



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS**

Diseño del sistema de ventilación en la concesión  
minera “Cebral” y diseño del sistema de desagüe en la  
concesión minera “R-Nivel”, Zaruma - El Oro

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO DE MINAS**

**Autor:**

MOISES PAUL VALAREZO BLACIO

**Director:**

LEONARDO ANÍBAL NÚÑEZ RODAS

**CUENCA – ECUADOR**

**2020**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres José y Diana que siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte moral y económica para poder llegar a ser un profesional de la Patria, por los valores que me han inculcado. A mis hermanas que con sus ocurrencias alegran mis días, a mis abuelos que me enseñaron la importancia de la vida y la misión que cada uno tiene como persona, y a mi familia en general por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de mi carrera universitaria.

A mis queridos amigos y compañeros de carrera, por su amistad tan sincera, por momentos inolvidables compartidos cada año, recuerdos que siempre estarán en mi corazón.

**Paul Valarezo Blacio**

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, agradezco a Dios por la vida, sabiduría y todas las oportunidades que me ha dado para poder alcanzar cada una de mis metas, a mis padres por haberme apoyado siempre con los recursos y su motivación para seguir adelante cada día, ellos son mi motor y les agradezco el haberme apoyado a lo largo de mi carrera.

A mis profesores por sus conocimientos impartidos durante años, a los miembros de mi tribunal Ing. Patricio Feijoo e Ing. Eduardo Luna, y de manera en especial a mi director de tesis Ing. Leonardo Núñez, gracias por sus enseñanzas, consejos, colaboración y ayuda en el desarrollo en este trabajo.

En manera particular a la Asociación de producción minera R-Nivel, por darme la oportunidad de desarrollar mi trabajo en sus instalaciones, y de manera especial al Ing. Cesar Morocho por su apoyo y enseñanza durante mi estancia en la mina y su dedicación para poder finalizar este trabajo.

A mis compañeros, amigos por haber formado parte de mi vida universitaria.

**Paul Valarezo Blacio**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO I    MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>3</b>
1.1 Ventilación en minería subterránea.....	3
1.2 Objetivos de la ventilación subterránea.....	3
1.3 Tipos de ventilación.....	3
1.3.1 Ventilación aspirante:.....	3
1.3.2 Ventilación soplante:.....	3
1.3.3 Ventilación mixta.....	3
1.4 Mangas de ventilación.....	3
1.5 Tipos de mangas de ventilación.....	4
1.5.1 Deltavent DVS.....	4
1.5.2 Deltavent DVI.....	4
1.6 Tipos de ventiladores.....	4
1.6.1 Ventilador axial.....	4
1.6.2 Ventiladores radiales.....	5
1.7 Perforadoras.....	5
1.7.1 Características técnicas de la perforadora rotopercutiva.....	5

1.7.2 Caudal de aire por Trabajadores.....	6
1.7.3 Caudal de aire por consumo de sustancia explosiva. ....	6
1.8 Compresores .....	7
1.8.1 Compresor de pistón.....	7
1.8.2 Compresor de tornillo .....	7
1.8.3 Compresor de paletas .....	8
1.8.4 Compresor de lóbulos.....	9
1.8.5 Compresor scroll .....	10
1.8.6 Compresor de bombas de vacío .....	11
1.9 Transmisión por correas .....	11
1.9.1 Ventajas de la transmisión por correa .....	12
1.10 Tipos de correas.....	12
1.10.1 Correa plana .....	12
1.10.2 Correas en v.....	13
1.10.3 Correas dentadas .....	13
1.11 Tipos de transmisión por correas.....	14
1.11.1 Transmisión por correa abierta.....	14
1.11.2 Transmisión por correa cruzada .....	14
1.11.3 Transmisión por correa semicruzada.....	14
1.12 Sistema de drenaje .....	15
1.13 Drenaje con bombas .....	15
1.14 Métodos de drenaje subterráneo .....	16
1.14.1 Sistema de zanjas .....	16
1.14.2 Cunetas en minería subterránea.....	16
1.15 Bomba de agua .....	17
1.15.1 Bombas reciprocantes .....	17

1.15.2 Bombas rotativas .....	18
1.15.3 Bombas centrífugas .....	18
1.16 Propiedades de los fluidos .....	19
1.17 Viscosidad absoluta .....	20
1.18 Viscosidad cinemática .....	21
1.19 Clasificación de los movimientos en flujo de fluidos .....	21
1.19.1 Flujo laminar .....	21
1.19.2 Flujo turbulento .....	22
1.19.3 Flujo permanente .....	22
1.19.4 Flujo no permanente .....	22
1.19.5 Flujo uniforme .....	23
1.19.6 Flujo no uniforme .....	23
1.19.7 Flujo ideal .....	23
1.20 Número de Reynolds .....	23
1.21 Flujo laminar en tuberías y anillos circulares .....	24
1.22 Ecuación de continuidad .....	25
1.23 Ecuación de Bernoulli .....	26
<b>CAPÍTULO II LEVANTAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>27</b>
2.1 Datos generales .....	27
2.2 Ubicación .....	28
2.3 Geología regional .....	30
2.4 Geología local .....	33
2.5 Clima y vegetación .....	33
2.6 Recursos de energía eléctrica .....	34
2.7 Análisis del levantamiento planimétrico de las concesiones .....	34
2.7.1 Análisis de levantamiento planimétrico en la concesión R-nivel .....	34

2.7.2 Análisis de levantamiento planimétrico en la concesión Cebral.....	35
2.8 Método de explotación .....	36
2.9 Proceso de perforación y voladura. ....	36
2.10 Operaciones adicionales .....	37
2.10.1 Carga y transporte .....	37
2.10.2 Tratamiento del mineral.....	37
<b>CAPÍTULO III SITUACIÓN ACTUALES DE LAS CONCESIONES</b>	
<b>CEBRAL Y R-NIVEL.....</b>	<b>38</b>
3.1 Método de ventilación actual de la mina R-Nivel .....	38
3.2 Características de la atmosfera minera .....	38
3.3 Composición de la atmosfera minera. ....	38
3.3.1 Oxígeno, O <sub>2</sub> .....	39
3.3.2 Nitrógeno, N <sub>2</sub> .....	39
3.3.3 Monóxido de carbono (CO). ....	39
3.4 Equipos utilizados .....	39
3.4.1 Perforadores manuales. ....	40
3.4.2 Winches.....	40
3.4.3 Locomotora .....	41
3.4.4 Cargadora hidráulica.....	41
3.4.5 Compresores.....	42
3.5 Inversión en equipos e instalaciones de ventilación .....	42
3.6 Caudal requerido de aire.....	42
3.7 Costos de ventilación.....	43
3.8 Sistema de desagüe actual de la mina R-Nivel.....	43
3.9 Tipos de bombas utilizadas.....	43
<b>CAPÍTULO IV DISEÑO PROPUESTO PARA MEJORAR EL SISTEMA DE</b>	
<b>VENTILACIÓN .....</b>	<b>44</b>

4.1 Método de ventilación propuesto .....	44
4.2 Circuito de ventilación.....	44
4.2.1 Cálculos para el diseño de ventilación propuesto .....	45
4.2.2 Volumen de una columna de aire .....	46
4.2.3 Velocidad lineal.....	47
4.3 Relación de transmisión de poleas .....	48
4.3.1 Polea matriz.....	49
4.3.2 Polea conductora .....	49
4.3.3 Longitud de correa .....	50
4.3.4 Precisión de la distancia entre centros.....	51
4.3.5 Cálculo de longitudes equivalentes por accesorios a implementarse.....	51
4.3.6 Válvulas de compuerta .....	51
4.4 Accesorios de cambio de tubería .....	52
4.5 Parámetros considerados .....	54
4.5.1 Caudal de aire por perforadoras .....	54
4.5.2 Caudal de aire por trabajadores .....	56
4.5.3 Caudal de aire por consumo de explosivos .....	56
4.6 Caudal de aire total .....	57
4.7 Inversión necesaria en equipos e infraestructura.....	57
4.8 Mejora en el proceso de ventilación en la mina Cebral.....	59
4.9 Costos e inversión.....	60
4.10 Evaluación económica.....	61
<b>CAPÍTULO V      DISEÑO PROPUESTO PARA MEJORAR EL SISTEMA DE</b>	
<b>DESAGUE.....</b>	<b>62</b>
5.1 Cálculo de Volúmenes.....	62
5.2 Análisis de obras a implementarse para conducción de aguas .....	63
5.3 Selección del tipo de bombas a utilizarse .....	63

5.4 Cálculo de Reynolds.....	65
5.5 Calculo del TDH de la bomba .....	67
5.5.1 Pérdidas primarias .....	67
5.5.2 Pérdidas secundarias .....	68
5.6 Altura total de bomba .....	68
5.7 Potencia de la bomba.....	68
5.8 Potencia del motor .....	69
5.9 NPSHD disponible de la bomba.....	69
5.10 Inversión necesaria en equipos e infraestructura.....	71
5.11 Mejora en el proceso de desagüe de la mina R-Nivel .....	73
5.12 Costos e inversión.....	74
5.13 Evaluación económica.....	74
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>75</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>79</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Compresor de pistón .....	7
Figura 1.2 Compresor de tornillo .....	8
Figura 1.3 Compresor de paletas .....	9
Figura 1.4 Compresor de lóbulos .....	10
Figura 1.5 Compresor scroll .....	10
Figura 1.6 Compresor de bomba de vacío .....	11
Figura 1.7 Correa plana .....	12
Figura 1.8 Correa en v .....	13
Figura 1.9 Correa dentada .....	13
Figura 1.10 Correa abierta .....	14
Figura 1.11 Correa cruzada .....	14
Figura 1.12 Correa semicruzada .....	15
Figura 1.13 Cuneta filtrante .....	16
Figura 1.14 Bomba reciprocante .....	17
Figura 1.15 Bomba rotativa .....	18
Figura 1.16 Bomba centrífuga .....	19
Figura 1.17 Diagra reológico .....	20
Figura 1.18 Flujo laminar .....	21
Figura 1.19 Flujo turbulento .....	22
Figura 1.20 Aparato de Reynolds .....	24
Figura 1.21 Ecuación de continuidad .....	25
Figura 2.1 Ubicación de la concesión .....	28
Figura 2.2 Ubicación nacional .....	28
Figura 2.3 Acceso a la mina .....	30
Figura 2.4 Mapa geológico del Ecuador Escala 1:1000000. Hoja geológica Santa Rosa .....	32
Figura 2.5 Mapa geológico .....	32
Figura 2.6 Planimetría R-Nivel .....	33
Figura 2.7 Planimetría CebraI .....	34

Figura 3.1 Winche .....	40
Figura 3.2 Locomotora .....	41
Figura 3.3 Cargadora hidráulica .....	41
Figura 3.4 Bomba .....	43
Figura 4.1 Diseño de ventilación .....	44
Figura 4.2 Circuito de ventilación .....	45
Figura 4.3 Turbina .....	46
Figura 4.4 Circuito de ventilación .....	47
Figura 4.5 Ventilador.....	48
Figura 4.6 Polea matriz.....	49
Figura 4.7 Polea conductora .....	49
Figura 4.8 Longitud de correa .....	50
Figura 4.9 Abaco del factor de corrección por simultaneidad.....	55
Figura 4.10 Compresor Ingersoll Rand .....	57
Figura 4.11 Tubería 4 pulgadas .....	58
Figura 4.12 Tubería 1 pulgada.....	58
Figura 4.13 Válvula de bola .....	59
Figura 4.14 Número de revoluciones en el ventilador.....	60
Figura 5.1 Dimensiones del pozo de agua .....	62
Figura 5.2 Cuneta filtrante.....	63
Figura 5.3 Veta Cristina Norte .....	64
Figura 5.4 Características técnicas para tubería de agua fría .....	64
Figura 5.5 Rugosidad Absoluta .....	66
Figura 5.6 Digrama de Moody .....	67
Figura 5.7 Cobertura hidráulica.....	70
Figura 5.8 Bomba 11/2x2-8.....	71
Figura 5.9 Tubería acuaflex de 2 ".....	71
Figura 5.10 Codo de 90 grados.....	72
Figura 5.11 Válvula de compuerta .....	72
Figura 5.12 Bomba 11/2x2-8.....	73
Figura 5.13 Pozo de agua .....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Ficha técnica de perforadora manual YT27 .....	5
Tabla 2.1 Coordenadas de la concesión Cebral .....	27
Tabla 2.2 Coordenadas del punto de inicio de la concesión Cebral .....	30
Tabla 2.3 Indicadores Climáticos Medios. ....	33
Tabla 3.1 Temperatura exterior de la mina R-Nivel.....	38
Tabla 3.2 Tamaño de barrenos .....	42
Tabla 3.3 Capacidad del vagón.....	40
Tabla 3.4 Inversión en equipos de ventilación .....	42
Tabla 4.1 Datos para determinar las rpm de la turbina.....	47
Tabla 4.2 Datos para determinar las rpm del ventilador.....	48
Tabla 4.3 Datos para calcular la longitud de la correa .....	50
Tabla 4.4 Datos para determinar la precisión de distancia entre centros .....	51
Tabla 4.5 Accesorios de tubería .....	52
Tabla 4.6 Longitudes totales corregidas .....	53
Tabla 4.7 Consumo total de las máquinas perforadoras.....	56
Tabla 4.8 Caudal total.....	57
Tabla 4.9 Instrumentos para el diseño .....	59
Tabla 4.10 Materiales a instalar en el diseño propuesto.....	61
Tabla 5.1 Accesorios de tubería .....	68
Tabla 5.2 Parámetros técnicos para la selección de bomba.....	70
Tabla 5.3 Parámetros técnicos para la selección de bomba.....	74
Tabla 5.4 Materiales a instalar en el diseño propuesto.....	74

