

ENTRENAMIENTO INDUSTRIAL  
(PASANTIA INSUSTRIAL)

*Diagnóstico del sistema de bombeo de Mina Colombia, MINERVEN, Municipio El Callao, Estado Bolívar.*

INFORME DE PASANTÍA  
Br. Yllevic Margarita Bastidas Salazar  
DEPARTAMENTO DE MINAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

El Callao, septiembre de 2017.

ENTRENAMIENTO INDUSTRIAL  
(PASANTIA)

Diagnóstico del Sistema de Bombeo de Mina Colombia, MINERVEN, Municipio El  
Callao, Estado Bolívar.

TUTOR ACADEMICO: Ing. Alba Castillo

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Maribel Cañas

El Callao, septiembre de 2017.

# DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE BOMBEO DE MINA COLOMBIA, MUNICIPIO EL CALLAO, ESTADO BOLÍVAR.

## Autores

Tutora académica: Ing. Alba Castillo \*1

Tutor industrial: Ing. Maribel Cañas \*2

Autor: Br. Yllevic Bastidas\*3

## Filiación

\* Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas 1020A, Venezuela.

1 Correo: pasantiasminasucv@gmail.com

2 Correo: maribel.cana@minerven.com.ve

3 Correo: yllevic@gmail.com

**Palabras clave:** Bombeo, Caudal, Sistema, Drenaje, Inundación, diagnóstico, estación de bombeo, bombas, sumideros.

Mina Colombia es una de las minas más antiguas ubicadas en territorio venezolano, actualmente cuenta con 7 niveles desarrollados y tan sólo 2 en explotación, esto debido a que en los últimos años el sistema de bombeo implementado ha presentado fallas críticas, por lo que se ha dejado de desalojar el agua que ingresa a la mina. Al no tener un sistema óptimo que se encargue de extraer el agua a superficie, ésta se ha ido acumulando provocando así la inundación de los niveles más profundos de la mina; actualmente el nivel 7, nivel 6 y nivel 5 se encuentran totalmente inundados. Actualmente se cuentan con 10 bombas KSB nuevas para restituir el sistema de bombeo original de Mina Colombia. Es por ello que se plantea la siguiente investigación. El objetivo principal de este trabajo es elaborar un diagnóstico del sistema bombeo de Mina Colombia. La metodología empleada es de tipo descriptiva-correlacional. Actualmente se alberga 610,068,057.41 L en los niveles inundados, volumen que se estima sea desalojado con la bomba MEGA H que integra el sistema de bombeo ubicada en el pozo a la altura del nivel 5, la cual trabaja actualmente con una eficiencia del 98%.

## **AGRADECIMIENTOS**

Principalmente a Dios y la Virgen, a mi familia por su apoyo incondicional a lo largo de la realización de mis pasantías, les agradezco a todos los trabajadores de mina Colombia que de alguna u otra manera aportaron su granito de arena para la realización de este informe. A mis tutoras, la Ing. Alba Castillo y la Ing. Maribel Cañas por haberme guiado en cualquier duda que se me presentara a lo largo de la pasantía, al Ing. Isaías García por compartir conmigo sus conocimientos y aclarar las dudas que se me presentaran a lo largo de la pasantía. , y un agradecimiento especial a mi compañero de pasantías el Br. José Herrera por su apoyo y acompañamiento en mi entrenamiento industrial

## TABLA DE CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| INTRODUCCION.....  | 1  |
| CAPITULO I GENERALIDADES DE LA EMPRESA Y DE LA ZONA DE ESTUDIO.....                        | 2  |
| 1.1. Ubicación geográfica .....  | 2  |
| 1.2. Reseña histórica .....  | 3  |
| 1.3. Misión .....  | 4  |
| 1.4. Visión .....  | 4  |
| 1.5. Objetivos de la empresa .....   | 4  |
| 1.6. Políticas de la empresa.....  | 5  |
| 1.7. Estructura organizativa de la empresa.....  | 5  |
| 1.8. Características de las zonas de estudio .....   | 6  |
| 1.8.1. Clima.....  | 6  |
| 1.8.2. Vegetación .....  | 7  |
| 1.8.3. Topografía.....   | 7  |
| 1.8.4. Drenaje .....   | 8  |
| 1.9. Aspectos geológicos y estructurales.....  | 8  |
| 1.9.1 El escudo de Guayana .....   | 8  |
| 1.9.2 Geología regional .....  | 8  |
| 1.9.3 Geología local .....   | 10 |
| 1.9.4 Geología de la mina Colombia .....   | 11 |
| CAPITULO II EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....   | 14 |
| 2.1 Planteamiento del problema.....  | 14 |
| 2.2 Objetivo general.....  | 15 |
| 2.3 Objetivos específicos.....   | 15 |
| 2.4 Justificación de la investigación.....   | 15 |
| 2.5 Alcance para la empresa.....   | 16 |
| 2.6 Limitaciones.....  | 16 |
| CAPITULO III MARCO TEORICO .....   | 17 |
| 3.1 Antecedentes de la investigación .....   | 17 |
| 3.2 Drenaje de Minas.....  | 18 |
| 3.3 Sistemas de bombeo de mina.....  | 19 |
| 3.3.1 Bombas.....  | 20 |
| 3.3.2 Válvulas .....   | 20 |
| 3.3.3 Características generales de las estaciones de bombeo para una mina subterránea..... | 20 |
| 3.3.4 Bombas en sistemas de tuberías.....  | 21 |
| 3.4 Caudal .....   | 24 |
| 3.5 Aforo.....   | 25 |
| 3.5.1 Aforos mediante el método de la trayectoria.....                                     | 25 |

|                            |  |    |
|----------------------------|--|----|
| CAPITULO IV                | MARCO METODOLÓGICO .....   | 27 |
| 4.1                        | Tipo de investigación .....  | 27 |
| 4.2                        | Diseño de investigación .....  | 27 |
| 4.3                        | Población y muestra .....  | 27 |
| 4.4                        | Recurso de la investigación .....  | 27 |
| 4.5                        | Plan de trabajo semanal .....  | 28 |
| <br>                       |  |    |
| CAPITULO V                 | PROCESO DE ANÁLISIS Y CALCULO .....  | 30 |
| 5.1                        | Laboreo en mina Colombia.....  | 30 |
| 5.2                        | Equipos de bombeo disponibles en mina Colombia .....                         | 34 |
| 5.3                        | Drenaje en mina Colombia.....  | 38 |
| 5.4                        | Eficiencia de los equipos de bombeo .....                                    | 39 |
| <br>                       |  |    |
| CAPITULO VI                | RESULTADOS Y ANÁLISIS .....  | 41 |
| 6.1                        | Estimación de volumen que manejará el sistema de bombeo.....                 | 41 |
| 6.1.1.                     | Análisis de la estimación del volumen que manejará el sistema de bombeo..... | 56 |
| 6.2                        | Descripción sistema de bombeo actual .....                                   | 57 |
| 6.2.1.                     | Análisis del sistema de bombeo actual.....                                   | 61 |
| 6.3                        | Descripción de la situación actual de los sumideros .....                    | 61 |
| 6.3.1.                     | Análisis de la situación actual de los sumideros .....                       | 65 |
| 6.4                        | Determinación de la eficiencia del sistema de bombeo actual .....            | 66 |
| 6.4.1.                     | Análisis de la eficiencia del sistema de bombeo actual .....                 | 71 |
| <br>                       |  |    |
| CONCLUSIONES               | .....  | 72 |
| <br>                       |  |    |
| RECOMENDACIONES            | .....  | 74 |
| <br>                       |  |    |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | .....  | 75 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Condiciones climáticas de la zona de estudio.....                  | 7  |
| Tabla 2. Plan de trabajo semanal... ..                                      | 28 |
| Tabla 3. Bombas disponibles actualmente en mina Colombia .....              | 34 |
| Tabla 4. Sumideros de mina Colombia.....                                    | 38 |
| Tabla 5. Estimación de volumen del nivel 5, mina Colombia.....              | 40 |
| Tabla 6. Estimación de volumen del corte 0 del nivel 6, mina Colombia ..... | 43 |
| Tabla 7. Estimación de volumen del corte 3 del nivel 6, mina Colombia ..... | 44 |
| Tabla 8. Estimación de volumen del corte 5 del nivel 6, mina Colombia ..... | 45 |
| Tabla 9. Estimación de volumen del corte 7 del nivel 6, mina Colombia ..... | 47 |
| Tabla 10. Estimación de volumen del nivel 6, mina Colombia.....             | 49 |
| Tabla 11. Estimación de volumen del nivel 7, mina Colombia.....             | 51 |
| Tabla 12. Estimación de volumen de la sección del pozo inundado.....        | 54 |
| Tabla 13. Estimación de volumen del laboreo inundado actualmente.....       | 54 |
| Tabla 14. Descripción del sistema de bombeo actual .....                    | 58 |
| Tabla 15. Cronograma de desalojo del laboreo inundado .....                 | 59 |
| Tabla 16. Descripción de los sumideros y sus bombas asociadas.....          | 61 |
| Tabla 17. Cálculo de la eficiencia de las bombas en el nivel 1.....         | 69 |
| Tabla 18. Cálculo de la eficiencia de las bombas en el nivel 4.....         | 69 |
| Tabla 19. Cálculo de la eficiencia de la bomba en el pozo. ....             | 69 |
| Tabla 20. Eficiencia del sistema de bombeo de Mina Colombia .....           | 66 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación relativa del área de estudio...                          | 2  |
| Figura 2. Organigrama Dirección Ejecutiva MINERVEN.....                      | 6  |
| Figura 3. Mapa geológico generalizado del Escudo de Guayana.....             | 6  |
| Figura 4. Dirección de sistema de bombeo. ....                               | 19 |
| Figura 5. Bomba KSB WKL. ....  | 22 |
| Figura 6. Denominación de las bombas KSB WKL. ....                           | 23 |
| Figura 7. Aforo mediante el método de la trayectoria. ....                   | 25 |
| Figura 8. Mina Colombia. ....  | 29 |
| Figura 9. Labores de Mina Colombia.....                                      | 30 |
| Figura 10. Sección del nivel 5. ....   | 32 |
| Figura 11. Sección del corte 3. ....   | 32 |
| Figura 12. Bomba KSB WKL 50/5, Nivel 1, Mina Colombia. ....                  | 34 |
| Figura 13. Bombas KSB WKL 125/4, Nivel 1, Mina Colombia.....                 | 35 |
| Figura 14. Bomba KSB WKL 125/4, Nivel 4, Mina Colombia. ....                 | 35 |
| Figura 15. Bomba KSB WKL 80/4, Nivel 4, Mina Colombia. ....                  | 36 |
| Figura 16. Bomba Diésel para trasiego de lodos, Nivel 1, Mina Colombia ..... | 36 |
| Figura 17. Drenaje de la galería principal, Nivel 1, Mina Colombia. ....     | 34 |
| Figura 18. Sistema de bombeo actual. ....                                    | 56 |
| Figura 19. Vista en planta del sumidero 1, nivel 1. ....                     | 61 |
| Figura 20. Vista en planta del sumidero La Virgen, nivel 1.....              | 62 |
| Figura 21. Vista en planta del sumidero auxiliar. ....                       | 63 |
| Figura 22. Vista en planta de la estación de bombeo en el nivel cuatro.....  | 64 |

## INTRODUCCIÓN

MINERVEN es una empresa minera ubicada en el Municipio El Callao, Zona Industrial Caratal, la cual desarrolla el mejoramiento técnico y económico de los arrendatarios de las 12 concesiones que le fueron otorgadas por el MIBAM. El área en estudio, la Mina Colombia, se ubica a unos 3 km al sureste de El Callao, el Distrito Aurífero más rico de Venezuela. Esta y el pozo Colombia, se encuentran ubicados en la Concesión 6 y 7 de MINERVEN. Hoy en día, la mina se desarrolla en 7 niveles de los cuales se están explotando el nivel 1 y 2 debido a la actual situación de inundación de la mina, albergada en los niveles 5, 6 y 7.

El nivel 1, con respecto a la superficie, tiene 134m de profundidad. Todos los demás niveles tienen una separación aproximada de 50 m. Estos niveles se desarrollan en dirección del rumbo de las estructuras y las cámaras a lo largo del buzamiento de las minas. Los accesos a la mina son una excavación (pozo) vertical de 478,6 m de profundidad y una rampa de 1500 m que va desde la superficie hasta el nivel 1.

Esta investigación se llevara a cabo en la Mina Colombia, establecido en formar parte del plan de desalojo de agua de la inundación actual de la mina. El trabajo asignado durante el período de dos meses consiste en la estimación del volumen total presente en los niveles inundados de mina Colombia para estudiar el sistema de bombeo actual instalado.

# CAPÍTULO I

## 1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA Y DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 1.1. Ubicación geográfica

La zona en estudio, MINERVEN, está ubicada en el distrito minero de El Callao, al sur del estado Bolívar y al sur-este de la República Bolivariana de Venezuela. Ésta empresa minera se localiza a 3 km del pueblo de El Callao, y a 20 Km de Guasipati, capital del Distrito Roscio, Estado Bolívar como se observa en la figura 1.

Geográficamente la mina se encuentra ubicada a  $61^{\circ}49'$  de longitud Oeste y son  $7^{\circ}21'$  de Latitud, con una altitud de 180m sobre el nivel del mar. Se puede llegar por vía terrestre por la carretera asfaltada de primer orden hacia Brasil; recorriendo desde la Ciudad de San Félix las poblaciones de Upata, Guasipati y El Callao.

La Mina Colombia se encuentra en las concesiones 6 y7 de MINERVEN C.A. En la actualidad, la empresa se encuentra en vías de recuperación, producto de la caída del precio del oro a escala mundial en los últimos años. CVG MINERVEN, opera dos plantas de procesamiento de mineral aurífero: Planta Perú y Planta Caratal y dos minas: Mina Unión a cielo abierto y Mina Colombia en subterráneo

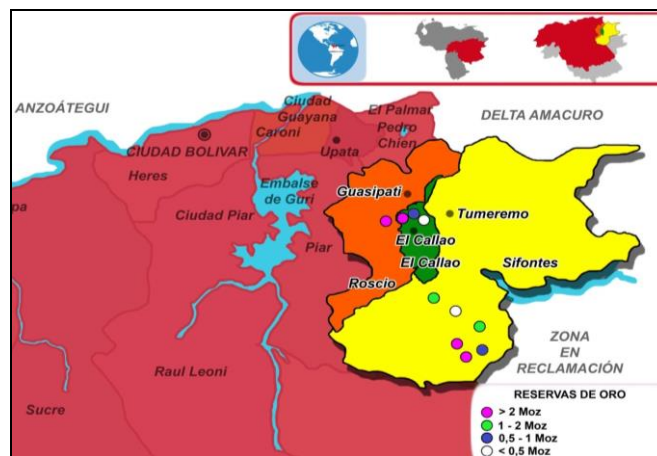


Fig1. Ubicación relativa del área de estudio. Fuente: MINERVEN.

## **1.2. Reseña histórica**

Minera de Venezuela (Minerven) filiar de la Corporación Venezolana de Guayana (CVG) fue construida como una empresa mixta el 4 de febrero de 1970, con la participación de inversionistas privados nacionales y extranjeros además, de la participación del estado venezolano a través, de la Corporación Venezolana de Fomento. A mediados del año de 1974, la Corporación del Fomento adquirió la totalidad de las acciones de la compañía y, Minerven se constituyó como una empresa totalmente del estado venezolano, posteriormente en 1976, el fondo de inversiones de Venezuela adquirió el 100% de las acciones situación que se mantuvo hasta 1986, cuando la CVG Ferro minera Orinoco C. A., adquirió el 75% de las acciones de la empresa.

A partir del año 1991 y 1994 se procedió a fusionar la empresa CVG VENORCA con CVG Minerven, elevándose su capital social mediante incorporaciones del patrimonio de VENORCA. Actualmente los accionistas de CVG Minerven son: CVG Ferrominera Orinoco C.A., con el 66,7% de las acciones de CVG, con el 33,3% restante. CVG MINERVEN, a través de la Coordinación de Pequeña y Mediana Minería desarrolladas en las 12 concesiones antes mencionadas. Para ello C.V.G. MINERVEN, C.A. realiza inspecciones periódicas de las minas operadas por los arrendatarios mediante las cuales se les ofrece apoyo en: asesoramiento para que mejoren las condiciones de seguridad en la mina, en materia de las mejores técnicas de explotación, detección de condiciones inseguras, preparación de los patrones de voladura y en base a ello, se les autoriza el despacho y suministro de las cantidades, tipos de explosivos y accesorios necesarios para el arranque del mineral aurífero.

La planta de tratamiento “Caratal” y el pozo “Colombia” se construyeron entre los años de 1973 y 1980, el segundo con una profundidad de 479 metros y siete (7) niveles operativos de producción, con una capacidad operativa de 700 toneladas/día. A finales de 1984, se comenzó con el proceso de geologías y preparación de las menas, la cual incluye la adquisición de equipos de

acarreo que garantizaba la operación continua, iniciando un desarrollo de proyecto de organización de microempresarios mineros y sus programas de Alianzas Estratégicas para el desarrollo de la gran y pequeña minería, derivando en la actualidad impactos positivos para la región, a través de: organización de microempresarios y cooperativas mineras, reactivación de las minas; Sosa Méndez, Laguna, Chile y Santa Rita. Actualmente, la producción anual de kilos oro es del orden de las tres (3) toneladas y la empresa se encuentra en el proceso de implantación de un Sistema de Gestión de la Calidad enmarcada en la ISO 9001-2000, con miras a la excelencia empresarial.

### **1.3 Misión**

Producir y comercializar el oro eficientemente y, propiciar el desarrollo endógeno y la socialización de los recursos mineros, en las áreas de mayor amplitud de influencia.

### **1.4 Visión**

Ser la organización líder en el desarrollo sustentable de la industria venezolana del oro, con un sentido altamente socialista, armonizada con el medio ambiente para mejorar la calidad de vida de las comunidades.

### **1.5 Objetivos de la empresa**

- Incrementar la exploración geológica en las áreas asignadas al Sector Industrial Aurífero para incorporar los niveles de reservas a desarrollar.
- Garantizar e Incrementar la producción de oro y la eficiencia operativa a través del sostenimiento y expansión del proceso productivo de la empresa mediante el desarrollo de proyectos, durante el período 2017 - 2021.
- Promover el desarrollo de planes y proyectos de nuevas tecnología, para la reducción de los impactos ambientales y alcanzar soberanía tecnológica.
- Asegurar el desarrollo integral de las y los trabajadores, su grupo familiar y comunidades vecinas en lo referente a educación, vivienda, salud y esparcimiento, bajo los principios de solidaridad y cooperación.

- Afianzar el modelo de soberanía productiva socialista, basado en la iniciativa autogestionaria, dirigidos a las comunidades organizadas para impulsar la economía social y el valor agregado.

### **1.6. Políticas de la empresa**

- Garantizar el suministro de oro al BCV en oportunidad, cantidad y calidad.
- Desarrollar estrategias de conciencia plural.
- Mejorar de manera continua el clima organizacional y afianzar el salario social de los trabajadores.
- Satisfacer los clientes (internos) trabajadores, socios / (externo) comunidad.
- Conservar el desempeño armónico de los valores como pilar fundamental y cultural de la organización.
- Aumentar permanentemente el conocimiento y talento Humano.
- Promover el creciente dominio del desarrollo tecnológico.
- Preservar el medio ambiente.
- Obtener el equilibrio socio-económico de la empresa.
- Impulsar y apoyar los proyectos de las comunidades del sur del estado Bolívar.

### **1.7 Estructura organizativa de la empresa**

El nivel jerárquico de la empresa está representada por la junta directiva integrada por seis miembros, uno de ellos con el cargo de Presidente, tres de ellos con el cargo de Directores Principales con sus respectivos suplentes, y el resto, uno de Secretario y el otro de Comisario.

El directorio cuenta además, con un representante de los trabajadores y sus correspondientes suplentes.

Siguiendo el orden de mando decreciente encontramos la Presidencia, bajo esta autoridad se acoplan el Gerente General por el funcionamiento de la

Gerencia y la Vicepresidencia, las cuales tienen incidencias directas al mando. Ver figura 2.

