo 2. Video método de explotación Drill and Fill) después de haber llegado a la cota necesaria se conecta a la rampa y se avanza otra labor denominada ventana, esta labor es la que va a dar apertura a las labores de preparación como se observa en la imagen 12.

Imagen 12.labor de desarrollo rampa de acceso

Fuente: Atlas Copco

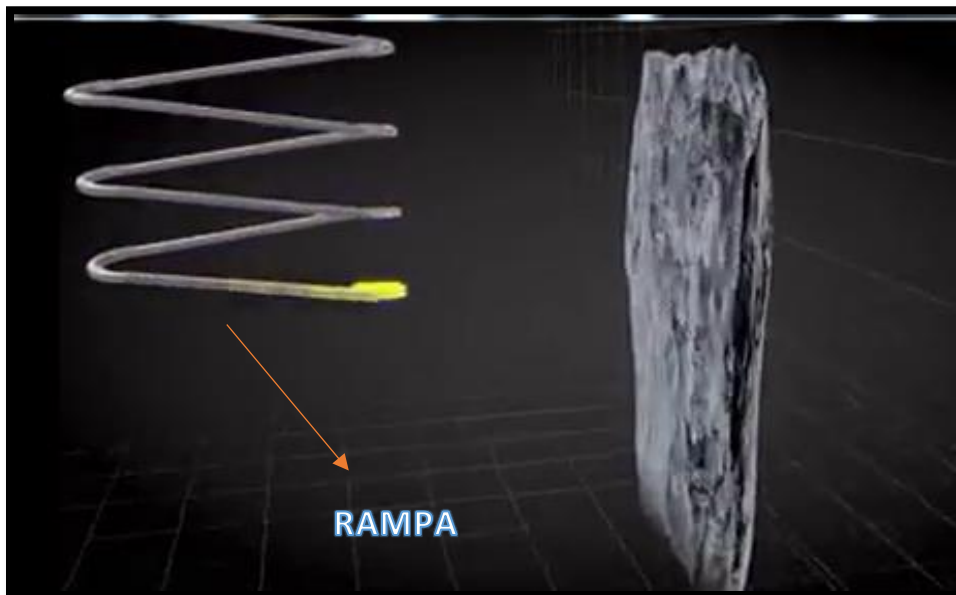
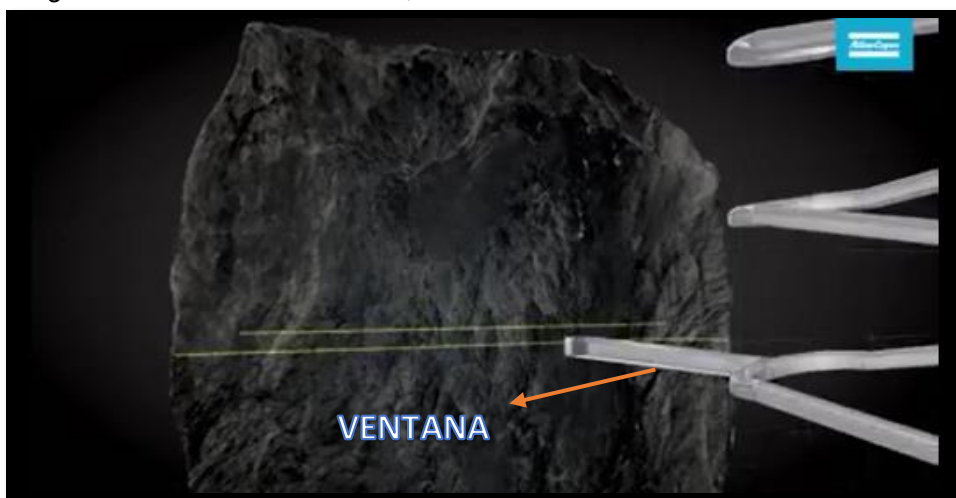


Imagen 13. Labor de desarrollo, ventana



Fuente: Atlas Copco

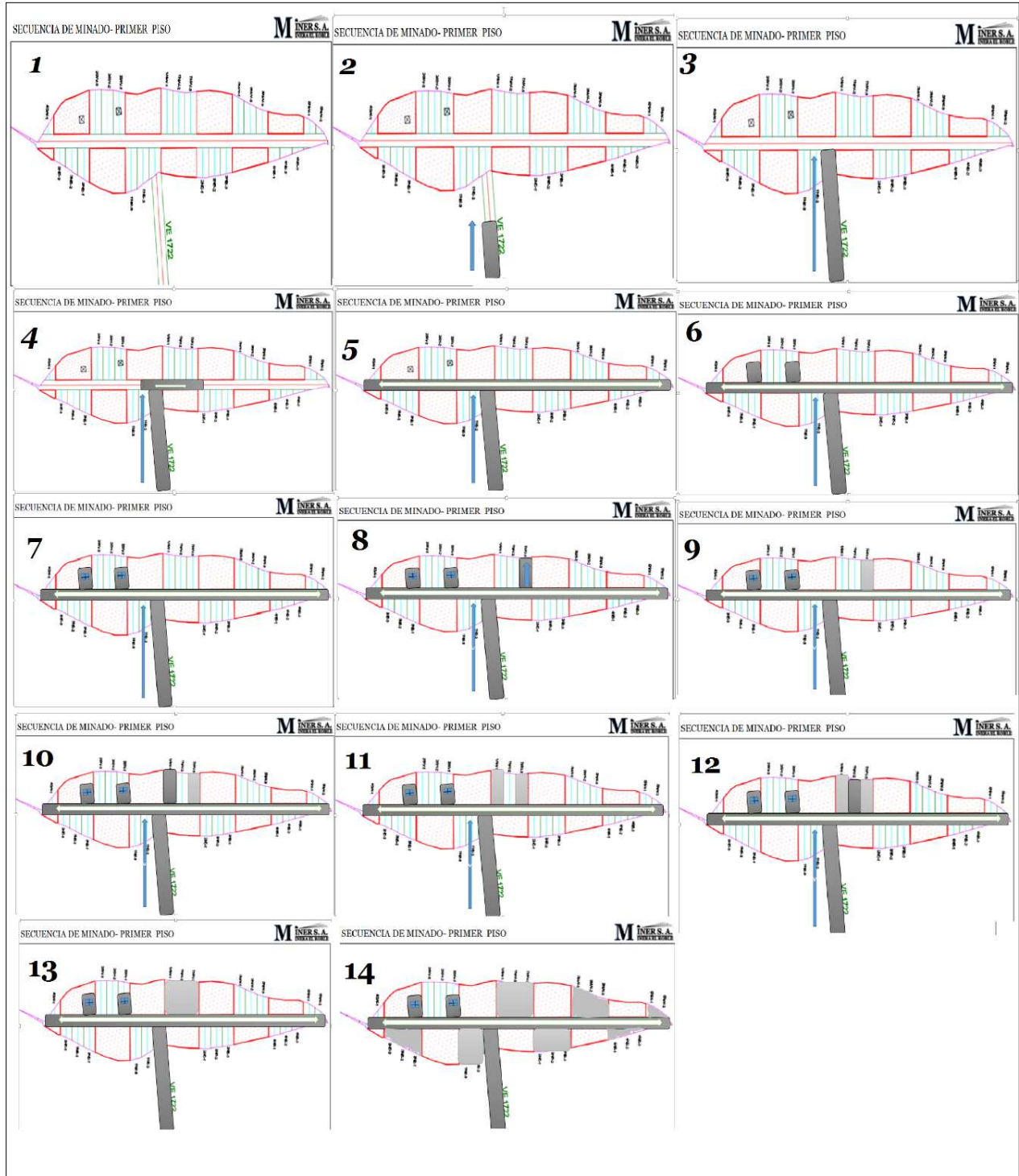
**Labor de preparación:** para las labores de preparación se avanza una galería , el cual corta todo el cuerpo mineralizado el cual da apertura a la las labores de explotación.(ver imagen 14

Imagen 14. Labor de preparación, galería.

Fuente: Atlas Copco



Imagen 15 Secuencia de las labores de preparación y explotación en el método de explotación primer nivel o piso



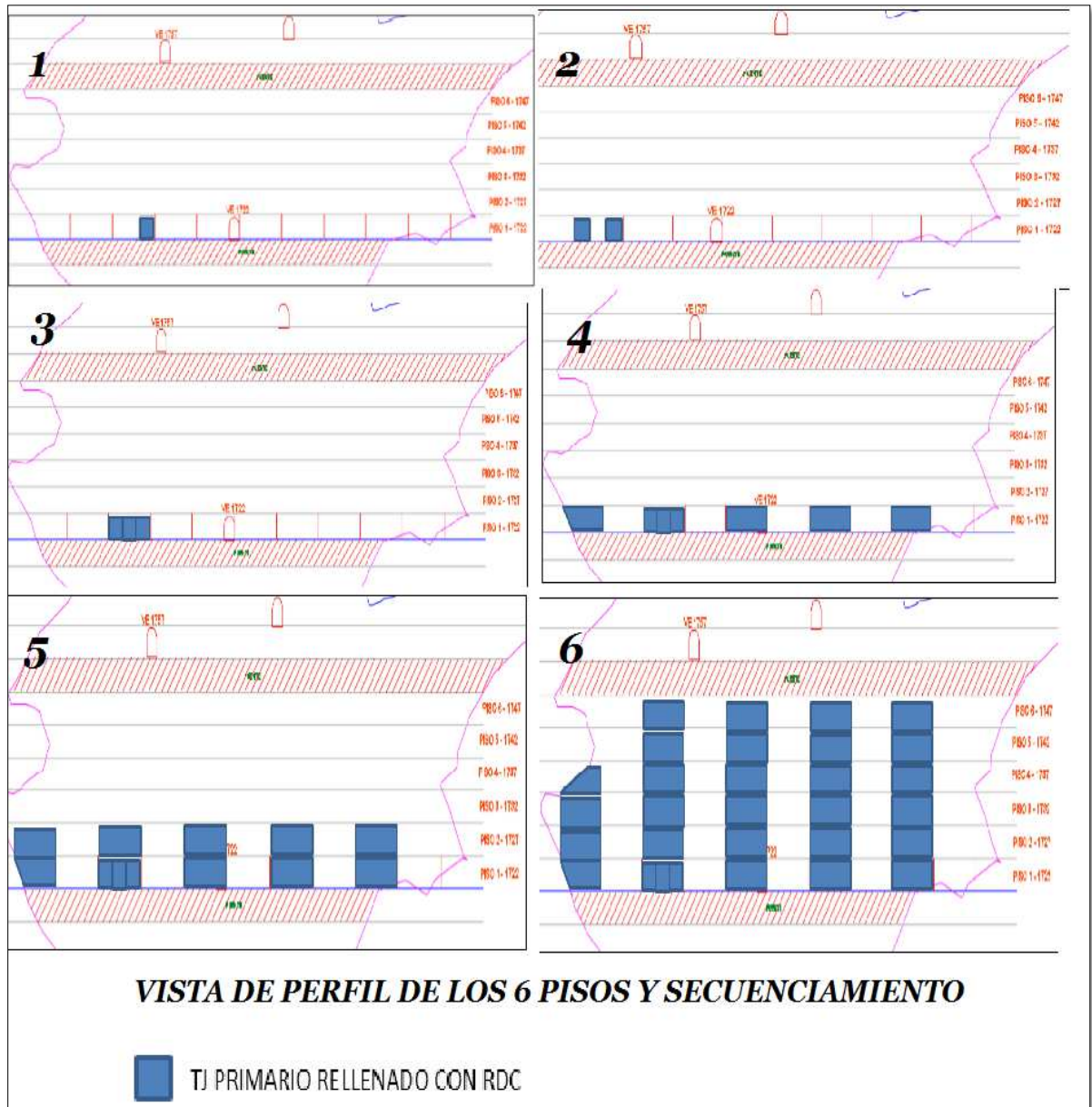
Fuente: Autor  
Ver descripción (tabla 2. secuencia de minado)

Tabla 2. Secuencia de minado primer nivel o piso

1	Se realiza la división de los paneles y el diseño y ubicación de las chimeneas de ventilación por medio del software AutoCAD por parte de área de planeamiento minero
2-3	Se avanza la labor de desarrollo denominada ventana y se le nombra según a la cota en que se encuentre; es este caso ventana 1722.
4-5	Ya culminada la ventana se da inicio a la labor de preparación y se avanza una galería; se nombra teniendo en cuenta su dirección y su cota , en este caso galería 1722 N o galería 1722 S
6-7	Se avanzan cámaras de servicios para el diseño y avance de las chimeneas de ventilación; estas chimeneas tienen dos usos; el primero para la ventilación y el segundo para descolgar la red secundaria de tubería para el RDC.
8	Se avanza la labor de explotación nombrada tajo o cámara, teniendo en cuenta el orden de extracción( ver ítem paneleo y relleno)
9	Cuando la cámara finaliza su extracción , se inicia a realizar el tapón para luego ser rellenada con RDC ( ver ítem preparación de tapon)
10	Se avanza la nueva cámara o tajo
11	se realiza un nuevo tapón para iniciar el vaciado del RDC
12	Se avanza la nueva cámara
13	Se realiza un nuevo tapón para iniciar el vaciado del RDC
14	Se hace el mismo procedimiento con los demás paneles primarios