**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1 Nomenclatura.....	79
Anexo 2 Bomba de agua.....	80
Anexo 3 Acoples por termofusión.....	81
Anexo 4 Planimetría de concesión minera R-Nivel .....	82
Anexo 5 Planimetría de concesión minera Cebral.....	83
Anexo 6 Planimetría del sistema de desagüe concesión R-Nivel.....	84
Anexo 7 Planimetría diseño del sistema de ventilación concesión Cebral .....	85
Anexo 8 Piscinas de sedimentación .....	86
Anexo 9 Tolvas.....	87
Anexo 10 Compresores para concesión Cebral y R-Nivel.....	88

**DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN LA CONCESIÓN MINERA  
“CEBRAL” Y DISEÑO DEL SISTEMA DE DESAGÜE EN LA  
CONCESIÓN MINERA “R-NIVEL”, ZARUMA - EL ORO**

**RESUMEN**

En el siguiente trabajo investigativo, se determinó un adecuado sistema de ventilación, según las necesidades de la concesión minera Cebtral, además de un eficiente sistema de desagüe para la concesión minera R-Nivel, ubicadas en el distrito minero Zaruma - Portovelo. En el sistema de ventilación, se identificaron diferentes parámetros técnicos y necesidades de personal. Para ello, se estudiaron las longitudes reales, caudal requerido y análisis de pérdidas, a través de cálculos matemáticos y una evaluación económica que resultaron esenciales para un correcto diseño de ventilación, mediante el uso de un nuevo sistema que utiliza una turbina para dar mayor energía al ventilador principal. Por otra parte, en el sistema de desagüe se identificaron diferentes requerimientos técnicos como volumen del pozo, cálculo de diámetros y caudales que fueron primordiales para optimizar el bombeo del agua subterránea. Como resultados se obtuvieron, para el diseño de ventilación un mayor desplazamiento de aire, facilitando así futuras exploraciones; y, para el sistema de desagüe, la selección de una bomba adecuada, con una mayor eficiencia de acuerdo a las necesidades de la mina.

**Palabras clave:** ventilación, desagüe, caudal, volumen, pozo.

Leonardo Aníbal Núñez Rodas  
**Director del Trabajo de Titulación**

Leonardo Aníbal Núñez Rodas  
**Coordinador de Escuela**

Moises Paul Valarezo Blacio  
**Autor**

**DESIGN OF A VENTILATION SYSTEM AT THE "CEBRAL" MINING  
CONCESSION AND DESIGN OF A DRAINAGE SYSTEM AT THE MINING  
CONCESSION "R-NIVEL", ZARUMA - EL ORO**

**ABSTRACT**

In this research, an adequate ventilation system was determined according to the needs of the Cebal mining concession, and an efficient drainage system for the R-Nivel mining concession located in the Zaruma - Portovelo mining district. In the ventilation system, different technical parameters and personnel needs were identified. On the one hand, the real lengths, flow requirement, and loss analysis were studied through mathematical calculations and an economic evaluation that were essential for a correct ventilation design, through the use of a new system that uses a turbine to provide more energy to the main fan. On the other hand, different technical requirements were identified in the drainage system such as well volume, calculation of diameters and flow rates that were primordial to optimize the pumping of groundwater. As a result, a greater air displacement was obtained for the ventilation design. This facilitates future explorations; for the drainage system, the selection of a suitable pump, with higher efficiency according to the needs of the mine.

**Keywords:** ventilation, drainage, flow, volume, well.

Leonardo Anibal Núñez Rodas

**Thesis Director**

Leonardo Anibal Núñez Rodas

**Faculty Coordinator**

Moises Paul Valarezo Blacio

**Author**

Translated by



**Paúl Valarezo**

Moises Paul Valarezo Blacio

Trabajo de Titulación

Ing. Leonardo Núñez

Agosto, 2020

**DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN LA CONCESIÓN MINERA  
“CEBRAL” Y DISEÑO DEL SISTEMA DE DESAGÜE EN LA  
CONCESIÓN MINERA “R-NIVEL”, ZARUMA - EL ORO**

**Introducción**

La industria minera a pequeña y mediana escala en nuestro país, ha ido en constante crecimiento, innovando en nuevas tecnologías con el fin de obtener una producción mayor a menores costos y gastos operacionales, en los diferentes procesos que se realizan: perforación, voladura, carga y transporte del mineral. Tanto los sistemas de ventilación como el de desagüe son fundamentales para un desarrollo productivo en la empresa minera, al igual que otros procesos.

El sistema de ventilación resulta de vital importancia para la disipación de gases producto de la voladura, para abastecer de aire al personal minero, y para la eficiencia de todos los equipos utilizados en la industria. El diseño de desagüe nos permite una óptima extracción de aguas, brindando una mayor facilidad para poder realizar todas las actividades necesarias en los procesos de extracción del mineral.

Los diferentes equipos mineros neumáticos utilizados en la extracción del mineral, son utilizados en la mayoría de empresas minera a pequeña y mediana escala, por lo cual es de vital importancia tomar en cuenta el abastecimiento de caudales y presiones para bombas y equipos de perforación. Con el continuo avance hacia nuevos frentes de explotación y con la implementación de nuevos equipos es necesario una evaluación de los sistemas, con el fin de mejorar la producción evitando así pérdidas en la producción por falta de un correcto abastecimiento de los caudales y presión necesaria para los diferentes procesos a realizar.

Uno de los elementos más importantes para el correcto desarrollo de estos sistemas, es la correcta selección del tipo de ventiladores, diámetros de la tubería, los diferentes acoples, todo aquello para una correcta selección de tuberías con la resistencia necesaria para soportar las diferentes presiones y conducción de caudales, en los diferentes trabajos empleados.

Este trabajo de tesis tiene como finalidad analizar el caudal de aire que llega a las zonas de trabajo, para desde ahí poder mejorarlo mediante la implementación de un diseño adecuado a las circunstancias de la mina, de la misma manera la implementación de sistemas de captación del agua subterránea, con una correcta selección de accesorios y especificaciones técnicas dadas por cálculos matemáticas y tablas de diseño.

## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Ventilación en minería subterránea

La ventilación en minas, tiene por misión, el suministro de aire fresco con el objetivo de lograr condiciones termo-ambientales adecuadas para el personal que labora en faenas mineras subterráneas, como también la operación de diversos equipos e instalaciones subterráneas (Vargas, 2015).

#### 1.2 Objetivos de la ventilación subterránea:

- Suministrar el oxígeno para la respiración de las personas.
- Proporcionar el volumen de aire necesario para los equipos de perforación e instalaciones subterráneas.
- Evitar la formación de mezclas explosivas.
- Diluir y extraer los gases tóxicos y polvo en suspensión.
- Reducir la temperatura.

#### 1.3 Tipos de ventilación

**1.3.1 Ventilación aspirante:** En ella se emplea la conducción del aire como aspirante extrayendo polvo y gases. El aire entra por la boca del túnel y atraviesa toda la sección hasta llegar al frente de avance, mezclándose así con los distintos contaminantes que puedan existir. Un ventilador acoplado a la tubería hace que el aire del frente ingrese por un extremo y sea expulsado por el otro extremo al exterior del túnel (Piqueras, 2012).

**1.3.2 Ventilación soplante:** En ella, se alimenta el frente de ataque con aire a través de una tubería de impulsión, saliendo el aire contaminado a través de la galería que se está perforando (Piqueras, 2012).

**1.3.3 Ventilación mixta:** Es una combinación de las anteriores; cuando se produce la voladura, se adopta la disposición aspirante y una vez extraída la mayor parte de los gases, se cambia a soplante (Piqueras, 2012).

## **1.4 Mangas de ventilación**

Las mangas de ventilación son ductos fabricados para evacuar aire, gases y polvo en las diferentes labores mineras. Así como también es utilizado para inyectar aire (presión positiva). Por su estructura reforzada con aros de metal o sintéticos a lo largo de la manga, garantiza ser un sistema resistente y liviano (Bresdel, 2016).

## **1.5 Tipos de mangas de ventilación**

### **1.5.1 Deltavent DVS**

Manga de ventilación fabricada especialmente para la extracción de aire con contenidos de polvo y gases nocivos producidos por labores propias de la minería, construcción de túneles, obras civiles y son muy resistentes a los desgarros (Cidelsa, 2015).

### **1.5.2 Deltavent DVI**

Manga de ventilación fabricada especialmente para insuflar aire en túneles y galerías en grandes volúmenes. Soportan fuertes presiones efectivas de trabajo, siendo su estructura y material resistente al desgarro por laboreo y manipulación (Cidelsa, 2015).

## **1.6 Tipos de ventiladores**

Los ventiladores son los equipos necesarios para el movimiento del aire, tanto en la ventilación principal como en la secundaria. Por lo general los ventiladores principales se encuentran ubicados en el exterior de la mina, en la superficie (Palau, 2019).

Los tipos de ventiladores utilizados son:

- Axiales o de hélice
- Radiales o centrífugos

### **1.6.1 Ventilador axial**

Un ventilador es axial cuando el aire (o gas) entra y sale del ventilador siguiendo una trayectoria paralela al eje de la hélice. En los ventiladores axiales el aire es impulsado por una hélice dotada de un número variable de álabes o palas que están ancladas en un núcleo o cubo que es el elemento que transmite la energía del eje a los álabes (Palau, 2019).

## 1.6.2 Ventiladores radiales

Un ventilador radial es un dispositivo que se compone de un impulsor alimentado por un motor eléctrico. El giro del impulsor hace que el aire se ponga en movimiento, y el aire se aspira desde el lado de entrada del ventilador y se expulsa por el lado de salida del ventilador. En un ventilador radial, la toma de entrada está ubicada de forma perpendicular (90°) a la salida (Grundfos, 2011).

## 1.7 Perforadoras

Las perforadoras roto percutivas son muy utilizadas por su aplicación en los diferentes tipos de roca, el martillo este situado tanto al inicio como al final de la cabeza. Este procedimiento se basa en el impacto de una parte de acero producido por el pistón. En este procedimiento se transmite la energía a la roca a través de una broca o bit (Atlas Copco, 2015).

### 1.7.1 Características técnicas de la perforadora rotopercutiva

Las especificaciones técnicas de la perforadora se obtuvieron del manual del fabricante. (Atlas Copco, 2015), el caudal de consumo de esta perforadora se expresa en CFM que es igual a (1ft<sup>3</sup>/min).

El consumo de aire esta especificado en la siguiente ficha técnica.

Tabla 1.1 Ficha técnica de perforadora manual YT27

Ficha Técnica		Embolo y Lubricador	
Peso	27 kg	Frecuencia de Impacto	37 ~ 40 Hz
Largo x Ancho x Alto	668x248x202 mm	Energía Impacto	50 ~ 70 J
Consumo de aire	50 ~ 85 L/s	Presión de Trabajo	0.4 ~ 0.63 MPa
Ø Manguera de aire	25 mm	Presión hidraulica	0.3 MPa
Ø Manguera de agua	13 mm	Torque	13 ~ 19 Nm
Ø de cilindro	80 mm	Ø apropiado de orificio	34 ~ 45 mm
Carrera de Piston	60 mm	Profundidad de Perforación	5 Mts
Velocidad Perforación	300 ~ 480 mm/min	Vastago	H22x108 mm

Fuente: (Atlas Copco, 2015)

El consumo de aire de esta perforadora es de 176 CFM

### 1.7.2 Caudal de aire por trabajadores.

El caudal de aire necesario para trabajadores viene dado por:

$$Q_{ob} = 3n; \left(\frac{m^3}{min}\right) \quad (1)$$

Donde:

$Q_{ob}$  = Caudal de aire por trabajadores ( $m^3/min$ )

$n$  = Número de trabajadores

El caudal necesario de 3 metros cúbicos por persona en interior mina es de  $3m^3$ , está establecido en la legislación minera vigente (Fiscalización, 2018).

### 1.7.3 Caudal de aire por consumo de sustancia explosiva.

En las minas subterráneas metálicas se hace el cálculo en relación a una fórmula empírica, esta se da por dos valores: La formación de sustancias tóxicas que es de  $0,04 m^3$ , por la detonación de un kilogramo de explosivo y el transcurso del tiempo de ventilación es no mayor a cuarenta minutos; Estos gases tóxicos no deben superar una concentración mayor a  $0,008\%$  en volumen según la Normativa Chilena; esta ecuación esta propuesta como:

$$Q_{se} = \frac{100 a A}{0.008 t} ; \left(\frac{m^3}{min}\right) \quad (2)$$

Donde:

$Q_{se}$  = Caudal de aire por consumo de sustancia detonada ( $m^3/min$ )

100 = Relación de porcentaje (%)

$a$  = Relación de gases tóxicos por explosión de 1kg SE ( $m^3/kg$ )

$A$  = Cantidad de explosivo por voladura (kg)

0.008 = Concentración de tóxicos permitidos (%)

$t$  = Tiempo que demora en ventilarse (min)

## 1.8 Compresores

Son equipos contruidos para aumentar la presión del aire y poder así desplazar gases, vapores y fluidos llamados comprensibles, por lo general se habla de compresores cuando se trabaja a presiones superiores de 3 bar. Existen varios tipos de compresores de desplazamiento positivo los cuales son:

### 1.8.1 Compresor de pistón

En este tipo de compresores, el aire es aspirado hacia el interior de un cilindro. Esto se da por un pistón accionado por un cigüeñal y una biela. Un movimiento contrario comprime el aire en el interior del cilindro pasando a la siguiente etapa una vez que se alcanza la presión necesaria (Tuthill, 2010).