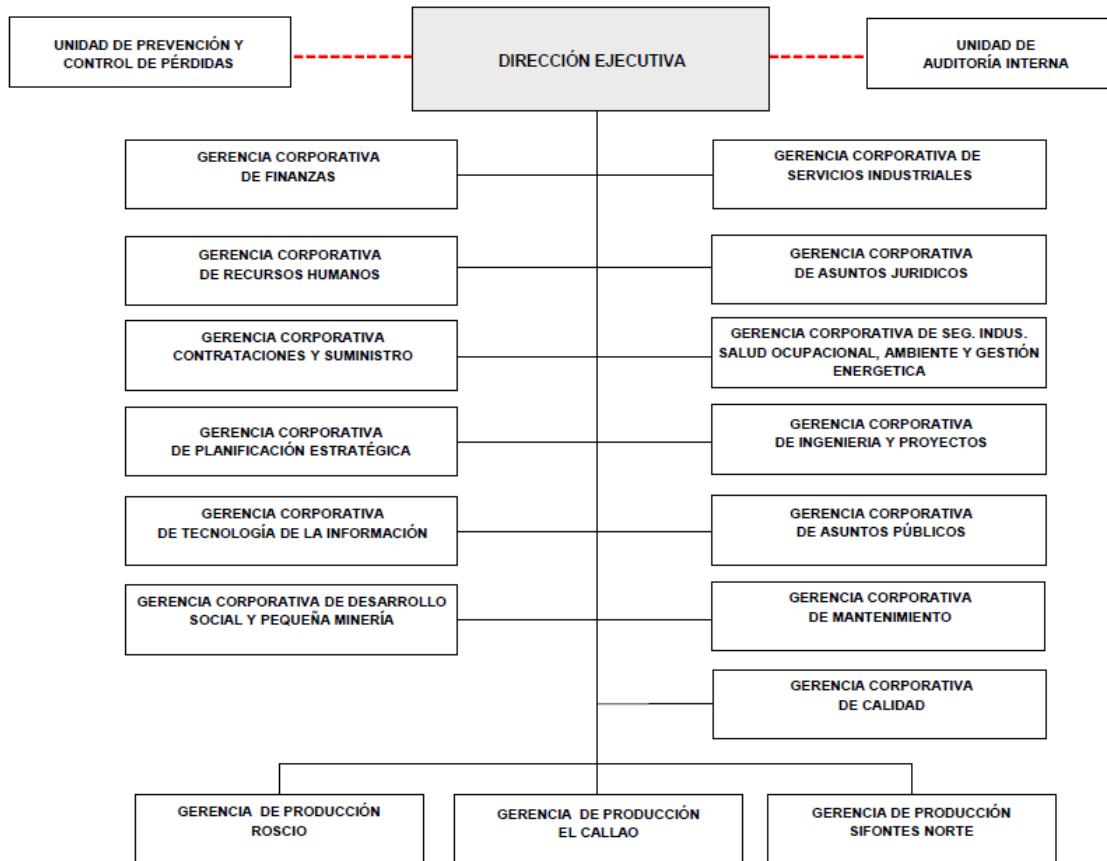


Fig. 2. Organigrama Dirección Ejecutiva MINERVEN. Fuente: MINERVEN

## 1.8 Características de las zonas de estudio

### 1.8.1 Clima

A partir de los estudios realizados por CVG Tecmin en 1994, en el proyecto de inventario de la Región Guayana, se obtienen los datos suministrados por la estación meteorológica Puente Blanco perteneciente al Ministerio del Ambiente, ubicado según siguientes coordenadas geográficas: Latitud Norte 7°22'07" y Longitud Oeste 61°49'41" con una altitud de 188 m.s.n.m. Entre los años 1974 y 1985, las condiciones climáticas del área de estudio se pueden observar en la tabla 1.

El clima es tropical de sabana, según la clasificación de Koeppen, con un período de lluvias comprendido entre, los meses de abril a octubre. (Barrera, 1999).

Tabla 1. Condiciones climáticas de la zona de estudio

|                                 |        |
|---------------------------------|--------|
| Precipitación total media anual | 1050mm |
| Evaporación total media anual   | 1743mm |
| Temperatura media anual         | 35,7°C |
| Temperatura máxima media anual  | 31,4°C |
| Temperatura mínima media anual  | 21,5°C |

### 1.8.2. Vegetación

La vegetación de la zona es de tipo bosque tropical, con excepción de aquellas áreas donde se ha desarrollado la actividad minera. El valle de la quebrada Mocupia se encuentra recubierta por las colas arenosas del proceso de beneficio del mineral aurífero. Dicha zona presenta mayormente arbustos de sabana.

### 1.8.3. Topografía

El Pozo principal de la Mina Colombia está ubicado en las coordenadas 810443.058 N y 631961.405 E del levantamiento topográfico del País. El pozo se encuentra a una altura de 187.5 m.s.n.m. El terreno es montañoso, en las cercanías inmediatas se alcanzan alturas de 350 m.s.n.m (Cerro el Brujo), está

atravesado por varios arroyos cercanos a la Mina, están los llamados; Caratal y Polvorín. Las vías de comunicación o de enlace están en buen estado.

#### 1.8.4. Drenaje

El drenaje de la zona pertenece a la cuenca del Esequibo. Las quebradas drenan por las zonas de debilidad de la formación superficial, originando un control del drenaje por las fallas locales. Las quebradas de mayor importancia que drenan el área son: Mocupia y la Iguana, ambas son afluentes del río Yuruari, el cual bordea a la población de El Callao y fluye hacia el Norte, desembocando a su vez, en el río Cuyuní.

### **1.9. Aspectos Geológicos y Estructurales.**

#### 1.9.1. El Escudo De Guayana

El Escudo Guayanés forma parte, junto al Escudo Guaporé, del Cratón Amazónico, del cual, con sus 4.3 millones de Km<sup>2</sup>., es el cratón de mayor área mundial. El Escudo Guayanés se localiza al norte del Cartón Amazónico y se extiende por Venezuela, Guayana, Suriname, Guayana Francesa, parte de Colombia, una parte importante al río Amazonas (Brasil) y parte de Bolívar. En Venezuela, se extiende al sur del río Orinoco y ocupa más del 50% de su superficie, como se observa en la figura 3 con rocas tan antiguas como 3,41GA (Granulitas y Charnockitas del Complejo de Imataca) y tan jóvenes como 0,711GA (Kimberlitas Eclogitas de Guaniamo). Está compuesta por 4 provincias geológicas a saber: Provincia de Imataca (PI) provincia de Pastora (PP) Provincia Cuchivero-Amazona (PCA) y la provincia de Roraima (PR).

#### 1.9.2. Geología Regional

- Provincia De Imataca (P.I.).

Se extiende en dirección SW-NE desde las proximidades del Río Caura hasta el Delta del Orinoco y en dirección NW-SE aflora desde el curso del Río Orinoco hasta la falla de Gurí por unos 550 Km. y 80 Km. respectivamente.

Litológicamente formada por gneises graníticos y granulitas félsicas, anfibolitas y granulitas máficas, y hasta ultramáficas y cantidades menores de formaciones bandeadas de hierro (BIF), dolomitas, charnockitas, anortositas y granitos intrusivos más jóvenes y remanentes erosionales de menos metamorfismo.

- **Provincia De Pastora (P.P.).**

Se extiende desde la falla de Guri al Norte hasta las proximidades del Parque Nacional Canaima al Sur (Km. 95), por el Este hasta los límites con la zona en Reclamación del Esequibo y al Oeste hasta el Río Caura. También llamada Provincia del Oro, está formada por Cinturones de Rocas Verdes (CVR) delgados, antiguos y tectonizados tipo Carichapo y CRV más anchos, jóvenes y menos tectonizados Tipo Botanamo y por complejos graníticos sódico, como el Complejo de Supamo, siendo toda la secuencia intrusionada por granitos potásicos dioritas y rocas gabroides con escasos y no bien definidos complejos máficos, ultra máficos, ofiolíticos o no, intrusiones y sills de diabasas y rocas asociadas norítico-gabroides.

- Provincia De Cuchivero-Amazonas (P.C.A.).

Denomina a un grupo de rocas intrusitas a volcánicas calcoalcalinas félsicas y rocas sedimentarias que intrusieron y se depositaron sobre un basamento de CRV granitos sódicos asociados. En las partes sur, centro y occidente y probablemente del Complejo de Imataca en la parte Norte-Noreste del Escudo de Guayana en Venezuela. Esta Provincia de edad Paleoproterozoico tardío a Mesoproterozoico incluye rocas volcánicas riolíticas y asociadas, comagmáticas con granitos calco alcalinos del Grupo Cuchivero; areniscas, conglomerados, limolitas, tobas y lutitas del Grupo Roraima; sills, diques, apófisis. stocks de rocas diabásicas-granodioritas cuarcíferas de la Asociación Avanadero, y el granito Rapakivi de El Parguaza y rocas y complejos alcalinos como el de la Churuata asociados, así como intrusiones de carbonaditas de Cerro Impacto, lamprófiros y kimberlitas eclogíticas de Guaniamo. Esta provincia parece extenderse hacia el Sur-Suroeste en el Estado Amazonas formando gran parte de las rocas del no diferenciado Proterozoico.

- Provincia De Roraima (P.R.).

Se extiende desde los límites del Parque Nacional Canaima hacia el Km. 95 cerca de la Piedra de la Virgen, hasta Santa Elena de Uairén en dirección NS y desde el Río Venamo hasta las proximidades del Río Paragua. Está compuesta por rocas del Grupo Roraima con diabasas y rocas gabronoríticas cuarcíferas a dioríticas cuarcíferas de la Asociación Avanadero. Las rocas de esta Provincia no presentan un marcado tectonismo (sinclinales suaves muy abiertos y de muy bajo buzamiento) con algún fallamiento, incluso fallas de arrastre como en el Tepuy de Parú, frente a Kakuri, alto Ventuari en el Estado Amazonas, relacionados a la orogenia Nickeriana y a levantamientos epirogénicos.

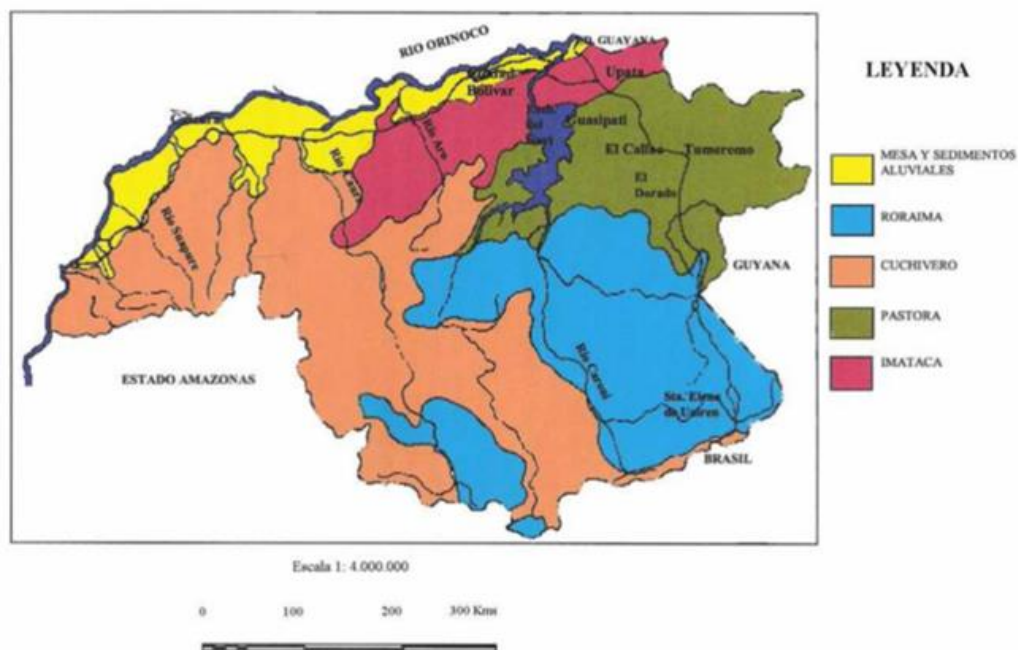


Fig. 3 Mapa geológico generalizado del Escudo de Guayana (V. Mendoza 2000)  
FUENTE: C.V.G. MINERVEN

### 1.9.3. Geología Local.

El Cinturón de El Callao está encerrado en formaciones muy metamorfoseadas gneises, granitos y migmatitas que constituyen el Complejo de

Supamo. Por otra parte la Formación El Callao, forma la parte Sur del cinturón y constituye la parte basal de la pila volcánico-sedimentaria o Supergrupo Pastora que aparece como una sucesión de unidades donde existe el predominio de rocas volcánicas máficas. El Callao es el distrito aurífero más rico y famoso, con más de 300 vetas de cuarzo aurífero que han producido más de 250 toneladas de oro entre los años 1.892 y 1.999 con una producción aún no igualada de 8.194 kg. De oro de la mina El Callao en el año 1.885 (Locher. 1.969, 1.972) procesada con mercurio.

Guilloux (1997) resume que la mineralización se localiza en El Callao en zonas de cizalla con diferentes direcciones; 1) Alineamiento Norte. N70°-80°E. De 8-19 Km. de longitud por 200-300 m. de ancho que es la más importante e incluye a la Mina Colombia (con la Veta Mucupia-América de rumbo N70°-80°E y la veta Colombia de rumbo N45°E). San Luis. Hansa. Panamá; 2) Alineamiento Sur con las minas Sosa Méndez. Unión y Chile; 3) Alineamientos próximos a N-S. Con fallas mineralizadas denominadas Gloria. Isbélia y Santa María y minas como Corina, Rémington y otras. Además existen estructuras casi circulares. Próximas a una gran falla inversa con desarrollo de brechas y milonitas como la falla Nacupay (N70°-80°W) que dieron origen a la veta más productiva con más de 60 gr/ton de oro como la Veta El Callao.

#### 1.9.4 Geología De La Mina Colombia.

La Mina Colombia se localiza en un yacimiento formado por múltiples vetas, situado en un Cinturón de Rocas Verdes (C.R.V.) de edad Proterozoica denominado Cinturón de Rocas Verdes de El Callao. Esta mina, al igual que los principales depósitos de oro del Distrito Aurífero de El Callao corresponde, según la clasificación de los yacimientos auríferos asociados a los C.R.V. (Robert, F. y Howard Poulsen, K. 1994) al tipo Quartz-Carbonate Vein Deposits (Depósitos de Vetas Cuarzo Carbonáticas). Las principales vetas mineralizadas van en dirección NE-SW buzando por lo general al Sur, con ángulos ubicados normalmente entre 20° y 60°. El buzamiento decrece a medida que aumenta la profundidad.

Las vetas cuarzo-carbonato-turmalínicas de la Mina Colombia presentan rumbo N60°-70°E y buzamiento entre 35° y 45° (Marsh y otros, 1995). Las rocas cajas verdes (metavolcánicas y metavolcanoclásticas) han sido falladas y fracturadas. Las vetas se encuentran en estructuras falladas y fracturas de tensión. La roca caja, muestra a menudo, silicificación alrededor de las vetas y abundante pirita idioblástica. Vetillas secundarias están orientadas perpendicularmente a la veta principal y, al igual que ésta, son auríferas. (Franfurt M., 2002). Esta claro que todas las vetas se encuentran interconectadas y forman parte de una estructura de enrejamiento denominada stockwork.

En la Mina Colombia, la estructura juega un papel fundamental en el control del emplazamiento de la mineralización aurífera. Generalmente se encuentra asociada a corredores de cizallamiento tipo shear zone con intensa alteración hidrotermal, específicamente silicificación y carbonatación en forma difusa y en vetas o vetillas de cuarzo con carbonatos y también una piritización asociada en profundidad. Las principales estructuras presentes en la Mina Colombia se encuentran en una zona que alcanza hasta 100 m. de espesor y se clasifican de la siguiente manera (Stephen, Robertson y Kirsten, 1993):

- Vetas principales: Veta Colombia, Veta América y Veta B.
- Extensiones de vetas principales: Colombia Extensión (al Este de Falla Gloria), América Desplazada (al Este de Falla Gloria), Veta D.
- Otras vetas importantes: Veta Mocupia, Veta Santa Elena, Veta Hansa.
- Fallas transversales mineralizadas: Falla Gloria, Falla Isbelia, Falla Santa María y Falla Sur.
- Diques de sills de pórfidos de feldespatos: Dentro de las tobas y de las lavas félsicas se consiguieron diferentes ocurrencias de diques de pórfidos de cuarzo feldespático o Quartz Feldespath Phorphyry ubicados dentro de accidentes transversales, el cual mostró una potencia promedio de 10 a 30 metros. En los niveles 1 y 2 de la Mina Colombia, se observa un dique de pórfido de cuarzo feldespático, su geometría es compleja por el cambio de dirección y buzamiento con la profundidad (N 35° - 50°), buzamiento 35° a

50° Sur y su espesor es de 7 a 20 metros. Este dique aparece como una cuña controlada por fallas paralelas de buzamientos diferentes. En sus contactos, las rocas cajas andesíticas están foliadas y enriquecidas con minerales ferromagnesianos.

- Dique Laguna: La roca que se observa en el dique Laguna es una diabasa (Guilloux. 1997), no aflora, y se puede notar un alineamiento de bloques erráticos, principalmente al este de la Empresa C.V.G. Minerven C.A, pero en la mina Colombia se encuentra en diferentes galerías de explotación que lo cortan varias veces. Su espesor es regular de 55 a 60 metros y muestra un rumbo N 85° con buzamiento de vertical a 85° Sur. Su mineralogía es constante, la cual está compuesta de: plagioclasas, calcita, hipersteno, clinopiroxeno, anfíbol verde, magnetita y pirita. El dique Laguna, de edad posiblemente Ordovícico (Hargraves, 1968), sigue el corredor de cizallamiento principal del lineamiento norte. Su buzamiento es casi vertical, muy diferente a las estructuras mineralizadas, las cuales presentan un buzamiento hacia el Sur.

## CAPITULO II

### 2. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1. Planteamiento del problema

Mina Colombia es una de las minas más antiguas ubicadas en territorio venezolano, actualmente cuenta con 7 niveles desarrollados y tan solo 2 en explotación, esto debido a que en los últimos años el sistema de bombeo implementado ha presentado fallas críticas por lo que se ha dejado de desalojar el agua que ingresa a la mina, lo que trae como consecuencia que los sumideros de la mina, se rebasen invadiendo el piso de las galerías y seguidamente el pozo vertical. Al no tener un sistema óptimo que se encargue de extraer el agua a superficie, ésta se ha ido acumulando provocando así la inundación de los niveles más profundos de la mina; actualmente el nivel 7, nivel 6 y nivel 5 se encuentran totalmente inundados.

Como es de esperarse al ser tan crítica la situación actual de perder prácticamente 5 niveles que pudiesen estar operativos, las consecuencias a las demás áreas operativas han sido sumamente críticas también, como es la paralización de extracción de material por el pozo, debido a que el acarreo se realiza únicamente a través de la rampa, lo que condena la producción en los niveles 3 y 4 al suponer un largo tiempo de acarreo; la pérdida de material de un alto tenor, ya que es en los niveles 6 y 7 donde se encuentra ubicado el tan conocido “bolsón” que no es más que la intersección de las dos vetas principales explotadas en Mina Colombia, suponiendo así una baja en la producción.

Actualmente se dedica especial atención a las actividades de bombeo, ya que este pasó a ser el sistema vital de la mina, al tener el agua tan cerca del nivel que alberga la segunda estación de bombeo y la segunda estación eléctrica de Mina Colombia, el nivel 4, por lo que se concentran esfuerzos en que el sistema de bombeo se encuentre en las condiciones más óptimas posibles, además es por

esto que actualmente se cuentan con 10 bombas KSB nuevas para restituir el sistema de bombeo original de Mina Colombia. Es por ello que se plantea la siguiente investigación.

## **2.2. Objetivo general**

Elaborar un diagnóstico del sistema bombeo de Mina Colombia, ubicada en MINERVEN, Municipio El Callao, Estado Bolívar.

## **2.3. Objetivos específicos**

- Estimar volumen que manejará el sistema de bombeo
- Describir sistema de bombeo actual
- Describir la situación actual de los sumideros
- Determinar la eficiencia del sistema de bombeo

## **2.4. Justificación de la investigación**

La presente investigación tiene lugar debido a la necesidad de la empresa MINERVEN en su Gerencia de Operaciones de Mina Colombia, de desalojar el agua presente en los niveles inundados en la mina en el menor tiempo posible, para lo cual es necesario conocer las características del sistema de bombeo que están actualmente instalado, su funcionamiento y el caudal que el sistema de bombeo es capaz de extraer, de tal manera que la empresa compruebe la capacidad instalada en el sistema de bombeo y se puedan tomar medidas al respecto.

## **2.5. Alcance para la empresa**

La realización de este trabajo de investigación le permitirá a la empresa comprobar si la capacidad instalada de las bombas, es garantía suficiente de achique, para tomar medidas al respecto del tiempo de achique de los niveles inundados. Tomando en cuenta la adquisición de las nuevas bombas que integraran el sistema de bombeo.

## **2.6. Limitaciones**

Una de las limitaciones principales para la realización de la presente investigación fue el mantenimiento del castillete, que es el que soporta el ritmo de trabajo del skip con el que se ingresa a la mina subterránea, ya que quedaba inhabilitado por períodos de tiempo considerables, además de la poca disponibilidad de vehículos para entrar a la mina vía rampa.

Las zonas en desarrollo al ser un área deshabilitada, por motivos de seguridad no se permite el ingreso de un solo individuo sino que tiene que ser acompañado de un personal autorizado, por lo que otra limitante fue la imposibilidad de acceso en repetidas ocasiones a las zonas de desarrollo con un personal autorizado, ya que el mismo se encontraba realizando labores de mayor prioridad en lo que a la producción inmediata de la mina respecta.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Antecedentes de la investigación

- López, C. (2005), presentó un Diseño de un método de explotación para la mina Colombia, CVG MINERVEN, El Callao, Estado Bolívar, para la Universidad Central de Venezuela. En el cual se describe en el capítulo 5 las estaciones de bombeo de Mina Colombia como referencia para el diseño del método de explotación propuesto. López describe las estaciones de bombeo que para ese entonces estaban operativas, la estación en el nivel 1, nivel 4, nivel 7 y el nivel 442.
- Dpto. de Ingeniería de Minas, MINERVEN (2012), presentó un plan de adecuación del sistema de bombeo en mina Colombia, en el cual se describe la capacidad efectiva de los sumideros y se compara con la capacidad de succión de las bombas operantes, se concluyó que la cantidad de agua que ingresa a los sumideros es soportada por la cantidad de agua desalojada por las bombas operantes, se concluye que lo que hace colapsar el sistema de bombeo es el exceso de material fino presente en los sumideros.
- Herrera, J. (2017), presentó una cuantificación de caudales que ingresan en los niveles 1 y 4 de la mina Colombia, MINERVEN, El Callao, Estado Bolívar, para la Universidad Central de Venezuela. En el cual presenta los caudales medidos en los niveles donde se ubican las estaciones de bombeo de mina Colombia, lo cual se empleó como referencia para la estimación de la eficiencia de las bombas en el nivel 4. Concluye que la mayor cantidad de agua que ingresa a la mina proviene del nivel 1 debido a que se encuentra más cercano al nivel freático.