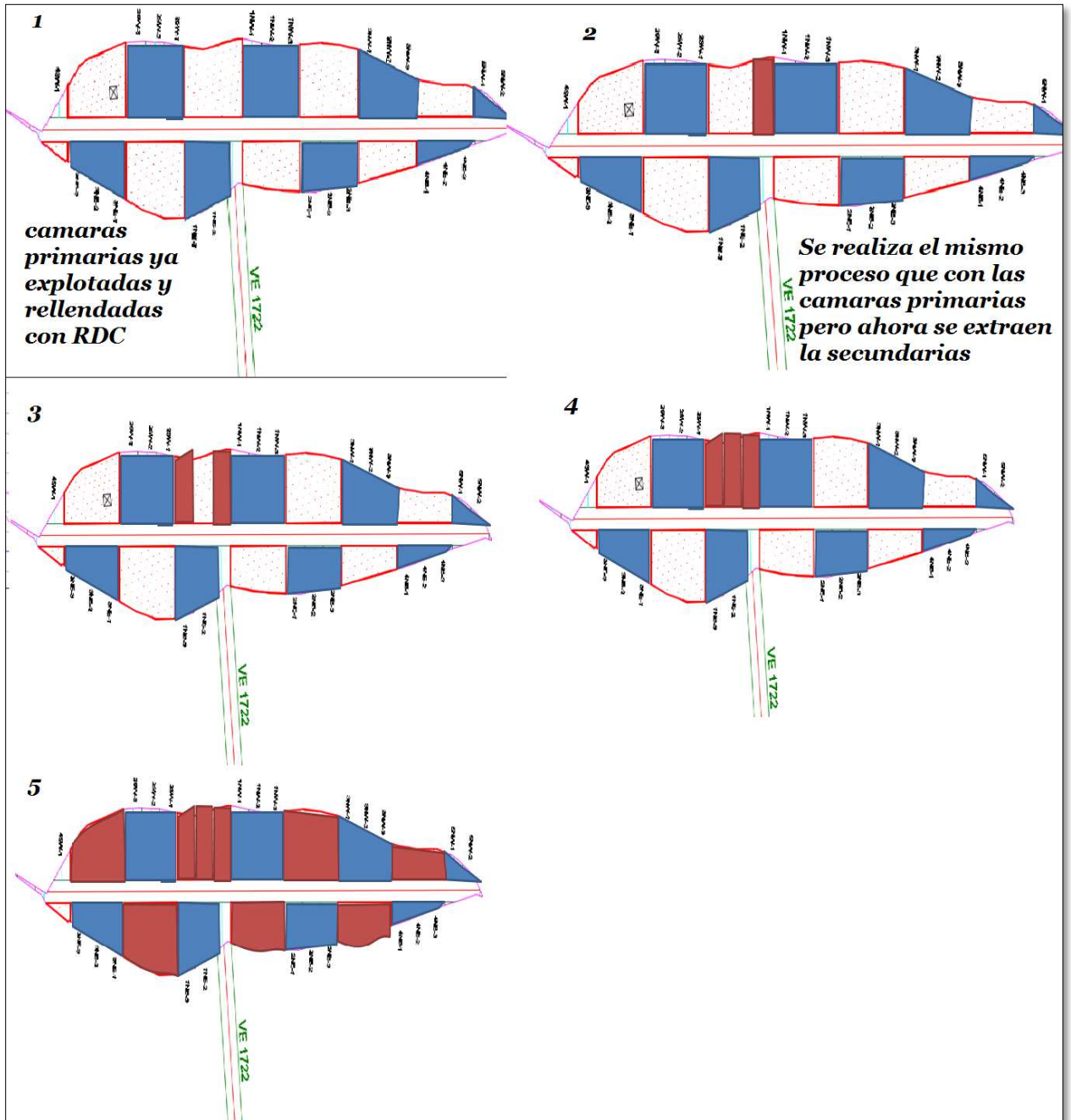


Imagen 16. Vista de perfil de los 6 pisos y secuencias de relleno RDC



Fuente: Autor

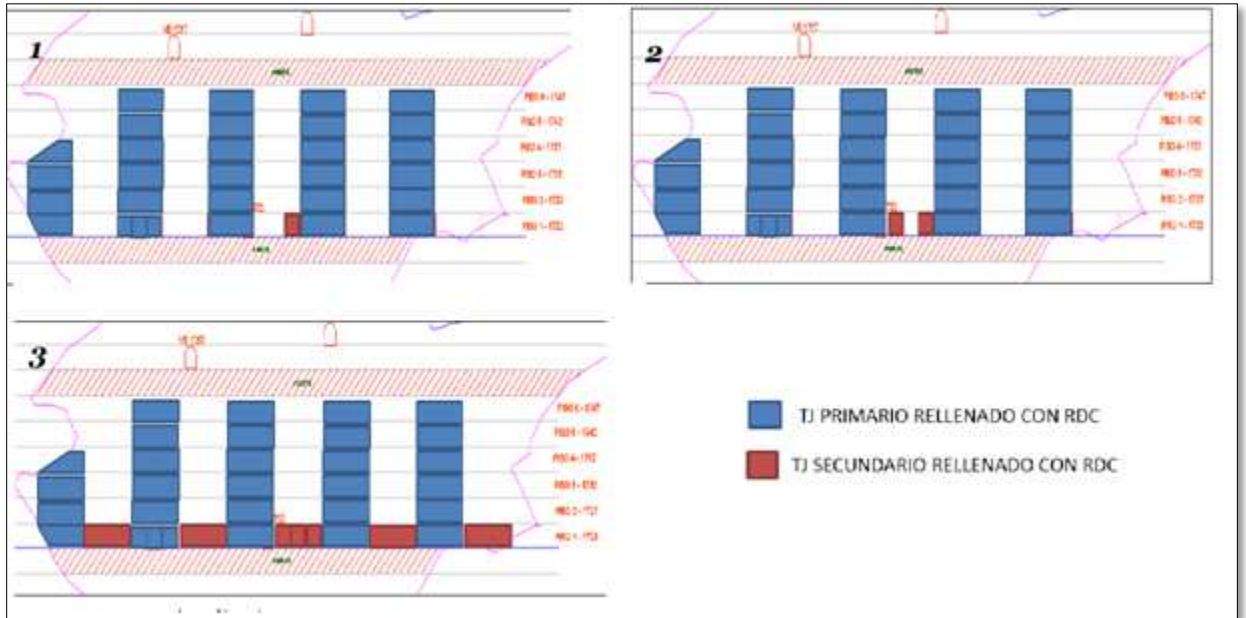
Imagen 17. Secuencia para la explotación de los pilares secundarios



Fuente: Autor(nomenclatura ver presentación en powerpoint)



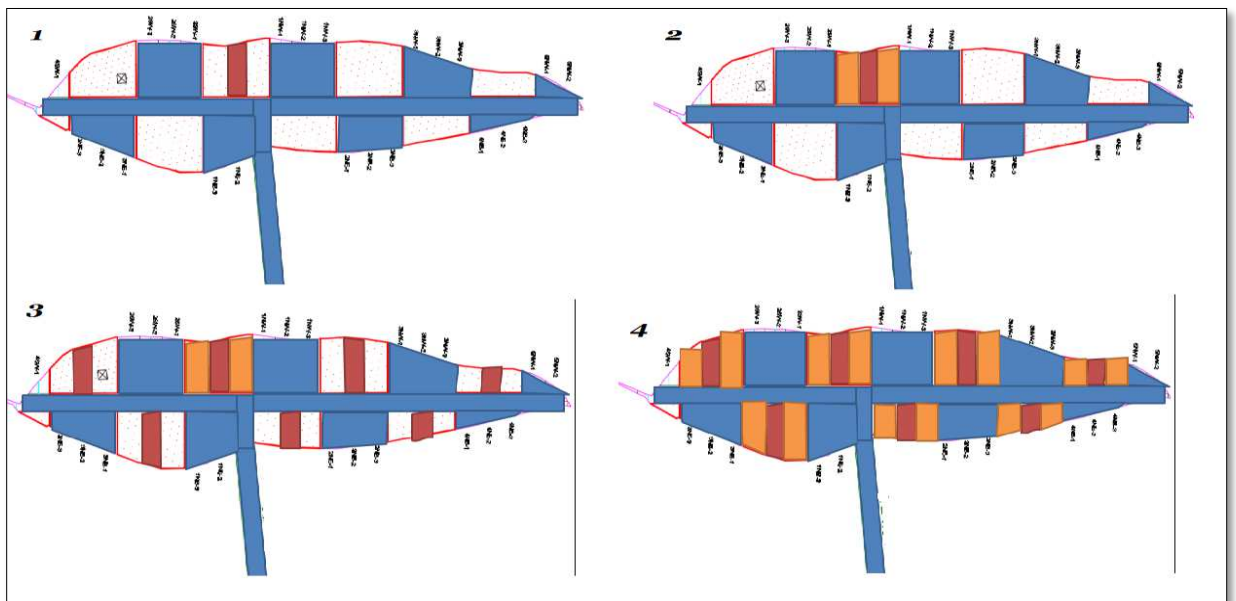
Imagen 18. Vista de perfil de los piso 1 y secuencias de relleno RDC de los pilares secundarios



Fuente: Autor

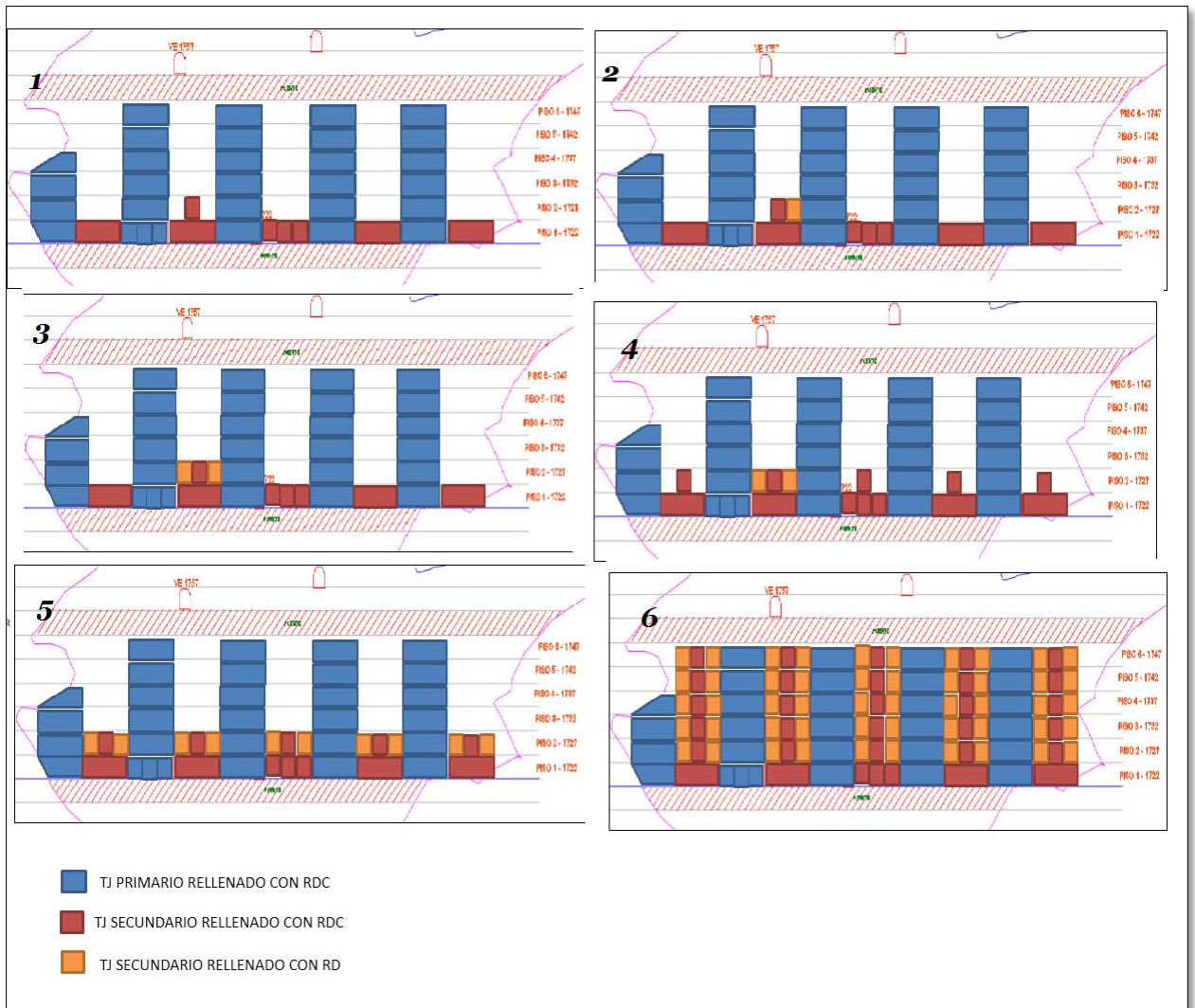
Para los siguientes niveles o pisos solo se rellena con RDC la cámara central del panel, las demás cámaras o tajos son rellenos con material détrico (estéril o desmonte) como se muestra en la imagen 19 y 20

Imagen 19. Secuencia para la explotación de los pilares secundarios de nivel o piso 2 en adelante



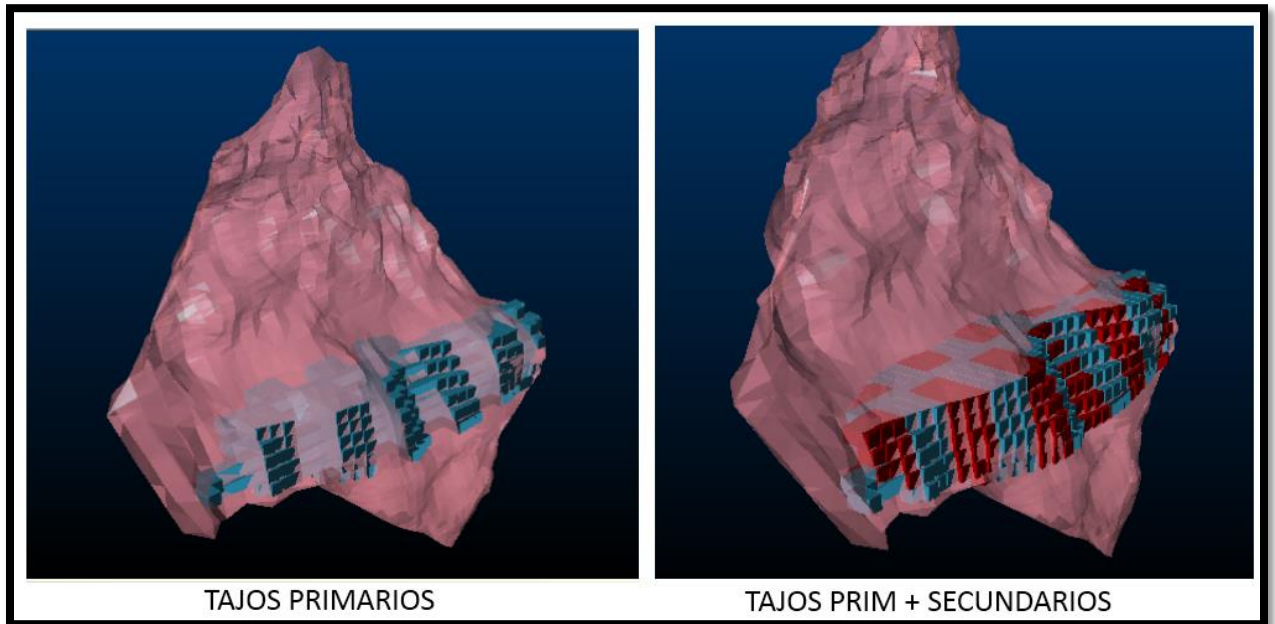
Fuente: Autor

Imagen 20. Vista de perfil de los siguientes pisos y secuencias de rellenado RDC de los pilares secundarios y relleno de detritos RD (desmonte o estéril)