En la imagen, se puede observar como el cilindro de la derecha realiza un movimiento descendente el cual aspira el aire del exterior, mientras que el otro cilindro lo está comprimiendo.

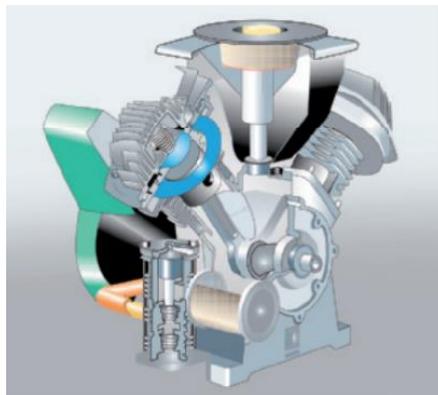


Figura 1.1 Compresor de pistón

Fuente: (Atlas Copco, 2015)

### 1.8.2 Compresor de tornillo

La tecnología de estos compresores se basa en el traslado del aire, a través de cámaras donde se crea un giro simultáneo y en sentido contrario, observando dos tornillos uno macho y el otro hembra. Los espacios que se crean entre estos son llenados por aire, aumentando la presión por la reducción de volumen al cerrarse.

Este tipo de compresores se fabrican con dos maneras: De tornillo encentó y compresores de tornillo lubricado. La principal diferencia de estos es el tipo de sistema de lubricación

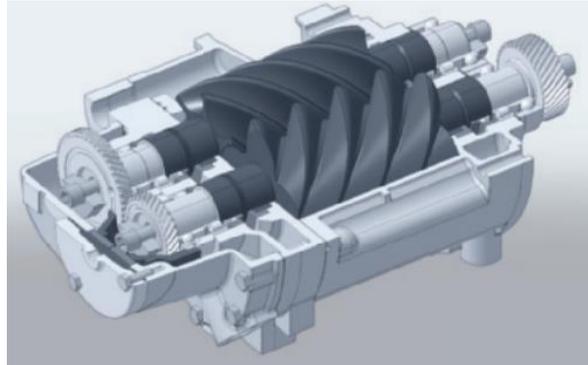


Figura 1.2 Compresor de tornillo

Fuente: (Atlas Copco, 2015)

### 1.8.3 Compresor de paletas

El Sistema de este compresor es de desplazamiento positivo, estos equipos ocupan un rotor de paletas flotantes en el interior de una caja de forma excéntrica proporcional al tamaño de la misma (Atlas Copco, 2015).

Al estar situado el rotor y paletas al centro de una carcasa, se aumenta de tamaño en la zona de aspiración, llegando a provocar una depresión en la entrada del aire siendo desplazada con el giro del rotor, la cámara se reduce hacia la zona de expulsión, comprimiendo el aire hacia su interior.

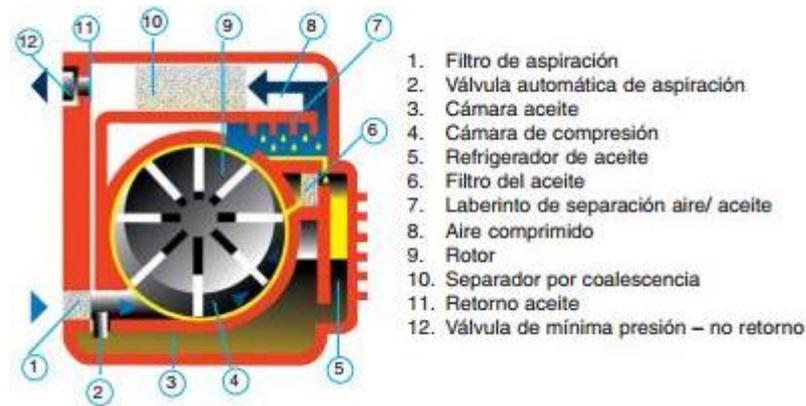


Figura 1.3 Compresor de paletas

Fuente: (Atlas Copco, 2015)

### 1.8.4 Compresor de lóbulos

Este compresor de desplazamiento positivo, utiliza unos rotores de lóbulos, para poder apreciar con mayor facilidad su funcionamiento.

Este funcionamiento está basado en el movimiento de dos rotores de lóbulos. Como se puede observar en la figura 1.4, estos giran de forma coordinada y en un sentido contrario, formado así unas cavidades donde entra aire, siendo la principal función de los lóbulos el desplazamiento del aire, consiguiendo así aumentar la presión en relación a la contrapresión con la que se genera a la salida del equipo.

Esta contrapresión se da generalmente por las pérdidas de fricción entre sí y las necesidades con las que este trabaja. Estos son usados principalmente como soplantes, es decir tienen un sistema de baja presión (Atlas Copco, 2015).



Figura 1.4 Compresor de lóbulos

Fuente: (Tuthill, 2010)

### 1.8.5 Compresor scroll

Esta es otra tecnología dentro del grupo de compresores de desplazamiento positivo no son muy conocidos, porque su aplicación está exenta en presencia de aceite.

Este se encuentra formado por dos rotores con forma espiral, uno se encuentra de forma fija y el otro de forma móvil. Están montados con un desfase de 180 grados, lo que permite que se genere cámaras de aire cada vez más pequeñas (Tuthill, 2010).

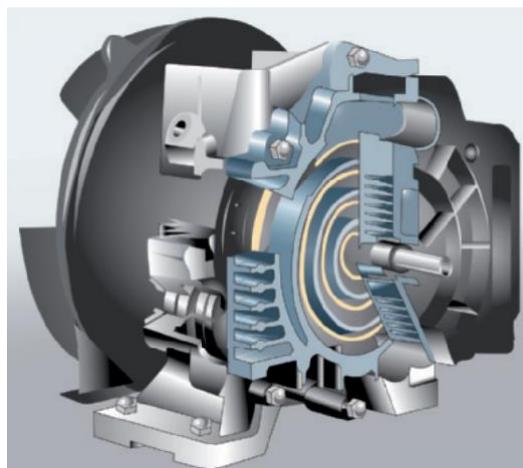


Figura 1.5 Compresor scroll

Fuente: (Atlas Copco, 2015)

### 1.8.6 Compresor de bombas de vacío

Estos también son equipos de desplazamiento positivo, muchos de estos diseños son utilizados como compresores o también como bombas, además este tipo de bombas se pueden desarrollar de tornillo, paletas o lóbulos.

El funcionamiento de todos estos compresores de bombas de vacío es similar, debido a una característica singular, están diseñados para aspirar el interior de una red y no para comprimir el aire que aspiran desde afuera.

Entre todos estos diseños de bombas de vacío se destaca el anillo líquido el que cuenta con un rotor de paletas que se instala en el interior de la carcasa, dentro de la misma se encuentra un líquido que por lo general es agua y cuando esta gira, hace que la fuerza centrífuga ejercida por el fluido se pegue con mayor facilidad a las paredes, este funcionamiento es muy similar al de un compresor de paletas (Tuthill, 2010).



Figura 1.6 Compresor de bomba de vacío

Fuente: (Atlas Copco, 2015)

### 1.9 Transmisión por correas

Uno de los sistemas más utilizados para transmisión, es la transmisión por correas, el cual está compuesto por un conjunto de poleas y un número determinado de correas, que se define en los diferentes cálculos de diseño.

Este mecanismo aparte de contar con muy poco mantenimiento, es muy fácil su instalación, y además de esto sus componentes (poleas y correas) son muy económicas, con respecto a otros sistemas de transmisión de trabajo (Jaume, 2008).

### 1.9.1 Ventajas de la transmisión por correa

- Este sistema es muy confiable y muy pocas veces falla.
- El mecanismo tiene la capacidad de absorber choques o golpes, durante el funcionamiento del sistema, producto del esfuerzo inicial de las poleas.
- No es necesario la lubricación del sistema, dado que este sistema se basa en el rozamiento de las poleas y la correa.
- El sistema es económico en relación a otros sistemas de transmisión
- Permiten alcanzar velocidades muy elevadas en comparación al sistema por cadenas.
- Su funcionamiento es muy silencioso, en comparación al sistema de engranajes y cadenas. (Jaume, 2008)

## 1.10 Tipos de correas

### 1.10.1 Correa plana

Son altamente utilizadas para poder transmitir la fuerza, indispensables para poleas pequeñas, dado que las correas son muy elásticas y se adaptan perfectamente a la forma de estas.

También son muy fáciles de aplicar para el cambio de sentido de ejes o de emplear algún cambio en ejes cruzados (Alcides, 2010).



Figura 1.7 Correa plana

Fuente: (Jaume, 2008)

### 1.10.2 Correas en v

Son generalmente utilizadas en la industria, dado que su diseño tiene la capacidad de eliminar la inestabilidad que se produce en las correas planas, estas correas tienen forma de V, ya que su objetivo principal es transmitir potencia de una forma más segura.



Figura 1.8 Correa en v  
Fuente (Jaume, 2008)

### 1.10.3 Correas dentadas

Este es un tipo de correa especial, la cual está conformada por dientes en su cara posterior, genera la transmisión de energía por medio de empuje ya que estas poleas poseen dientes. Este tipo de correas son efectivas para evitar el desplazamiento entre la correa y la polea. Sin embargo, si existiera choques o vibraciones, esto afectaría el acople con los dientes ya que se moverían y perderían su empuje

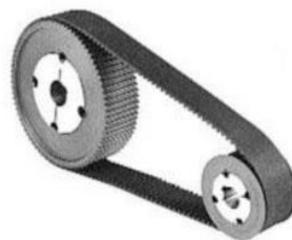


Figura 1.9 Correa dentada  
Fuente: (Alcides, 2010)

## 1.11 Tipos de transmisión por correas

### 1.11.1 Transmisión por correa abierta

Este tipo de transmisión es la más común ya que se emplea en poleas paralelas, si el giro de estos está en el mismo sentido

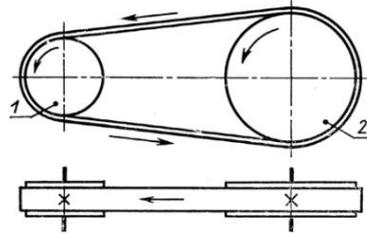


Figura 1.10 Correa abierta

Fuente: (Alcides, 2010)

### 1.11.2 Transmisión por correa cruzada

Esta transmisión al igual que la anterior se da con poleas paralelas, pero solo si se el sentido de estos es opuesto, se debe tener cuidado que las correas en la intersección no se rosen, ya que se llega a producir un fuerte desgaste por la fricción (Alcides, 2010).

Para evitar esto se recomienda tener una distancia de 30 a 35 veces su ancho.

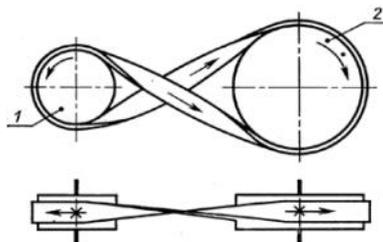


Figura 1.11 Correa cruzada

Fuente: (Alcides, 2010)

### 1.11.3 Transmisión por correa semicruzada

Se emplea normalmente en poleas que se cruzan, usando generalmente correas planas. Es recomendado que la distancia en sus centros sea 4 veces la suma del diámetro de la

polea matriz. En el caso de que los ejes se crucen con ángulos diferentes, dará lugar a cálculos muy complejos (Jaume, 2008).

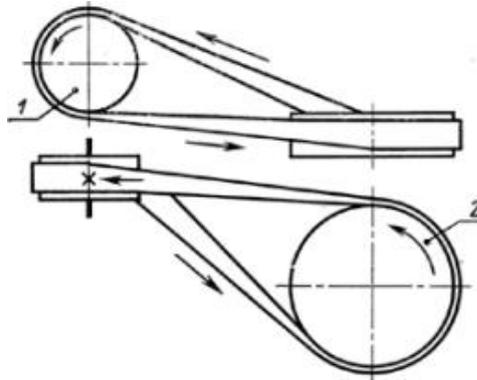


Figura 1.12 Correa semicruzada

Fuente: (Alcides, 2010)

### 1.12 Sistema de drenaje

En el plano operativo de una explotación, el objetivo primordial es conseguir que las aguas que no entren en contacto con la mina, de no ser así, se trata que el agua superficial como subterránea estén presentes sean en las menores cantidades posibles, así como el contacto con el material extraído de la mina sea lo más controlado posible el previsible (J.Gamez, 2002).

El estudio de los problemas del desagüe de agua mina tiene dos aspectos. El primero es mantener óptimas condiciones de trabajo tanto con el material explotado como con el material depositado en el exterior de la mina, por lo que es muy necesario el transporte del agua por medio de bombas. El segundo aspecto es la dificultad de operación.

### 1.13 Drenaje con bombas

Las aguas que se localizan a un nivel inferior a los drenajes, se recogen en depósitos por gravedad, para luego ser extraídos por medio de bombas. Los puntos de drenaje se distribuyen en lugares estratégicos y las cámaras de bombas se localizan próximas a los pozos. Las bombas auxiliares se ubican en canales que trasladan las aguas a los depósitos colectores, para ello, utilizan canales y tuberías. En minas con mayor profundidad las aguas se bombean por etapas que van de 150 a 600 metros incluso a

900 metros. Grandes alturas de impulsión representan mayores presiones que obligan a emplear bombas (Alcides, 2010).