### **3.2. Drenaje de Minas**

El drenaje de minas es el conjunto de operaciones mediante el cual se impide a las aguas de inundar el pozo y comprende procedimientos con el fin de limitar el flujo de agua al mismo y extraer el agua que es infiltrada.

El agua usualmente se encuentra presente en el terreno, algunos metros por debajo de la superficie. Generalmente los estratos de arena y grava que están sobre la roca caja son las que más agua contienen, por tal motivo las aguas de la superficie pueden infiltrarse en el subsuelo a través de los poros y las fracturas de las rocas de las zonas mineras debido a las inevitables perturbaciones provocadas por la actividad.

Los puntos de drenaje se distribuyen en lugares convenientes y, las cámaras de bombas se sitúan próximas a los pozos. Bombas auxiliares desaguan en canales que conducen las aguas a los depósitos colectores. Se utilizan canales y tuberías. En minas profundas las aguas se bombean por etapas que van de 150 a 600 metros y aún superiores a 900 metros. Grandes alturas de impulsión representan grandes presiones, que obligan a emplear bombas, así como accesorios especiales. Reducir la altura de impulsión exige el uso de bombeo en serie

Durante la circulación subterránea el agua generalmente se enriquece de sustancias solubles que deslavan de las rocas, por lo que la composición del agua puede adquirir propiedades corrosivas. Por tal motivo las bombas destinadas a la extracción de las aguas de minas, requieren de materiales especiales para su construcción.

### 3.3 Sistemas de Bombeo de Mina

Los sistemas de bombeo en la minas son normalmente múltiples, lo que significa que las estaciones de bombas se encuentran en diversos niveles como se observa en la figura 4, desde un nivel, se bombea el agua hasta un nivel superior y de éste nuevamente se bombea al nivel superior y así sucesivamente hasta que el agua bombeada sale a superficie. En muchas minas, esta agua es empleada en la operación de las plantas de proceso y se recircula tanto como es posible. En la mayoría de la minas se trata de no disponer aguas al ambiente, pero si esto es necesario, esta aguas deben ser tratadas para lograr su purificación hasta que alcance la calidad de aguas de riego.

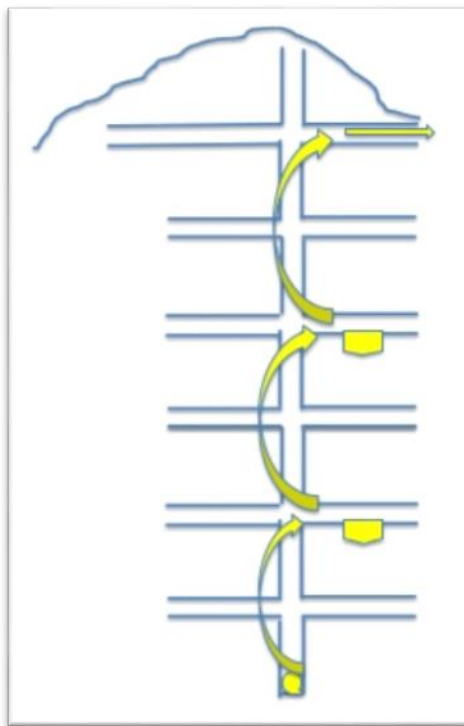


Fig. 4. Dirección de sistema de bombeo. Fuente: Drenaje de mina.  
[<https://es.slideshare.net/ProfesorUPV/drenaje-de-mina-subterranea>]

### **3.3.1 Bombas**

La bomba es una máquina que sirve para elevar o aspirar líquido o gas impulsándolos en una dirección determinada.

La mayoría de los procesos de las industrias de procesos químicos, incluyen la conducción de líquidos o transferencia de un valor de presión de energía estática a otro. La bomba es el medio mecánico para obtener esta conducción o transferencia y por ello es parte esencial en todos los procesos.

A su vez, el crecimiento y perfeccionamiento de los procesos están ligados con las mejoras de los equipos de bombeo y con un mejor conocimiento de cómo funcionan las bombas y como se deben aplicar.

Las bombas centrífugas constituyen no menos del 80 % de la producción mundial de bombas, porque es la más adecuada para manejar mayor cantidad de líquido.

### **3.3.2. Válvulas**

La válvula es un dispositivo mecánico que permite que el flujo de líquidos o gases se inicie, se detenga o se regule mediante una pieza móvil que abra, cierre u obstruya en forma parcial uno o más conductos.

### **3.3.3 Características Generales de las Estaciones de Bombeo para una Mina Subterránea**

- La capacidad total del tanque o de los tanques debe ser suficiente para recibir el agua de todas las áreas subterráneas durante 24 horas.
- El tanque se sitúa a un lado del pozo, a una distancia que no permita debilitar la estructura del mismo. Los canales de drenaje

de las galerías, se deben desviar hacia el tanque o sumidero antes de llegar al pozo.

- Cada estación de bombeo debe permanecer cerrada y solo el operador autorizado será responsable de su funcionamiento.
- En las minas donde el nivel de agua varía considerablemente por infiltraciones debe mantenerse una capacidad instalada de bombas suficiente para el desagüe del máximo nivel alcanzado.
- Las bombas de achicamiento de las aguas deben cumplir con los siguientes requisitos:
  - a. Tener suficiente capacidad para evacuar en condiciones normales, toda el agua que pueda almacenarse en los sumideros.
  - b. Se debe mantener en existencia, bombas de reserva de igual capacidad.
  - c. Estas deben ser eléctricas y accionadas independientemente.
- En las minas donde hay grandes infiltraciones en los niveles superiores debe haber tanques secundarios o auxiliares para recoger las aguas. Estos tanques también, servirán en minas profundas como depósitos para el bombeo en dos o más pasos desde el fondo de la mina hacia los tanques y de aquí a la superficie.
- Cuando el lodo (ñumas) sobrepase el 30 % de la capacidad del mismo tanque, deber ser limpiado y deberá tener divisiones internas que faciliten su limpieza.

### **3.3.4 Bombas en Sistemas de Tuberías**

Las bombas son máquinas hidráulicas cuyo objetivo es convertir energía mecánica de rotación en energía cinética o potencial del fluido dentro del sistema. El efecto de dicha conversión es añadir energía por unidad de peso (cabeza de velocidad o cabeza de presión) al flujo,

aumento que es detectado por los manómetros aguas arriba y aguas debajo de la bomba.

De acuerdo con la forma de sus rotores (impulsores), las bombas roto dinámicas se dividen en:

- **Bombas centrífugas (flujo radial).** Son aquellas que aprovechan el movimiento rotacional del eje. Pueden impulsar líquidos densos tales como relaves. Están provistos de rodetes ya sea abiertos o cerrados, de acero y recubiertos con fines de prevención a la fricción y la abrasión de partículas. Las paletas de trabajo están unidas rígidamente con los discos o al eje de rotación, que transmite la fuerza motriz de rotación. Bajo la acción de las fuerzas centrífugas, el líquido aumenta su energía, se dirige al canal espiral y luego a la tubería de presión. A través del orificio de admisión (simple o doble) se aspira continuamente el líquido, perpendicularmente a la tubería de presión
- **Bombas KSB WKL:** Las bombas de alta presión WKL son bombas centrífugas con la carcasa seccionada en sentido vertical al eje. Dicha carcasa consiste en carcasa de succión y carcasa de presión, así como de cierto número de tazones intermedios.

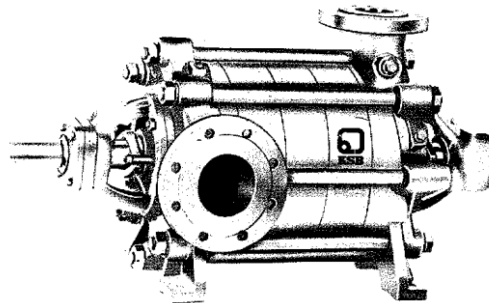


Fig. 5. Bomba KSB WKL. Fuente: Instrucciones de servicio KSB WKL.

La bomba KSB Multi etapas WKL que se presenta en la figura 5 es adecuada para estaciones de suministro de agua e instalaciones de riego. La gran altura de elevación de las bombas centrífugas multi escalonadas produce empujes axiales relativamente grandes.

En los tamaños de bomba 32 hasta 125 van compensadas las fuerzas axiales de forma independiente para cada impulsor, mediante un intersticio de junta por el lado de entrada, y por medio de álabes radiales en el lado de impulsión. Se absorbe el empuje residual que todavía podría quedar, por el rodamiento de bolas del lado final. El líquido pasa a través de la carcasa de succión al primer impulsor. En dicho impulsor, que va provisto de una serie de álabes, se produce una transmisión de energía sobre el líquido. El líquido sale del impulsor para entrar en el difusor, donde se produce un nuevo aumento de la presión por transformación de la energía de la velocidad. El líquido es llevado por los canales de conducción a la entrada del próximo impulsor. Este proceso se repite de paso a paso, y la presión va aumentando cada vez por el mismo importe – el de la altura de elevación del paso. Después de último difusor pasa el líquido a la carcasa de presión y desde allí a la tubería de descarga.

- **Denominación Bombas KSB:** en la figura 6 se presenta la denominación de las bombas centrífugas KSB.

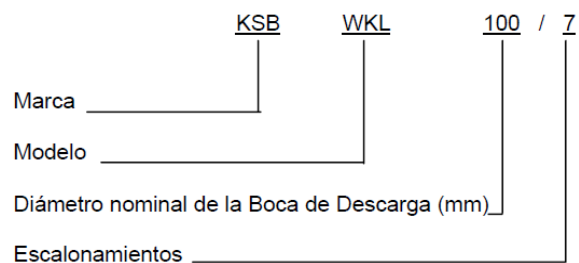


Fig. 6. Denominación de las bombas KSB WKL. Fuente: Instrucciones de servicio KSB WKL.

- **Datos de operación:**

Tamaños – diámetro nominal 32 hasta 150 mm

Caudal - hasta 500 m<sup>3</sup>/h

Elevación - hasta 300 m

Temperatura - hasta 140°C

Velocidad de giro - hasta 3.500 rpm

- **Bombas de flujo axial.** Las bombas axiales de gran caudal se fabrican con disposición vertical del árbol. Pueden ser de una o más etapas. El cuerpo con el dispositivo guía va adosado sobre el bastidor y la bancada. En el torneado cónico del extremo inferior del árbol se encaja el cubo de la rueda de trabajo, que se fija con la ayuda de una chaveta y tuerca que gira a través de un cojinete inferior. Las paletas pueden ser sujetadas rígidamente (fijas) o pueden ser giratorias

- Bombas de flujo mixto.

Para la misma potencia de entrada y para igual eficiencia, las bombas centrífugas se caracterizan por presentar una presión relativamente alta con un caudal bajo, las bombas de flujo axial generan un caudal alto con una baja presión y las de flujo mixto tiene características que las ubican en un rango intermedio con respecto a los dos casos anteriores.

### 3.4. Caudal

Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal) por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo (Wikipedia-Caudal, septiembre 2017).

### 3.5 Aforo

Es el conjunto de operaciones para determinar el caudal en un curso de agua para un nivel observado. Su objetivo es correlacionar el nivel de agua con el caudal o gasto para obtener la curva de descarga o calibración (Echeverría, D. 2016). Los aforos pueden ser directos e indirectos, a continuación se describe el empleado en la investigación:

#### 3.5.1 Aforos mediante el método de la trayectoria

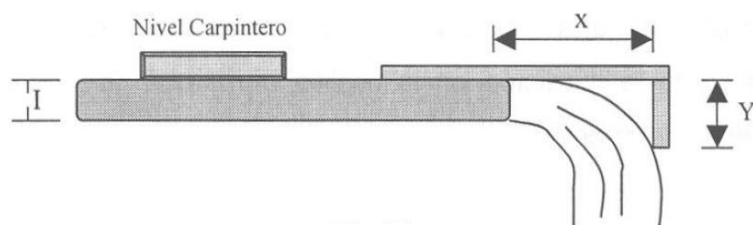


Fig. 7. Aforo mediante el método de la trayectoria. Fuente: Medición de presión y caudal

Consiste en la medición de las distancias horizontales desde el inicio de la tubería hasta la proyección del chorro de agua y la altura desde donde sale el mismo tomando en cuenta el diámetro de la tubería como se observa en la figura 7. Este método se basa en el principio físico de la caída libre de los cuerpos. Dicho principio establece que la proyección horizontal ( $x$ ) del chorro es proporcional a la velocidad de salida ( $V$ ) y al tiempo ( $t$ ) que tarda el agua en alcanzar un punto definido sobre su trayectoria, y la proyección vertical ( $y$ ) es el resultado de la aceleración que sufre el chorro en caída libre, por efecto de la gravedad (ecuación 1).

$$Q \text{ (l/s)} = 1739,4 \times \varnothing^2 \times \frac{x}{\sqrt{y}}$$

Ecuación 1. Caudal descargado por una tubería mediante el método de la trayectoria.

Donde:

$\phi^2$  = diámetro interno de la tubería en metros

X = proyección horizontal del chorro en metros

Y = proyección vertical del chorro en metros

Q = caudal descargado por la tubería en l/s

Este método es de gran utilidad para el aforo de tuberías ya que con él es posible obtener una aproximación aceptable cuando se usa de una forma adecuada.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. MARCO METODOLÓGICO**

#### **4.1. Tipo de investigación**

Es una investigación de campo del tipo descriptivo-correlacional. Es descriptivo ya que se realizan mediciones de diversas variables que engloban el objeto de estudio para su análisis y representación, y es correlacional porque se compara la situación en cuestión con parámetros que se introducen como una posible solución para el óptimo desempeño de los servicios auxiliares de drenaje minero de la empresa.

#### **4.2. Diseño de investigación**

El diseño de la investigación es no experimental del tipo transversal. Es no experimental debido a que no se modifican las variables en las cuales se presenta el objeto de estudio al momento de su análisis y es transversal ya que se busca establecer una solución posible a una situación en un momento determinado de la vida de la mina.

#### **4.3. Población y muestra**

La población está conformada por la empresa MINERVEN, y la muestra se encuentra definida por las estaciones de bombeo ubicadas en el nivel 1 y en el nivel 4 del sistema de bombeo de Mina Colombia.

#### **4.4. Recursos de la investigación**

Para la realización de la presente investigación se contó con los siguientes recursos:

- GPS, cinta métrica, botas de seguridad, casco de seguridad, lámparas, braga minera, faja minera, botas de seguridad media caña de goma, todo ello aportados por la empresa MINERVEN.

- Equipo de computación.
- Hoja de cálculo, con el objeto de realizar los cálculos y gráficos correspondientes de esta investigación.
- Los software, AutoCAD Civil 3D, y AUTOCAD 2013 para la representación gráfica del sistema de bombeo.
- Software Google Earth para la ubicación referencial de las zonas de descargas del sistema.
- Instalaciones, transporte y personal de apoyo de la empresa MINERVEN.
- Libreta de campo y lápiz propiedad del investigador, para la anotación de datos pertinentes.

#### **4.5 Plan de trabajo semanal**

Para cumplir con los objetivos de la investigación, se planteó un plan de trabajo semanal en base a ocho semanas destinadas a, realizar la recolección de información del sistema de bombeo actual y el reconocimiento del nivel 1 de mina Colombia, inspección de las estaciones de bombeo ubicadas en el nivel 1 y en el nivel 4, la recolección de información de sus tiempos de trabajo y caudal desalojado, la inspección de los sumideros encargados de captar el agua de la mina y alimentar las bombas de las estaciones de bombeo, esto para luego relacionar la información de los caudales de recarga del sumidero con el caudal de extracción de agua de las bombas para así, estimar su eficiencia, estimar el volumen de los niveles inundados para estudiar la eficiencia de la bomba ubicada en el pozo encargada de desalojar dicho volumen, elaborar un cronograma tentativo en base a los caudales manejados por el sistema de bombeo, esto para finalmente presentar un diagnóstico del sistema de bombeo actual de mina Colombia, basado en la eficiencia del sistema de bombeo actual. Estas actividades mencionadas se realizaron en un proceso de dos etapas, la primera etapa concentrada en el estudio de los niveles inundados de mina Colombia y la

segunda la evaluación de la eficiencia del sistema de bombeo actual, tal como se puede observar en la tabla 2.

Tabla 2. Plan de trabajo semanal. Fuente: elaboración propia junto al tutor.

| <b>SEMANA</b> | <b>FECHAS</b>      | <b>ACTIVIDAD</b><br>(en función del cumplimiento de los objetivos específicos)  |
|---------------|--------------------|---|
| I             | Del 07-08 al 11-08 | Inducción, charlas de seguridad industrial, presentación con la Gerencia de Operaciones.  |
| II            | Del 14-08 al 18-08 | Recolección de información del sistema actual de bombeo y de la medición de volumen por nivel afectado. Reconocimiento del nivel1 de Mina Colombia. |
| III           | Del 21-08 al 25-08 | Inspección del sistema actual de bombeo en los niveles 1 y 4.   |
| IV            | Del 28-08 al 01-09 | Inspección y reconocimiento de los sumideros ubicados en el nivel 1 y nivel 4.  |
| V             | Del 04-09 al 08-09 | Cálculos de capacidad de captación de los sumideros del nivel 1 y 4.  |
| VI            | Del 11-09 al 15-09 | Estimación de volumen de los niveles afectados y revisión de los aforos de la Mina.   |
| VII           | Del 18-09 al 22-09 | Cálculos del sistema de bombeo. Análisis y Revisión de Resultados Obtenidos   |
| VIII          | Del 25-09 al 29-09 | Realización del informe de Pasantías, conclusiones y recomendaciones  |

## CAPÍTULO V

### 5. PROCESO DE ANÁLISIS Y CÁLCULO

#### 5.1 Laboreo en mina Colombia

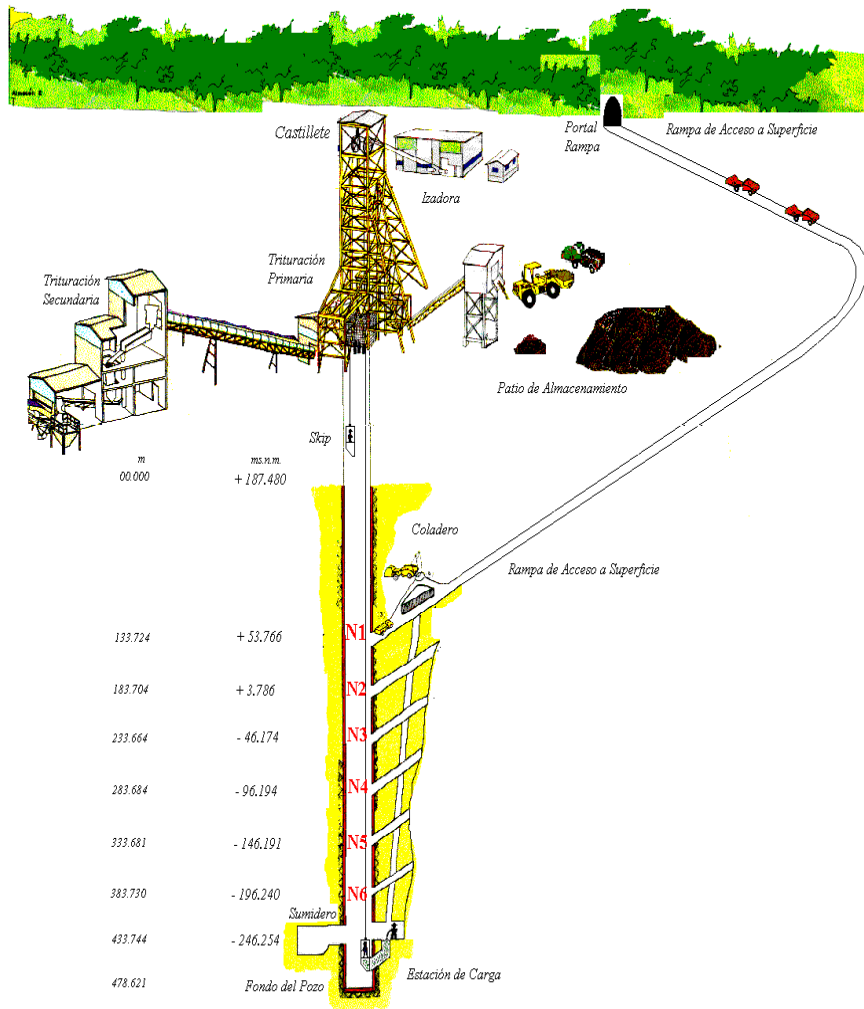


Fig. 8. Mina Colombia. Fuente: MINERVEN.