Fuente: Autor

Imagen 21. Vista del relleno de los tajos primarios y tajos primarios y secundarios con RDC y RD



Fuente: Departamento de planeamiento minero el Roble

### 3.2 CICLO DE MINADO

- El ciclo de minado inicia con la perforación del frente, en este caso la empresa Minera el Roble S.A cuenta con dos Jumbos uno de uno y otro de dos brazos de perforación.
- Luego se realiza el carguío del frente ya perforado con explosivo de tipo emulsión.
- Se realiza la quema o inicio de voladura
- Seguidamente se ventila la labor
- Se continua con el desate o desabombe; donde se cuenta con un equipo que realice el trabajo de desate o desabombe (scaling)
- Con la labor debidamente revisada en condiciones de seguridad se da orden a que ingresen los equipos pesados (Scoop y Dámper) para realizar el descargue y acarreo de mineral o estéril
- Con la labor limpia ; ingresa el equipo empernador para que realice el sostenimiento ; en este caso para labores temporales como tajos o cámaras se sostiene con spliset y para las labores permanentes se utiliza sostenimiento más pesado con perno helicoidal y planchuela con una capacidad conjunta de 34 t/m<sup>2</sup>
- Por ultimo ingresa el equipo robo jet el cual realiza ellanzado de cemento por inyección shocreting ( concreto especial ) en todas las labores
- Y se repite el ciclo
- En el caso de cámaras o tajos , y esta finalicen su extracción; se da inicio a la construcción de tapón para realizar el relleno detrítico cementado RDC ( ver figura 1)

(Ver anexo 2)

Figura 1. Ciclo de minado



Fuente: Autor- <https://es.slideshare.net/rgaldamesa/perforacin-de-rocas>

## 4 SISTEMA DE RELLENO DETRITICO CEMENTADO RDC

El relleno se define como material que sustituye al mineral arrancado en los métodos de explotación, principalmente en los métodos de corte y relleno, en este caso es relleno detrítico cementado RDC , el cual es una mezcla de detritos ( gravas y finos ) ,agua, cemento y aditivos, donde homogenianizada la mezcla da una resistencia de 9.5 Mpa.

### 4.1 MATERIALES

#### 4.1.1 Arenas

La arena, agregado fino o árido fino se refiere a la parte del árido o material cerámico inerte que interviene en la composición del hormigón.

**Composición:** El agregado fino consistirá en arena natural proveniente de canteras aluviales. La forma de las partículas deberá ser generalmente cúbica o esférica y razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas. La arena natural estará constituida por fragmentos de roca limpios, duros, compactos, durables.

En la producción artificial del agregado fino no deben utilizarse rocas que se quiebren en partículas laminares, planas o alargadas, independientemente del equipo de procesamiento empleado.

**Calidad:** No deberá contener cantidades dañinas de arcilla, limo, álcalis, mica, materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales.

**Granulometría:** El agregado fino deberá estar bien gradado entre los límites fino y grueso y deberá llegar a tener la granulometría siguiente:

Tabla 3. Granulometría utilizada

Tamiz (ASTM)	Tamiz (Nch) (mm.)	Abertura real (mm.)	Tipo de suelo
3 "	80	76,12	} GRAVA
2 "	50	50,80	
1 1/2 "	40	38,10	
1 "	25	25,40	
3/4 "	20	19,05	
3/8 "	10	9,52	} ARENA GRUESA
Nº 4	5	4,76	
Nº 10	2	2,00	
Nº 20	0,90	0,84	} ARENA MEDIA
Nº 40	0,50	0,42	
Nº 60	0,30	0,25	
Nº 140	0,10	0,105	} ARENA FINA
Nº 200	0,08	0,074	



#### 4.1.1 Gravados de ¾

Es un agregado grueso que consiste de material triturado extraído de rocas calizas cuyo tamaño máximo es de 19mm (¾") a 2,36 mm (malla #8). Cumple con los requisitos de calidad establecidos en las normas vigentes para "Agregados para Concreto".

Aplicaciones: Se utiliza principalmente para la fabricación de concretos con resistencias normales a la compresión. (Ver tabla 3)

#### 4.1.3 Aditivos

##### **SIKATARD-930**

Aditivo desarrollado para controlar la hidratación del cemento. De esta forma, las mezclas de concreto puede estabilizarse durante cierto periodo de tiempo, este periodo está sujeto a la dosificación empleada.

Imagen 22. Galón SIKATARD-930



Fuente: Industrias Sika

**Usos** Se utiliza para dar estabilidad a concretos convencionales, incluyendo concretos proyectados por vía seca o vía húmeda en trabajos de obras subterráneas, alargando su tiempo de manejabilidad. Permite el transporte del concreto a largas distancias o por tiempos prolongados sin pérdida de trabajabilidad. (Ver fotografía 4)

**Ventajas:** Con la utilización de aditivos estabilizador Sikatard-930 se consigue un concreto enormemente fluidificado, retrasando al mismo tiempo la hidratación del cemento durante un período de tiempo que depende de la dosificación de aditivo utilizada.

La mezcla de concreto fresco permanece estable durante el tiempo de retraso manteniéndose constante su trabajabilidad y la calidad del mismo.

Su efecto es distinto al de los retardadores de fraguado tradicionales, los cuales se limitan a ralentizar fuertemente la hidratación del cemento.

El concreto proyectado por vía húmeda o vía seca estabilizado con el aditivo Sikatard-930, se activa inmediatamente cuando entra en contacto con un aditivo acelerante de fraguado, de forma que se reanuda de nuevo la hidratación de la mezcla.

No es tóxico.

### **SIKA® STABILIZER 100**

Sika® Stabilizer® 100 es un aditivo estabilizador para mezclas de hormigón y mortero basado en nano componentes sintetizados. Incrementa la estabilidad de las mezclas de concreto, compensa el efecto negativo al usar agregados con una composición granulométrica no óptima, proporciona características estables de una mezcla de concreto cuando se usan rellenos con humedad variable.

#### **CARACTERÍSTICAS**

- Reducción de la separación de agua
- Mayor resistencia a la segregación
- Ninguna influencia en la movilidad de la mezcla de hormigón
- Mejorando la manejabilidad y la compactación
- Mejorando la distribución del agregado en la mezcla de concreto
- mejora de la calidad superficial del concreto
- Mejorando la distribución del aire arrastrado en una matriz de concreto

Imagen 23. Barril SIKA® STABILIZER



Fuente: Industrias Sika

#### **4.1.4 Cemento**

Es un cemento especialmente diseñado para la producción industrializada de concreto, que ofrece una mayor eficiencia y un alto desarrollo de resistencias a edades iniciales y finales.

Las especificaciones del Cemento Uso Concretero cumplen con los valores de la Norma Técnica Colombiana NTC 121 (Tipo ART).

#### VENTAJAS CONSTRUCTIVAS

- En la producción de concretos y morteros ofrece un alto desarrollo de resistencias en todas las edades.
- Permite optimizar consumos de cemento a través de diseños eficientes, para lograr concretos y morteros más económicos con adecuados niveles de resistencia.
- En plantas, centrales de mezclas y obras con producción industrializada, se aumenta la productividad
- Gracias a su manejo a granel su rápido desarrollo de resistencia permite agilizar el avance de los proyectos.

**Presentación:** Granel

#### **Especificaciones técnicas**

Tabla 4. Resistencia mínima a la compresión simple (Mpa) del cemento Concretero Argos

Resistencia mínima a la compresión, (MPa)					
3 días	NTC 220	11.0	12.0	12.0	11.0
7 días	NTC 220	22.0	24.0	24.0	22.0
28 días	NTC 220	----	----	43.4	41.4

FUENTE: cementos ARGOS

#### 4.2 PREPARACIÓN DE LA MEZCLA

La mezcla detrítica cementada se prepara en la planta de concreto (ver fotografía 4), allí se realiza la dosificación de la mezcla, las cantidades de materiales para obtener una mezcla optima son estrictas (ver tabla 5).

Durante la etapa de mezclado, los diferentes componentes se unen para formar una masa uniforme de concreto como se muestra en la figura 2, el concreto debe ser bombeable con un asentamiento entre 180 y 210 mm (ver tabla 5) El tiempo de mezclado es registrado desde el momento en que los materiales y el agua son vertidos en la tolva dosificadora de cemento y luego siendo vertida a los camiones mezcladores (ver fotografía 1) donde esta empieza a rotar.

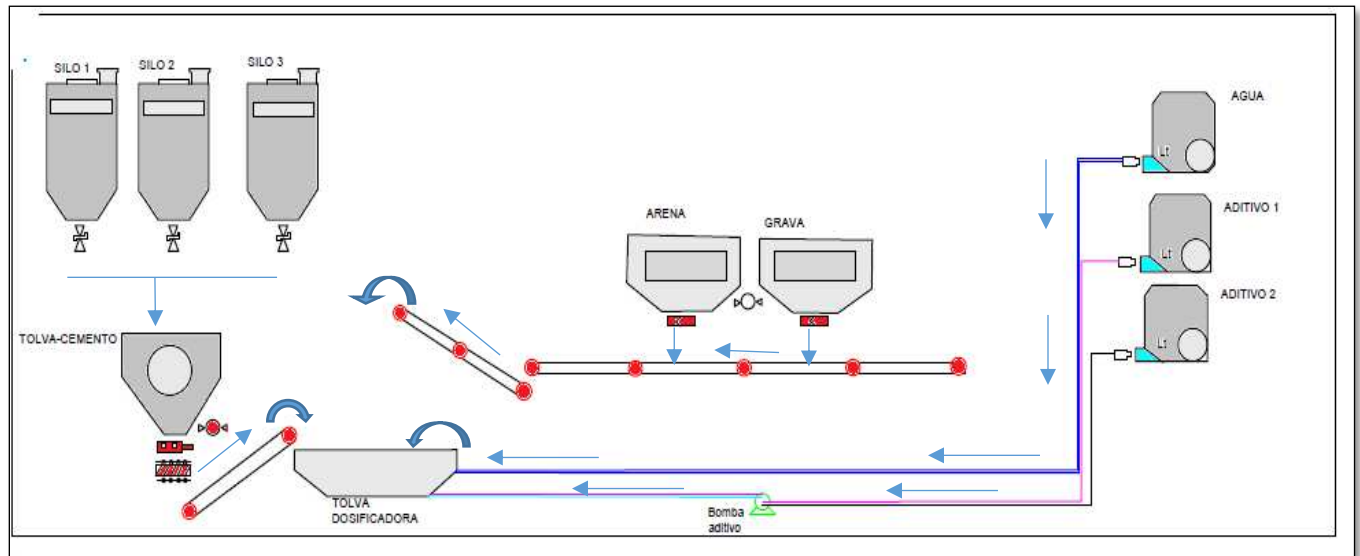
Tabla 5. Asentamiento requerido

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO
SECA	25 A 50 mm
PLASTICA	75 a 100 mm
FLUIDA	> 175 mm



Al transportar el concreto, la unidad revolvedora (camión mixer) se mantiene en constante rotación, con una velocidad de 2 a 6 vueltas por minuto. (Ver anexo 3)

Figura 2 .flujo grama preparación RDC



Fuente: Autor

### 4.3 DOSIFICACIÓN

La dosificación implica establecer las proporciones apropiadas de los materiales que componen el hormigón, a fin de obtener la resistencia y durabilidad requeridas, o bien, para obtener un acabado o pegado correctos. Generalmente expresado en gramos por metro (g/m).

En el caso del RDC se manejan cantidades estrictas en los diferentes materiales para así obtener mezcla óptima. (Ver tabla 6)

\* La planta está diseñada para dosificar 45m<sup>3</sup>/hora

\* El tiempo estimado de carguío de una mixer de 8m<sup>3</sup> es de 10 minutos

Tabla 6. Cantidades de materiales para una mezcla de 1 m<sup>3</sup> de RDC

<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>DESCRIPCION</b>
910	Kg	Finos 200 (arena)
910	Kg	Gravas 3/4
250	Kg	Cemento
180	Lt	Agua
1,9	Lt	Sika® stabilizer 100
0.9	Lt	Sikatard 930

Con esta dosificación se llega a 9.5Mpa de resistencia,

## 4.4 EQUIPOS

### 4.4.5 Bomba schwing SP 2000

La mina el Roble cuenta con dos bombas SCHWING SP 2000, una de ellas en standby, con el cual realizan el bombeo desde la cámara de bombeo de RDC hasta las labores a rellenar, La bomba de hormigón SP2000 SCHWING es un equipo fabricado para obras medianas y grandes en las condiciones más extremas de trabajo. Esta clase incluye bombas de hormigón ideales para el bombeo a grandes distancias verticales u horizontales y ofrece una gran cantidad de ventajas conocidas por la confiabilidad y calidad SCHWING.(ver imagen 23 )

Estos equipos tienen bombas hidráulicas de flujo variable que eliminan el riesgo de sobrecarga del motor de accionamiento.

El flujo hidráulico variable optimiza la distribución del volumen de aceite y de la presión, es decir, la bomba de hormigón se adapta automáticamente a diferentes necesidades o dificultades de bombeo. La regulación manual de los ciclos permite ajustar el volumen de bombeo y el circuito hidráulico abierto combinado con el bloque de comandos "hi-flow" SCHWING significa baja calefacción del aceite hidráulico con casi ninguna pérdida de potencia y con la conservación de los componentes hidráulicos.