### **1.14 Métodos de drenaje subterráneo**

Los sistemas de desagüe subterráneo, se desarrollan cuando las aguas de escorrentía superficial, así como las aguas subterráneas, no pueden ser controladas, siendo necesario dirigir estas aguas fuera de la explotación minera (Herrera, 2007).

#### **1.14.1 Sistema de zanjas**

Son excavaciones lineales que llegan al nivel saturado. El agua puede ser evacuada por gravedad, si el terreno tiene suficiente pendiente (Otero, 2006) si no, se realiza por bombeo en la propia zanja o en un pozo colector. Para drenar terrenos con nivel freático somero, puede ser interesante este método ya que está asociado a acuíferos de permeabilidad media-baja (Herrera, 2007).

#### **1.14.2 Cunetas en minería subterránea**

Cuando el nivel del agua es poco profundo y los materiales no se encuentran consolidados o meteorizados, la captación de estas aguas se puede hacer mediante cunetas colectoras que llegan hasta el nivel de saturación de la superficie. Se realizan con ayuda de maquinaria en minería a cielo abierto, mientras que en minería subterránea se realiza con palos y picos hasta una profundidad de 0.5 a 1.5m. Posteriormente se rellenan con gravas dándole al fondo de la cuneta una pequeña inclinación (Herrera, 2007).

También es recomendable instalar una tubería filtrante con orificios, ya que sería un complemento perfecto para el relleno de grava filtrante.

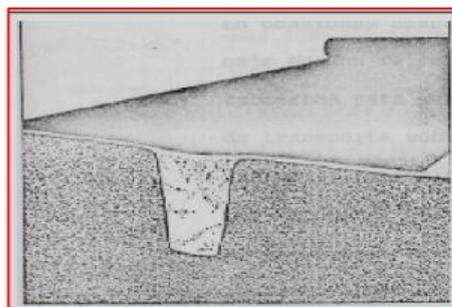


Figura 1.13 Cuneta filtrante

Fuente: (Herrera, 2007)

## 1.15 Bomba de agua

Es la máquina que transforma energía, para remover agua. Este movimiento, normalmente es ascendente. Todas las bombas constan de un orificio de entrada (aspiración) y otro de salida (impulsión). Las bombas pueden recibir la energía de diferentes fuentes (eléctrico, combustible). En la actualidad la mayoría de las minas están equipadas con bombas sumergibles, en donde, tanto el motor eléctrico como la bomba están por debajo del nivel de agua, estos motores son especiales y pueden trabajar sumergidos.

Los principales tipos de bombas de agua en minería son: Estacionarias y Sumergibles. Y por la forma de trabajo se clasifican en bombas reciprocantes, rotativas y centrífugas (Hasa, 2018)

### 1.15.1 Bombas reciprocantes

El funcionamiento de una bomba reciprocante se basa en el llenado y el desalojo sucesivo de receptáculos de un determinado flujo, provocando que el agua entre en la bomba y al quedar encerrada esta es obligada a salir por la tubería de descarga.

Por deducción de este proceso se analiza que el gasto de la bomba es proporcional a la velocidad de giro, siendo independiente a la presión del bombeo (Hasa, 2018). Los pistones de este tipo de bombas se encuentran articulados a un anillo, sujeto a un platillo, el cual debe inclinarse, para que con esto, el anillo gire en conjunto con el sistema de cilindros, realizando un movimiento reciprocante necesario para los émbolos o pistones.

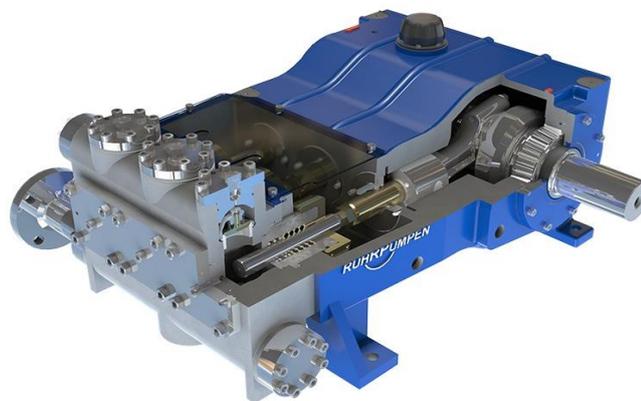


Figura 1.14 Bomba reciprocante

Fuente: (Hasa, 2018)

### 1.15.2 Bombas rotativas

Estas constan de una carcasa fija que consisten en un conjunto de pistones, aspás, tornillos que necesita un consumo de luz mínimo, este tipo de bomba atrapa el líquido y lo empuja en contra de la carcasa en una forma muy similar como lo hace la anterior bomba descrita, la bomba rotativa descarga un flujo continuo hacia las zonas de evacuación (Hasa, 2018).



Figura 1.15 Bomba rotativa

Fuente: (Hasa, 2018)

### 1.15.3 Bombas centrífugas

Este tipo de bombas es una de las más utilizadas para el transporte de fluidos, son rotativas, generalmente se las clasifica así por tener un rodete con pistones fijos, localizados en el interior de una carcasa, sus cálculos son basados en la ecuación de Euler. La bomba centrífuga más común es la Din 24255 que consta de un único impulsor con una capacidad de 500 m<sup>3</sup>/h y una altura hasta los 100m.

Para poder alcanzar una mayor altura se las puede colocar de forma vertical con una mayor cantidad de impulsores, hasta una altura de 1200m (Hasa, 2018).



Figura 1.16 Bomba centrífuga

Fuente: (Hasa, 2018)

### **1.16 Propiedades de los fluidos**

Los fluidos han sido clasificados como newtonianos y no newtonianos. Un fluido newtoniano tiene una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la deformación resultante, mientras que en el no newtoniano existe una relación no lineal, que se da en el esfuerzo cortante aplicado con la deformación angular (Giles, 1991).

Los gases y los líquidos más comunes como el agua son newtonianos, mientras que los hidrocarburos como el petróleo son no newtonianos. Para análisis, por lo general se supone que un fluido es no viscoso, para poder tener un esfuerzo cortante cero, sin importar el movimiento de este.

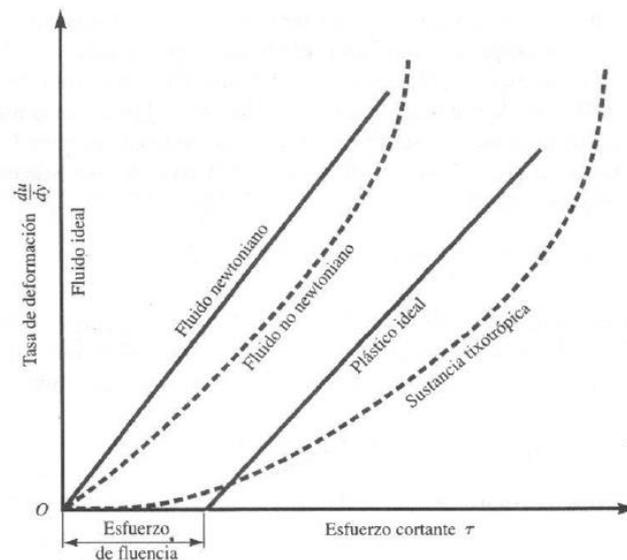


Figura 1.17 Diagrama Reológico

Fuente: Victor L. Streeter, E. Benjamin Wylie (1997).

### 1.17 Viscosidad absoluta

La viscosidad en un fluido es importante para el estudio de los mismos, es aquella propiedad que ofrece resistencia al esfuerzo cortante. La Ley de viscosidad de Newton, dice que, para una deformación angular dada, esta es directamente proporcional a la viscosidad. Por ejemplo, la melaza y la brea son altamente viscosos, mientras que el agua tiene viscosidades muy bajas.

La fórmula de la viscosidad se determina utilizando la ley de Newton con relación a la viscosidad (Giles, 1991).

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \quad (3)$$

$\mu$  = Viscosidad absoluta (N s/m<sup>2</sup>)

$\tau$  = Tensión cortante

$\frac{du}{dy}$  = Diferencial de velocidad, respecto al espesor del fluido

### 1.18 Viscosidad cinemática

A esta viscosidad  $\mu$  también se la conoce como viscosidad absoluta o viscosidad dinámica para no tener malos entendidos con la cinemática ( $v$ ), esta tiene una relación entre densidad de la masa con la viscosidad (Otero, 2006).

Generalmente esta viscosidad es muy utilizada para el cálculo del número de Reynolds.

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (4)$$

$v$  = Viscosidad cinemática ( $m^2/s$ )

$\mu$  = Viscosidad absoluta ( $N s/m^2$ )

$\rho$  = Densidad ( $kg/m^3$ )

### 1.19 Clasificación de los movimientos en flujo de fluidos

#### 1.19.1 Flujo laminar

Se llama flujo laminar al traslado de un fluido, cuando este se mantiene ordenado o estático, generalmente se mueve en líneas paralelas, donde cada partícula del fluido sigue una trayectoria denominada línea de corriente (Giles, 1991).

Estos fluidos tienen la particularidad de presentar bajas velocidades, además en este tipo de flujo se encuentran viscosidades bastantes altas, como son: Miel e hidrocarburos.

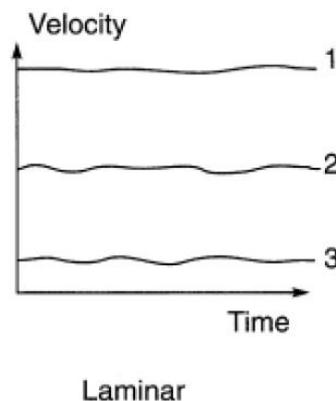


Figura 1.18 Flujo laminar

Fuente: (Giles, 1991)

### 1.19.2 Flujo turbulento

Este flujo se da cuando se desplaza en trayectorias irregulares, que causan turbulencia en el fluido generando colisiones, produciendo una gran cantidad de movimiento (Otero, 2006). Este tipo de fluido genera esfuerzos de cizalla importantes y causa pérdidas de energía en todo el flujo.

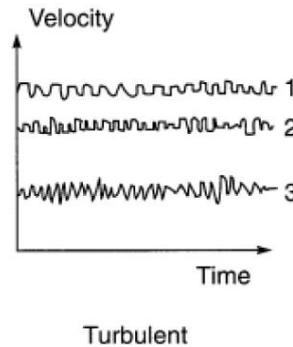


Figura 1.19 Flujo turbulento

Fuente: (Giles, 1991)

### 1.19.3 Flujo permanente

El flujo permanente tiene lugar cuando, distintas velocidades de diferentes partículas del fluido en diferentes tiempos son iguales como cuando empezaron. Por lo tanto, la velocidad viene hacer constante, igual que la presión, masa volumétrica y temperatura (Otero, 2006).

$$\frac{\delta v}{\delta t} = 0, \frac{\delta p}{\delta t} = 0, \frac{\delta \rho}{\delta t} = 0, \frac{\delta t}{\delta t} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\delta v}{\delta t} = \text{Constante de velocidad sobre tiempo}$$

$$\frac{\delta p}{\delta t} = \text{Constante de presión sobre tiempo}$$

$$\frac{\delta t}{\delta t} = \text{Constante de tiempo}$$

### 1.19.4 Flujo no permanente

Este tipo de fluido cambia con el tiempo, es decir la presión, temperatura, velocidad y masa volumétrica dependen del tiempo (Giles, 1991).

$$\frac{\delta v}{\delta t} \neq 0, \frac{\delta p}{\delta t} \neq 0, \frac{\delta p}{\delta t} \neq 0, \frac{\delta t}{\delta t} \neq 0 \quad (6)$$

$\frac{\delta v}{\delta t}$  = Constante de velocidad sobre tiempo

$\frac{\delta p}{\delta t}$  = Constante de presión sobre tiempo

$\frac{\delta t}{\delta t}$  = Constante de tiempo

### 1.19.5 Flujo uniforme

Ocurre cuando la velocidad del fluido en todos los puntos dados es idéntica tanto en dirección como en magnitud en un instante dado (Giles, 1991).

### 1.19.6 Flujo no uniforme

Es lo contrario al uniforme ya que se encuentra influenciado por la viscosidad (Giles, 1991).

### 1.19.7 Flujo ideal

Es un flujo carente de fricción es decir es un fluido no viscoso. Cuando un fluido ideal está en reposo, los elementos poseen la misma energía mecánica, a este tipo de fluido se lo denomina como potencial (Giles, 1991).

## 1.20 Número de Reynolds

El número de Reynolds es un numero adimensional, utilizado ampliamente en la mecánica de fluidos, su valor indica si el fluido es laminar o turbulento. Las fuerzas de inercia son determinadas mediante la segunda ley de newton, las cuales son responsables de la aceleración máxima de un fluido, la viscosidad interfiere en el cálculo del mismo (Streeter, 1997).