Mina Colombia está conformada por siete niveles, como se observa en la figura 8, contando desde la superficie 134m hacia el interior de la roca madre se encuentra el nivel 1 y a 50 m de éste se encuentra el nivel 2 y así sucesivamente

espaciándose 50m entre ellos hasta el nivel 7. El método de explotación empleado desde el nivel 1 hasta el nivel 5 es el de Cámaras y Pilares, donde las cámaras poseen una altura promedio de 2 m. Entre el nivel 5 y 6 debido a la estructura geológica denominada “el bolsón” que se puede observar en la figura 9, se cuenta con una serie de laboreos denominados “Cortes” espaciados entre sí aproximadamente 10m, esto se trata del método de explotación denominado Cámara por Subniveles con Tiros Largos, con este método de explotación se crearon lo que se denominan Corte 0, Corte 3, Corte 5 y Corte 7, la característica principal de este laboreo son los tajos, laboreos con una altura de aproximadamente 10m, dejando pilares entre sí con área promedio de 45 m<sup>2</sup>. En el nivel 6 se hizo una combinación de ambos métodos, el de Cámaras y Pilares y el de Cámaras por Subniveles con Tiros Largos, al igual que en el nivel 7 con la única excepción que las cámaras de este nivel fueron pocas las desarrolladas y luego fueron selladas.

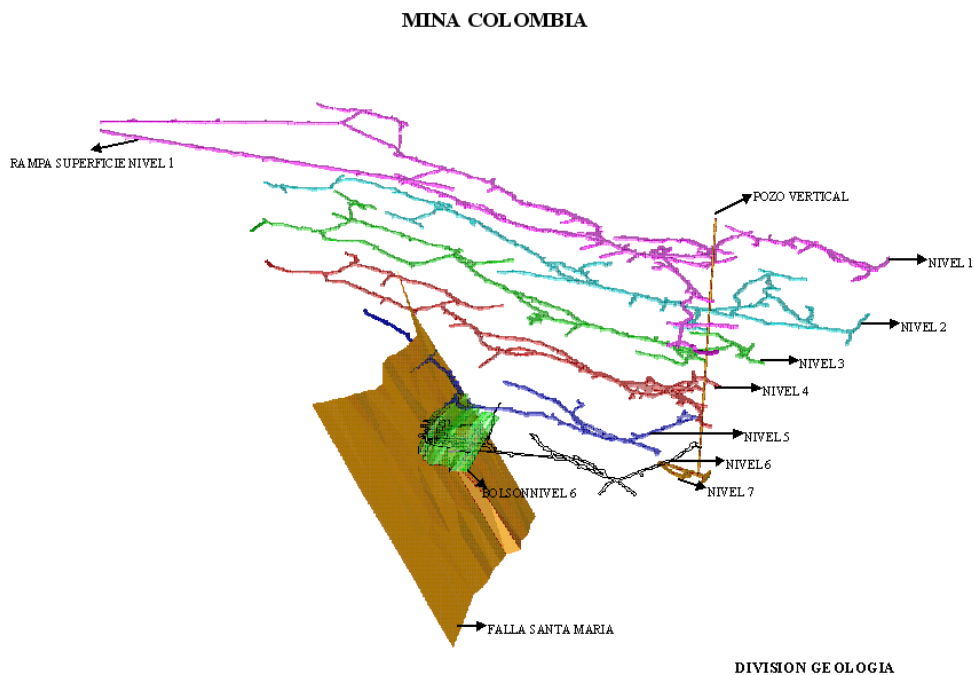


Fig. 9. Labores de Mina Colombia. Fuente: Gerencia de geología, MINERVEN.

A Mina Colombia se accede por dos maneras, por rampa y por medio de Skip. El pozo por el cual se traslada el Skip posee un diámetro de 4,6 m de los cuales 5% está ocupado por vigas y estructuras para que el Skip pueda cumplir su función, por lo que el diámetro útil del pozo es 4,37m, datos empleados para calcular el volumen del pozo de Mina Colombia empleando la ecuación 2 tomando en cuenta la altura del nivel del agua para septiembre 2017 y que el pozo es cilíndrico.

$$V_{cilindro} = (\pi \times r^2) \times H$$

Ecuación 2. Cálculo de volumen del cilindro

Dónde:

r= radio útil del pozo

H=altura de la inundación en el pozo

V= volumen del pozo

Teniendo esto en consideración, se presenta la metodología empleada para la estimación de volumen de todos los niveles inundados, los cuales para septiembre de 2017, son los niveles 5, 6 y 7.

La metodología para los niveles cuyo laboreo es únicamente el de Cámaras y Pilares que es el caso del nivel 5 como se puede observar en la figura 10, constó en medir el área del piso de las cámaras explotadas, y medir la altura que estas poseen; el área se totalizó y la altura se promedió para luego multiplicarlas entre sí y así obtener el volumen de los espacios vacíos en las cámaras empleando la ecuación 3.

$$V_{labor} (m^3) = \text{Área del piso} \times \text{Altura promedio}$$

Ecuación 3. Cálculo de volumen mediante el área del piso de la labor

Para las galerías de desarrollo se aplicó la misma metodología en todos los niveles, la cual consistió en medir el área de la sección de la galería y medir la longitud de las galerías; las áreas se promediaron y las longitudes se totalizaron

para luego multiplicarlas entre sí empleando la ecuación 4 y así obtener el volumen de los espacios vacíos en las galerías de desarrollo; metodología que se empleó para estimar el volumen de los espacios vacíos en las chimeneas de todos los niveles.

$$V_{labor} (m^3) = \text{Área de la sección transversal} \times \text{Longitud}$$

Ecuación 4. Cálculo de volumen mediante la sección transversal de la labor

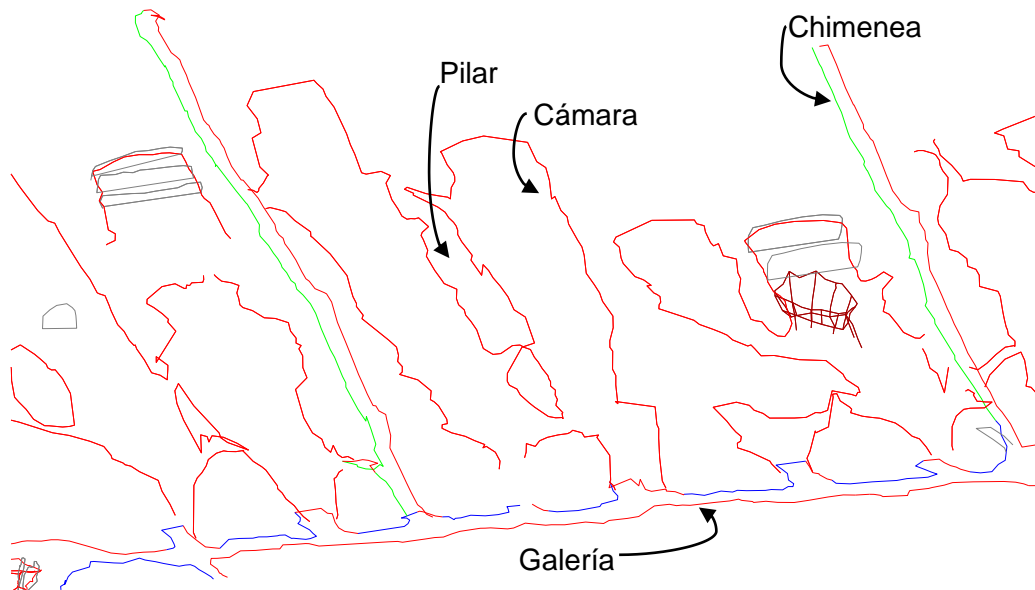


Fig. 10. Sección del nivel 5. Fuente: elaborado por el Dpto. de topografía MINERVEN y editado por el autor.

Por su parte en los niveles y cortes cuyo laboreo estaba diseñado por el método de Cámaras por Subniveles con Tiros Largos, como se observa en la figura 11; la metodología empleada consistió en medir el área total del tajo explotado, luego en medir el área de cada pilar dejado en cada tajo seguidamente se midió la altura del tajo en distintos puntos del mismo; las áreas de los pilares se totalizó por cada tajo para luego ser restada al área total del tajo en cuestión, obteniendo así el área de los espacios vacíos en los tajos de producción, y finalmente las alturas se promediaron, luego estos valores se multiplicaron entre sí

obteniendo así el volumen estimado de los espacios vacíos en los tajos de producción.

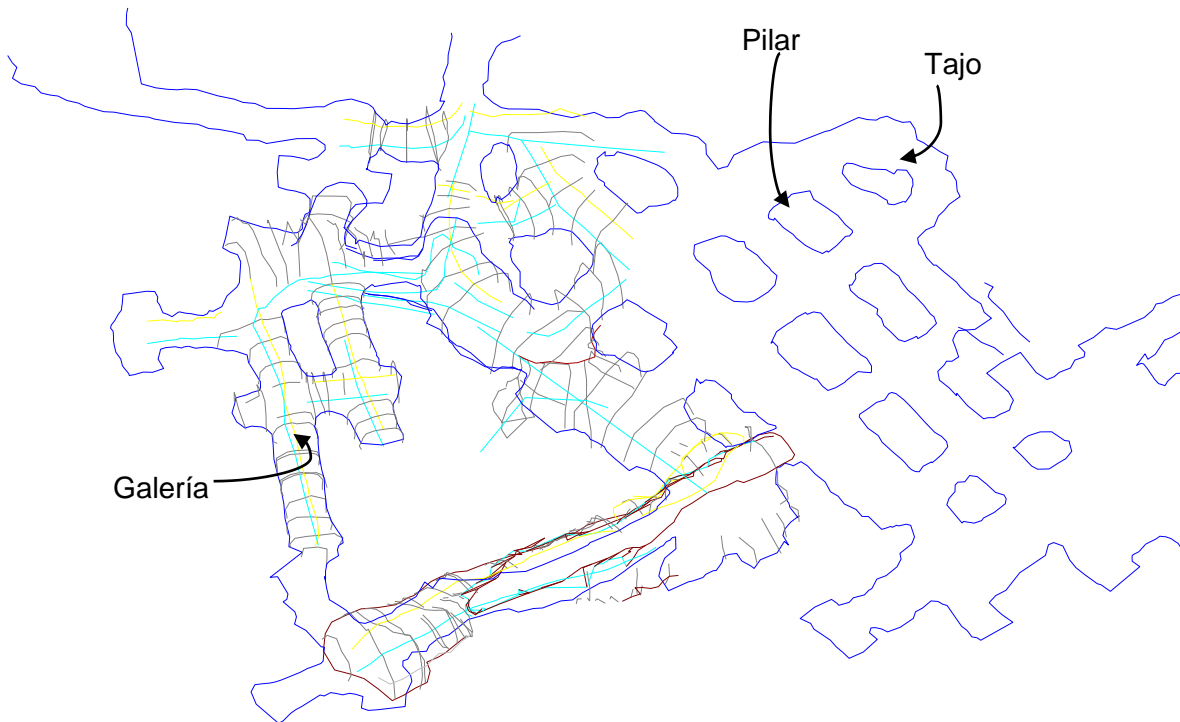


Fig. 11. Sección del corte 3. Fuente: elaborado por el Dpto. de topografía MINERVEN y editado por el autor.

## 5.2. Equipos de bombeo disponibles en mina Colombia

Los equipos de bombeo disponibles en la mina Colombia están presentados en la tabla 3. Además en Mina Colombia se cuenta con una bomba de lodo empleada para desalojar el material fino de los sumideros. Estos equipos están distribuidos en las estaciones de bombeo del nivel 1 y 4 de mina Colombia.

El caudal de agua que manejan las bombas KSB WKL fue estimado con la curva de cada bomba respectivamente.

Tabla 3. Bombas disponibles actualmente en mina Colombia, Septiembre 2017.

Fuente: Elaboración propia.

| Nivel | Bomba                             | Altura de succión(m) | Caudal teórico (GPM) | Estatus                             |
|-------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------------|
| 1     | KSB WKL 50/5                      | 134                  | 185.00               | Operativo                           |
|       | KSB WKL 125/4                     | 134                  | 1,600.00             | Operativo                           |
|       | KSB WKL 125/4                     | 134                  | 1,600.00             | Operativo                           |
|       | Grindex Mega H                    | -                    | -                    | Operativo                           |
| 4     | KSB WKL 80/4                      | 284                  | 757.38               | Operativo                           |
|       | KSB WKL 80/4                      | 284                  | 757.38               | Operativo                           |
|       | KSB WKL 125/4                     | 150                  | 1,500.00             | Operativo                           |
| Pozo  | MEGA H                            | 50                   | 1,000.00             | Operativo                           |
| -     | Bomba Diésel de trasiego de Lodos | -                    |                      | No disponible por falta de tuberías |

- Bomba KSB WKL 50/5

La bomba KSB WKL 50/5 es una bomba centrífuga de alta presión, posee un diámetro nominal de descarga de 50 mm y 5 escalonamientos, como se observa en la figura 12 esta bomba esta acoplada a un motor de 3600 HP. Trabaja con una elevación de 134 m del nivel 1 a superficie.



Figura 12. Bomba KSB WKL 50/5, Nivel 1, Mina Colombia Septiembre 2017.

- Bomba KSB WKL 125/4

La bomba KSB WKL 80/4 posee un diámetro nominal de descarga de 125 mm y 4 escalonamientos, como se observa en la figura 13 y 14 esta bomba esta acoplada a un motor de 1800 HP, impulsa el caudal de agua a una altura de 124 m a superficie.



Fig. 13. Bombas KSB WKL 125/4, Nivel 1, Mina Colombia. Septiembre 2017.



Fig. 14. Bomba KSB WKL 125/4, Nivel 4, Mina Colombia. Septiembre 2017.

- Bomba KSB WKL 80/4

La bomba KSB WKL 80/4 posee un diámetro nominal de descarga de 80 mm y 4 escalonamientos, como se observa en la figura 15 esta bomba

esta acoplada a un motor de 3600 HP. Trabaja con una elevación de 284 m desde el nivel 4 hasta superficie.



Fig. 15. Bomba KSB WKL 80/4, Nivel 4, Mina Colombia. Septiembre 2017.

- Bomba de lodos

La bomba diésel para trasiegos de lodos que se puede observar en la figura 16, es empleada para realizar mantenimiento a los sumideros de mina Colombia, con un monitor hidráulico se disgrega el material fino acumulado en el fondo de los sumideros para ser convertido en una pulpa para ser succionada por la bomba de lodos, la cual los deposita en la galería más cercana destinada para ello, actualmente la bomba se encuentra inoperativa por falta de tuberías para su correcto funcionamiento.

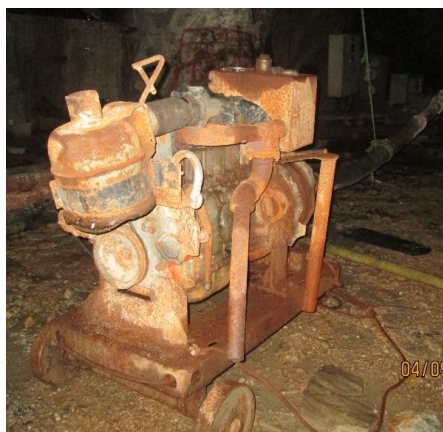


Fig. 16. Bomba Diésel para trasiego de lodos, Nivel 1, Mina Colombia. Septiembre 2017.

### 5.3. Drenaje en mina Colombia

Las labores de drenaje en una mina subterránea están conformadas por canaletas que recogen el agua de las galerías y las dirigen a un sumidero de captación. En mina Colombia los canales de drenaje son escasos, como se observa en la figura 17, actualmente solo están presentes en las galerías principales de cada nivel, como es el caso del nivel 1 para captar el agua de la galería y dirigirla al sumidero 1 ubicado cerca de la boca del pozo.



Fig. 17. Drenaje de la galería principal nivel 1 mina Colombia, septiembre 2017.

En el caso de los sumideros en mina Colombia se cuenta con un sumidero en cada sub estación de bombeo, como se observa en la tabla 4 actualmente solo se encuentran operativos los sumideros de las estaciones de bombeo en el nivel 1 y en el nivel 4 ya que los otros fueron perdidos por la inundación de las labores.

Tabla 4. Sumideros de mina Colombia. Fuente: Gerencia de mantenimiento MINERVEN y modificado por el autor.

| Nivel | Sumidero  |         | Capacidad nominal (m3) | Estatus                                     |
|-------|-----------|---------|------------------------|---|
| 1     | 1         |         | 7.84                   | Operativo                                   |
|       | La Virgen | Antiguo | 1,369.84               | Operativo                                   |
|       |           | Nuevo   | 705.48                 | Operativo                                   |
|       | Auxiliar  |         | 8.01                   | Operativo                                   |
| 4     | 4         |         | 174.54                 | Operativo                                   |
|       |           |         |                        | Operativo                                   |
|       |           |         |                        | Operativo                                   |
| 7     | 5         |         | 202.78                 | Fuera de servicio por inundación de labores |
|       | 6         |         | 71.40                  |   |

#### 5.4 Eficiencia de los equipos de bombeo

El rendimiento de una bomba centrífuga se puede calcular conociendo el caudal desalojado por la bomba en un tiempo específico, para luego compararlo con el caudal de recarga del sumidero en cuestión, otra metodología consiste en comparar el caudal teórico que maneja la bomba con el caudal real medido en campo.

Conociendo el tiempo de trabajo de la bomba y el volumen de agua desalojado del sumidero relacionado, empleando la ecuación 6 se obtiene el caudal de desalojo manejado por la bomba. El volumen de agua desalojado se calcula utilizando la ecuación 5 con la altura del agua desalojada durante el tiempo de trabajo de la bomba y el área del piso del sumidero.

$$V_d (m^3) = A_s \times H_d$$

Ecuación 5. Volumen desalojado del sumidero.

Donde:

$A_s$  = área del piso del sumidero

$H_d$  = altura del agua desalojada del sumidero durante el tiempo de trabajo de la bomba

$V_d$  = volumen desalojado

$$Q_d = \frac{V_d}{t}$$

Ecuación 6. Caudal desalojado por la bomba.

Donde:

$V_d$  = volumen desalojado

$t$  = tiempo de trabajo de la bomba

$Q_d$  = caudal desalojado por la bomba

## CAPÍTULO VI

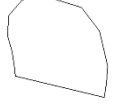

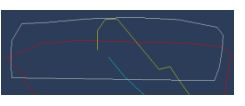
### 6 RESULTADOS Y ANALISIS

#### 6.1. Estimación de volumen que manejará el sistema de bombeo

Mina Colombia está conformada por siete niveles, contando desde la superficie 134m hacia el interior de la roca madre se encuentra el nivel 1 y a 50 m de éste se encuentra el nivel 2 y así sucesivamente espaciándose 50m entre ellos hasta el nivel 7. Actualmente se encuentran inundados el nivel 7, nivel 6, los cortes entre el nivel 5 y 6 y el nivel 5. Para el momento de la medición el nivel del agua se encontraba en el techo del nivel 5.

En mina Colombia el método de explotación empleado hasta el nivel 5 es el de cámaras y pilares, la metodología empleada para la estimación del volumen de los espacios vacíos de este laboreo se explica a detalle en el capítulo V del presente trabajo. Con el software AUTOCAD 2013 se midieron las parámetros necesarios de este nivel y empleando la ecuación 3 se estimó el volumen de los espacios vacíos en este nivel, volumen que al estar vacío ha sido ocupado en su totalidad por el agua, en la tabla 5 se presentan los resultados obtenidos del volumen de agua presente en el nivel 5.