En el intervalo entre los trabajos de bombeo, el comando hidráulico principal SCHWING funciona sin presión, devolviendo todo el aceite despresurizado hasta el depósito y ayudando el intercambio de calor del sistema. Los equipos SCHWING no funcionan con bomba de alimentación continua, pues este sistema hace perder potencia de accionamiento, aumentando el consumo de combustible.

Imagen 23. Bomba SCHWING SP 2000



a

Tabla 7. Datos técnicos bomba schwing sp 2000

<b>AUTOBOMBAS DE CONCRETO</b>						
MODELO	CAUDAL TEÓRICO DE CONCRETO (m <sup>3</sup> /h)	ALCANCE HORIZONTAL (m)	ALCANCE VERTICAL (m)	DIÁMETRO TUBERÍA SALIDA (mm)	MOTOR CAT	POTENCIA HP
SP 305	23	244	60	100	C2,2 - T4	49.5
SP 500	35	354	100	125	C3,4 - T3	80
SP 750 - 15	38	354	100	125	C4,4 - T3	100
SP 750 - 18	54	354	100	125	C4,4 - T3	100
SP 1000	54	354	100	125	C4,4 - T3	139
SP 1250	73	354	100	125	C6,6 - T	170
SP 2000	91	460	130	125	C4,4 - T3	173
SP 4800	81	700	210	125	CAT - T4	443

Fuente: schwinglatinoameric

#### 4.4.6 Camión mixer:

La empresa Minera el Roble S.A, transporta el RDC por medio de tres camiones mezcladoras mixer marca Wolsvagen y dos International, pertenecientes a la empresa contratista Vías y Explanación S.A, (Ver fotografía 1), con capacidad de carga de 8 m<sup>3</sup> cada una.

Fotografía 1. Camión mixer



Fuente: Autor

#### 4.4.7 Telehandler Manitou MT-X 1440 SLT:

La Minera el Roble S.A, utiliza un equipo de alturas para el trabajo de instalación de tuberías y perforación de barrenos altos para la construcción de la barreras o tapón,(ver fotografía 2) para este la empresa cuenta con la contratación de una compañía dedicada al alquiler de equipos, en este caso es Serviequipos el cual presta su servicio con el alquiler de equipos y operador ; el equipo prestante de este servicio es un Telehandler marca Manitou referencia MT-X 1440 SLT; este equipo es especialmente diseñado para manejar cargas a grandes alturas, el MT-X 1440 SLT es un manipulador telescópico que le permite manejar cargas de hasta 14 m, y está diseñado para durar para una mayor eficiencia y condiciones de trabajo completamente seguras. Gracias a su panel de instrumentos y controles fáciles de agarrar, sus operadores estarán funcionando en muy poco tiempo. (Ver anexo 4).

Sus grandes estabilizadores y el sistema de nivelación del bastidor, cuando se combina con una distancia al suelo generosa, significa que su manejador será estable independientemente del relieve del terreno.( ver imagen 24)

Imagen 24. Telehandler Manitou MT-X 1440 SLT



Fuente: industria Manitou

Fotografía 2. Telehandler Manitou



Fuente: Autor

#### 4.4.8 Perforadora manual jack-leg

Perforadora con barra de avance que puede ser usada para realizar taladros horizontales e inclinados, se usa mayormente para la construcción de galerías, subniveles, Rampas perforadora convencional neumática. (Ver imagen 25)

Imagen 25. JACK LEG



Fuente: universidad continental. Jhony Vladimir Luque

Tabla 8. Especificaciones técnicas maquina Jack-leg

ESPECIFICACIONES	MÉTRICO
Carrera del pistón	73.25mm
Carrera útil del pistón	66.7mm
Frecuencia de impacto	2250.0g/m
Longitud de la perforadora	686.0mm
Peso de la perforadora	33.0kg
Peso de la pierna	15.0kg
Carrera de la pierna de avance	1270.0mm
Diámetro interior del cilindro de avance	67.0mm
Consumo de aire (620 kPa/90 psi)	4.9 m <sup>3</sup>

#### 4.4.9 Cargador frontal L120E:

La máquina cargadora de Volvo de 20 toneladas es potente y de fácil operación. L120E como se observa en la siguiente fotografía es rápida, eficaz y productiva. El operador se mantiene descansado y concentrado durante todo el turno de trabajo y la máquina trabaja además produciendo las menores repercusiones posibles en el medio ambiente.

Fotografía 3. Cargador frontal L120E



Fuente: industrias Volvo

#### *Especificaciones L120E*

Motor: Volvo D7D LA E2

- Potencia máxima a 30,0 r/s (1800 r/min)

SAE J1995 bruta 165 kW (224 hp)

ISO 9249,

SAE J1349 neta 164 kW (223 hp)

- Fuerza de arranque: 162,2 kN\*
- Carga estática de vuelco: a giro completo 12 020 kg\*
- Cucharas: 3,0–9,5 m<sup>3</sup>
- Garras para troncos: 1,1–2,4 m<sup>2</sup>
- Peso operativo: 18,4–20,7 toneladas
- Neumáticos: 23.5 R25  
750/65 R25

#### 4.5 PLANTA DE CONCRETO

La planta de concreto se ubica aproximadamente a 800 m de la boca-mina del túnel 1880 y a 1120 m a la bomba SCHWING; consta de cuatro silos de almacenamiento de concreto, tres tolvas una para la arena, para la grava y una tolva dosificadora, un centro de mando (ver fotografía 4)





Fuente: industrias Volvo

Fotografía 4. Planta de concreto Minera el Roble S.A

#### 4.5.1 Tolva dosificadora

El dosificador es una herramienta primordial para una empresa o proceso productivo, su función primordial consisten en llenar o proveer de producto en una cantidad determinada, durante un ciclo de tiempo.

Los dosificadores en general están constituidos de 3 partes como se muestra en la figura 3

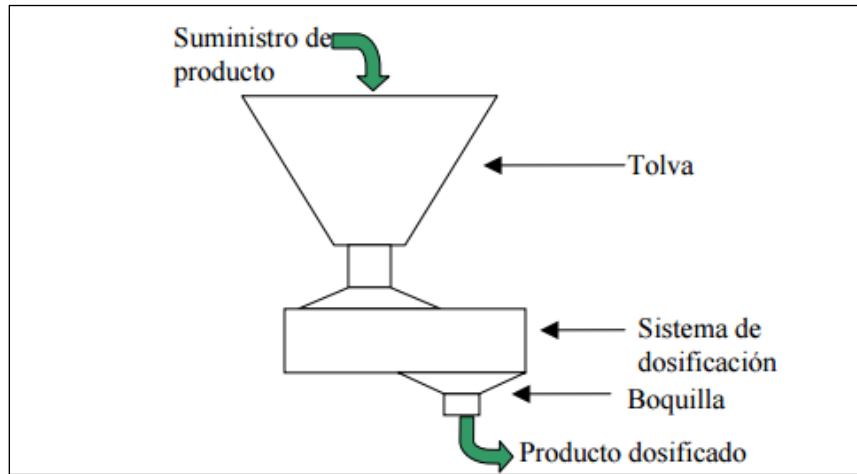
- Tolva de almacenamiento.
- Sistema dosificador
- Boquilla o tubo de descarga

Estas partes, pueden variar en diseño, de acuerdo al producto a dosificar, la forma como se determina la cantidad a descargar; ya sea por peso o por volumen y la cantidad de material a dosificar.

- Tolva de almacenamiento

La tolva recibe el producto de la línea de producción ya sea por una banda transportadora, por un tornillo transportador o descargándolo manualmente. La función principal de la tolva es mantener producto en su interior para ser dosificado.

Figura 3. Partes de un dosificador



. Fuente: Wikipedia

- Sistema dosificador

El sistema de dosificación es la parte más importante del dosificador en conjunto. Este se encarga de determinar y medir la cantidad de producto que se va a retirar de la tolva, para pasar al siguiente proceso que es el empaque. La medición se puede realizar de dos formas: por volumen o por peso, según las características del producto y el grado de exactitud que se requiera.

- Boquilla o tubo de descarga

Las boquillas o tubos de descarga son los encargados de impedir que el producto que sale dosificado no se riegue o desperdicie, y se dirija correctamente a la Tolva Sistema de dosificación Suministro de producto Boquilla Producto dosificado bolsa o empaque. También evita riesgos al operario, que tenga un contacto directo con otras partes de la máquina y en productos altamente volátiles que el operario inhale el producto.

#### 4.5.2 Tolva de almacenamiento de gravas y finos

La empresa cuenta con dos tolvas, una para el almacenamiento de gravas y la otra para los materiales finos (arena), cada una de ellas con capacidad de 2 toneladas. (Ver fotografía 5)

#### 4.5.3 Silos de almacenamiento de cemento a granel

Pertencientes a la empresa Argos, donde es comprado el cemento Concretero por parte de minera el roble; se cuenta con 4 silos de almacenamiento con capacidad de 60, 50 y dos de 40 toneladas (ver fotografía 4)





Fuente: Autor

Fotografía 5. Tolva de almacenamiento de gravas y finos (arenas)

#### 4.5.4 Bomba para el aditivo

Para la absorción de los aditivos (plastificante y estabilizante) la empresa cuenta con una bomba neumática para esta labor (ver figura 4), los aditivos van a la tolva dosificadora (ver fotografía 6) las cantidades de aditivos necesarios para una mezcla optima se observan en la tabla 5



Fuente: Autor

Fotografía 6. Bomba para los aditivos

- Bomba Neumática De Doble Membrana

Las bombas de membranas son conocidas para las altas prestaciones, la elevada potencia y su robusteza que las hace idóneas al bombeo de fluidos con viscosidad aparentes muy elevadas,

de hasta 50.000 cps (a 20°C) incluso en presencia de partes sólidas en suspensión. La capacidad de aspiración en seco desde notables alturas de aspiración, junto a la posibilidad de efectuar una regulación fina de la velocidad sin pérdidas de presión, del caudal y de la altura de elevación, así como la posibilidad de funcionar en vacío sin sufrir daños, han proporcionado a estas bombas una versatilidad de empleo sin iguales. (ver figura 2) Además, la amplia elección de los materiales de composición permite determinar la mejor compatibilidad química con el fluido y/o con el ambiente sin olvidar el campo de temperaturas. Su principio constructivo las hace especialmente indicadas para aplicaciones gravosas con elevada humedad o en ambiente potencialmente explosivo

– Principales ventajas:

1. Ejecuciones en polipropileno, PVDF/ECTFE, aluminio y acero inox AISI 316;
2. empleo en ambiente explosivo (certificado ATEX);
3. adecuadas para empleos gravosos y ambientes con elevada humedad;
4. funcionamiento en seco;
5. auto cebado en seco;
6. alimentación por aire no lubricado;
7. caudal y altura de elevación regulables;
8. regulación fina de la velocidad de presión constante;
9. posibilidad de colectores desdoblados (dos aspiraciones y dos descargas);
10. instalación de banco o de techo;
11. tres posiciones de descarga y aspiración;
12. facilidad de mantenimiento y sustitución piezas;
13. óptima relación prestaciones/costos.

– Descripción de la bomba:

Las bombas de membrana deben estar constituidas por un motor neumático coaxial colocado centralmente. En su eje están fijadas las membranas de nueva generación. En las dos extremidades los dos cuerpos bomba alojan las válvulas de bola y las relativas sedes de retención del conducto de aspiración y descarga producto.

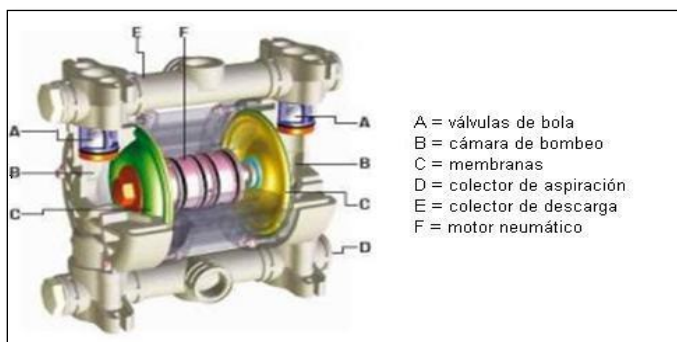


Figura 4. Bomba neumática de doble membrana

Fuente: <http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=14668>

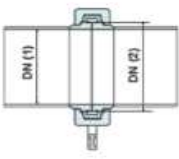
## 4.6 SERVICIOS AUXILIARES

### 4.6.1 Accesorios

4.6.1.1 Tuberías: En cumplimiento de los requisitos de la nueva versión de la norma, las tuberías en hierro dúctil se designan ahora por clases de presión (la letra C acompañada de un número que indica la presión de funcionamiento admisible PFA en bares). La norma estableció tres clases de presión preferenciales, así:

- Tubería C40 (40 bares) para los diámetros DN 80 a 300 mm,
- Tubería C30 (30 bares) para los diámetros DN 350 a 600 mm, y
- Tubería C25 (25 bares) para los diámetros DN 700 a 2000 mm

Tabla 9. Especificaciones DN de las tuberías



	DN (1)		DN (2)	
	DN 100	4"	4" 1/2	127
→	DN 125	5"	5" 1/2	148
	DN 150	6"	6" 1/2	167

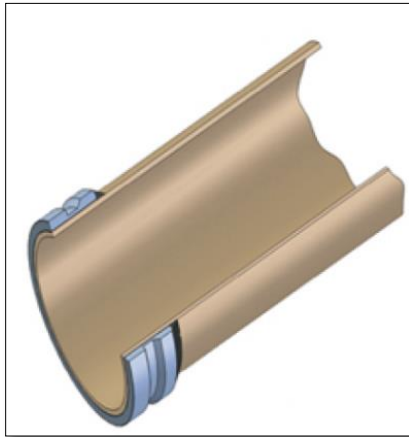
Figura 5. Tuberías, codos y abrazaderas



Fuente: <http://gruasyequipos.com/accesorios-bombeo-concreto/>

- Tubo HD de 5"

La tubería de hierro dúctil, tiene una dureza más del doble respecto al ST52 con Protección anti-desgaste, con un peso al metro lineal equivalente al ST52, (ver anexo 6) máxima resistencia al impacto tanto externo como interno, con una longitud de 1 y 3 m, fácil de trabajar es muy útil para reparaciones rápidas en obra y taller sin particulares problemas de soldadura. (Ver imagen 26)



Fuente: <http://gruasyequipos.com/accesorios-bombeo-concreto/>

Imagen 26. Tubería HD de 5"

- Codo HD de 5" de 45°-90°

Diámetro nominal:

ND100 / ND112 / ND125.