El número de Reynolds, se aplica para cualquier tipo de fluido, ya sea en conductos circulares o no, siendo determinados por la densidad, velocidad del fluido, viscosidad y las dimensiones de transporte del fluido.

$$Re = \frac{vD\rho}{\mu} = \frac{vD}{\nu} \quad (7)$$

$v$  = Velocidad media en (m/s)

$D$  = Diámetro de la tubería (m)

$\rho$  = Densidad del fluido en ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\mu$  = Viscosidad absoluta ( $\text{N s}/\text{m}^2$ )

$\nu$  = Viscosidad cinemática ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

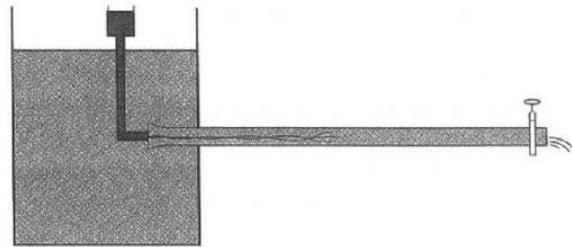


Figura 1.20 Aparato de Reynolds

Fuente: (Streeter, 1997)

Para poder clasificar un flujo laminar de un turbulento, Reynolds con su experimento determinó que los flujos menores a 2000 son flujos laminares, los flujos de transición van de 2000 a 4000 y los flujos turbulentos van de los 4000 en adelante (Streeter, 1997).

### 1.21 Flujo laminar en tuberías y anillos circulares

Para un flujo laminar incompresible permanente en un anillo circular se toma como cuerpo libre una sección infinitesimal, para esto se aplica la ecuación de movimiento en la dirección  $L$ , con una aceleración tendiendo a cero (Giles, 1991).

$$2\pi r \delta r p - \left( 2\pi r \delta r p + 2\pi r \delta r \frac{dp}{dl} \delta l \right) + 2\pi r \delta l \tau - \left[ 2\pi r \delta l \tau + \frac{d}{dr} + (2\pi r \delta l \tau) \delta r \right] + \gamma 2\pi r \delta r \delta l \sin \theta = 0 \quad (8)$$

(Streeter, 1997)

$2\pi r \delta r p$  = Volumen de cuerpo libre

$\frac{dp}{dl}$  = Diferencial de presión sobre longitud

## 1.22 Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad se basa en que la masa que entra sea igual a la que sale. Las condiciones para que esto suceda son: Flujo permanente fluido incompresible máximo al 7 % y por lo tanto su densidad sea constante

$$Q_1 = Q_2 \quad (9)$$

$$Q = V \times A$$

$Q_1 =$  Caudal ( $\text{m}^3/\text{min}$ )

$V =$  Velocidad ( $\text{m}/\text{s}$ )

$A =$  Área ( $\text{m}^2$ )

$$V_1 \times A_1 = V_2 \times A_2 \quad (10)$$

El caudal o gasto tiene que ser igual a la velocidad del fluido por el área transversal del conducto. Combinando las ecuaciones 9 y 10 se obtiene la ecuación

$$Q = V \times A \quad (11)$$

$Q_1 =$  Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$V =$  Velocidad ( $\text{m}/\text{s}$ )

$A =$  Área ( $\text{m}^2$ )

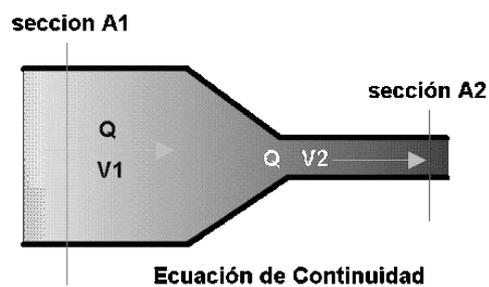


Figura 1.21 Ecuación de continuidad

Fuente: (Giles, 1991)

### 1.23 Ecuación de Bernoulli

El principio de Bernoulli describe el desplazamiento de un fluido a lo largo de una corriente. La energía que posee un fluido se mantendrá a lo largo de su recorrido, además puede derivarse del principio de conservación de energía, obteniendo un flujo constante, que resulta de la suma de todas las formas de energía que se generan a lo largo de una línea dentro del proceso (Giles, 1991).

La integración para una densidad constante da como resultado la ecuación de Bernoulli

$$gz + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho} = \text{constante} \quad (12)$$

$V$  = Velocidad (m/s)

$g$  = Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$p$  = Presión

La constante de Bernoulli varía generalmente de una línea a otra, pero permanece constante a lo largo de una línea de corriente en un flujo permanente, sin fricción ni siendo incomprensible, las cuales se tienen en cuenta para desarrollar la siguiente ecuación.

$$\frac{\text{m} \times \text{N}}{\text{kg}} = \frac{\text{m} \times \text{kg} \times \text{m}/\text{s}^2}{\text{kg}} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad (13)$$

Debido a la relación de que  $1\text{N} = 1\text{kg} \times \text{m}/\text{seg}^2$  se interpreta como energía por unidad de masa (Giles, 1991) Esta ecuación se puede interpretar como energía por unidad de peso, esta fórmula es conveniente para desarrollar problemas líquidos en una superficie libre

$$z + \frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} = \text{constante} \quad (14)$$

$Z$  = Energía potencial por unidad de peso

$\frac{p}{\gamma}$  = Energía de presión por unidad de peso

$\frac{V^2}{2g}$  = Energía cinética por unidad de peso

## CAPÍTULO II

### LEVANTAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

#### 2.1 Datos generales

El Área minera de la concesión Cebral se encuentra formada por 217 hectáreas contiguas, ubicada en la parroquia Huertas, Paccha, Atahualpa, provincia de El Oro, cantón Zaruma. Las coordenadas UTM del punto de partida y los demás vértices, referenciados en DATUM PSAD-56 zona 17, así como las distancias de los lados del polígono que la delimitan son

Tabla 2.1 Coordenadas de la concesión Cebral

PUNTOS	X	Y
PP	651100	9600000
1	651100	9601000
2	652500	9601000
3	652500	9600000
4	653000	9600000
5	653000	9599700
6	651900	9599700
7	651900	9599750
8	651800	9599750
9	651800	9600550
10	651650	9600550
11	651650	9599750
12	651700	9599750
13	651700	9559700
14	650000	9599700
15	650000	9600000

Fuente: (Catastro, 2015)

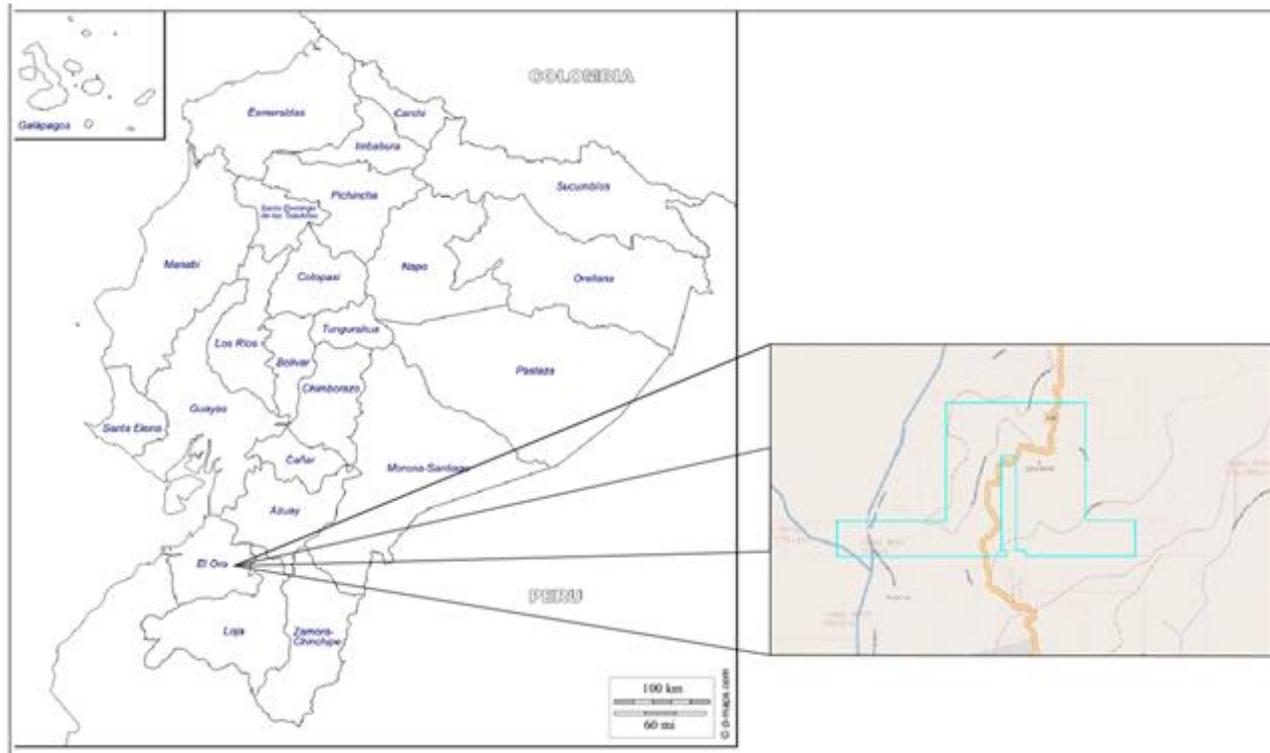


Figura 2.1 Ubicación de la concesión

Fuente: Autor

## 2.2 Ubicación

Para su acceso desde el cantón Zaruma por la vía asfaltada se recorre 5 kilómetros hasta la parroquia Malvas. Posteriormente se recorre 2.5 kilómetros hasta llegar a la parroquia Arcapamba, seguidamente se recorre 3 kilómetros hasta la parroquia de Muluncay Grande, finalmente se recorre 2 kilómetros hacia el sector de Minas nuevas, una vez recorrida esta distancia se llega a una vía de 1 kilómetro y medio que comunica con el frente de explotación.



Figura 2.2 Ubicación Nacional  
Fuente: Google earth pro

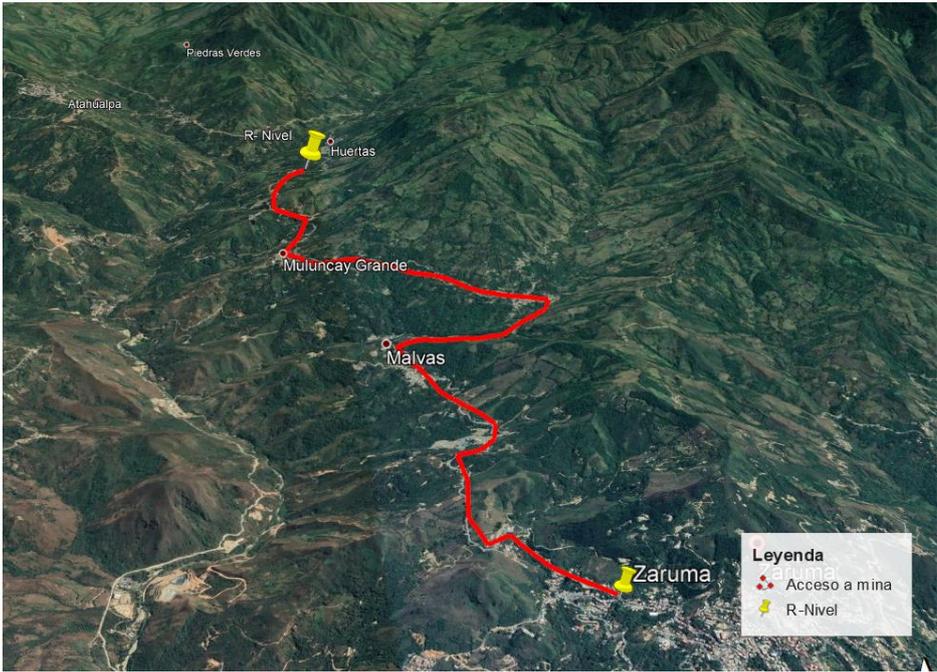


Figura 2.3 Acceso a la mina  
Fuente. Google earth pro

El Total de recorrido desde el cantón de Zaruma hacia la concesión minera “R-Nivel y Cebral” es de 12.5 kilómetros y en aproximadamente 25 minutos se puede llegar hacia el destino. El punto de partida del área a estudiarse se encuentra indicado por las siguientes coordenadas UTM.

Tabla 2.2 Coordenadas del punto de inicio de la concesión Cebral

X	Y
651100	9600000

Fuente: (Catastro, 2015)

### 2.3 Geología regional

El área de estudio se encuentra en la faja de mineralización aurífera polimetálica Zaruma-Portovelo. Según la empresa minera el distrito Zaruma-Portovelo se ha catalogado como subdistrito del distrito de Azuay. La faja de mineralización aurífera polimetálica Zaruma-Portovelo limita al Norte con el campo mineral Molleturo, al Sur con la falla Piñas-Portovelo que toma el nombre de falla Girón, al Oeste limita con la falla geológica Costa. (González, 2015)

La Falla Peltetec representa la creación de los Terrenos Chaucha y Tahuin al Terreno Oceánico Alao durante el Cretácico, la sutura Piñas-Portovelo relaciona la colisión continental durante el Jurásico Cretácico Inferior de los terrenos metamórficos mencionados. En la zona SO de los Andes Ecuatorianos se encuentran unidades pertenecientes al Paleozoico-Triásico, como la Unidad El Toro y las rocas metamórficas del Complejo Metamórfico El Oro en la zona de Chaucha y Tahuin, también se halla la Unidad Chiguinda en Loja; observándose rocas cretácicas representadas por la Unidad Pallatanga y rocas Terciarias de la Unidad Macuchi cubiertas por depósitos volcánicos cuyo origen proviene de la actividad volcánica efusiva y la actividad magmática plutónica terciaria.