Tabla 5. Estimación de volumen del nivel 5, mina Colombia, agosto 2017.

| <b>NIVEL 5</b>      |   |   |   |        |
|---------------------|---|---|---|--------|
| Sección transversal | Galería (4,5 x 4,5)   | Chimenea (3x3)  | Cámaras (Base x 3,5)  |        |
|                     |  |  |  |        |
| Área 1              | 17.22   | 7.41  | Área cámara 1   | 370.42 |
| Área 2              | 10.69   | 5.33  | Área cámara 2   | 391.49 |
| Área 3              | 17.86   | 5.94  | Área cámara 3   | 520.11 |
| Área 4              | 15.13   | 6.35  | Área cámara 4   | 606.54 |
| Área 5              | 11.18   | 5.01  | Área cámara 5   | 59.06  |

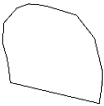

|  |              |             |                                   |                  |
|--|--------------|-------------|-----------------------------------|------------------|
| Área 6                                   | 14.12        | 5.30        | Área cámara 6                     | 10.89            |
| Área 7                                   | 12.08        | 7.29        | Área cámara 7                     | 187.88           |
| Área 8                                   | 14.93        |             | Área cámara 8                     | 110.39           |
| Área 9                                   | 13.75        |             | Área cámara 9                     | 203.89           |
| Área 10                                  | 13.70        |             | Área cámara 10                    | 403.80           |
| Área 11                                  | 13.62        |             | Área cámara 11                    | 722.05           |
| Área 12                                  | 14.44        |             | Área cámara 12                    | 710.49           |
| Área 13                                  | 11.57        |             | Área cámara 13                    | 752.47           |
| Área 14                                  | 16.50        |             | Área cámara 14                    | 602.13           |
| Área 15                                  | 15.22        |             | Área cámara 15                    | 925.11           |
| <b>Área Promedio<br/>(m<sup>2</sup>)</b> | <b>14.13</b> | <b>6.09</b> | Área cámara 16                    | 682.89           |
| Longitud 1                               | 170.15       | 48.26       | Área cámara 17                    | 878.64           |
| Longitud 2                               | 9.35         | 17.55       | Área cámara 18                    | 867.39           |
| Longitud 3                               | 9.12         | 72.72       | Área cámara 19                    | 357.50           |
| Longitud 4                               | 11.67        | 8.30        | Área cámara 20                    | 194.37           |
| Longitud 5                               | 8.74         | 93.74       | Área cámara 21                    | 136.49           |
| Longitud 6                               | 38.78        | 61.36       | Área cámara 22                    | 93.28            |
| Longitud 7                               | 113.74       |             | Área cámara 23                    | 745.57           |
| Longitud 8                               | 186.20       |             | Área cámara 24                    | 843.90           |
| Longitud 9                               | 133.97       |             | Área cámara 25                    | 879.41           |
| Longitud 10                              | 75.51        |             | Área cámara 26                    | 807.61           |
| Longitud 11                              | 10.38        |             | Área cámara 27                    | 683.06           |
| Longitud 12                              | 13.19        |             | Área cámara 28                    | 883.76           |
| Longitud 13                              | 21.21        |             | Área cámara 29                    | 608.41           |
| Longitud 14                              | 11.45        |             | Área cámara 30                    | 780.93           |
| Longitud 15                              | 14.01        |             | Área cámara 31                    | 841.40           |
| Longitud 16                              | 13.98        |             | Área cámara 32                    | 446.10           |
| Longitud 17                              | 16.72        |             | Área cámara 33                    | 905.44           |
| Longitud 18                              | 24.96        |             | Área cámara 34                    | 763.11           |
| Longitud 19                              | 22.42        |             | Área cámara 35                    | 1,112.83         |
| Longitud 20                              | 12.96        |             | Área cámara 36                    | 1,224.13         |
| Longitud 21                              | 72.82        |             | Área cámara 37                    | 780.57           |
| Longitud 22                              | 22.57        |             | Área cámara 38                    | 956.81           |
| Longitud 23                              | 131.39       |             | Área cámara 39                    | 147.46           |
| Longitud 24                              | 33.46        |             | Área cámara 40                    | 90.54            |
| Longitud 25                              | 161.90       |             | Área cámara 41                    | 27.51            |
| Longitud 26                              | 106.27       |             | Área cámara 42                    | 34.49            |
| Longitud 27                              | 106.74       |             | <b>Área total (m<sup>2</sup>)</b> | <b>23,350.32</b> |
| Longitud 28                              | 125.37       |             | Altura 1                          | 1.95             |
| Longitud 29                              | 99.84        |             | Altura 2                          | 1.72             |
| Longitud 30                              | 64.63        |             | Altura 3                          | 1.93             |
| Longitud 31                              | 23.67        |             | Altura 4                          | 2.53             |

|                                    |                       |                     |                            |                      |
|------------------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------|----------------------|
| Longitud 32                        | 58.38                 |                     | Altura 5                   | 2.40                 |
| Longitud 33                        | 27.29                 |                     | Altura 6                   | 2.37                 |
| Longitud 34                        | 202.89                |                     | Altura 7                   | 1.96                 |
| Longitud 35                        | 78.54                 |                     | Altura 8                   | 1.54                 |
| Longitud 36                        | 78.33                 |                     | Altura 9                   | 2.31                 |
| Longitud 37                        | 66.14                 |                     | Altura 10                  | 2.24                 |
| Longitud 38                        | 70.50                 |                     | Altura 11                  | 1.87                 |
| Longitud 39                        | 28.05                 |                     | Altura 12                  | 1.63                 |
| Longitud 40                        | 65.90                 |                     | Altura 13                  | 3.00                 |
| Longitud 41                        | 85.88                 |                     | Altura 14                  | 1.65                 |
| Longitud 42                        | 264.85                |                     | Altura 15                  | 2.74                 |
| Longitud 43                        | 66.30                 |                     | <b>Altura promedio (m)</b> | <b>2.12</b>          |
| Longitud 44                        | 28.07                 |                     | Volumen (m3)               | 49,564.49            |
| Longitud 45                        | 90.35                 |                     | <b>Volumen (L)</b>         | <b>49,564,485.92</b> |
| Longitud 46                        | 96.77                 |                     | Volumen (gal)              | 13,094,976.46        |
| Longitud 47                        | 54.37                 |                     |                            |                      |
| Longitud 48                        | 35.60                 |                     |                            |                      |
| Longitud 49                        | 170.44                |                     |                            |                      |
| Longitud 50                        | 66.10                 |                     |                            |                      |
| Longitud 51                        | 62.97                 |                     |                            |                      |
| Longitud 52                        | 155.71                |                     |                            |                      |
| Longitud 53                        | 57.52                 |                     |                            |                      |
| Longitud 54                        | 17.77                 |                     |                            |                      |
| Longitud 55                        | 159.11                |                     |                            |                      |
| Longitud 56                        | 34.23                 |                     |                            |                      |
| <b>Longitud total (m)</b>          | <b>3,989.26</b>       | <b>301.94</b>       |                            |                      |
| Volumen (m3)                       | 56,379.97             | 1,838.35            |                            |                      |
| <b>Volumen (L)</b>                 | <b>56,379,973.64</b>  | <b>1,838,354.59</b> |                            |                      |
| Volumen (gal)                      | 14,895,633.72         | 485,694.74          |                            |                      |
| <b>Volumen Total Nivel 5 (L)</b>   | <b>107,782,814.15</b> |                     |                            |                      |
| <b>Volumen Total Nivel 5 (gal)</b> | <b>86,758,053.27</b>  |                     |                            |                      |

Entre el nivel 5 y 6 se cuenta con una serie de laboreos denominados "Cortes" espaciados entre sí aproximadamente 10m, mediante el método de explotación de Cámara por Subniveles con Tiros Largos, con este método de explotación se

crearon lo que se denominan Corte 0, Corte 3, Corte 5 y Corte 7. Con el software AUTOCAD 2013 se midieron los parámetros necesarios de estos laboreos y con la ecuación 4 se estimó el volumen de agua presente en los cortes, valores que se presentan en las tablas a continuación.

Tabla 6. Estimación de volumen del corte 0 del nivel 6, mina Colombia, Agosto 2017.

| <b>Corte 0 del nivel 6</b>           |   |  |                  |
|--------------------------------------|---|--|------------------|
| Sección transversal                  | Galería (4,5 x 4,5)   | Tajo (Base x10)  |                  |
|                                      |  |  |                  |
| Área 1                               | 19.0762   | <b>Área total</b>  | <b>3,953</b>     |
| Área 2                               | 21.4707   | Área pilar 1   | 62               |
| Área 3                               | 11.3859   | Área pilar 2   | 71               |
| Área 4                               | 17.2577   | Área pilar 3   | 56               |
| Área 5                               | 20.6878   | Área pilar 4   | 68               |
| Área 6                               | 17.663  | Área pilar 5   | 48               |
| Área 7                               | 17.5694   | Área pilar 6   | 91               |
| Área 8                               | 17.3972   | Área pilar 7   | 43               |
| Área 9                               | 17.8945   | Área pilar 8   | 50               |
| Área 10                              | 16.3659   | Área pilar 9   | 59               |
| Área 11                              | 18.7493   | Área pilar 10  | 48               |
| Área 12                              | 19.1245   | Área pilar 11  | 66               |
| Área 13                              | 17.4956   | Área pilar 12  | 61               |
| Área 14                              | 18.3495   | Área total de pilares=   | 722.539          |
| Área 15                              | 16.9475   | <b>Área final (m<sup>2</sup>)</b>  | <b>3230.7012</b> |
| <b>Área promedio (m<sup>2</sup>)</b> | <b>17.82898</b>   | Altura 1   | 14.3616          |
| Longitud 1                           | 93  | Altura 2   | 11.0381          |
| Longitud 2                           | 37  | Altura 3   | 13.3258          |
| Longitud 3                           | 15  | Altura 4   | 12.6619          |
| Longitud 4                           | 30  | Altura 5   | 14.8534          |
| Longitud 5                           | 39  | Altura 6   | 9.2448           |
| Longitud 6                           | 40  | Altura 7   | 7.9662           |
| Longitud 7                           | 76  | Altura 8   | 9.7667           |
| Longitud 8                           | 107   | Altura 9   | 10.2159          |
|                                      |   | Altura 10  | 8.8156           |
|                                      |   | Altura 11  | 10.9822          |
|                                      |   | Altura 12  | 10.6772          |



|                            |                      |                            |                      |
|----------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|
|                            |                      | Altura 13                  | 11.1953              |
|                            |                      | Altura 14                  | 9.0937               |
|                            |                      | Altura 15                  | 10.7792              |
| <b>Longitud total (L)</b>  | <b>436.6122</b>      | <b>Altura promedio (m)</b> | <b>10.99850667</b>   |
| Volumen (m3)               | 7,784.35             | Volumen (m3)               | 35,532.89            |
| <b>Volumen (L)</b>         | <b>7,784,350.18</b>  | <b>Volumen (L)</b>         | <b>35,532,888.69</b> |
| Volumen (gal)              | 2,056,631.49         | Volumen (gal)              | 9387817.354          |
| <b>Volumen Total (L)</b>   | <b>43,317,238.87</b> |                            |                      |
| <b>Volumen Total (gal)</b> | <b>11,444,448.84</b> |                            |                      |

Tabla 7. Estimación de volumen del corte 3 del nivel 6, mina Colombia, agosto 2017.

| Corte 3 del nivel 6                  |                     |                |                                   |              |
|--------------------------------------|---------------------|----------------|-----------------------------------|--------------|
| Sección transversal                  | Galería (4,5 x 4,5) | Chimenea (3x3) | Tajo (Base x10)                   |              |
|                                      |                     |                |                                   |              |
| Área 1                               | 19.0762             | 6.25           | <b>Área total (m<sup>2</sup>)</b> | <b>4,893</b> |
| Área 2                               | 21.4707             | 6.1683         | Área pilar 1                      | 27           |
| Área 3                               | 11.3859             | 5.1222         | Área pilar 2                      | 53           |
| Área 4                               | 17.2577             | 3.479          | Área pilar 3                      | 65           |
| Área 5                               | 20.6878             | 4.8434         | Área pilar 4                      | 67           |
| Área 6                               | 17.663              | 4.4191         | Área pilar 5                      | 58           |
| Área 7                               | 17.5694             | 5.374          | Área pilar 6                      | 50           |
| Área 8                               | 17.3972             | 5.2058         | Área pilar 7                      | 29           |
| Área 9                               | 17.8945             | 6.353          | Área pilar 8                      | 55           |
| Área 10                              | 16.3659             | 5.472          | Área pilar 9                      | 69           |
| Área 11                              | 18.7493             | 6.183          | Área pilar 10                     | 57           |
| Área 12                              | 19.1245             | 5.473          | Área pilar 11                     | 60           |
| Área 13                              | 17.4956             | 6.137          | Área pilar 12                     | 42           |
| Área 14                              | 18.3495             | 4.896          | Área pilar 13                     | 28           |
| Área 15                              | 16.9475             | 4.6269         | Área pilar 14                     | 25           |
| <b>Área Promedio (m<sup>2</sup>)</b> | <b>17.82</b>        | <b>5.33</b>    | Área pilar 15                     | 20           |
| Longitud 1                           | 112                 | 24.3718        | Área pilar 16                     | 29           |
| Longitud 2                           | 23                  |                | Área pilar 17                     | 23           |

|                            |                      |                   |   |                      |
|----------------------------|----------------------|-------------------|---|----------------------|
| Longitud 3                 | 40                   |                   | Área pilar 18                           | 61                   |
| Longitud 4                 | 17                   |                   | Área pilar 19                           | 45                   |
| Longitud 5                 | 20                   |                   | Área total de pilares (m <sup>2</sup> ) | 862.08               |
| Longitud 6                 | 12                   |                   | <b>Área final (m<sup>2</sup>)</b>       | <b>4030.71</b>       |
| Longitud 7                 | 12                   |                   | Altura 1                                | 14.3616              |
| Longitud 8                 | 4                    |                   | Altura 2                                | 11.0381              |
| Longitud 9                 | 54                   |                   | Altura 3                                | 13.3258              |
| Longitud 10                | 9                    |                   | Altura 4                                | 12.6619              |
| Longitud 11                | 17                   |                   | Altura 5                                | 14.8534              |
| Longitud 12                | 8                    |                   | Altura 6                                | 9.2448               |
| Longitud 13                | 47                   |                   | Altura 7                                | 7.9662               |
| Longitud 14                | 155                  |                   | Altura 8                                | 9.7667               |
| Longitud 15                |                      |                   | Altura 9                                | 10.2159              |
| Longitud 16                |                      |                   | Altura 10                               | 8.8156               |
| Longitud 17                |                      |                   | Altura 11                               | 10.9822              |
| Longitud 18                |                      |                   | Altura 12                               | 10.6772              |
| Longitud 19                |                      |                   | Altura 13                               | 11.1953              |
| Longitud 20                |                      |                   | Altura 14                               | 9.0937               |
| Longitud 21                |                      |                   | Altura 15                               | 10.7792              |
| <b>Longitud total (m)</b>  | <b>529.36</b>        | <b>24.37</b>      | <b>Altura promedio (m)</b>              | <b>10.99</b>         |
| Volumen (m3)               | 9,438.05             | 129.9873203       | Volumen (m3)                            | 44,331.82            |
| <b>Volumen (L)</b>         | <b>9,438,052.26</b>  | <b>129,987.32</b> | <b>Volumen (l)</b>                      | <b>44,331,819.10</b> |
| Volumen (gal)              | 2,493,540.89         | 34,342.75         | Volumen (gal)                           | 11712501.74          |
| <b>Volumen Total (L)</b>   | <b>53,899,858.68</b> |                   |   |                      |
| <b>Volumen Total (gal)</b> | <b>14,240,385.38</b> |                   |   |                      |

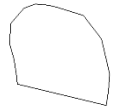

Tabla 8. Estimación de volumen del corte 5 del nivel 6, mina Colombia, agosto 2017.

| Corte 5 del nivel 6 |                     |   |   |
|---------------------|---------------------|---|---|
| Sección transversal | Galería (4,5 x 4,5) | Chimenea (3x3)  | Tajo (Base x10)   |
|                     |                     |  |  |
| Área 1              | 19.08               | 6.25  | <b>Área total (m<sup>2</sup>)</b><br><b>3,947.41</b>                                |

|                                      |               |              |                                   |                 |
|--------------------------------------|---------------|--------------|-----------------------------------|-----------------|
| Área 2                               | 21.47         | 6.17         | Área pilar 1                      | 62.26           |
| Área 3                               | 11.39         | 5.12         | Área pilar 2                      | 51.41           |
| Área 4                               | 17.26         | 3.48         | Área pilar 3                      | 50.68           |
| Área 5                               | 20.69         | 4.84         | Área pilar 4                      | 54.31           |
| Área 6                               | 17.66         | 4.42         | Área pilar 5                      | 49.17           |
| Área 7                               | 17.57         | 5.37         | Área pilar 6                      | 46.65           |
| Área 8                               | 17.40         | 5.21         | Área pilar 7                      | 43.58           |
| Área 9                               | 17.89         | 6.35         | Área pilar 8                      | 51.52           |
| Área 10                              | 16.37         | 5.47         | Área pilar 9                      | 51.30           |
| Área 11                              | 18.75         | 6.18         | Área pilar 10                     | 50.87           |
| Área 12                              | 19.12         | 5.47         | Área pilar 11                     | 27.44           |
| Área 13                              | 17.50         | 6.14         | Área pilar 12                     | 43.35           |
| Área 14                              | 18.35         | 4.90         | Área pilar 13                     | 46.09           |
| Área 15                              | 16.95         | 4.63         | Área pilar 14                     | 51.97           |
| <b>Área Promedio (m<sup>2</sup>)</b> | <b>17.83</b>  | <b>5.33</b>  | Área pilar 15                     | 31.34           |
| Longitud 1                           | 34.97         | 24.37        | Área pilar 16                     | 42.44           |
| Longitud 2                           | 136.57        |              | Área pilar 17                     |                 |
| Longitud 3                           | 11.63         |              | Área pilar 18                     |                 |
| Longitud 4                           | 53.68         |              | Área pilar 19                     |                 |
| Longitud 5                           | 185.91        |              | Área total de pilares=            | 754.39          |
| Longitud 6                           | 55.79         |              | <b>Área final (m<sup>2</sup>)</b> | <b>3,193.02</b> |
| Longitud 7                           | 22.57         |              | Altura 1                          | 14.36           |
| Longitud 8                           | 18.62         |              | Altura 2                          | 11.04           |
| Longitud 9                           | 100.07        |              | Altura 3                          | 13.33           |
| Longitud 10                          | 54.98         |              | Altura 4                          | 12.66           |
| Longitud 11                          | 58.22         |              | Altura 5                          | 14.85           |
| Longitud 12                          | 22.43         |              | Altura 6                          | 9.24            |
| Longitud 13                          | 17.85         |              | Altura 7                          | 7.97            |
| Longitud 14                          | 47.01         |              | Altura 8                          | 9.77            |
| Longitud 15                          |               |              | Altura 9                          | 10.22           |
| Longitud 16                          |               |              | Altura 10                         | 8.82            |
| Longitud 17                          |               |              | Altura 11                         | 10.98           |
| Longitud 18                          |               |              | Altura 12                         | 10.68           |
| Longitud 19                          |               |              | Altura 13                         | 11.20           |
| Longitud 20                          |               |              | Altura 14                         | 9.09            |
| Longitud 21                          |               |              | Altura 15                         | 10.78           |
| Longitud total (m)                   | <b>820.30</b> | <b>24.37</b> | <b>Altura promedio (m)</b>        | <b>11.00</b>    |
| Volumen (m <sup>3</sup> )            | 14,625.15     | 129.99       | Volumen (m <sup>3</sup> )         | 35,118.45       |

|                            |                      |                   |                    |                      |
|----------------------------|----------------------|-------------------|--------------------|----------------------|
| <b>Volumen (L)</b>         | <b>14,625,146.17</b> | <b>129,987.32</b> | <b>Volumen (l)</b> | <b>35,118,450.66</b> |
| Volumen (gal)              | 3,863,975.21         | 34,342.75         | Volumen (gal)      | 9,278,322.50         |
| <b>Volumen Total (L)</b>   | <b>49,873,584.15</b> |                   |                    |                      |
| <b>Volumen Total (gal)</b> | <b>13,176,640.46</b> |                   |                    |                      |





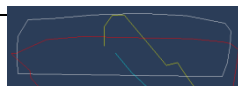
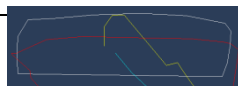
Tabla 9. Estimación de volumen del corte 7 del nivel 6, mina Colombia, agosto 2017.

| <b>Corte 7 del nivel 6</b>           |                     |   |   |
|--------------------------------------|---------------------|---|---|
| Sección transversal                  | Galería (4,5 x 4,5) | Chimenea (3x3)  | Tajo (Base x10)   |
|                                      |                     |  |  |
| Área 1                               | 19.08               | 2.23  | 26.02   |
| Área 2                               | 21.47               | 2.62  | 21.16   |
| Área 3                               | 11.39               | 6.87  | 22.38   |
| Área 4                               | 17.26               | 7.60  | 21.72   |
| Área 5                               | 20.69               |   | 24.13   |
| Área 6                               | 17.66               |   | 41.63   |
| Área 7                               | 17.57               |   | 33.95   |
| Área 8                               | 17.40               |   | 54.28   |
| Área 9                               | 17.89               |   | 28.38   |
| Área 10                              | 16.37               |   | 29.31   |
| Área 11                              | 18.75               |   | 27.35   |
| Área 12                              | 19.12               |   | 20.93   |
| Área 13                              | 17.50               |   | 34.41   |
| Área 14                              | 18.35               |   | 55.45   |
| Área 15                              | 16.95               |   | 29.61   |
| <b>Área Promedio (m<sup>2</sup>)</b> | <b>17.83</b>        | <b>4.83</b>   | <b>31.38</b>  |
| Longitud 1                           | 16.75               | 23.58   | 28.46   |
| Longitud 2                           | 12.30               | 13.41   | 25.51   |
| Longitud 3                           | 247.05              | 21.29   | 10.19   |
| Longitud 4                           | 233.78              | 6.20  | 40.18   |
| Longitud 5                           | 180.27              | 10.56   | 64.96   |
| Longitud 6                           | 5.12                | 5.58  | 48.87   |
| Longitud 7                           | 249.13              | 6.90  | 36.07   |

|                            |                      |                   |                      |
|----------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|
| Longitud 8                 | 168.01               |                   | 24.39                |
| Longitud 9                 | 67.75                |                   | 20.11                |
| Longitud 10                | 60.52                |                   | 10.73                |
| Longitud 11                | 19.45                |                   | 9.07                 |
| Longitud 12                | 132.11               |                   | 35.68                |
| Longitud 13                | 19.54                |                   | 28.19                |
| Longitud 14                | 44.97                |                   | 16.03                |
| Longitud 15                | 9.07                 |                   |                      |
| Longitud 16                | 10.73                |                   |                      |
| Longitud 19                |                      |                   |                      |
| <b>Longitud total (m)</b>  | <b>1,476.56</b>      | <b>87.54</b>      | <b>398.43</b>        |
| Volumen (m3)               | 26,325.47            | 422.85            | 12,502.84            |
| <b>Volumen (L)</b>         | <b>26,325,474.91</b> | <b>422,849.61</b> | <b>12,502,839.12</b> |
| Volumen (gal)              | 6,955,211.34         | 111,717.20        | 3,303,260.00         |
| <b>Volumen Total (L)</b>   | <b>39,251,163.64</b> |                   |                      |
| <b>Volumen Total (gal)</b> | <b>10,370,188.54</b> |                   |                      |

En el nivel 6 se hizo una combinación de ambos métodos, el de Cámaras y Pilares y el de Cámaras por Subniveles con Tiros Largos, al igual que en el nivel 7 con la única excepción que las cámaras de este nivel fueron selladas, por lo cual en ambos casos se empleó tanto la ecuación 3 como la ecuación 4 para la estimación de volumen de agua en los niveles 6 y 7 luego de medir los parámetros necesarios con AUTOCAD 2013, los resultados se presentan en la tablas a continuación.