Presión: 85 bar.

Cuerpo: Espesor: 13 mm.

Cuello: inserto de carburo de cromo.

Codo Especial para concretos agresivos.



Fuente: <http://gruasyequipos.com/accesorios-bombeo-concreto/>

Imagen 27. Codos de 45° y 90 °

#### 4.6.1.2 Abrazaderas

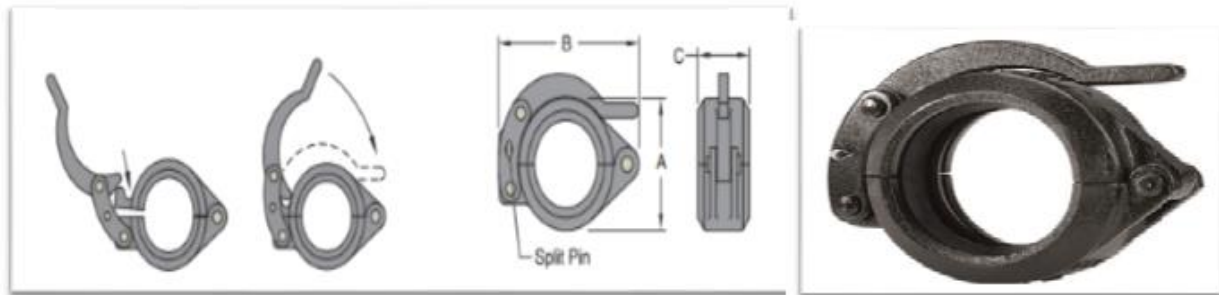
Abrazadera cola de ratón :Acoplamiento acanalado está diseñado para conectar y desconectar rápidamente, desconexión de sistemas de tuberías ranuradas cortadas o laminadas, utiliza un

mecanismo de palanca con bisagras, Los segmentos de tubería acanalados se unen rápida y seguramente sin tuercas y tornillos. (Ver imagen 28)

Acoplamiento: Los segmentos de la carcasa se bloquean en su lugar fijando la manija de la palanca con un pasador de división.

Características adicionales:

- La característica única de cierre en dos pasos permite una instalación fácil y rápida
  - Tamaños de 5 "a 8" (125 mm a 200 mm) presentan un nervio cruzado
- Diseño de la cubierta para la fuerza adicional.
- Calibrado para presiones de hasta 300 psi (20,7 bar).



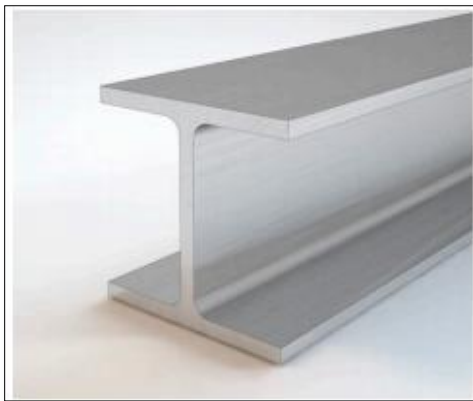
Fuente: <http://gruasyequipos.com/accesorios-bombeo-concreto/>

Imagen 28. Abrazadera cola de ratón

#### 4.6.1.3 Vigas aceradas HEA de 12 m

Se denomina perfil HEA o viga de ala ancha y caras paralelas, al producto cuya sección tiene forma de H. Las caras exteriores de las alas son perpendiculares al alma, por lo que éstas tienen espesor constante (caras paralelas). Las uniones entre las caras del alma y las caras interiores de las alas son redondeadas. Estas tienen el borde con aristas exteriores e interiores vivas (ver imagen 29)

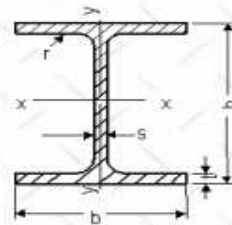
Imagen 29. Viga HEA 140



Fuente: <http://www.ipac-acero.com/producto-detalle.php?id=45>



Tabla 10. Dimensiones de la viga HEA 140



**VIGAS HEA**

HEA (l) IPBL	DIMENSIONES (mm)					ÁREA cm <sup>2</sup>	PESO kg/m	MOMENTO RESPECTO A LOS EJES					
	h	b	s	t	r			EJE X - X			EJE Y - Y		
								I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	S <sub>x</sub> cm	R <sub>x</sub> cm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	S <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	R <sub>y</sub> cm
100	96	100	5.0	8.0	12	21.2	16.7	349	72.8	4.06	134	26.8	2.51
120	114	120	5.0	8.0	12	25.3	19.9	606	106.0	4.89	231	38.5	3.02
140	133	140	5.5	8.5	12	31.4	24.7	1030	155.0	5.73	389	55.6	3.52
160	152	160	6.0	9.0	15	38.8	30.4	1670	220.0	6.57	616	76.9	3.98
180	171	180	6.0	9.5	15	45.3	35.5	2510	294.0	7.45	925	103.0	4.52
200	190	200	6.5	10.0	18	53.8	42.3	3690	389.0	8.28	1340	134.0	4.98
220	210	220	7.0	11.0	18	64.3	50.5	5410	515.0	9.17	1950	178.0	5.51
240	230	240	7.5	12.0	21	76.8	60.3	7760	675.0	10.10	2770	231.0	6.00

Fuente: <http://www.ipac-acero.com/producto-detalle.php?id=45>

4.6.1.4 Tablones 2x2.40 m de 8" de madera Roble

La mina el Roble utiliza madera de la región; cortada con dimensiones de 2x2.40 m y 8" estos tablones se utilizan para la elaboración del tapón contendedor de la mezcla detrítica cementada

Características físicas de la madera:

Color: Varía del marrón-amarillo claro al marrón.

Textura: Gruesa. El tejido blando puede eliminarse con un cepillo de alambre o puliendo la madera con arena para conseguir efectos especiales.

Fibra: Puede ser muy ondulada

4.6.1.5 Geotextil

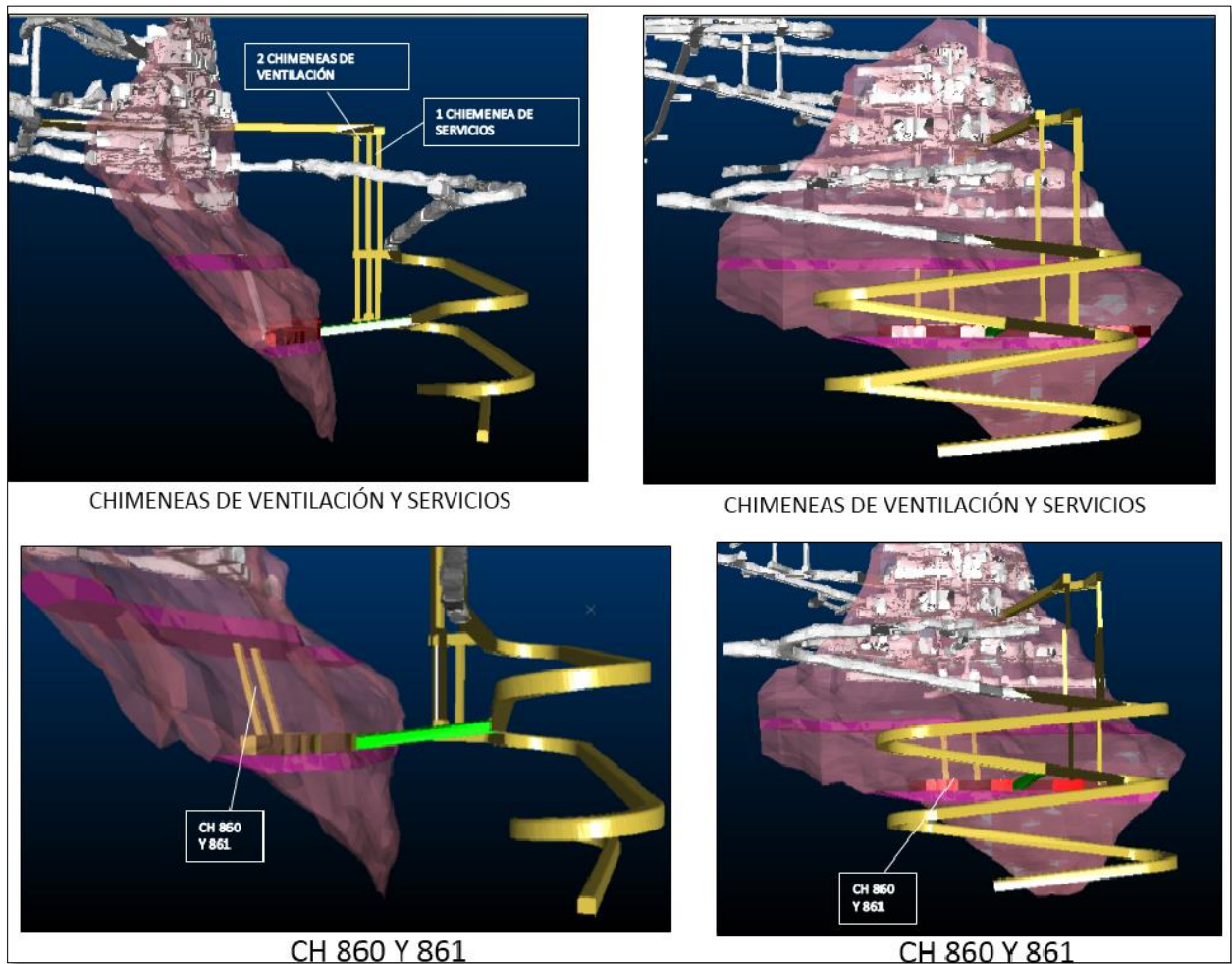
Es una tela permeable y flexible de fibras sintéticas, principalmente polipropileno y poliéster, las cuales se pueden fabricar de forma no tejida o tejida dependiendo de su uso o función a desempeñar.

En el caso de la fabricación o construcción del tapón, se utiliza para hermetizar el mismo con el fin de contener la mezcla entre los tablonos de madera instalados previamente.

#### 4.6.2 Instalación de las tuberías

La instalación de las tuberías se divide en dos:

- Red principal: esta red va por las chimeneas de ventilación hasta llegar a las diferentes labores a rellenar, se revisa periódicamente para ver su condición y estado de trabajo (ver figura 8 o anexo 5) se anclan a la pared de tal manera que no interfiera en lo posible con la ventilación de la mina.



Fuente: departamento de planeamiento minas el Roble

Imagen 30. Chimeneas de ventilación y servicios auxiliares

- Red secundaria: se une a las chimeneas de donde viene la red principal, luego se conecta a la tubería o red secundaria; esta se instala se hacen en la parte superior central de las galerías hasta llegar al tajo o cámara a rellenar; se perforan barrenos de 1 m y de 38 mm de diámetro separados a 1.5 m cada uno; se instalan barrillas corrugadas con su planchuela para luego ser amarradas con cadenas aceras y de allí colgar la tuberías. (ver fotografía 9 )

#### 4.6.3 Limpieza de tuberías

La limpieza de las tuberías se realiza cada vez que haya una parada de bombeo de la mezcla (45 mn), con el fin de destaponar y limpiar la tubería o con es finalizado el relleno en el tapón; esto se realiza mediante una esfera de limpieza, nombrada en la mina como el diablo; estas esferas son fabricadas en Caucho Natural de la mejor calidad y no son mezcladas con goma sintética o termoplástica (ver imagen 31), con las siguientes características:

Porosidad de celdas abiertas: apretando la pelota y soltándola se siente evidentemente el ruido del aire al entrar y salir.

Elevada resistencia a la abrasión, durando más del doble respecto a las pelotas sintéticas.

Imagen 31. Esfera de limpieza (Diablo)



Fuente: <http://gruasyequipos.com/accesorios-bombeo-concreto/>

#### 4.6.4 Vida útil

La vida útil de la tubería y accesorios está asociada a la ubicación de estos, los accesorios ubicados en puntos críticos (instalación de varios tubos rectos seguidos de un codo) tienen una vida útil de 200m<sup>3</sup> transportados, cuando no están ubicados en un punto crítico los codos tienen una vida útil de 1000m<sup>3</sup> y los tubos rectos tienen vida útil aproximada de 20000m<sup>3</sup>



## 4.7 TRANSPORTE DE LA MEZCLA DETRÍTICA CEMENTADA

### 4.7.1 De planta a la bomba SCHWING

La mezcla detrítica cementada El transporte del relleno se lleva a cabo mediante 3 mixer que deben recorrer 1295 m desde la planta de concreto hasta interior mina donde se encuentra ubicada la Bomba Schwing, dicho recorrido lo debe realizar a una velocidad no superior a los 10Km/h, generando un promedio de 10 minuto para realizar el recorrido total. (Ver figura 6)

### 4.7.2 De la bomba SCHWING a la labor a rellenar

Para el relleno detrítico cementado se usa tubería de 1m, 2m, 3m, codos de 45°, codos de 90° y mangueras flexibles de 6m de longitud, los tubos tienen un espesor de 4mm y su fabricación es a base de acero con alto contenido de carbón, los empalmes son de flancho plano y para el acople correcto se usan abrazaderas cola de ratón con su respectivo empaque. (Ver anexo 5)