Al Sur se tiene al Grupo Geológico AlAMOR representado por las rocas de la Formación Zapotillo-Ciano y su facie piroclástica que está en contacto con las rocas del Complejo Metamórfico El Oro, en esa zona se puede observar las intrusiones de los granitoides El Prado, Guayabo y Zapotillo

Esta afectada por varias zonas de fallamiento predominante con la dinámica transcurrente e inversa la mayoría con deformación dúctil generando altas zonas de cizalla

El distrito Zaruma-Portovelo se localiza en la parte SE de la faja de mineralización aurífera polimetálica, la sección S es la que ha sido mayormente estudiada, esta región está próxima a la falla Piñas-Portovelo

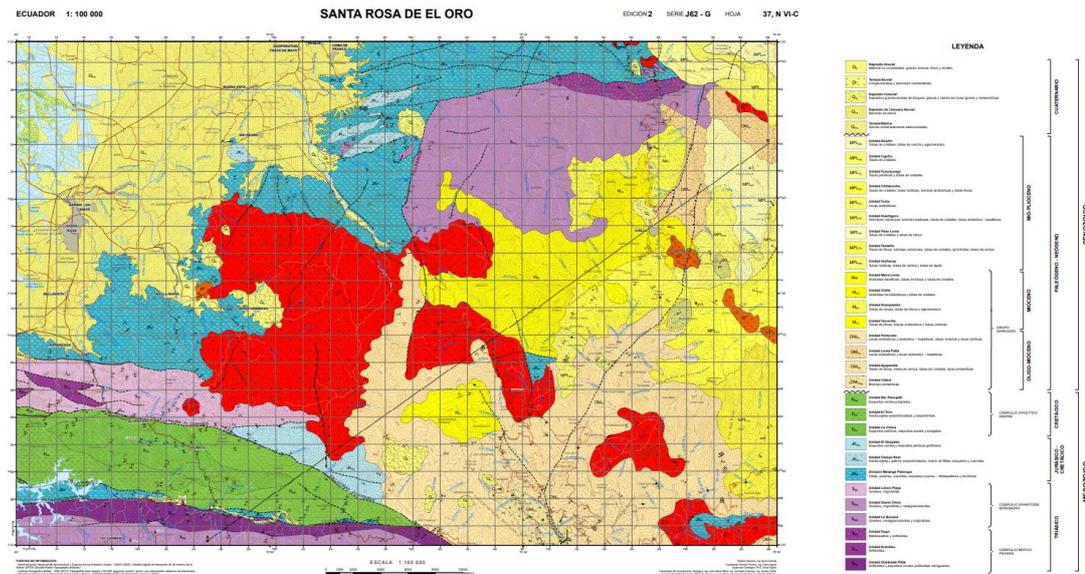


Figura 2.4 Mapa geológico del Ecuador Escala 1:1000000. Hoja geológica Santa Rosa  
Fuente: (INIGEMM, 2017)

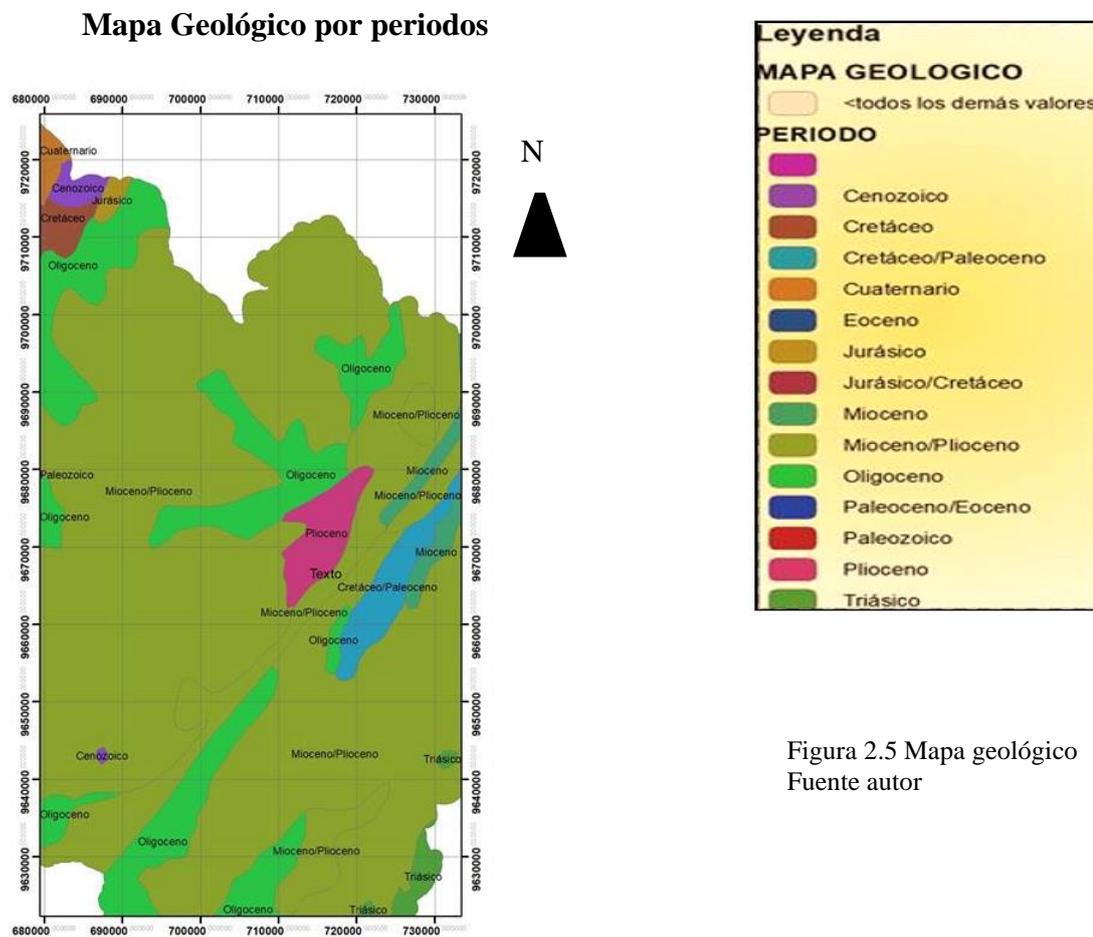


Figura 2.5 Mapa geológico  
Fuente autor

## 2.4 Geología local

Las rocas del Complejo Metamórfico El Oro localmente se encuentran en el extremo sureste del yacimiento, limitando al N con la Falla Piñas – Portovelo. Predominan rocas metasedimentarias incluyendo algunas de muy bajo grado como la cuarcita, diorita (subesquistoso verde), También la presencia de andesita una roca ígnea volcánica de composición intermedia. Toba, rocas del Grupo Saraguro, ocupan la parte oeste del yacimiento, donde están claramente expuestas. El grupo está representado por tobas soldadas de flujo o “fluido de ceniza o ash-flow “de composición riolítica a dacítica como las que se observan al S de Ayapamba, lavas andesíticas, y material volcánico retrabajado

## 2.5 Clima y Vegetación

Por las características geográficas y topográficas de la zona, podemos encontrar microclimas de marcada diferencia con régimen climático temperado y con altitudes entre los 600 y 3771 msnm. El clima de la región corresponde ser subtropical húmedo, en donde se dan dos estaciones bien marcadas: El periodo denominado invierno, que se prolonga desde enero a abril y el período que va desde mayo a diciembre que se caracteriza por ausencia de precipitaciones y se conoce como verano. (Zaruma, 2016)

Tabla 2.3 Indicadores Climáticos Medios.

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
Precipitación total anual	1229 mm
Precipitación media mensual	102 mm
Evaporación media mensual	62 mm
Humedad relativa	84 %
Nubosidad	6/8
Temperatura ambiental media mensual	21.8 °C

Fuente: Plan de Desarrollo Estratégico - Municipio de Zaruma. 2004

## **2.6 Recursos de energía eléctrica**

No se cuenta con un generador de luz, se dispone de energía pública y un transformador que está ubicado en la entrada de la mina. La energía eléctrica se utiliza principalmente para dar funcionamiento a los compresores, donde uno es destinado para la concesión R-Nivel y el otro para la concesión Cebal, además se utiliza la energía eléctrica para todas las funciones y necesidades básicas de la mina.

## **2.7 Análisis del levantamiento planimétrico de las concesiones mineras**

### **2.7.1 Análisis de levantamiento planimétrico en la concesión R-Nivel**

El levantamiento subterráneo se realizó con estación total, para poder tener una información más detallada, se fue tomando medidas cada 50 m en zonas que eran totalmente rectas y en las intersecciones cada 20 m. En lugares de bastante incidencia de entradas se las tomo al detalle para así tener las dimensiones de la mina con mayor exactitud.

La entrada a la boca mina está situada al lado de la bodega, el túnel tiene unas dimensiones generales de 2 m de luz y 1.8 m de ancho, la galería principal tiene una distancia aproximada de 850m. La primera veta se encuentra a 300m la cual se llama Veta X1 con una distancia de 140m, siguiendo con la galería encontramos la Veta x2 la cual se encuentra a 420m. Finalmente tenemos la Veta Cristina Norte en la cual se va hacer el diseño del sistema de desagüe, esta se encuentra a 475m de distancia, esta zona de trabajo tiene 4 niveles por los cuales se desciende utilizando escaleras metálicas con una superficie de descanso cada 15m y los niveles cada 30m

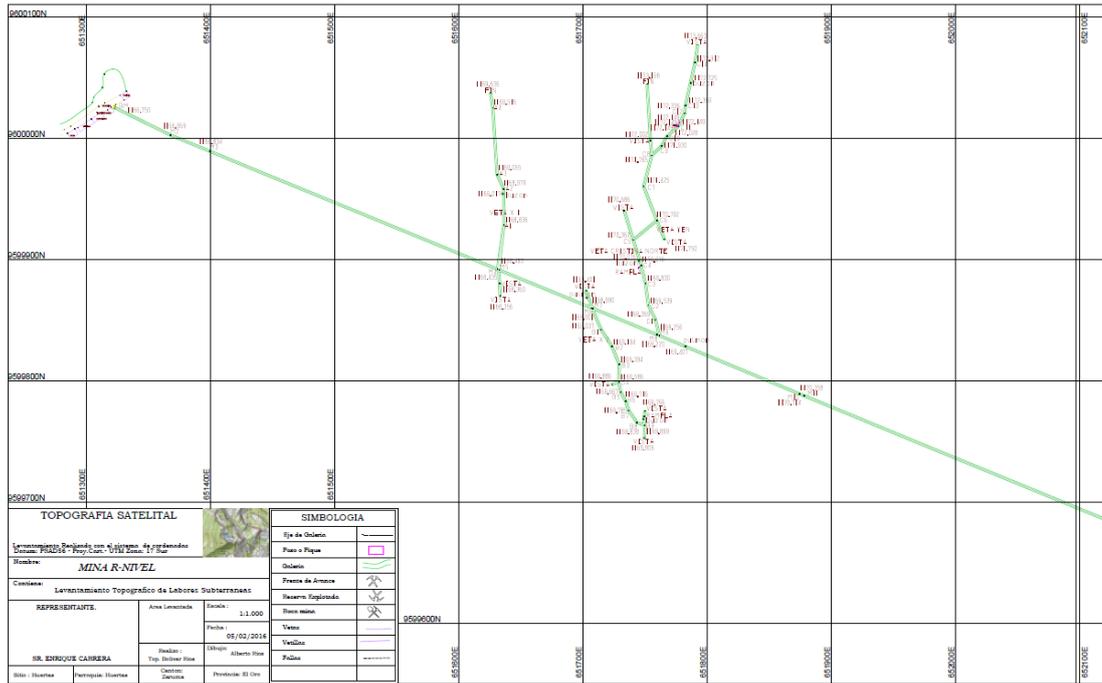


Figura 2.6 Planimetría R-Nivel

Fuente: Autor

### 2.7.2 Análisis de levantamiento planimétrico en la concesión Cebal

La distancia total de la mina R-Nivel y Cebal es de 1690m, la primera se encuentra a 1194m denominada Veta 1 Norte, siguiendo la galería a 1414m se encuentra la Veta 2 Norte que tiene una extensión de 212m con varios frentes de explotación, seguidamente a 1462m está la Veta Pacay con una extensión de 320 metros. Aquí se va a realizar el diseño del sistema de ventilación ya que esta presenta problemas en ventilación y se encuentra muy lejos de la boca mina.