Tabla 10. Estimación de volumen del nivel 6, mina Colombia, agosto 2017.

| NIVEL 6                              |   |   |   |   |   |   |
|--------------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Sección transversal                  | Galería (4,5 x 4,5)   | Chimenea (3x3)  | Tajo (Base x10)   |   | Cámaras (Base x 3,5)  |   |
|                                      |  |  |  |  |  |  |
| Área 1                               | 19.08   | 6.25  | <b>Área total</b>   | <b>6,627.37</b>   | Área cámara 1   | 119.28  |
| Área 2                               | 21.47   | 6.17  | Área pilar 1  | 33.34   | Área cámara 2   | 48.98   |
| Área 3                               | 11.39   | 5.12  | Área pilar 2  | 66.53   | Área cámara 3   | 205.38  |
| Área 4                               | 17.26   | 3.48  | Área pilar 3  | 12.76   | Área cámara 4   | 596.69  |
| Área 5                               | 20.69   | 4.84  | Área pilar 4  | 198.74  | Área cámara 5   | 1,425.43  |
| Área 6                               | 17.66   | 4.42  | Área pilar 5  | 28.59   | Área cámara 6   | 1,368.95  |
| Área 7                               | 17.57   | 5.37  | Área pilar 6  | 45.44   | Área cámara 7   | 1,272.55  |
| Área 8                               | 17.40   | 5.21  | Área pilar 7  | 56.62   | Área cámara 8   | 1,031.13  |
| Área 9                               | 17.89   | 6.35  | Área pilar 8  | 50.16   | Área cámara 9   | 920.28  |
| Área 10                              | 16.37   | 5.47  | Área pilar 9  | 57.18   | Área cámara 10  | 300.83  |
| Área 11                              | 18.75   | 6.18  | Área pilar 10   | 54.39   | Área cámara 11  | 104.33  |
| Área 12                              | 19.12   | 5.47  | Área pilar 11   | 52.85   | Área cámara 12  | 99.71   |
| Área 13                              | 17.50   | 6.14  | Área pilar 12   | 44.08   | Área cámara 13  | 88.04   |
| Área 14                              | 18.35   | 4.90  | Área pilar 13   | 66.48   | Área cámara 14  | 63.39   |
| Área 15                              | 16.95   | 4.63  | Área pilar 14   | 41.77   | Área cámara 15  | 465.25  |
| <b>Área Promedio (m<sup>2</sup>)</b> | <b>17.83</b>  | <b>5.33</b>   | Área pilar 15   | 42.94   | Área cámara 16  | 468.94  |
| Longitud 1                           | 12.29   | 70.01   | Área pilar 16   | 35.53   | Área cámara 17  | 161.06  |
| Longitud 2                           | 55.75   | 22.94   | Área pilar 17   | 29.00   | Área cámara 18  | 181.41  |
| Longitud 3                           | 26.13   | 13.19   | Área pilar 18   | 43.29   | Área cámara 19  | 191.36  |
| Longitud 4                           | 48.13   | 28.26   | Área pilar 19   | 19.50   | Área cámara 20  | 93.12   |
| Longitud 5                           | 38.57   | 11.10   | <b>Área total de pilares (m<sup>2</sup>)</b>                                      | <b>979.19</b>   | Área cámara 21  | 261.67  |
| Longitud 6                           | 127.41  | 26.90   | <b>Área final (m<sup>2</sup>)</b>   | <b>5,648.18</b>   | Área cámara 22  | 520.28  |
| Longitud 7                           | 11.75   | 24.40   | Altura 1  | 14.36   | Área cámara 23  | 305.81  |
| Longitud 8                           | 64.05   |   | Altura 2  | 11.04   | Área cámara 24  | 146.39  |
| Longitud 9                           | 218.48  |   | Altura 3  | 13.33   | Área cámara 25  | 237.73  |
| Longitud 10                          | 22.50   |   | Altura 4  | 12.66   | Área cámara 26  | 281.79  |
| Longitud 11                          | 60.87   |   | Altura 5  | 14.85   | Área cámara 27  | 389.71  |

|             |        |  |                            |                      |                                   |                      |
|-------------|--------|--|----------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|
| Longitud 12 | 16.56  |  | Altura 6                   | 9.24                 | Área cámara 28                    | 215.74               |
| Longitud 13 | 13.92  |  | Altura 7                   | 7.97                 | Área cámara 29                    | 206.87               |
| Longitud 14 | 27.77  |  | Altura 8                   | 9.77                 | Área cámara 30                    | 207.56               |
| Longitud 15 | 26.84  |  | Altura 9                   | 10.22                | Área cámara 31                    | 114.80               |
| Longitud 16 | 64.92  |  | Altura 10                  | 8.82                 | Área cámara 32                    | 86.93                |
| Longitud 17 | 41.66  |  | Altura 11                  | 10.98                | Área cámara 33                    | 392.94               |
| Longitud 18 | 27.68  |  | Altura 12                  | 10.68                | Área cámara 34                    | 583.16               |
| Longitud 19 | 88.15  |  | Altura 13                  | 11.20                | Área cámara 35                    | 119.05               |
| Longitud 20 | 28.50  |  | Altura 14                  | 9.09                 | Área cámara 36                    | 474.43               |
| Longitud 21 | 93.90  |  | Altura 15                  | 10.78                | Área cámara 37                    | 564.28               |
| Longitud 22 | 244.70 |  | <b>Altura promedio (m)</b> | <b>11.00</b>         | Área cámara 38                    | 389.35               |
| Longitud 23 | 33.88  |  | Volumen (m3)               | 62,121.51            | <b>Área total (m<sup>2</sup>)</b> | <b>14,704.59</b>     |
| Longitud 24 | 47.42  |  | <b>Volumen (L)</b>         | <b>62,121,512.39</b> | Altura 1                          | 1.95                 |
| Longitud 25 | 14.64  |  | Volumen (gal)              | 16,412,552.81        | Altura 2                          | 1.72                 |
| Longitud 26 | 16.80  |  |                            |                      | Altura 3                          | 1.93                 |
| Longitud 27 | 22.55  |  |                            |                      | Altura 4                          | 2.53                 |
| Longitud 28 | 119.83 |  |                            |                      | Altura 5                          | 2.40                 |
| Longitud 29 | 83.17  |  |                            |                      | Altura 6                          | 2.37                 |
| Longitud 30 | 37.78  |  |                            |                      | Altura 7                          | 1.96                 |
| Longitud 31 | 47.52  |  |                            |                      | Altura 8                          | 1.54                 |
| Longitud 32 | 56.12  |  |                            |                      | Altura 9                          | 2.31                 |
| Longitud 33 | 118.60 |  |                            |                      | Altura 10                         | 2.24                 |
| Longitud 34 | 12.35  |  |                            |                      | Altura 11                         | 1.87                 |
| Longitud 35 | 52.82  |  |                            |                      | Altura 12                         | 1.63                 |
| Longitud 36 | 93.81  |  |                            |                      | Altura 13                         | 3.00                 |
| Longitud 37 | 31.48  |  |                            |                      | Altura 14                         | 1.65                 |
| Longitud 38 | 89.16  |  |                            |                      | Altura 15                         | 2.74                 |
| Longitud 39 | 44.43  |  |                            |                      | <b>Altura promedio (m)</b>        | <b>2.12</b>          |
| Longitud 40 | 79.92  |  |                            |                      | Volumen (m3)                      | 31,212.64            |
| Longitud 41 | 28.51  |  |                            |                      | <b>Volumen (L)</b>                | <b>31,212,641.09</b> |
| Longitud 42 | 45.66  |  |                            |                      | Volumen (gal)                     | 8,246,404.52         |
| Longitud 43 | 40.37  |  |                            |                      |                                   |                      |
| Longitud 44 | 81.67  |  |                            |                      |                                   |                      |
| Longitud 45 | 45.66  |  |                            |                      |                                   |                      |
| Longitud 46 | 72.53  |  |                            |                      |                                   |                      |

|                                    |                       |                     |
|------------------------------------|-----------------------|---------------------|
| <b>Longitud total (m)</b>          | <b>2,677.19</b>       | <b>196.79</b>       |
| Volumen (m3)                       | 47,731.50             | 1,049.60            |
| <b>Volumen (L)</b>                 | <b>47,731,504.56</b>  | <b>1,049,604.49</b> |
| Volumen (gal)                      | 12,610,701.34         | 277,306.34          |
| <b>Volumen Total Nivel 6 (L)</b>   | <b>142,115,262.54</b> |                     |
| <b>Volumen Total Nivel 6 (gal)</b> | <b>37,546,965.00</b>  |                     |

Tabla 11. Estimación de volumen del nivel 7, mina Colombia, agosto 2017.

| <b>NIVEL 7</b>                       |                     |                |              |
|--------------------------------------|---------------------|----------------|--------------|
| Sección transversal                  | Galería (4,5 x 4,5) | Chimenea (3x3) | Tajo (5x10)  |
|                                      |                     |                |              |
| Área 1                               | 18.0772             | 6.25           | 26.017       |
| Área 2                               | 16.5876             | 6.1683         | 21.157       |
| Área 3                               | 16.7865             | 5.1222         | 22.381       |
| Área 4                               | 20.5969             | 3.479          | 21.7176      |
| Área 5                               | 14.8138             | 4.8434         | 24           |
| Área 6                               | 20.3115             | 4.4191         | 42           |
| Área 7                               | 18.1225             | 5.374          | 34           |
| Área 8                               | 17.5723             | 5.2058         | 54           |
| Área 9                               | 16.4593             | 6.353          | 28           |
| Área 10                              | 19.0587             | 5.472          | 29           |
| Área 11                              | 18.7124             | 6.183          | 27           |
| Área 12                              | 18.1853             | 5.473          | 21           |
| Área 13                              | 15.8763             | 6.137          | 34           |
| Área 14                              | 18.1875             | 4.896          | 55           |
| Área 15                              | 20.3215             | 4.6269         | 30           |
| <b>Área Promedio (m<sup>2</sup>)</b> | <b>17.977</b>       | <b>5.33</b>    | <b>31.37</b> |
| Longitud 1                           | 754.3463            | 23.6993        | 157.267      |
| Longitud 2                           | 19.3585             | 11.2008        | 30.5888      |
| Longitud 3                           | 5.5838              | 16.4469        | 22.2236      |
| Longitud 4                           | 7.7524              | 21.7454        | 94.9548      |
| Longitud 5                           | 84.892              | 15.5489        | 19.3747      |

|             |          |         |          |
|-------------|----------|---------|----------|
| Longitud 6  | 15.6983  | 5.3115  | 48.2128  |
| Longitud 7  | 10.2338  | 16.3994 | 48.2128  |
| Longitud 8  | 30.0257  | 23.1342 | 96.9121  |
| Longitud 9  | 681.8537 | 9.6815  | 65.397   |
| Longitud 10 | 10.0605  | 96.9121 | 49.0331  |
| Longitud 11 | 5.9415   | 65.397  | 48.5756  |
| Longitud 12 | 76.8398  | 6.4563  | 65.601   |
| Longitud 13 | 25.8984  | 29.8961 | 7.7646   |
| Longitud 14 | 65.9166  | 9.2184  | 134.0706 |
| Longitud 15 | 10.5792  | 21.6385 | 12.8609  |
| Longitud 16 | 226.5385 |         | 14.9922  |
| Longitud 17 | 96.4247  |         | 21.0348  |
| Longitud 18 | 3.8881   |         | 15.7032  |
| Longitud 19 | 52.221   |         | 7.0203   |
| Longitud 20 | 57.378   |         | 61.8363  |
| Longitud 21 | 7.8303   |         | 64.4693  |
| Longitud 22 | 77.7969  |         | 13.7036  |
| Longitud 23 | 313.1476 |         | 37.2948  |
| Longitud 24 | 3.2696   |         | 25.358   |
| Longitud 25 | 5.3062   |         | 65.9254  |
| Longitud 26 | 23.6717  |         | 11.6887  |
| Longitud 27 | 67.0928  |         | 36.5046  |
| Longitud 28 | 6.5085   |         | 132.3472 |
| Longitud 29 | 6.4405   |         | 88.8441  |
| Longitud 30 | 4.3087   |         | 7.4886   |
| Longitud 31 | 1.209    |         | 5.7344   |
| Longitud 32 | 5.2301   |         | 41.7026  |
| Longitud 33 | 49.6957  |         | 13.2161  |
| Longitud 34 | 5.8856   |         | 10.7986  |
| Longitud 35 | 8.6101   |         | 18.053   |
| Longitud 36 | 3.1743   |         | 12.4725  |
| Longitud 37 | 3.8355   |         | 421.4142 |
| Longitud 38 | 7.5235   |         | 72.6914  |
| Longitud 39 | 8.1584   |         | 21.9774  |
| Longitud 40 | 4.549    |         | 17.8842  |
| Longitud 41 | 11.3286  |         | 22.7756  |
| Longitud 42 | 4.0098   |         | 21.5326  |
| Longitud 43 | 23.1724  |         | 27.733   |
| Longitud 44 | 7.7397   |         | 8.3958   |
| Longitud 45 | 249.9934 |         | 82.9383  |
| Longitud 46 | 42.7065  |         | 292.8886 |

|                            |                       |                     |                       |
|----------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| Longitud 47                | 10.2947               |                     | 21.6385               |
| Longitud 48                | 9.3219                |                     | 93.5731               |
| Longitud 49                | 7.8745                |                     | 77.7969               |
| Longitud 50                | 110.6269              |                     | 6.6552                |
| Longitud 51                | 90.7902               |                     | 188.5437              |
| Longitud 52                | 42.4409               |                     | 77.2094               |
| Longitud 53                | 2.4543                |                     | 20.7358               |
| Longitud 54                | 15.4814               |                     | 27.0016               |
| Longitud 55                | 18.8123               |                     | 56.2858               |
| Longitud 56                | 9.6437                |                     | 56.6867               |
| Longitud 57                | 32.1416               |                     | 69.7881               |
| Longitud 58                | 41.8055               |                     | 5.9034                |
| Longitud 59                | 11.8438               |                     | 132.9164              |
| Longitud 60                | 16.6529               |                     | 37.2081               |
| Longitud 61                | 56.6813               |                     | 21.6761               |
| Longitud 62                | 77.5237               |                     | 47.2672               |
| Longitud 63                | 3.4106                |                     | 10.8197               |
| Longitud 64                | 8.1812                |                     | 142.8143              |
| Longitud 65                | 10.5219               |                     | 9.1435                |
| Longitud 66                | 93.5731               |                     | 28.6107               |
| Longitud 67                | 20.9135               |                     | 193.4704              |
| Longitud 68                | 6.1339                |                     | 12.588                |
| Longitud 69                | 10.0776               |                     | 8.8704                |
| Longitud 70                | 94.6967               |                     | 24.1431               |
| Longitud 71                | 57.8152               |                     |                       |
| <b>Longitud total (m)</b>  | <b>4,053.34</b>       | <b>372.6863</b>     | <b>3,968.81</b>       |
| Volumen (m3)               | 43,833.60             | 1987.72735          | 24,541.12             |
| <b>Volumen (L)</b>         | <b>43,833,597.72</b>  | <b>1,987,727.35</b> | <b>124,541,120.52</b> |
| Volumen (gal)              | 11,580,871.26         | 525,159.14          | 32,903,862.75         |
| <b>Volumen Total (L)</b>   | <b>170,362,445.59</b> |                     |                       |
| <b>Volumen Total (gal)</b> | <b>45,009,893.15</b>  |                     |                       |

Para la estimación de volumen de la sección del pozo de mina Colombia inundado, se empleó la ecuación 2, teniendo en cuenta el diámetro útil del pozo de 4,37m, como se observa en la tabla 12 el volumen de la sección del pozo inundado para el momento de la medición es de 2, 966,653.16 de litros.

Tabla 12. Estimación de volumen de la sección del Pozo inundado, mina Colombia, agosto 2017.

| POZO                             |                     |
|----------------------------------|---------------------|
| Longitud hasta la inundación (m) | 188.00              |
| Diámetro (m)                     | 4.60                |
| Área (m <sup>2</sup> )           | 16.61               |
| Volumen (m <sup>3</sup> )        | 3,122.79            |
| % de estructuras                 | 0.05                |
| Volumen total (m <sup>3</sup> )  | 2,966.65            |
| <b>Volumen total (L)</b>         | <b>2,966,653.16</b> |
| <b>Volumen total (gal)</b>       | <b>783,792.12</b>   |

A manera de resumen se presenta la tabla 13, donde se reúne los resultados de la estimación de todo el laboreo inundado actualmente, como se observa el volumen total estimado es de 610, 068,057.41 de litros.

Tabla 13. Estimación de volumen del laboreo inundado actualmente, agosto 2017.

|                         | Volumen Estimado  |                       |                      |
|-------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|
|                         | (m <sup>3</sup> ) | (L)                   | (Gal)                |
| <b>NIVEL 7</b>          |                   |                       |                      |
| GALERIAS                | 43,833.60         | 43,833,597.72         | 11,580,871.26        |
| CHIMENEAS               | 1,987.73          | 1,987,727.35          | 525,159.14           |
| TAJOS                   | 124,541.12        | 124,541,120.52        | 32,903,862.75        |
| <b>SUBTOTAL NIVEL 7</b> | <b>170,362.45</b> | <b>170,362,445.59</b> | <b>45,009,893.15</b> |
| <b>NIVEL 6</b>          |                   |                       |                      |
| GALERIAS                | 47,731.50         | 47,731,504.56         | 12,610,701.34        |
| CHIMENEAS               | 1,049.60          | 1,049,604.49          | 277,306.34           |
| TAJOS                   | 62,121.51         | 62,121,512.39         | 16,412,552.81        |
| CAMARAS                 | 31,212.64         | 31,212,641.09         | 8,246,404.52         |
| <b>SUBTOTAL NIVEL 6</b> | <b>142,115.26</b> | <b>142,115,262.54</b> | <b>37,546,965.00</b> |
| <b>NIVEL 5</b>          |                   |                       |                      |
| GALERIAS                | 56,379.97         | 56,379,973.64         | 14,895,633.72        |
| CHIMENEAS               | 1,838.35          | 1,838,354.59          | 485,694.74           |
| CAMARAS                 | 49,564.49         | 49,564,485.92         | 13,094,976.46        |
| <b>SUBTOTAL NIVEL 5</b> | <b>107,782.81</b> | <b>107,782,814.15</b> | <b>28,476,304.93</b> |
| <b>CORTE 7</b>          |                   |                       |                      |
| GALERIAS                | 26,325.47         | 26,325,474.91         | 6,955,211.34         |
| CHIMENEAS               | 422.85            | 422,849.61            | 111,717.20           |
| TAJOS                   | 12,502.84         | 12,502,839.12         | 3,303,260.00         |

|                         |                   |                       |                       |
|-------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>SUBTOTAL CORTE 7</b> | <b>39,251.16</b>  | <b>39,251,163.64</b>  | <b>10,370,188.54</b>  |
| <b>CORTE 5</b>          |                   |                       |                       |
| GALERIAS                | 14,625.15         | 14,625,146.17         | 3,863,975.21          |
| CHIMENEAS               | 129.99            | 129,987.32            | 34,342.75             |
| TAJOS                   | 35,118.45         | 35,118,450.66         | 9,278,322.50          |
| <b>SUBTOTAL CORTE 5</b> | <b>49,873.58</b>  | <b>49,873,584.15</b>  | <b>13,176,640.46</b>  |
| <b>CORTE 3</b>          |                   |                       |                       |
| GALERIAS                | 9,438.05          | 9,438,052.26          | 2,493,540.89          |
| CHIMENEAS               | 129.99            | 129,987.32            | 34,342.75             |
| TAJOS                   | 44,830.86         | 44,830,855.75         | 11,844,347.62         |
| <b>SUBTOTAL CORTE 3</b> | <b>54,398.90</b>  | <b>54,398,895.33</b>  | <b>14,372,231.26</b>  |
| <b>CORTE 0</b>          |                   |                       |                       |
| GALERIAS                | 7,784.35          | 7,784,350.18          | 35,532,888.69         |
| TAJOS                   | 35,532.89         | 35,532,888.69         | 9,387,817.35          |
| <b>SUBTOTAL CORTE 0</b> | <b>43,317.24</b>  | <b>43,317,238.87</b>  | <b>44,920,706.04</b>  |
| <b>POZO</b>             |                   |                       |                       |
| Vertical                | 2,966.65          | 2,966,653.16          | 783,792.12            |
| <b>VOLUMEN TOTAL</b>    | <b>610,068.06</b> | <b>610,068,057.41</b> | <b>194,656,721.51</b> |

### 6.1.1 Análisis de la estimación del volumen que manejará el sistema de bombeo

En el último año mina Colombia, se ha visto afectada por un aumento en el ingreso de agua a las labores, lo cual aunado a fallas técnicas que han presentado las bombas que integran el sistema de bombeo han traído como consecuencia la inundación de los niveles de la mina subterránea. Como se describió anteriormente en los niveles 6 y 7 se encuentran la mayor cantidad de labores desarrolladas hasta la actualidad, esto debido a la estructura geológica denominada “el bolsón” que es la intersección de la veta A y la veta B, la cual alberga los tenores más altos encontrados en mina Colombia, es por esto que estos niveles demoraron más tiempo en inundarse ya que, como se puede observar en la tabla 13 en estos niveles se encuentra un volumen de agua de 142,115,262.54 L en el nivel 6 y 170,362,445.59 L en el nivel 7.