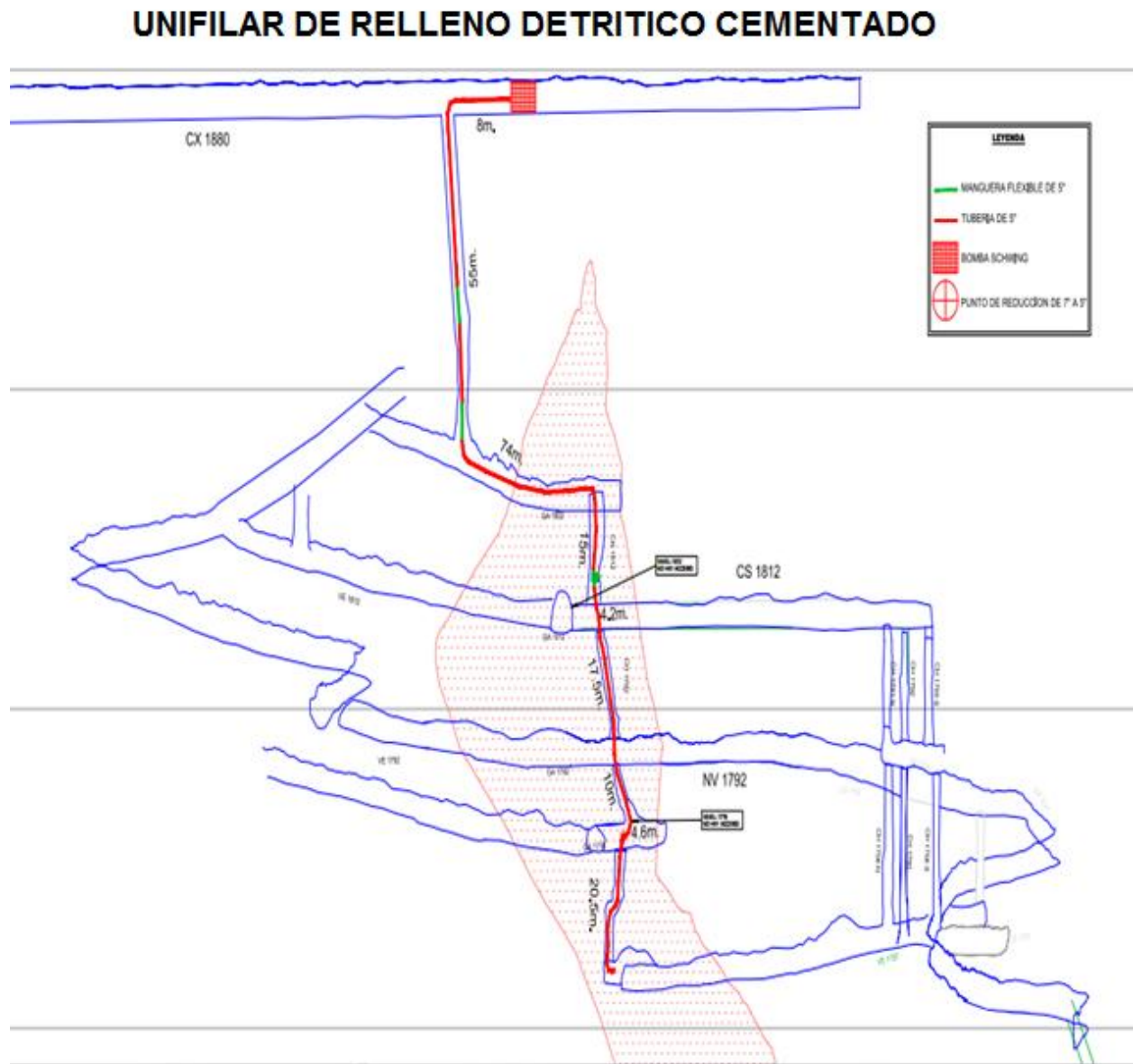
Figura 6. Recorrido del RDC de planta a la bomba SCHIWING



Fuente: Autor

## 5 UNIFILAR RED PRINCIPAL DEL SISTEMA DE RDC

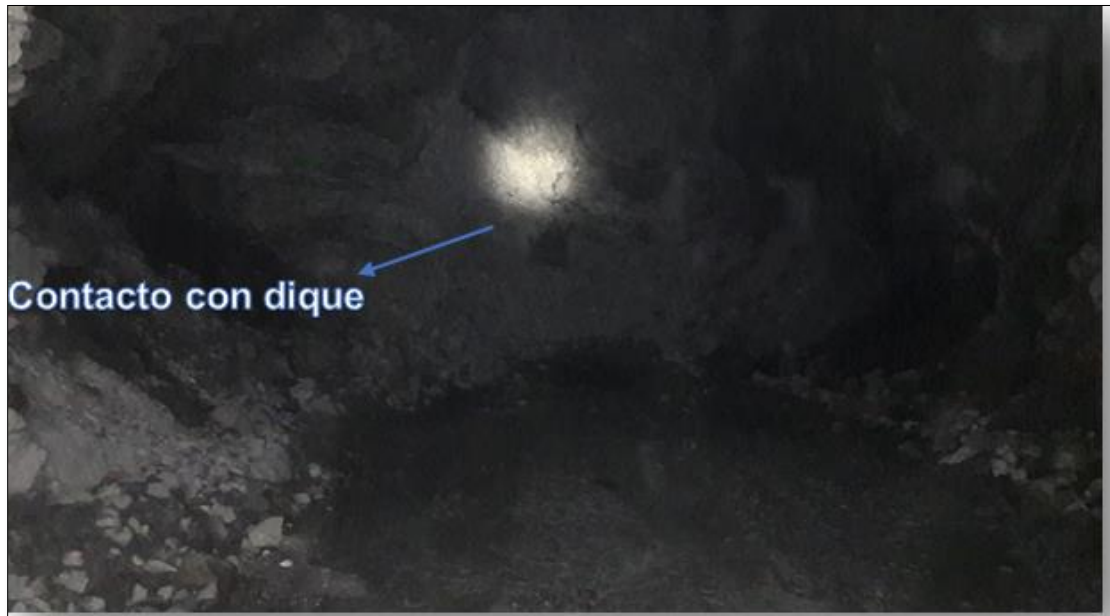
Figura 7. Unifilar red principal del sistema de RDC



Fuente: Autor  
Ver anexo 5

## 6 PREPARACIÓN DE LOS TAJOS (TAPÓN)

Par dar inicio a la preparación de los tajos o al avance del tapón para ser rellenada con RDC, se tiene en cuenta que la labor ya haya tocado contacto con dique o roca no mineralizada, como se muestra en la siguiente fotografía



Fuente: Autor

Fotografía 7. Cámara o tajo finalizado en extracción.

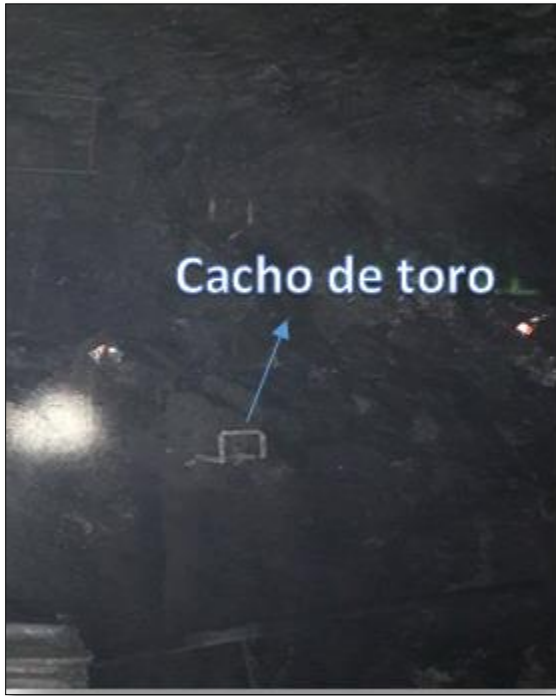
Se da inicio a la perforación con la maquina jack-leg; para ser insertados los cacho de toros que van sostener las vigas tipo H, en total se perforan 12 barrenos y se instalarán 6 cacho de toros, los barrenos se perforan a 6 pies de longitud, como se contempla en la siguiente fotografía.



Fuente: Autor

Fotografía 8. Perforación de barrenos para los cachos de toros

Luego de tener los barrenos perforados; se insertan los cachos de toros (ver fotografía 9)



Fuente: Autor

Fotografía 9. Instalación de cacho de toro

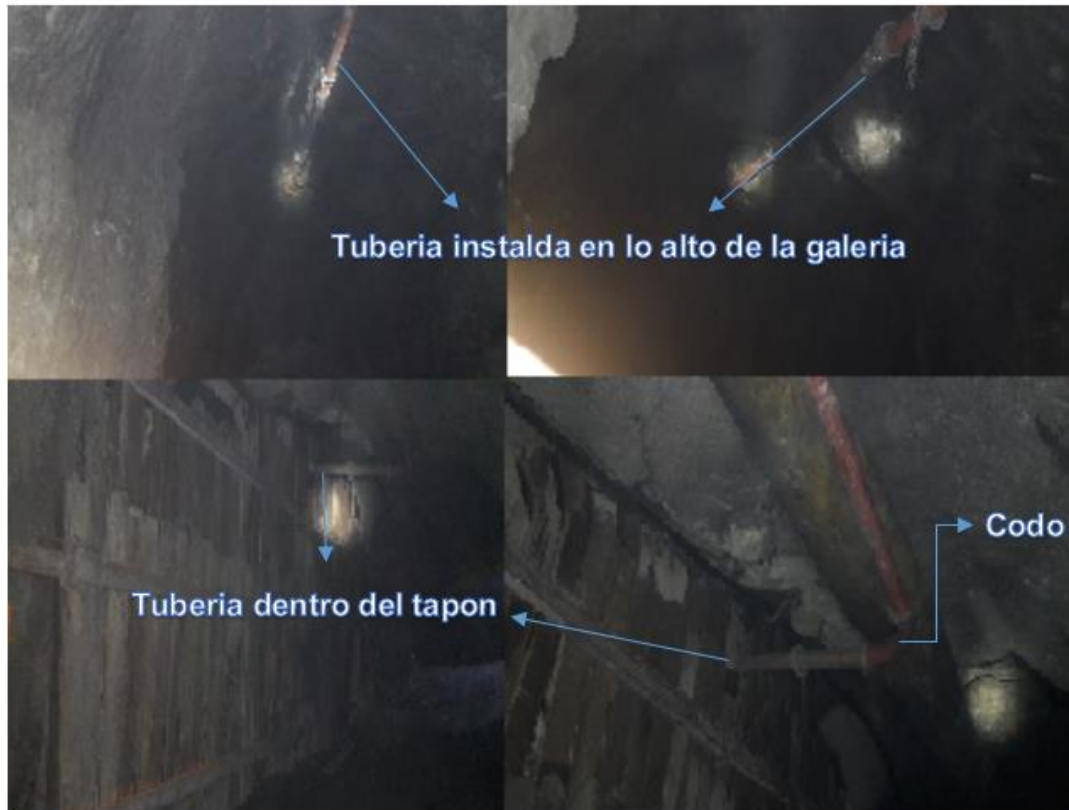
Después de tener los 6 cachos de toros instalados, se ubican tres vigas tipo H, en forma horizontal, éstas serán el soporte del relleno, además se ponen tablones 2x2.40 m de 8" de madera Roble, amarradas con alambre a las vigas; y por último se instalan una capa de Geotextil para evitar vaciado de RDC (Ver fotografía 10)



Fuente: Autor

### Fotografía 10. Tapón finalizado

Por último se instala la tubería secundaria, que va a conducir el RDC a la cámara o tajo ya preparado como se observa en la siguiente fotografía.



Fuente: Autor

### Fotografía 11. Instalación de tubería secundaria

Se da orden de preparación de mezcla y transporte de la misma desde planta de concreto a la bomba Schwing, luego a la tubería primaria o principal y se finaliza a la tubería secundaria (ver anexo 3)

## 7 EVALUACION DEL SISTEMA DE RELLENO RDC LA MINA EL ROBLE

### 7.1 VENTAJAS

- ✚ La recuperación es cercana al 100%. Ya que se van a crear pilares artificiales con el RDC
- ✚ Es altamente selectivo, lo que significa que se pueden trabajar secciones de alta ley y dejar aquellas zonas de baja ley sin explotar.
- ✚ Es un método seguro.
- ✚ En la mina el Roble alcanzo un alto grado de mecanización.
- ✚ Se adecua a yacimientos con propiedades físicos mecánicas incompetentes
- ✚ Permite una disponibilidad inmediata del mineral

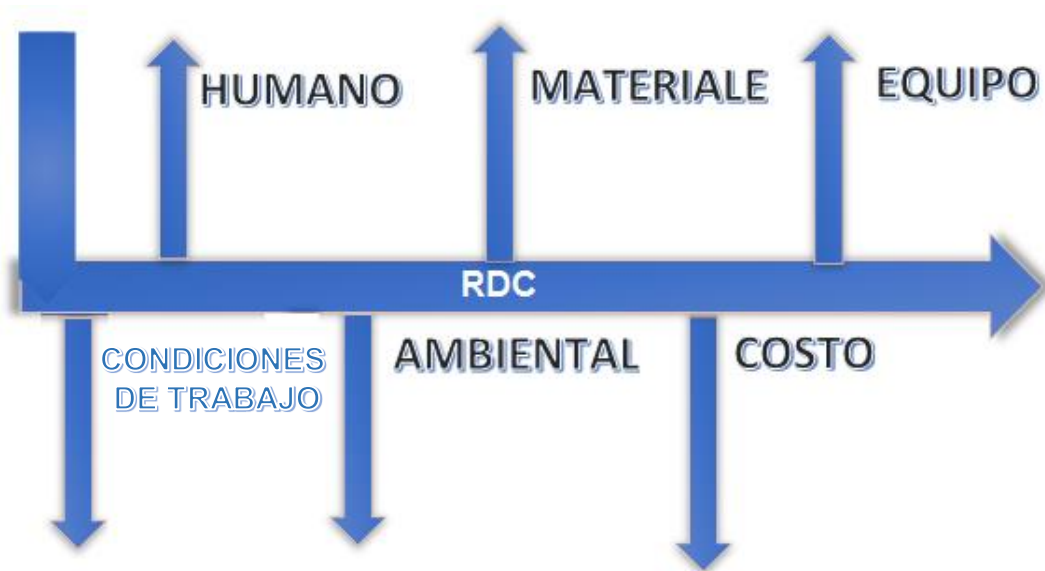
### 7.2 DESVENTAJAS

- ✚ Costo de explotación elevado.
- ✚ Bajo rendimiento por la paralización de la producción como consecuencia del relleno.
- ✚ Consumo elevado de materiales para la mezcla detritica
- ✚ Alto costo de bombeo de material y que a su vez debe tener un equipo en standby
- ✚ Instalación constate de tuberías y alto costos de las mismas