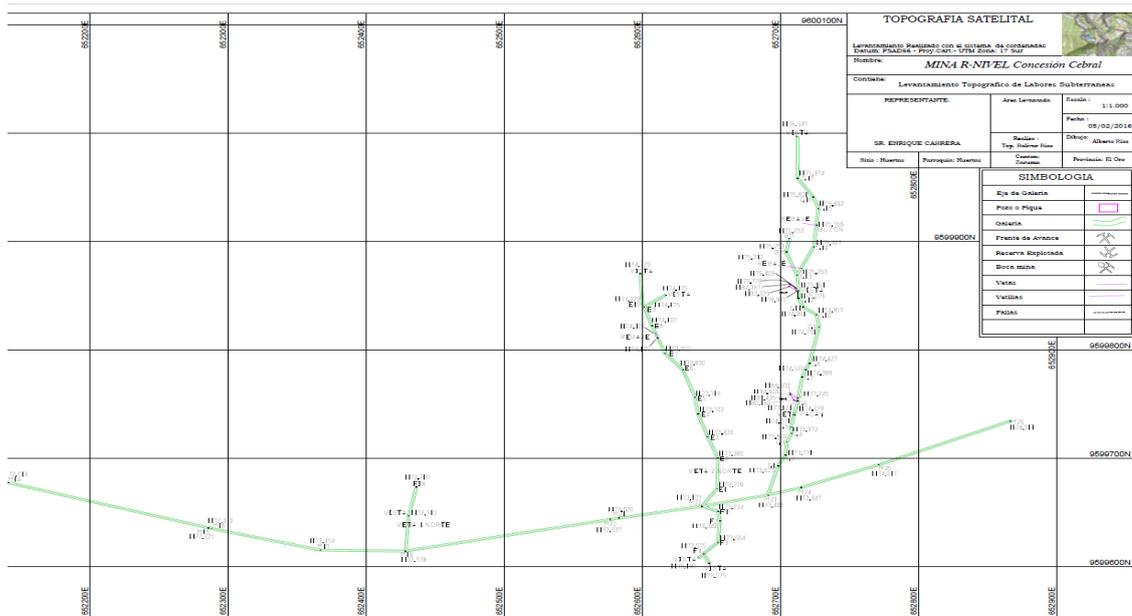


Figura 2.7 Planimetría Cebral

Fuente: Autor

## 2.8 Método de explotación

El método de explotación actual de la mina R-Nivel es de corte y relleno, este es un método que se trabaja horizontalmente, el material estéril arrancado de la perforación y voladura se deja como piso, a lo largo del yacimiento

La extracción del mineral se realiza por bloques, y pilares alternados, para tener una mayor seguridad en la operación minera, estos dos procesos se realizan simultáneamente es decir por una parte se extrae el material mientras que en la otra parte se rellena.

## 2.9 Proceso de perforación y voladura.

El proceso de perforación y voladura se realiza con perforadoras manuales con barrenos que van desde los 0.80m hasta los 1.80m. La malla de perforación posee un promedio de 50 perforaciones con dos barrenos vacíos al centro.

El explosivo utilizado en la voladura es un explosivo boliviano (Riodim Hm al 80%), es muy utilizado por las minas de Portovelo y Zaruma ya que presenta un valor menor de gases tóxicos al momento de la voladura).

## **2.10 Operaciones adicionales**

### **2.10.1 Carga y transporte**

Actualmente en la mina la carga del mineral se realiza con palas hidráulicas. Estas están ubicadas en los frentes de explotación, el transporte se realiza por medio de locomotoras que están equipadas con vagones que van desde 1.5 a 2 ton. Además, se transporta el mineral con winche para depositar en un vagón con una capacidad de 1.5ton.

### **2.10.2 Tratamiento del mineral**

Luego de la extracción del mineral este es depositado en tolvas, donde se clasifica el mineral de interés con respecto al estéril. Esto genera aguas acidas que son recolectadas y transportadas a las piscinas de sedimentación, que están ubicadas a unos 200m de la mina, las cuales están conformadas por un sistema de 3 piscinas de sedimentación. El agua al pasar por cada una va perdiendo sedimentos hasta estar cristalina, y posteriormente depositarla en la quebrada.

## CAPÍTULO III

### SITUACIÓN ACTUAL DE LAS CONCESIONES CEBRAL Y R-NIVEL

#### 3.1 Método de ventilación actual de la mina R-Nivel

La mina R-Nivel actualmente no cuenta con un sistema de ventilación. Este se realiza de forma natural. Con la ubicación geográfica de la mina, la ventilación se obtiene por vientos de montaña, ya que las galerías se encuentran hasta una distancia máxima de 1000 metros. Sin embargo, la concesión Cebtral se encuentra hasta una distancia de 2 a 3.5 kilómetros, presentando problemas de ventilación en las vetas que ahí se encuentran.

#### 3.2 Características de la atmósfera minera

La temperatura de la mina se ha monitoreado durante varios meses, las cuales serán presentadas en siguiente cuadro.

Tabla 3.1 Temperatura exterior de la mina R-Nivel

Hora	Temperatura (°C)
01:00	14
07:00	12
13:00	20
19:00	19

Fuente: Autor

En los puntos de conexión con las galerías se han registrado temperaturas en un promedio de 18.4 °C, y en los sectores más profundos una temperatura de 21 °C.

#### 3.3 Composición de la atmósfera minera.

El aire minero se considera como una mezcla de vapores y gases producto de las actividades en la minería subterránea. Por lo general el oxígeno se encuentra en valores por debajo del 20.5%, llegando a valores mucho más bajos en la concesión minera Cebtral, presentando problemas en la disposición de este. También existe el gas

carbónico con valores de 0.05%, además existen otros gases, polvos mineros en suspensión, por voladuras y vapores nocivos.

### **3.3.1 Oxígeno (O<sub>2</sub>)**

Este es un gas incoloro, inodoro e insípido, tiene un peso específico de 1.11kg/m<sup>3</sup>. El objetivo de la ventilación minera subterránea es mantener la concentración de oxígeno por encima del mínimo admisible del Reglamento de seguridad y salud en el ámbito minero que es de 19,5%, a continuación, se detallan las principales causas por las que disminuye el oxígeno en una mina:

- Mezcla de gases desprendidos de las actividades mineras, principalmente de la voladura, como son el dióxido de carbono, metano, nitrógeno, etc.
- Respiración por el personal minero.
- Oxidación del material minero por presencia del agua y atmósfera.

### **3.3.2 Nitrógeno (N<sub>2</sub>)**

Este es un gas incoloro, sin sabor ni olor. Tiene un peso específico de 0.97 Kg/m<sup>3</sup>. Es inerte, no influye en la respiración humana, pero el aumento de este tiene como resultado la disminución de oxígeno. Su principal fuente se genera en los trabajos de voladura (Piqueras, 2012).

### **3.3.3 Monóxido de carbono (CO)**

Este gas es incoloro, sin sabor ni olor. Tiene un peso específico de 0.96 kg/m<sup>3</sup>. Débilmente se diluye en presencia del agua. Los principales orígenes de su formación son a partir de las voladuras y producto de los incendios mineros, ocasionando mayores concentraciones de este gas en galerías.

El monóxido de carbono es muy venenoso; se considera no dañino a una concentración menor al 0,0016%. Una larga permanencia frente a este y el contacto de una persona en una atmósfera con presencia de esta reacción incluso al 0,01%, produce una intoxicación crónica con terribles consecuencias (Piqueras, 2012).

## **3.4 Equipos utilizados**

Los equipos utilizados en las diferentes labores mineros son los siguientes:

### 3.4.1 Perforadores manuales.

Maquinas utilizadas para realizar labores de perforación, necesarios para la voladura y avance de la mina. Poseen barrenos que van desde el 0.80m hasta los 1.60m. El barreno es sostenido por el ayudante, mientras que el otro lo hace girar un cierto ángulo para realizar el proceso de perforación.

Tabla 3.2 tamaño de barrenos

Descripción	Tamaños
Barrenos	0.80 – 1.60 (m)

Fuente: Autor

### 3.4.2 Winches

Es una maquina utilizada para bajar, empujar o tirar la carga; también es utilizado para bajar y subir personal del interior de la mina; siempre que se tenga en cuenta las exigencias mínimas de seguridad, con capacidades en el vagón de 1.5ton.

Tabla 3.3 Capacidad del vagón

Descripción	Capacidad
Vagón	1.5 ton

Fuente: Autor



Figura 3.1 Winche

Fuente: Autor

### 3.4.3 Locomotora

Principal medio de transporte del material y personal minero, se traslada a través de un sistema de rieles que están ubicados a lo largo de toda la mina, actualmente se dispone de una locomotora con 15 vagones, con una capacidad de 1.5 a 2ton.



Figura 3.2 Locomotora

Fuente: Autor

### 3.4.4 Cargadora hidráulica

Equipo esencial para realizar la carga de material en los vagones para posteriormente, realizar su traslado al exterior de la mina, la capacidad del cucharón es de (0.5 ton), actualmente se cuentan con 3 cargadoras hidráulicas en los frentes de explotación más importantes de la empresa minera.



Figura 3.3 Cargadora hidráulica

Fuente: Autor

### 3.4.5 Compresores

Es una maquina cuya finalidad es aumentar la presión de un fluido. Al contrario de otras máquinas, esta eleva la presión de los fluidos compresibles como es el aire y otros tipos de gases. Actualmente en la mina se cuenta con dos compresores uno para la concesión R-Nivel y el otro para la concesión Cebral con capacidades de 560 y 690 CFM.

### 3.5 Inversión en equipos e instalaciones de ventilación

Actualmente no se tienen equipos de ventilación, pero se tiene dos compresores y 3.5 kilómetros de tubería de 4” que sirven tanto para las perforadoras manuales, cargas hidráulicas.

Tabla 3.4 Inversión en equipos de ventilación

<b>Descripción</b>	<b>Precio</b>
1 compresores (Ingersoll Rand)	\$14000
3500m tubería 4”	\$3000
<b>Total</b>	<b>\$18000</b>

Fuente: Autor

### 3.6 Caudal requerido de aire

La ventilación en la mina está estrechamente relacionada a la explotación en todas las fases mineras. Por lo tanto, para valorar la cantidad del caudal de aire requerido se analizan diferentes factores como: tipo de yacimiento, tipo de explotación que se desarrolla, número de trabajadores que están laborando dentro de la mina, consumo de explosivo para las voladuras, maquinaria a diésel empleada, entre otros.

La principal tarea de los sistemas de ventilación es, brindar la cantidad necesaria de aire limpio para los diferentes trabajos que se realizan, diseminar los diferentes gases tóxicos que se dan en las voladuras, y disminuir la temperatura para una mayor facilidad en el desarrollo de las diferentes actividades.

En las minas de minerales metálicos, la necesidad de aire es máxima (después de cada voladura realizada) y mínima (en el transporte de material tronado en el trabajo anterior, lo mismo para perforación de barrenos e instalación de deferentes servicios). En vista del tipo de mina y sistema de explotación de la mina R-Nivel, se calculará la necesidad de aire según el número de trabajadores, el consumo de explosivo por trabajo realizado, y polvo en suspensión.

### **3.7 Costos de ventilación**

El costo de ventilación inicial sería los compresores y la tubería utilizada para los diferentes equipos mineros, que es de \$18000.

$$\text{Costo total} = \$18000$$

### **3.8 Sistema de desagüe actual de la mina R-Nivel**

Actualmente el sistema de desagüe de la mina R-Nivel no consta de un sistema de canaletas, que son necesarias para una óptima recolección de agua para su próxima extracción con un sistema de bombas, el agua a evacuarse se encuentra en esta concesión, en el segundo y tercer nivel, el agua se almacena por gravedad en un pozo el cual se traslada hacia la superficie con un sistema de bombas

### **3.9 Tipos de bombas utilizadas**

El tipo de bomba utiliza en la mina R-Nivel es de una capacidad de 2” de diámetro



Figura 3.4 Bomba

Fuente: Autor

## CAPÍTULO IV

### DISEÑO PROPUESTO PARA MEJORAR EL SISTEMA DE VENTILACIÓN

#### 4.1 Método de ventilación propuesto

El método de ventilación propuesto busca mejorar el actual sistema de ventilación el cual se va a utilizar la tubería ya existente de 4 pulgadas, además se va a implementar 200 metros de tubería de 1 pulgada la que va a estar conectada a un a caja, en donde la presión del aire provocada por el movimiento del ventilador cóncavo sujeto por chumaceras para impedir el movimiento del ventilador, genera moviendo de un sistema de poleas que permitirá aumentar la fuerza hacia el ventilador principal, con esto se mejorara la cantidad de aire hacia las zonas con menor influencia de este.

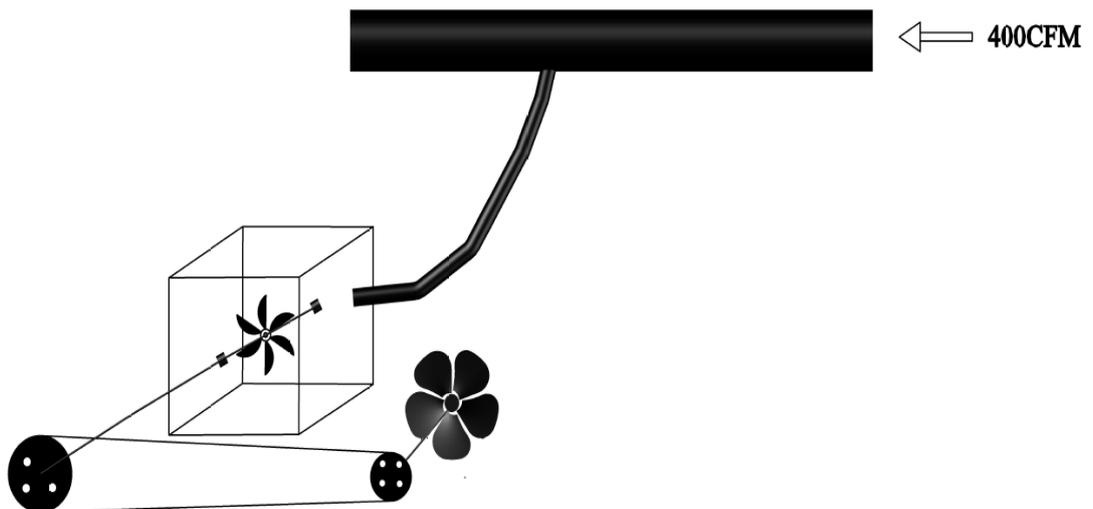


Figura 4.1 Diseño de ventilación

Fuente: Autor

#### 4.2 Circuito de ventilación

Con el método de ventilación propuesto no se necesita un circuito de ventilación ya que se va a utilizar la presión del aire que viene desde la tubería principal del compresor de la concesión Cebraal teniendo una capacidad de 690 CFM y un recorrido

total de 1,430m de distancia desde la bocamina. Se calculará el aire que llega al final de la tubería y se observará la capacidad de este para satisfacer las necesidades de la concesión Cebral.