Es el caso opuesto con los cortes y el nivel 5, donde el nivel 5 alberga actualmente un volumen de agua de 107, 782,814.15 L el cual fue el nivel más rápido en inundarse en agosto 2017, ya que este nivel es de menor envergadura debido a que está conformado por cámaras de aproximadamente 2 m de altura, esto aunado a que la inundación ocurrió durante la temporada de lluvias de la zona geográfica donde se encuentra ubicada la mina.

## 6.2. Descripción del sistema de bombeo actual

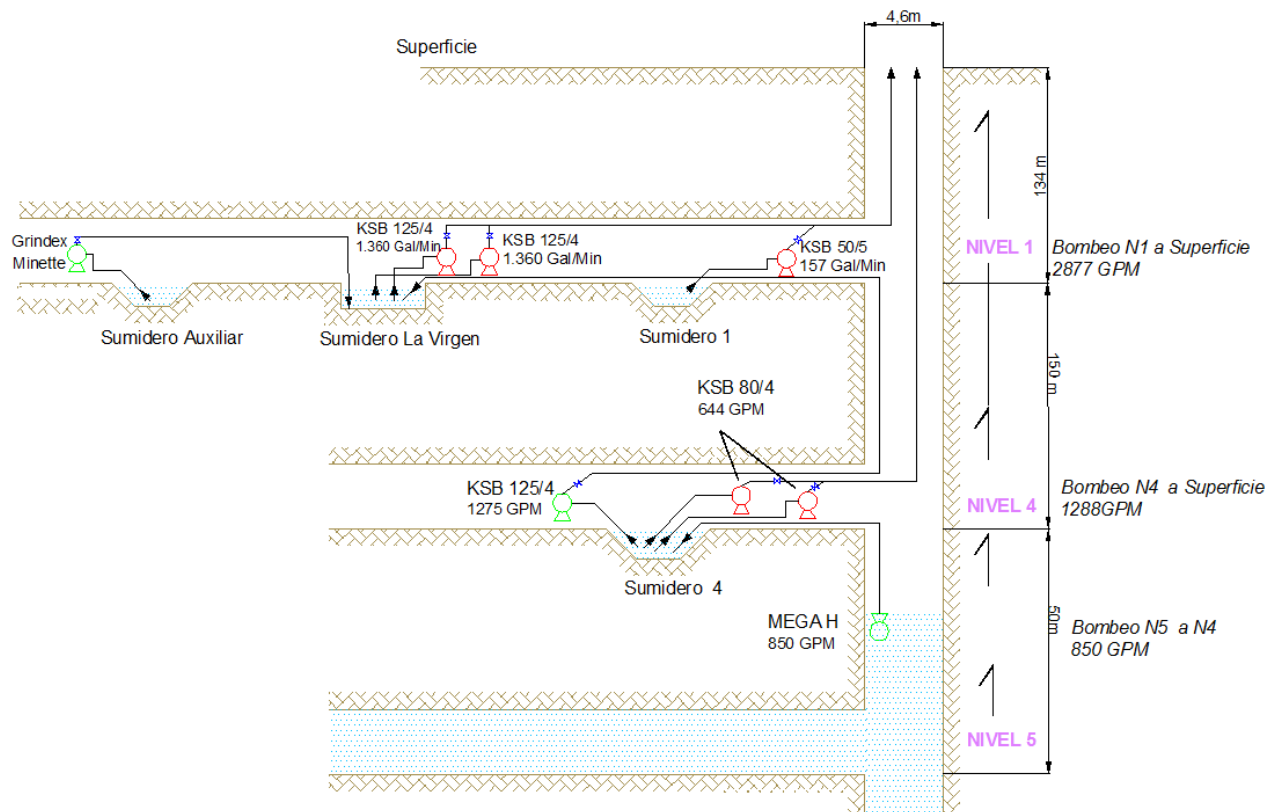


Figura 18. Sistema de Bombeo actual, septiembre 2017.

El sistema de bombeo actual de Mina Colombia lo conforman dos estaciones de bombeo, una ubicada en el nivel uno a 134 m de superficie y la segunda ubicada en el nivel cuatro a 284 m de superficie, además en el pozo se cuenta con una bomba sumergible MEGA H encargada de desalojar el volumen de los niveles inundados.

Como se observa en la figura 18, el sistema de bombeo actual cuenta en el nivel uno con una bomba KSB 50/5 ubicada aproximadamente a 5m de la entrada del pozo, su régimen de trabajo es del Sumidero 1 a superficie; estimando un rendimiento del 85%, esta bomba levanta a superficie un caudal de 157,25 GPM, tiene un tiempo de apagado de 20 min., en el cual el sumidero 1 se vuelve a llenar para activar el flotante de la bomba y esta inicie su trabajo por 4 min. Adentrándonos más en el nivel uno, a 173 m de la bomba KSB 50/5, en la entrada del sumidero La Virgen se encuentran dos bombas KSB 125/4 de las cuales cada una levanta a superficie un caudal de 1.360 GPM. A 44m de las bombas KSB 125/4 se encuentra el Sumidero Auxiliar cuyo trabajo es captar el caudal de agua proveniente del sector oeste del nivel uno para redirigirlo al sumidero La Virgen, en este sumidero se encuentra sumergida una bomba Grindex Minette de traspase la cual, estimando un rendimiento del 85%, maneja un caudal estimado de 680 GPM.

En el nivel cuatro, a 20 m de la entrada del pozo se tiene el Sumidero 4, el cual almacena todos los caudales provenientes de niveles superiores, del nivel propio y además el caudal que levanta la bomba ubicada en el pozo. Los caudales que ingresan al sumidero del nivel 4 son levantados a superficie por dos bombas KSB 80/4 de las cuales, cada una levanta un caudal estimado de 643,76 GPM, además también se traspasa al sumidero La Virgen del nivel 1 un caudal estimado de 1275 GPM con una bomba KSB 125/4.

En el pozo se cuenta con una bomba MEGA H, ubicada actualmente a la altura del nivel cinco, la cual estimando un rendimiento del 85% levanta un caudal de 850 GPM como se observa en la tabla 14, esta bomba es la encargada de desalojar el volumen de los niveles inundados y traspasarlo al Sumidero 4 ubicado en el Nivel cuatro.

Tabla 14. Descripción del sistema de bombeo actual, Septiembre 2017.

| Nivel | Bomba          | Régimen de trabajo             | Altura (m) | Caudal teórico (GPM) | Caudal Rendimiento del 85% (GPM) |
|-------|----------------|--------------------------------|------------|----------------------|----------------------------------|
| 1     | KSB 50/5       | Sumidero 1 a Superficie        | 134        | 185.00               | 157.25                           |
|       | KSB 125/4      | La Virgen a Superficie         | 134        | 1,600.00             | 1,360.00                         |
|       | KSB 125/4      | La Virgen a Superficie         | 134        | 1,600.00             | 1,360.00                         |
|       | Grindex Mega H | Sumidero Auxiliar a Superficie | -          | -                    | -                                |
| 4     | KSB 80/4       | N4 a Superficie                | 284        | 757.38               | 643.77                           |
|       | KSB 80/4       | N4 a Superficie                | 284        | 757.38               | 643.77                           |
|       | KSB 125/4      | N4 a La Virgen                 | 150        | 1,500.00             | 1,275.00                         |
| Pozo  | MEGA H         | N5 a N4                        | 50         | 1,000.00             | 850.00                           |
|       |                |                                | Nominal    | <b>4,899.75</b>      | <b>4,164.79</b>                  |

Con el caudal que maneja cada bomba del sistema de bombeo de Mina Colombia se elaboró un cronograma de desalojo del volumen de agua de los laboreos inundados actualmente, para lo cual se tomaron en cuenta varios aspectos, entre los cuales tenemos:

- Sin prever cortes de energía eléctrica: actualmente en Mina Colombia no se cuenta con una planta de respaldo eléctrico, por lo que si llega a ocurrir una falla de energía eléctrica todas las actividades que se valgan de este recurso se paralizarían, en el caso de las bombas, estas dejarían de extraer agua a superficie paralizando así el desalojo de agua de los niveles inundados por lo que se tendría una recarga constante de agua a los mismos sin ningún sistema que se encargue de extraerlo.
- Todo el sistema de bombeo 100% operativo: actualmente en Mina Colombia se cuenta con la dotación de bombas KSB WKL nuevas, las cuales serán reubicadas en cada estación de bombeo respectivamente respetando la disposición original de las mismas, reemplazando bombas inoperativas y en otros casos esperando la renovación de las tuberías que se encuentran deterioradas, como es el caso de la segunda bomba KSB 80/4 de la estación de bombeo del nivel 4.

- Una bomba MEGA H en el pozo: donde en condiciones normales esta bomba se ubicaría en el sumidero del nivel 442, la bomba sumergible MEGA H será la encargada de desalojar el volumen de los niveles inundados, actualmente se ubicó en el pozo entre el nivel 4 y el nivel 5 que es donde se encuentra el nivel del agua actualmente, aproximadamente a 40 m del nivel 4. Cabe destacar que esta bomba debe ser reubicada cada que se desaloje una altura de agua considerable de 5m, para evitar que ocurra cavitación y la bomba quede inoperativa.
- Las recargas al sistema: a Mina Colombia ingresa una gran cantidad de agua, caudales que aforó Herrera (2017) en su pasantía Cuantificación de Caudales en los niveles 1 y 4 de Mina Colombia, MINERVEN, de los cuales se tomó como referencia el caudal que ingresa del nivel 4 (N4) al nivel 5 (N5) como recarga al laboreo inundado, teniendo en cuenta estas consideraciones se presenta el cronograma en la tabla 15.

Tabla 15. Cronograma de desalojo del laboreo inundado, Septiembre 2017.

|  | Volumen     |                    |                      |             | Altura de succión (m) | Caudal N4 a N5 (L/s) | Desalojo Bomba MEGA H (L/s) | Desalojo total (L/s) | Tiempo estimado (Días) |
|--|-------------|--------------------|----------------------|-------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------|
|  | Laboreo (L) | Altura de pozo (m) | Volumen del pozo (L) | Total (L)   |                       |                      |                             |                      |                        |
| <b>Nivel 5</b>   | 107,782,814 | 50                 | 789,004              | 108,571,818 | 50                    | 5                    | 54                          | 48                   | 26                     |
| <b>Corte 0</b>   | 43,317,239  | -                  | -                    | 43,317,239  | 60                    | 5                    | 49                          | 44                   | 11                     |
| <b>Corte 3</b>   | 54,398,895  | -                  | -                    | 54,398,895  | 70                    | 5                    | 46                          | 41                   | 16                     |
| <b>Corte 5</b>   | 49,873,584  | -                  | -                    | 49,873,584  | 80                    | 5                    | 43                          | 38                   | 15                     |
| <b>Corte 7</b>   | 39,251,164  | -                  | -                    | 39,251,164  | 90                    | 5                    | 43                          | 38                   | 12                     |
| <b>Nivel 6</b>   | 142,115,263 | 50                 | 789,004              | 142,904,266 | 100                   | 5                    | 43                          | 37                   | 45                     |
| <b>Nivel 7</b>   | 170,362,446 | 50                 | 789,004              | 171,151,449 | 150                   | 5                    | 34                          | 29                   | 69                     |
| <b>Nivel 442</b>   | -           | 38                 | 599,643              | 599,643     | 188                   | 5                    | 23                          | 18                   | 0                      |
| <b>Tiempo total de desalojo de los niveles inundados</b> |             |                    |                      |             |                       |                      |                             |                      | <b>194</b>             |

### *6.2.1. Análisis del sistema de bombeo actual*

El sistema de bombeo actual de mina Colombia es múltiple, las estaciones de bombeo se encuentran en diversos niveles, como se observa en la figura 18 lo cual permite trabajar con la altura de elevación de caudal de las bombas, como es el caso de la bomba KSB WKL 125/4, dos ubicadas en el nivel 1 y una ubicada en el nivel 4 encargada de desalojar el agua del sumidero de este nivel y transportarlo al nivel 1.

El inconveniente de este sistema es, que al ser por etapas, cuando uno de ellos por alguna razón falla, se ven afectados las demás estaciones de bombeo, ya que al rebosarse el sumidero relacionado a la estación en cuestión, el agua escurre por la galería, afectando el laboreo para luego caer por el pozo, funcionando como recarga a la inundación que presenta actualmente la mina.

### **6.3. Descripción de la situación actual de los sumideros**

Mina Colombia cuenta actualmente con cinco sumideros operativos, uno en cada estación de bombeo encargado de mantener la alimentación constante de la bomba asociada como se puede observar en la tabla 16

Tabla 16. Descripción de los sumideros y sus bombas asociadas actualmente, septiembre 2017.

| Nivel | Sumidero | Bombas asociadas | Caudal asociado   |          | Profundidad (m) | Área (m2) | Capacidad nominal (m3) | Porcentaje de material fino (%) | Capacidad de captación |           |
|-------|----------|------------------|---|----------|-----------------|-----------|------------------------|---------------------------------|------------------------|-----------|
|       |          |                  | Fuente  | (GPM)    |                 |           |                        |                                 | m <sup>3</sup>         | L         |
| 1     | 1        | KSB 50/5         | Galería principal y Anillo 1-3                            | 96.45    | 0.86            | 9.12      | 7.84                   | 34.88                           | 5.11                   | 5,110     |
|       | Antiguo  | KSB 125/4        | Sector Este y Oeste                                       | 1,505.46 | 1.95            | 702.48    | 1,369.84               | 26.15                           | 1,011.57               | 1,011,570 |
|       | Nuevo    | KSB 125/4        | Bomba 125/4 Nivel 4                                       | 1,275.00 | 2.05            | 344.14    | 705.48                 | 24.88                           | 529.97                 | 529,970   |
|       | Auxiliar | Grindex Minette  | Sector Oeste  | 531.48   | 1.7             | 4.7142    | 8.01                   | 17.65                           | 6.60                   | 6,600     |
| 4     | 4        | KSB 80/4         | Niveles superiores, Nivel propio, Bomba MEGA H en el pozo | 1,112.87 | 1.4             | 124.67    | 174.54                 | -                               | 174.54                 | 174,540   |
|       |          | KSB 80/4         |   |          |                 |           |                        |                                 |                        |           |
|       |          | KSBS 125/4       |   |          |                 |           |                        |                                 |                        |           |

En el nivel uno a 5 m de la boca de pozo se encuentra el Sumidero 1, como se observa en la figura 19 asociado a una bomba KSB 50/5. El Sumidero 1 es el encargado de reunir el caudal de agua de 96.5 GPM proveniente de la galería principal y del Anillo 1-3, el cual capta el agua proveniente del nivel freático. Como se observa en la tabla 16, este sumidero posee una capacidad nominal de 7.84 m<sup>3</sup>, en el momento de la medición este sumidero poseía un porcentaje de material fino de 34,8% reduciendo su capacidad de captación a 5.11 m<sup>3</sup>.

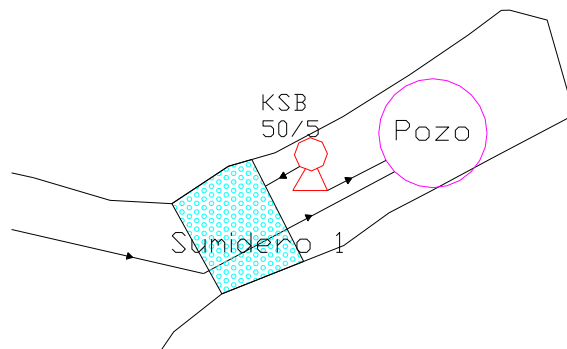


Figura 19. Vista en planta del Sumidero 1, Nivel 1, Septiembre 2017.

En el Sector llamado “Pata de gallina” ubicado en el punto minero PM- 1005 de coordenadas 810461660N 631826.313 E, a 157m del Sumidero 1, se encuentra el Sumidero La Virgen, conformado a su vez por dos sumideros, el que se encuentra ubicado más al Oeste recibe el nombre de Sumidero Antiguo y el ubicado más al Este Sumidero Nuevo, esto debido a que anteriormente el Sumidero La Virgen solo estaba conformado por el Sumidero Antiguo, pero con el paso del tiempo su capacidad ya no fue suficiente para la cantidad de agua que ingresa a la mina, por lo que se construyó el Sumidero Nuevo, justamente al lado del anterior, de manera que ambos se comunican por una tubería para complementarse entre sí. Como se observa en la figura 20 a este sumidero se le asocian las dos bombas KSB 125/4. El Sumidero La Virgen posee una capacidad nominal de 2075.31 m<sup>3</sup>, como se observa en la tabla 2 1369.83 m<sup>3</sup> del Sumidero Antiguo y 705.47 m<sup>3</sup> del Sumidero Nuevo. Para el momento de la medición ambos sumideros poseían un porcentaje de material fino de 26% y 24% respectivamente, lo que reduce su capacidad de captación a 1,011.57 m<sup>3</sup> para el sumidero Antiguo y 529.97 m<sup>3</sup> para el Sumidero Nuevo. Actualmente al Sumidero Nuevo ingresa únicamente el caudal de agua de 1,275 GPM proveniente del nivel cuatro y al Sumidero Antiguo ingresa un caudal 1,505.46 GPM traspasado del Sumidero Auxiliar y proveniente del Sector Mocupia, Bartolo y Extension.

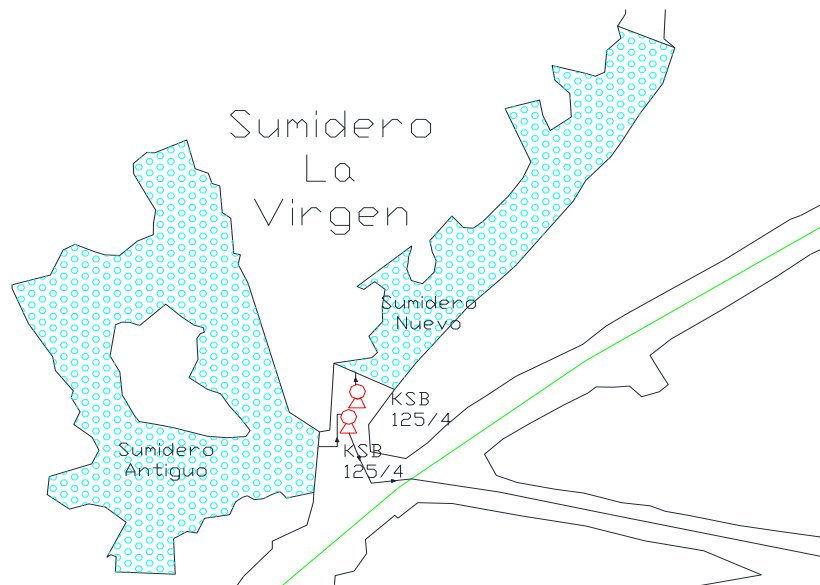


Figura 20. Vista en planta del Sumidero La Virgen, Nivel 1.

Ubicado a 48 m al Oeste del Sumidero La Virgen se encuentra el Sumidero Auxiliar, asociado a la bomba sumergible Grindex Minette como se puede observar en la figura 21. En este sumidero se reúne el caudal de agua de 531,48 GPM proveniente del Sector Hansa y cualquier sondeo que se encuentre en el sector Oeste del nivel uno de Mina Colombia. Como se observa en la tabla 16 este sumidero posee una capacidad nominal de 8,07 m<sup>3</sup>, en el momento de la medición este sumidero poseía un porcentaje de material fino de 17,65 % reduciendo su capacidad de captación a 6,60 m<sup>3</sup>.

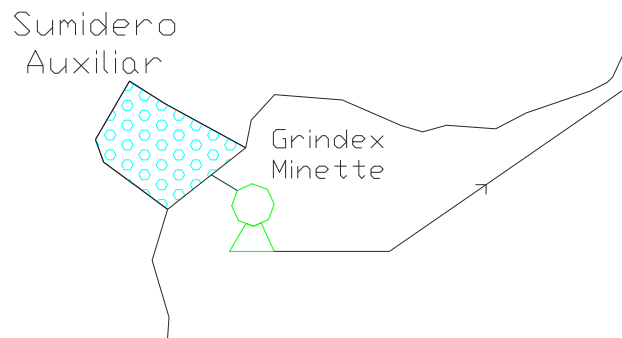


Figura 21. Vista en planta del Sumidero Auxiliar, Nivel 1.