## 8 IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS

Fuente: Autor

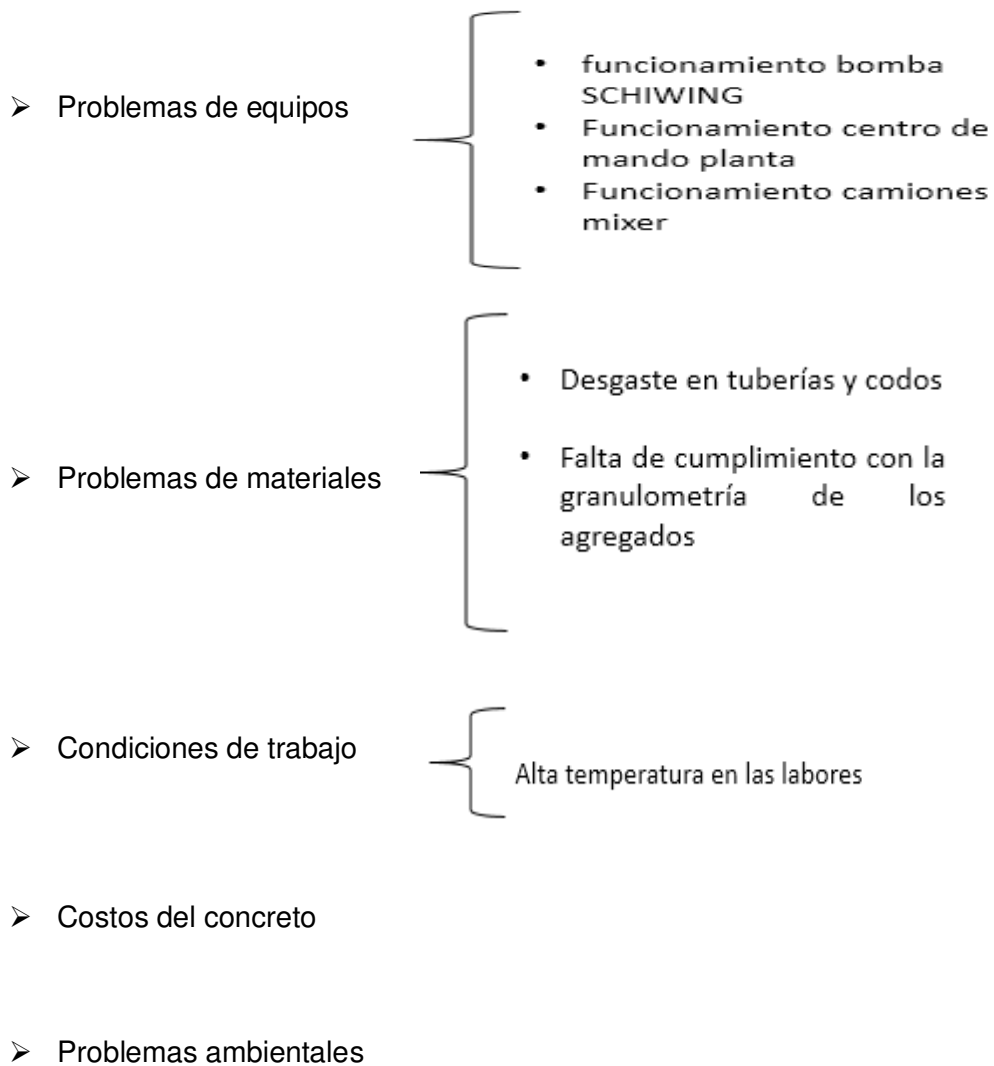
Figura 9. Identificación de problemas



Se realizó un análisis de los principales motivos de retraso en el relleno detrítico cementado, durante los meses de febrero y marzo del presente año donde se pudieron identificar cinco grandes pilares:

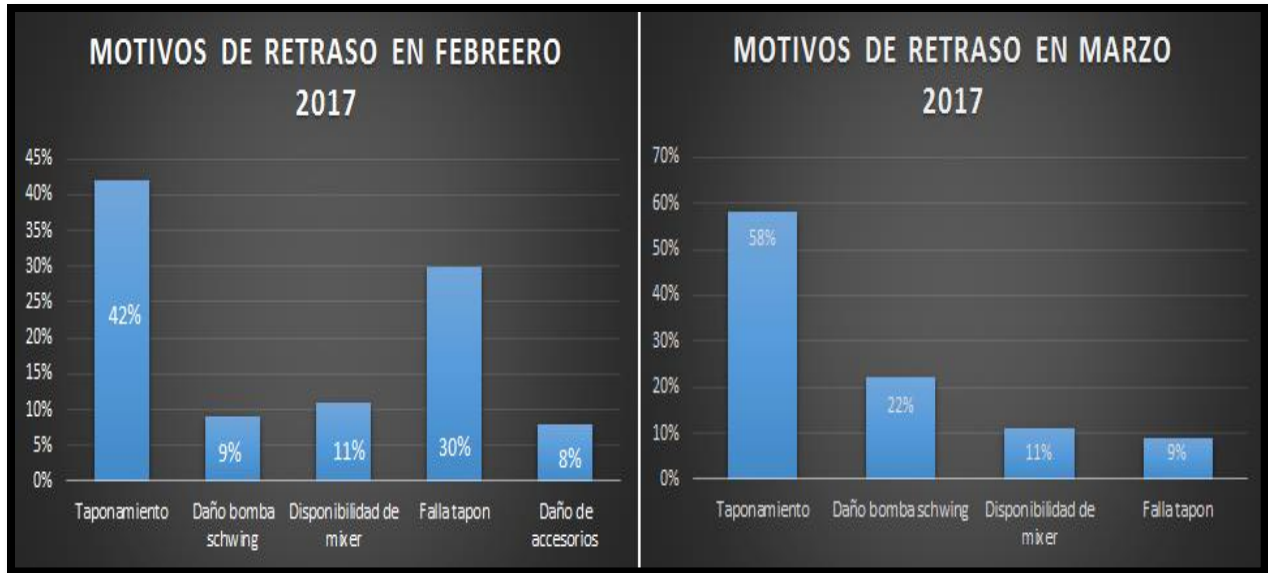
- Problemas humanos
- Inexperiencia operación planta
  - Inexperiencia operación bomba SCHIWING
  - Inexperiencia construcción de barrera o tapón





Donde el factor más común es el de materiales, seguido el humano, luego por equipos y por último los ambientales; Donde se evidencia que las causas más comunes son taponamiento, daño de la bomba schwing, problemas con la disponibilidad de las mixer, fallas en los tapones, asentamiento inadecuado. También un problema crítico y con urgencia a resolver es el elevado Costo de la mezcla RDC.

Se realiza un estudio durante los meses de febrero y marzo del año en curso, acerca de los retrasos más notorios en el sistema de relleno (ver imagen 32) y del cual se decidirá cuales atacar para mitigar estos retrasos.



Fuente: Autor

Imagen 32. Tabulación tipo barras de identificación de problemas

Como se puede observar durante los dos meses de estudio la causa más resaltante por la que se presentó retraso en el relleno fue taponamiento en la línea principal de relleno, seguido de la falla o ruptura de tapón entre otras.

## 9 APOORTE DEL ESTUDIANTE EN LA OPTIMIZACION DEL RDC EN LA MINA EL ROBLE

Teniendo en cuenta que el objetivo principal es la optimización del sistema de relleno, y que es de suma importancia minimizar los costos del concreto; Se toma la decisión de intervenir la mezcla con el fin de bajar los costos de obtención de la misma; pero con la condición de no alterar la resistencia del RDC el cual es el que nos da la seguridad para seguir utilizando el método de explotación de la mina.

Como primer aporte se realizan diferentes pruebas bajando la cantidad de cemento y aumentando los aditivos como se observa en la siguiente tabla hasta llegar a una reducción de cemento sin alterar su resistencia

Tabla 11. Formulas ensayos de laboratorio

FORMULA	CEMENTO Kg	AGREGADO Kg	AGUA lt	SIKA ESTABILIZER lt	SIKA TARD930 lt	HUMEDAD %	ABSORCIÓN %	RESISTENCIA Mpa
<b>SK251</b>	251	1820	190	1.9	0,9	4	3,3	9.5
<b>SK240</b>	240	1800	170	2	0,58	3.5	3,3	9.3
<b>SK235</b>	235	1700	180	2,2	0,5	3.9	3,7	9.3
<b>SK220</b>	220	1800	175	2,4	0,5	4	3,3	9.4
<b>SK215</b>	215	1700	170	2,5	0,5	4	3,3	9.5

<b>SK251</b>	formula inicial
<b>SK 215</b>	formula final



Fuente: Autor

Fotografía 12. Cilindros de concreto para ensayos de laboratorio

Se toman dos muestras por cada mezcla



Fuente: Autor

Fotografía 13. Muestras y pruebas a compresión simple

En las siguientes tablas se pueden observar a detalle la optimización de la mezcla con la nueva fórmula sin alterar su resistencia.

Tabla 12. Comparativo nueva fórmula por m<sup>3</sup>

COMPARATIVO NUEVA FORMULA POR M3							
FORMULA	CEMENTO Kg	GRAVA kg	ARENA kg	AGUA Lt	SIKA ESTABILIZER Lt	SIKA TARD930 lt	RESISTENCIA Mpa
SK250	250	910	910	190	1.9	0.9	9.5
SK215	215	850	850	170	2.5	0.5	9.5
REDUCCION	14%	6.53 %	6.53%	10.52 %		44.44%	
UMENTO					31.57%		
REDUCCION UNIDAD	35	60	60	20		0.4	
AUMENTO UNIDAD					0.6		

Tabla 13. Comparativo nueva fórmula por 8 m<sup>3</sup> (capacidad de un mixer)

COMPARATIVO NUEVA FORMULA POR 8 M3							
FORMULA	CEMENTO Kg	GRAVA kg	ARENA kg	AGUA lt	SIKA ESTABILIZER lt	SIKA TARD930 lt	RESISTENCIA Mpa
SK250	2000	7280	7280	1520	15,2	7,2	9.5
SK215	1720	6800	6800	1360	20	4	9.5
REDUCCION UNIDAD	280	480	480	160		3.2	
UMENTO UNIDAD					4.8		

Como se contempla en la tabla 14; se estaría reduciendo el cemento en una cantidad de 10, 5 toneladas para rellenar una cámara con capacidad de unos 300 m<sup>3</sup>; adicionalmente en una reducción de agregados de 3,6 toneladas, 6000 litros de agua y 120 litros de sikatrad 930; con el aumento de un solo componente de la mezcla de 180 litros de Sika-estabilizer.

Tabla 14. Comparativo nueva fórmula por 300 m<sup>3</sup> (promedio de una cámara o tajo a rellenar)

COMPARATIVO NUEVA FORMULA PARA RELLENO DE CAMMARA DE 300 M3							
FORMULA	CEMENTO Kg	GRAVA kg	ARENA kg	AGUA lt	SIKA ESTABILIZER lt	SIKA TARD930 lt	RESISTENCIA Mpa
SK250	75000	273000	273000	57000	570	270	9.5
SK215	64500	255000	255000	51000	750	150	9.5
REDUCCION UNIDAD	10500	18000	18000	6000		120	
UMENTO UNIDAD					180		

### REDUCCIÓN DE COSTOS PRIMER APORTE

Tabla 15. Reducción de costos primer aporte

REDUCCIÓN DE COSTOS EN LA MEZCLA PARA 6000 M3							
FORMULA	CEMENTO TON	GRAVA TON	ARENA TON	AGUA lt	SIKA ESTABILIZER lt	SIKA TARD930 lt	TOTAL
SK215	210	36	36	120000	3600	2400	
REDUCCIÓN COSTOS	\$ 69.810.000	\$ 1.120.000	\$ 1.600.000	N.A		\$ 28.580.860	\$ 101.110.860
COSTO AUMENTO					\$ 52.278.260,00		\$ 52.278.260,00
							\$ 48.832.600,00
						DIFERENCIA	\$ 48.832.600,00

El segundo aporte es la solución al problema de retrasos en el sistema de relleno detrítico; el más frecuente es el taponamiento de las tuberías, por ende se realiza un estudio para identificar la vida útil de la red de tuberías.

Como primer estudio se identifica que las tuberías horizontales son las que más sufren taponamiento, por este motivo se realiza el estudio en estas y sus accesorios; ya que las tuberías verticales no sufren taponamientos constantes siempre y cuando la mezcla sea óptima es decir sea fluida.

TABLA 16. Vida útil de tuberías horizontales

<b>ESTUDIO DE TAPONAMIENTO</b>			
<b>OBSERVACION</b>	<b>M3</b>	<b>OCASIÓN</b>	<b>OBSERVACION</b>
PRIMERA	50	PASO	
SEGUNDA	100	PASO	
TERCERA	200	PASO	
CUARTA	300	PASO	
QUINTA	500	PASO	
SEXTA	700	PASO	
SEPTIMA	800	PASO	
OCTAVA	1000	PASO	craqueo mínimo
NOVENA	1250	PASO	Se escuchan craqueos un poco fuertes
DECIMA	1350	PASO	Craqueos más constantes
UNDECIMA	1500	TAPONAMIENTO	Tubería sufre taponamiento por desgaste

Tabla 17. Vida útil de unión de 45°

<b>ESTUDIO DE TAPONAMIENTO</b>			
<b>OBSERVACION</b>	<b>M3</b>	<b>OCASIÓN</b>	<b>OBSERVACION</b>
PRIMERA	50	PASO	
SEGUNDA	100	PASO	
TERCERA	150	PASO	
CUARTA	300	PASO	
QUINTA	450	PASO	
SEXTA	550	PASO	
SEPTIMA	650	PASO	craqueo mínimo
OCTAVA	700	PASO	craqueo mínimo
NOVENA	750	PASO	Se escuchan craqueos un poco fuertes
DECIMA	780	PASO	Craqueos más constantes
UNDECIMA	820	TAPONAMIENTO	accesorio sufre taponamiento por desgaste

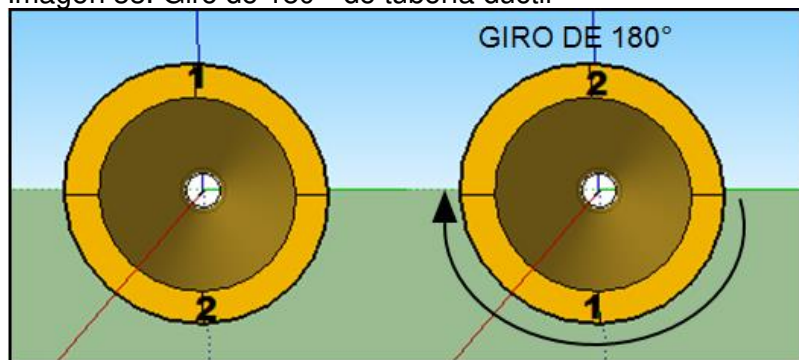
Tabla 18. Vida útil de unión de 90°

<b>ESTUDIO DE TAPONAMIENTO</b>			
<b>OBSERVACION</b>	<b>M3</b>	<b>OCASIÓN</b>	<b>OBSERVACION</b>
PRIMERA	50	PASO	
SEGUNDA	100	PASO	
TERCERA	150	PASO	
CUARTA	200	PASO	
QUINTA	250	PASO	
SEXTA	300	PASO	
SEPTIMA	350	PASO	craqueo mínimo
OCTAVA	420	PASO	craqueo mínimo
NOVENA	480	PASO	Se escuchan craqueos un poco fuertes
DECIMA	500	PASO	Craqueos más constantes
UNDECIMA	525	TAPONAMIENTO	accesorio sufre taponamiento por desgaste

Como se puede observar la vida útil de la tubería horizontal en cuanto al desgaste de la misma es de 1450 m<sup>3</sup> de RDC aproximadamente, y de las uniones de 45° de cambio de dirección de tubería vertical a horizontal es de 780 m<sup>3</sup>; ocasionando en un 90% el taponamiento debido al desgaste de las mismas y de uniones de 90° el taponamiento es de 500 m<sup>3</sup>.

La solución para evitar el taponamiento de tuberías con la mezcla detrítica, además de dar más vida útil a las tuberías y evitar el movimiento de personal y equipos para el cambio de tuberías inservibles o destaponamiento, es el giro de 180° cada 1000 m<sup>3</sup> en las tuberías horizontales como se observa en la imagen 33 y fotografía 12, dando una vida útil de 4000 m<sup>3</sup> y disminuir el taponamiento de tuberías en un 90%, en cuanto a las uniones se debe cambiar cada vez que se finalice el relleno de cámara o tajo o al ver que el relleno va a superar la vida útil de las uniones de 45° y 90°.

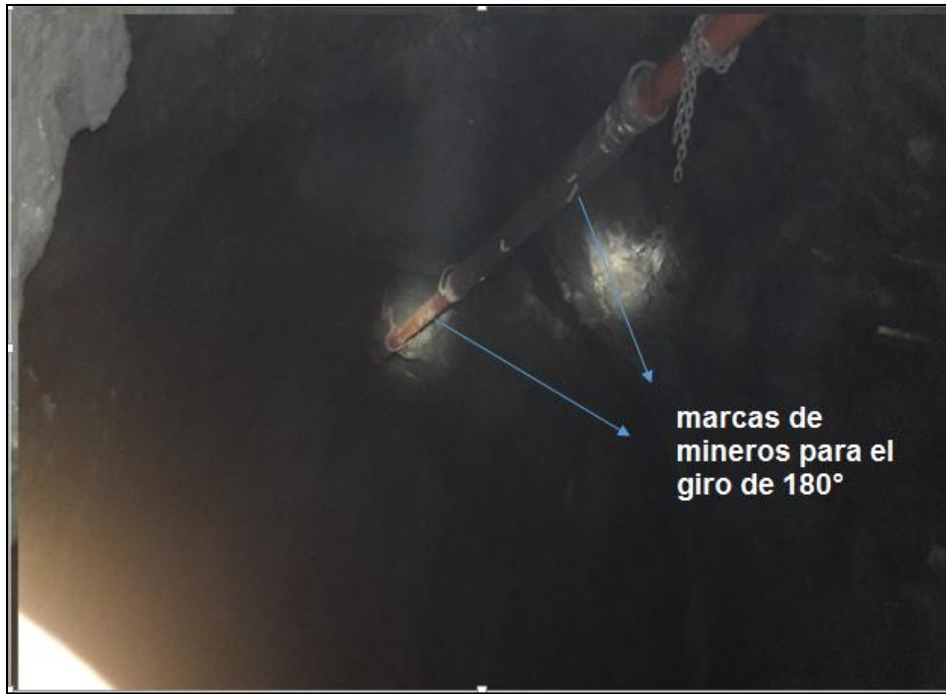
Imagen 33. Giro de 180° de tubería dúctil



Fuente: Autor

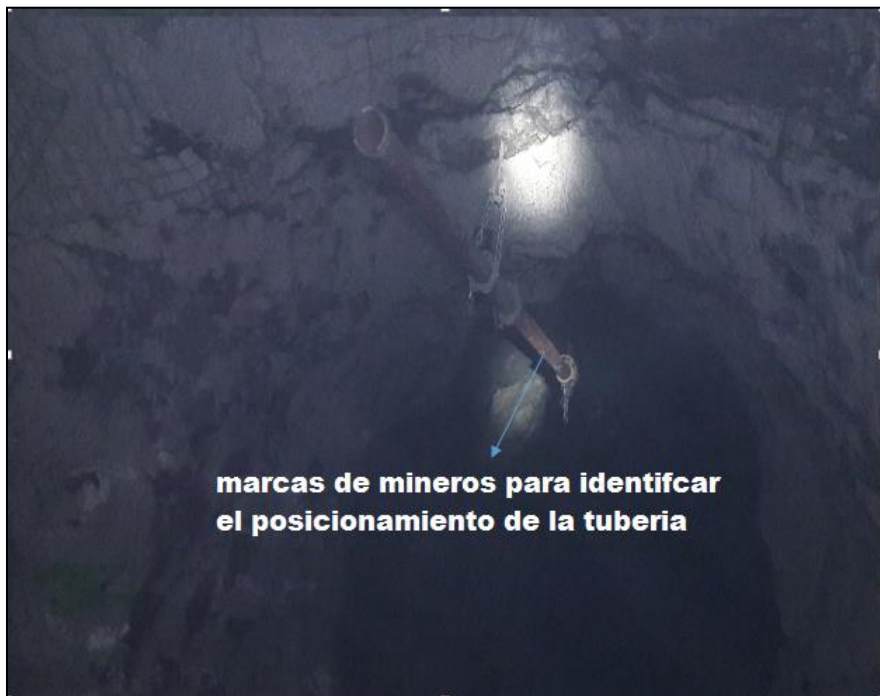


Fotografía 14. Primer giro de 180° línea secundaria



Fuente: Autor

Fotografía 15. Marcas para identificar el posicionamiento de la tubería línea secundaria



Fuente: Autor

## REDUCCIÓN DE COSTOS SEGUNDO APORTE

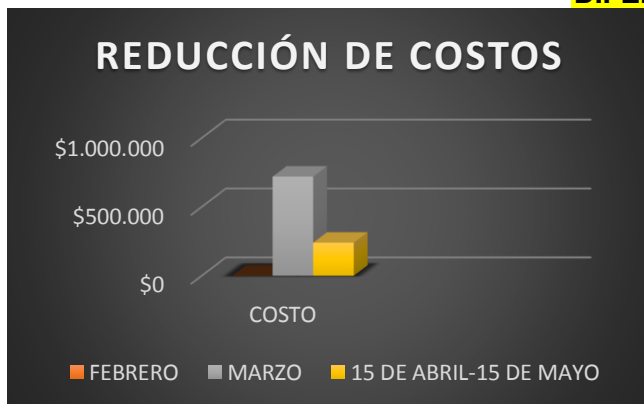
Imagen 34. Reducción de costos segundo aporte

TAPONAMIENTO DE TUBERIAS				
MES	TAPONAMIENTO	TUBERIA DAÑADA POR RETRASO	SUMATORIA	COSTO
FEBRERO	30	3	90	\$ 27.900.000
MARZO	27	3	81	\$ 25.110.000
15 DE ABRIL-15 DE MAYO	18	1.5	27	\$ 8.370.000
<b>DIFERENCIA</b>				<b>\$ 18.135.000</b>



Tabla 19. Reducción Taponamiento de accesorios

TAPONAMIENTO DE ACCESORIOS				
MES	TAPONAMIENTO	ACCESORIO DAÑADA POR RETRASO	SUMATORIA	COSTO
FEBRERO	0	0	0	\$ 0
MARZO	6	6	6	\$ 720.000
15 DE ABRIL-15 DE MAYO	2	2	2	\$ 240.000
<b>DIFERENCIA</b>				<b>\$ 480.000</b>



El tercer aporte es la recuperación de tablonos y las vigas que no se encuentren dobladas; para el avance de un nuevo tapón vecino del relleno anterior ya fraguado; con el fin de bajar los costos de construcción de tapones.

## REDUCCIÓN DE COSTOS TERCER AOPRTE

Imagen 35 . reducción de costos tercer aporte

MATERIAL	USAN	COSTO C/U	COSTO TAPÓN	RECUPERAN	OPTIMIZAN	MES/10 TAPONES
TABLONES	45	\$ 9.000	\$ 405.000	70%	\$ 283.500	\$ 2.835.000
VIGAS	3	\$ 960.000	\$ 2.880.000	90%	\$ 1.920.000	\$ 19.200.000
GEOTEXTL	25M2		\$ 17.500	0%		
		TOTAL	\$ 3.302.500		\$ 2.203.500	

## RESULTADOS DE OPTIMIZACIÓN

Tabla 20. Resultados de optimización

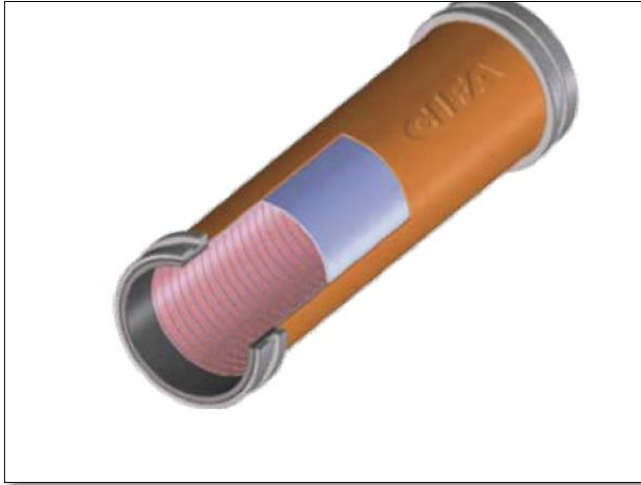
<b>OPTIMIZACION TOTAL DE LOS DIFERENTES APORTES DEL 15 DE ABRIL AL 15 DE MAYO</b>	
<b>APORTES</b>	<b>REDUCCIÓN DE COSTOS</b>
<b>MEZCLA</b>	<b>\$ 48.832.600,00</b>
<b>ACCESORIOS</b>	<b>\$ 480.000</b>
<b>TUBERIAS</b>	<b>\$ 18.135.000</b>
<b>TABLONES</b>	<b>\$ 2.835.000</b>
<b>VIGAS</b>	<b>\$ 19.200.000</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 89.482.600</b>
<b>NOTA</b>	<b>YA SE ELIMINO EL AUMENTO DEL ADITIVO</b>

## CONCLUSIONES

- ✚ Se optimiza la mezcla del relleno RDC dando solución a los altos costos de obtención de la mezcla; sin alterar su resistencia.
- ✚ Se optimiza del sistema de relleno RDC dando solución al taponamiento y desgaste de las tuberías; bajando los costos de cambio de tubería taponadas y de relleno para el método de explotación cámaras y pilares corte y relleno (Drift and Fill) ascendente en la mina el roble ubicada en el municipio el Carmen de Atrato del departamento de choco, Colombia
- ✚ Se describe el método de explotación cámaras y pilares corte y relleno
- ✚ Se Analiza y conoce los tipos de tuberías utilizadas en el transporte del relleno a las labores de la mina
- ✚ Se Determina si el desgaste de la tubería es la culpable del taqueo de la misma
- ✚ Se Describe la operación de relleno detrítico cementado RDC, desde planta de concreto hasta vaciado en las labores a rellenar
- ✚ Se realiza Aporte del estudiante en la optimización del relleno RDC como objetivo principal

## RECOMENDACIONES

- ✚ Utilizar tubería corrugada para materiales abrasivos como se observa en la siguiente imagen para evitar mayor desgaste de las mismas por los detritos que lleva la mezcla y así evitar el cambio constante de la línea primaria y secundaria de la red de relleno.



Fuente: <http://gruasyequipos.com/accesorios-bombeo-concreto/>  
Imagen 36. Tubería corrugada.

- ✚ Reubicar la bomba schwing a un nivel inferior; para que la bomba tenga más potencia y llegue el relleno con más facilidad a la labores a vaciar.
- ✚ También se recomienda diseñar y construir un techo para el acopio de gravas y finos, para así evitar la humedad extra y así tener una mezcla más homogénea.
- ✚ Dar capacitaciones en las instalaciones de barreras o tapones por parte de la compañía a los trabajadores nuevos que se unan al trabajo de servicios auxiliares.
- ✚ Capacitar a más personal para la operación de la bomba schwing, para evitar retrasos si algún trabajador falta a su labor.

## BIBLIOGRAFÍA

- <http://www.american-usa.com/system/assets/280/original/Hierro%20D%C3%BActil.pdf>
- Glosario minero  
<https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>
- López, V. M. “Relleno Hidráulico en la Mina de Tocayos,c. “. Tesis Profesional.Facultad de Ingeniería. UNAM, México, 1973
- Métodos prácticos para determinar la resistencia comprensiva uniaxial del relleno cementado David Hugo Obando Pacheco.
- Agencia nacional minera
- CANDIA.M. (1972) El método de corte y relleno descendente en la Mina Yauricocha
- Evaluación técnica y económica de una mina subterránea utilizando relleno cementado Alonso Ricardo Vives Ávila
- Software: AutoCAD 2014
- Software : SketchUP 2016
- Software: SURPAC
- Atlas Copco