En el nivel cuatro se encuentra la segunda estación de bombeo de Mina Colombia asociado a un único sumidero en este nivel, ubicado a 21m de la boca de pozo se encuentra el Sumidero 4, como se observa en la figura 22. Este sumidero posee una capacidad nominal de 174.54 m<sup>3</sup>., al momento de la medición el sumidero se encontraba rebosando su capacidad lo cual hizo imposible la medición de material fino, por lo cual no se presenta en los resultados la capacidad de captación actual de este sumidero. Como se observa en la figura 22 a este sumidero se le asocian dos bombas KSB 80/4 que extraen a superficie y una bomba KSB 125/4 que traslada del nivel cuatro al nivel uno

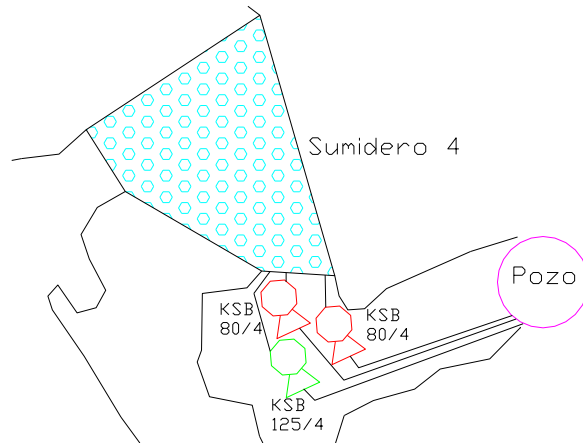


Figura 22. Vista en planta de la estación de bombeo en el nivel cuatro, Septiembre 2017.

### 6.3.1. Análisis de la situación actual de los sumideros

Las mediciones realizadas nos permiten concluir que la situación actual de los sumideros es de atención, debido a la gran cantidad de material fino en ellos presentes, situación que debe atenderse lo más pronto posible debido a que este material le resta capacidad de captación a los sumideros en cuestión, lo cual podría traer próximas inundaciones al no quedar captada en su totalidad el agua que ingresa a la mina por estas estructuras.

El sumidero de mayor envergadura se encuentra en el nivel 1, el sumidero La Virgen, específicamente el sumidero Antiguo, actualmente con una capacidad de captación de 1, 011,570 L a su vez es uno de los sumideros con mayor cantidad de material fino, actualmente posee 26.15%, se recomienda realizarle mantenimiento con la bomba de lodo para aumentar su capacidad de captación y las aguas provenientes del sector oeste puedan ser captadas sin ningún inconveniente.

#### 6.4 Determinación de la eficiencia del sistema de bombeo

Ya descrito el sistema de bombeo de Mina Colombia se procede a calcular la eficiencia del mismo, para ello se midió en cada estación de bombeo, el tiempo que cada bomba permaneció encendida, el tiempo que permaneció apagada y la altura de agua que se desalojó durante el tiempo que la bomba permaneció trabajando, para luego emplear la ecuación 6, cabe destacar que esta metodología se aplicó en las estaciones de bombeo donde las condiciones lo permitieron, como por ejemplo en la estación de bombeo del nivel cuatro fue imposible llevar a cabo las mediciones con esta metodología debido a que en todo momento el Sumidero 4 se encontraba rebosado, debido a la falta de la tercera bomba, la KSB WKL 80/4 que integra la estación de bombeo de este nivel, por lo que la metodología solo pudo ser aplicada a la estación de bombeo ubicada en el nivel uno.

La metodología consiste en estimar el volumen desalojado durante el tiempo que permaneció encendida la bomba de la estación de bombeo del nivel 1, mediante la medición de la altura de agua desalojada del sumidero, esto se multiplicó por el área del piso del sumidero en cuestión obteniendo así el volumen de desalojo, empleando la ecuación 5, obteniéndose un valor que posteriormente se dividió entre el tiempo que permaneció encendida la bomba desalojando dicho volumen de agua de su respectivo sumidero, empleando la ecuación 6, para obtener el caudal de desalojo de la bomba como se observa en la tabla 17.

Para la estimación de la eficiencia del sistema de bombeo del nivel cuatro se empleó el método de la trayectoria en la descarga de las bombas en el nivel uno y en superficie respectivamente, esto consiste en medir la longitud de la proyección de la descarga y la altura de la misma para poder aplicar la ecuación 1 asociada al método en cuestión y así obtener el caudal desalojado por la bomba. Con el caudal de las bombas medido, y los aforos de los caudales que ingresan al sumidero, tomado como referencia de Herrera J.

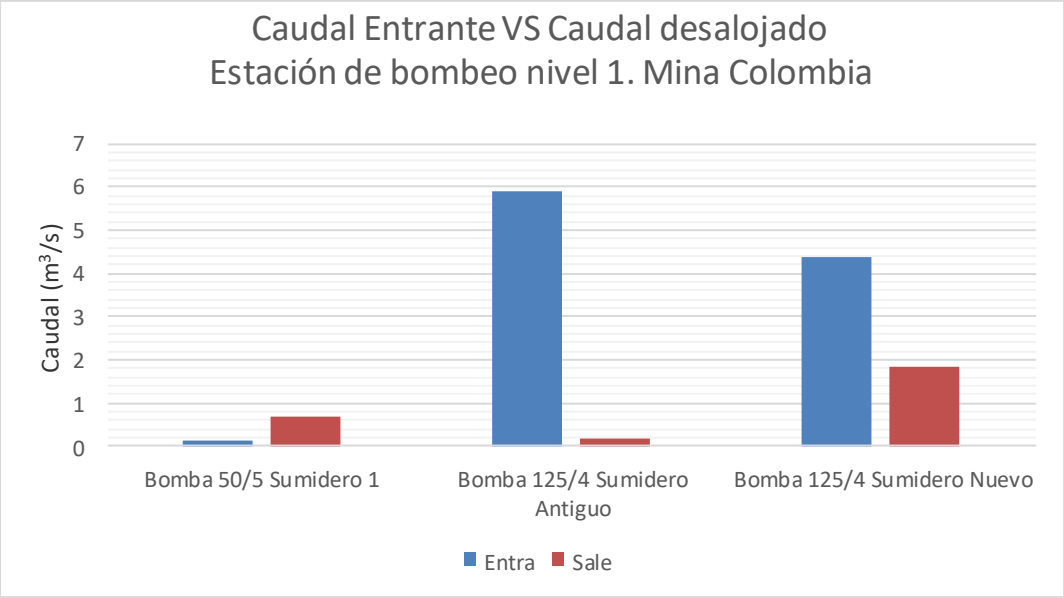
(2017) se calculó la eficiencia, resultados que se presentan en la tabla 18. Esta metodología también se empleó para estimar la eficiencia de la bomba MEGA H ubicada en el pozo, a diferencia que para estimar su eficiencia se comparó el caudal desalojado medido con el caudal teórico que maneja la bomba como se presenta en la tabla 19. Cabe destacar que al momento de la medición en la estación de bombeo del nivel 4 se encontraba inactiva la bomba KSB 80/4 que traslada al nivel 1, por lo que no fue posible calcular la eficiencia de esta bomba.

Luego de calcular la eficiencia de cada bomba se procedió a calcular la eficiencia del sistema de bombeo, para lo cual se estudia la eficiencia del conjunto, como se observa en la tabla 20.

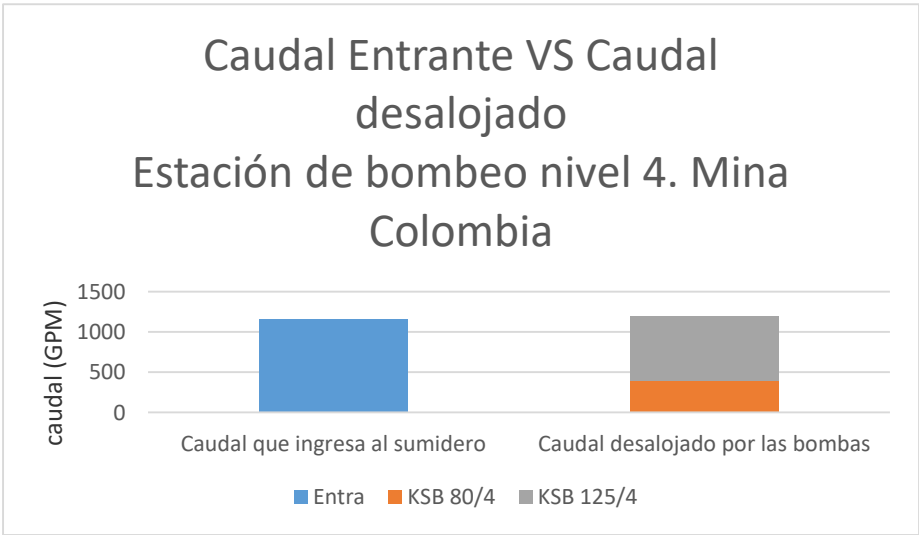
Tabla 20. Eficiencia del sistema de bombeo de Mina Colombia, Septiembre 2017.

| Nivel | Bomba          | Régimen de trabajo             | Altura (m) | Caudal teórico (GPM) | Caudal Rendimiento del 85% (GPM) | Caudal medido (GPM) |
|-------|----------------|--------------------------------|------------|----------------------|----------------------------------|---------------------|
| 1     | KSB 50/5       | Sumidero 1 a Superficie        | 134        | 185.00               | 157.25                           | 182.84              |
|       | KSB 125/4      | La Virgen a Superficie         | 134        | 1,600.00             | 1,360.00                         | 48.84               |
|       | KSB 125/4      | La Virgen a Superficie         | 134        | 1,600.00             | 1,360.00                         | 482.16              |
|       | Grindex Mega H | Sumidero Auxiliar a Superficie | -          | -                    | -                                | -                   |
| 4     | KSB 80/4       | N4 a Superficie                | 284        | 757.38               | 643.77                           | <b>488.02</b>       |
|       | KSB 80/4       | N4 a Superficie                | 284        | 757.38               | 643.77                           | -                   |
|       | KSB 125/4      | N4 a La Virgen                 | 150        | 1,500.00             | 1,275.00                         | 805.57              |
| Pozo  | MEGA H         | N5 a N4                        | 50         | 1,000.00             | 850.00                           | 840.33              |
| Total |                |                                |            | <b>4,899.75</b>      | <b>4,164.79</b>                  | <b>1,201.86</b>     |

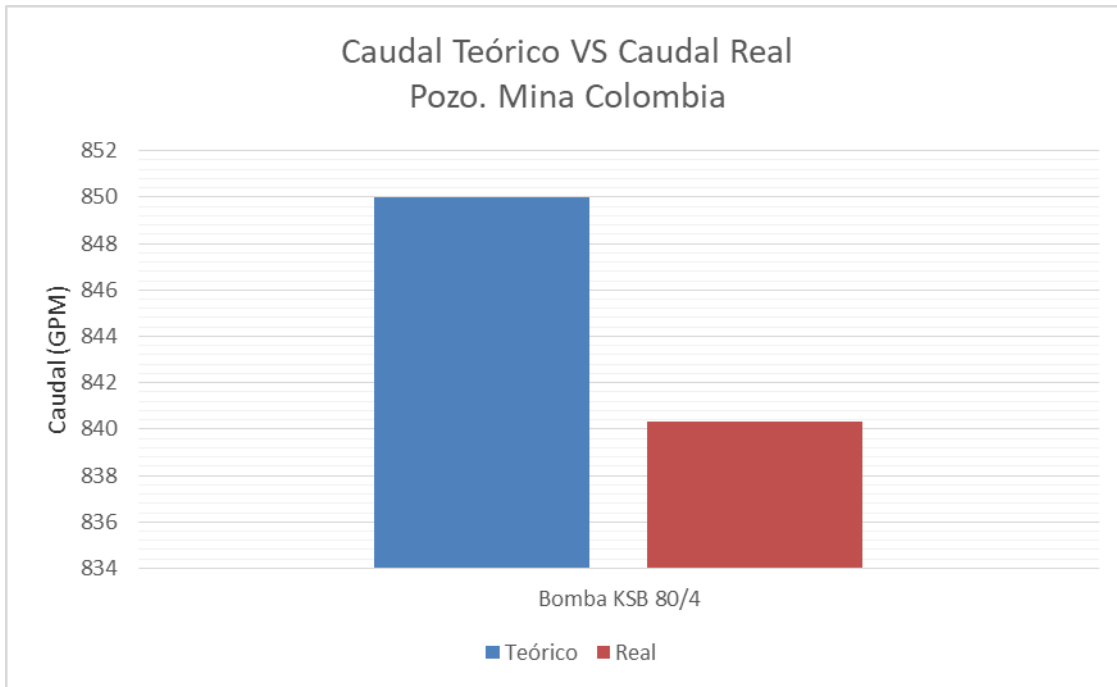
A continuación, se muestra la representación gráfica de la eficiencia de las bombas por estación de bombeo, donde se observa la diferencia notoria entre el caudal que entra al sumidero y el caudal que desaloja la bomba en cuestión.



**Gráfico 1.** Caudal entrante VS caudal desalojado de las estaciones de bombeo del Nivel 1. Septiembre 2017.



**Gráfico 2.** Caudal teórico VS caudal real de la estación de bombeo del Nivel 4. Septiembre 2017.



**Gráfico 3.** Caudal teórico VS caudal real de la estación de bombeo del Pozo. Septiembre 2017.

**Tabla 17.** Cálculo de la eficiencia de las bombas en el nivel 1, Septiembre 2017.

| Nivel | Sumidero  | Bombas   | Tiempos (min) |           |       | Altura desalojada (m) | Área del sumidero (m2) | Volumen desalojado (m3) | Caudal de recarga |       | Caudal desalojado |        | Eficiencia (%) |       |
|-------|-----------|----------|---------------|-----------|-------|-----------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|-------|-------------------|--------|----------------|-------|
|       |           |          | Apagado       | Encendido | Total |                       |                        |                         | (m3/min)          | (GPM) | (m3/min)          | (GPM)  |                |       |
| 1     | 1         | KSB 50/5 | 19.25         | 3.69      | 22.94 | 0.28                  | 9.12                   | 2.55                    | 0.13              | 35.05 | 0.69              | 182.84 | 521.68         |       |
|       | La Virgen | Antiguo  | KSB 125/4     | 8.32      | 266   | 274.32                | 0.07                   | 702.48                  | 49.17             | 5.91  | 1,561.50          | 0.18   | 48.84          | 3.13  |
|       |           | Nuevo    | KSB 125/4     | 27.48     | 66    | 93.48                 | 0.35                   | 344.14                  | 120.45            | 4.38  | 1,158.02          | 1.82   | 482.16         | 41.64 |

**Tabla 11.** Cálculo de la eficiencia de las bombas en el nivel 4, Septiembre 2017.

| Nivel | Sumidero | Bomba     | Caudal que ingresa al sumidero |       | Caudal desalojado por la bomba |        | Caudal total desalojado (GPM) | Eficiencia (%) |
|-------|----------|-----------|--------------------------------|-------|--------------------------------|--------|-------------------------------|----------------|
|       |          |           | (l/s)                          | (GPM) | (l/s)                          | (GPM)  |                               |                |
| 4     | 4        | KSB 80/4  | 72.8711099                     | 1,155 | 24                             | 388.02 | 1,193.58                      | 103.33         |
|       |          | KSB 80/4  |                                |       | -                              | -      |                               |                |
|       |          | KSB 125/4 |                                |       | 51                             | 805.57 |                               |                |

**Tabla 12.** Cálculo de la eficiencia de la bomba en el pozo, Septiembre 2017.

| Nivel | Sumidero | Bomba  | Caudal teórico |       | Caudal desalojado |        | Eficiencia (%) |
|-------|----------|--------|----------------|-------|-------------------|--------|----------------|
|       |          |        | (l/s)          | (GPM) | (l/s)             | (GPM)  |                |
| Pozo  | 4        | MEGA H | 53.62          | 850   | 121.38            | 840.33 | 98.86          |

#### *6.4.1 Análisis de la eficiencia del sistema de bombeo actual*

Como se puede observar en la tabla 20, los valores de los caudales medidos son considerablemente menor que los caudales estimados con las curvas de las bombas, son las excepciones el caso de la bomba MEGA H ubicada en el pozo y la bomba KSB 50/5 ubicada en la entrada del nivel 1. Cabe destacar que la bomba KSB 50/5 es propensa a perder la ceba y dejar de trabajar provocando así el rebase del sumidero 1, agua que cae por el vertical y trabaja como recarga a la inundación actual que presenta la mina, se hace esta acotación debido a que en más de una ocasión que se bajó a la mina a realizar las respectivas mediciones esta bomba se encontraba apagada y el agua caía por el pozo.

Cuando una de las bombas deja de trabajar como es el caso de la bomba KSB WKL 50/5 de la boca del pozo cuando pierde la ceba, el agua es traspasada al nivel inferior hasta llegar a la otra estación de bombeo ubicada en el nivel 4, ocasionando así que el sumidero ubicado en este nivel se rebose.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo permitió diagnosticar el sistema de bombeo actual de mina Colombia, a través de la realización de los siguientes objetivos:

- Se estimó el volumen total de agua presente en el laboreo inundado de mina Colombia, donde se concluyó que aproximadamente 610,068,057.41 L se encuentran distribuidos en el nivel 5, nivel 6, corte 0, corte 3, corte 5, corte 7 y nivel 7, de los cuales el laboreo que alberga mayor cantidad de agua es el nivel 7 con un estimado de 170,362,445.59 L, lo que es de esperarse debido a las dimensiones que posee este laboreo al ser desarrollado conjuntamente con el nivel 6 en la estructura geológica denominada “el bolsón”.
- Se describió el sistema de bombeo actual de mina Colombia, se concluyó que es múltiple, está integrado por dos estaciones de bombeo y una bomba sumergible MEGA H ubicada en el pozo vertical, teóricamente este sistema maneja un caudal nominal de 4,164.79 GPM. Del sistema de bombeo actual de mina Colombia la bomba encargada de desalojar el volumen de agua de los niveles inundados es la bomba MEGA H, la cual ubicada a la altura del nivel 5 actualmente desaloja un caudal nominal de 850 GPM.
- Se describió la situación actual de los sumideros, de los cuales en mina Colombia se encuentran operativos cinco, cuatro de ellos ubicados en la estación de bombeo del nivel 1 y uno ubicado en la estación de bombeo del nivel 4. Se concluyó que los altos porcentajes de material fino presente actualmente en los sumideros operativos de mina Colombia reducen la capacidad de captación de estos, trayendo como consecuencia que el agua proveniente de los distintos sectores de la mina no sean captados en su totalidad en los sumideros y se mantenga el agua en el piso de las galerías, afectando el laboreo en ellas.

- Se determinó la eficiencia de las bombas que integran el sistema de bombeo de mina Colombia, se concluyó que actualmente no presentan una eficiencia acorde a lo que nominalmente ellas deberían de extraer, siendo las excepciones la bomba KSB WKL 50/5 ubicada en la boca del pozo de mina Colombia y la bomba sumergible MEGA H, la cual actualmente extrae un caudal de agua de 840 GPM proveniente de los niveles inundados.

## RECOMENDACIONES

- ✓ En relación a la situación actual de los sumideros se recomienda realizarles mantenimiento con la finalidad de remover la mayor cantidad posible de material fino y depositarlo en la galería más cercana, para que el sumidero pueda captar en su totalidad el agua proveniente del laboreo.
- ✓ Con respecto a la situación actual del sistema de bombeo se recomienda estricta supervisión al equipo de mantenimiento y cuadrilla de bomberos, para cuidar que las bombas no pierdan la ceba y detengan su trabajo.
- ✓ Se recomienda acondicionar y nivelar toda la galería principal, comenzando desde la rampa y culminando en la galería oeste Colombia para así conducir el caudal de agua hacia uno de los hastiales de la galería y esta pueda dirigirse al sumidero correspondiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. (2006) **EL PROYECTO DE INVESTIGACION**. Venezuela 2006, quinta edición, pp 27-31.
- Bello M., Pino M. (2000) Medición de presión y Caudal. Chile 2000.
- Dpto. de Ingeniería de Minas, MINERVEN (2012). **PLAN DE ADECUACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO EN MINA COLOMBIA**. Venezuela 2017.
- Echeverría, D. (2016) **AFORO, MANUAL HIDROLOGIA**. Venezuela 2016.
- Guillen, A. (2017) **DRENAJE DE MINA**. Trabajo de pregrado, UDO, Venezuela 2017.
- Hernández, Fernández y Baptista, (2006). **METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION**. México 2006, cuarta edición.
- Herrera J. (2017). **CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES QUE INGRESAN EN EL NIVEL 1 Y 4 DE LA MINA COLOMBIA**. Pasantías. UCV. Venezuela 2017.
- López C. (2005). **DISEÑO DE UN MÉTODO DE EXPLOTACIÓN PARA LA MINA COLOMBIA, CVG MINERVEN, EL CALLAO, ESTADO BOLÍVAR**. Trabajo Especial de Grado, UCV. Venezuela 2017.