Gracias a la tesis: “Diseño del sistema de aire comprimido para los frentes de exploración y explotación en la mina O- Nivel Zaruma – El Oro” (Chaca, Pucha). Con la fórmula de cálculo del caudal en base al compresor, se determinó la cantidad de caudal de aire que llegaría hasta el destino propuesto teniendo como resultado 400CFM.

#### 4.2.1 Cálculos para el diseño de ventilación propuesto

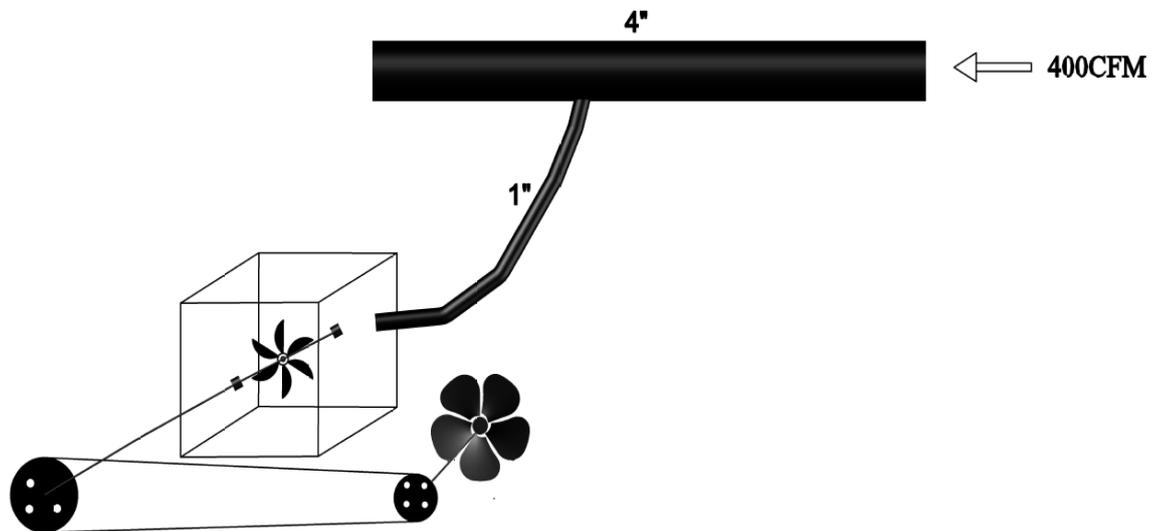


Figura 4.2 Circuito de ventilación

Fuente: Autor

Teniendo 400 CFM de caudal de llegada hasta los 1430 metros, se utilizará una tubería de 4” y una reducción de 4” a 1” para poder llevar de ahí una tubería de una pulgada, con una longitud de 200 m de distancia, luego con este caudal se impulsará hacia una turbina de 30cm de diámetro, la cual estará sujeta con chumaceras para evitar el movimiento de la turbina dentro de la carcasa.

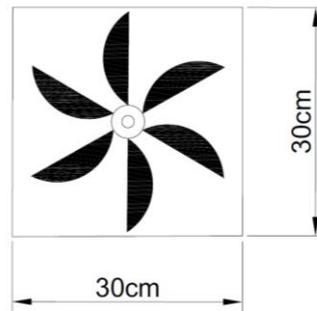


Figura 4.3 Turbina

Fuente: Autor

Para el cálculo del número de revoluciones por minuto de la turbina, según los 400 CFM se realiza lo siguiente.

#### 4.2.2 Volumen de una columna de aire

Viene dada por:

$$V_c = \pi \times (r \text{ de la turbina})^2 \times L_c = 400\text{CFM}$$

$$\pi = 3.1416$$

$r$  = Radio de la turbina (ft)

$L_c$  = Longitud de columna (ft)

$$L_c = \frac{400\text{CFM}}{3.1416 \times 0.5(\text{ft})^2} \quad (15)$$

$$L_c = 509.29\text{ft}$$

Este tipo de turbina por cada revolución o vuelta que se mueve 0.6666ft (20.32cm)

La fórmula viene dada por el cálculo de la Velocidad lineal

#### 4.2.3 Velocidad lineal

$$\text{Movimiento por vuelta} \times \text{rpm} = L_c \quad (16)$$

Tabla 4.1 Datos para determinar las rpm de la turbina

<b>Datos</b>	
Movimiento por rev	0.6666ft
Longitud de columna (Lc)	509.28ft

Fuente: Autor

$$0.6666 \times (\text{rpm}) = 509.29\text{ft}$$

$$\text{Despejando las rpm} = \frac{509.29\text{ft}}{0.6666\text{ft}}$$

$$\text{rpm} = 764.01$$

Dando como resultado que la turbina principal de 30cm de diámetro tenga un caudal de 400CFM girara a **764.01 rpm** (Freedman, 2009).

Ya teniendo el resultado de las revoluciones por minuto, consiguientemente se procede a calcular la relación de transmisión de la polea 1 y la polea 2.

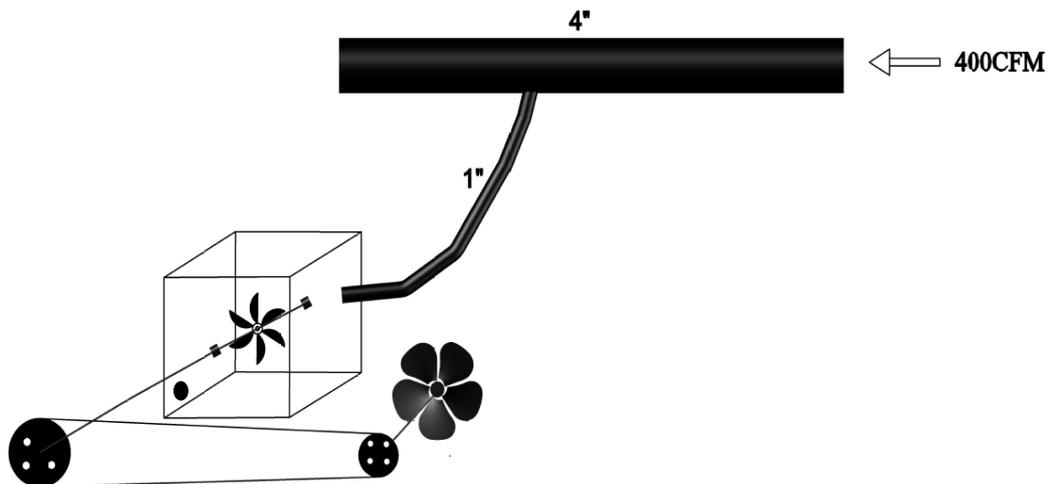


Figura 4.4 Circuito de ventilación

Fuente: Autor

Para evitar que el aire que es introducido por la tubería de 1 pulgada, pueda dañar el sistema se diseñó un pequeño oficio de dos pulgadas, evitando además que se rompa la caja y así poder tener otra fuente de aire que será repartido hacia otras vetas

### 4.3 Relación de transmisión de poleas

$$n1 \times d1 = n2 \times d2 \quad (17)$$

$n1$  = Polea matriz (rpm)

$n2$  = polea conductora (rpm)

$d1$  = diametro de la polea matriz (cm)

$d2$  = diametro de la polea conductora (cm)

Tabla 4.2 Datos para determinar las rpm del ventilador

<b>Datos</b>	
$n1$	764rpm
$n2$	¿rpm?
$d1$	30cm
$d2$	10cm

Fuente: Autor

despejando  $n2$  se obtiene.

$$n2 = \frac{n1 \times d1}{d2}$$

$$n2 = \frac{764.01rpm \times 30cm}{10cm}$$

$$n2 = 2292.03 \text{ rpm}$$

El ventilador dará 2292.03 vueltas en un minuto, el tamaño de este es de 50 cm de diámetro

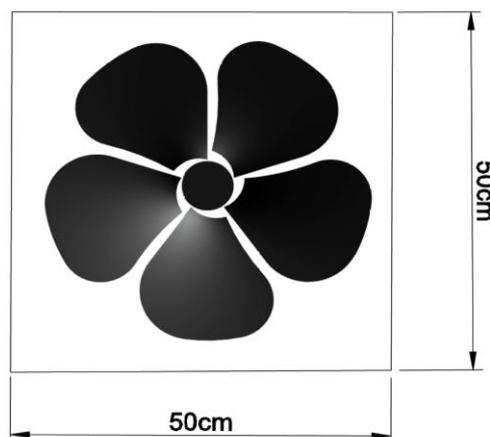


Figura 4.5 Ventilador

Fuente: Autor

### 4.3.1 Polea Matriz

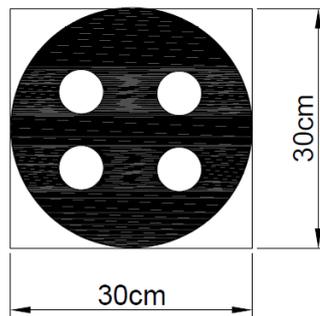


Figura 4.6 Polea Matriz

Fuente: Autor

La polea 1 tiene 30 cm de diámetro, la cual va a proveer la transmisión de energía por medio de la correa.

### 4.3.2 Polea conductora

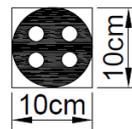


Figura 4.7 Polea conductora

Fuente: Autor

La polea 2 es de 10 cm de diámetro, la cual va a desarrollar la transmisión de la primera mejorando las rpm.

**Cálculos**

**4.3.3 Longitud de correa**

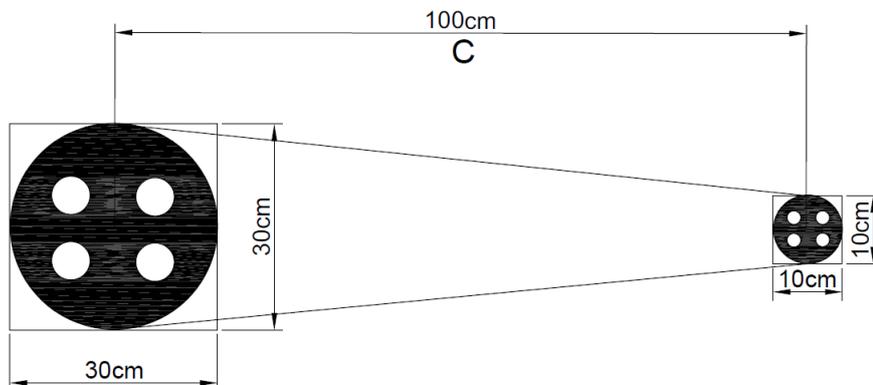


Figura 4.8 Longitud de correa

Fuente: Autor

Para poder determinar la longitud de la correa se utiliza la siguiente formula

$$L = 2C + \frac{\pi}{2}(D1 + d2) + \frac{(D1+D2)^2}{4C} \quad (18)$$

**C** = Longitud de las poleas (cm)

**D1** = Diámetro de la polea matriz (cm)

**D2** = Diámetro de la polea conductora (cm)

Tabla 4.3 Datos para calcular la longitud de la correa

<b>Datos</b>	
Longitud de poleas (C)	100cm
Diámetro polea matriz (D1)	30cm
Diámetro polea conductora (D2)	10cm

Fuente: Autor

$$L = 2 \times 100\text{cm} + \frac{\pi}{2}(30\text{cm} + 10\text{cm}) + \frac{(30\text{cm} + 10\text{cm})^2}{4 \times 100\text{cm}}$$

$$L = 266.83 \text{ cm}$$

#### 4.3.4 Precisión de la distancia entre centros

Teniendo en cuenta que la longitud de las correas también se corrige es necesario calcular la verdadera distancia entre centros de las poleas para poder seleccionar una correa comercial (Jaume, 2008).

$$C = \frac{4L - 2\pi(D1 + D2) + \sqrt{(4L - 2\pi(D1 + D2))^2 - 32(D2 - D1)^2}}{16} \quad (19)$$

C = Longitud de las poleas (cm)

D1 = Diámetro de la polea matriz (cm)

D2 = Diámetro de la polea conductora (cm)

L = Longitud de la correa (cm)

Tabla 4.4 Datos de precisión de distancia entre centros

<b>Datos</b>	
Diámetro (D1)	30cm
Diámetro (D2)	10cm
Longitud de correa (L)	266.83cm

Fuente: Autor

**C**

$$= \frac{4 \times 266.83 \text{ cm} - 2\pi(30 \text{ cm} + 10 \text{ cm}) + \sqrt{(4 \times 266.83 \text{ cm} - 2\pi(30 \text{ cm} + 10 \text{ cm}))^2 - 32(30 \text{ cm} - 10 \text{ cm})^2}}{16}$$

$$C = 101.50 \text{ cm}$$

Obteniendo una verdadera distancia corregida de **101.50cm**

#### 4.3.5 Calculo de longitudes equivalentes por accesorios a implementarse

#### 4.3.6 Válvulas de compuerta

$$K1 = K$$

$$8 \text{ ft} = f\left(\frac{L}{D}\right)$$

$$8 = \frac{L}{D}$$

Para una válvula de 1''

$$L = 8 \times \frac{1.21 \text{ in}}{12 \left(\frac{\text{in}}{\text{ft}}\right)}$$

$$L = 0.806 \text{ ft}$$

### Tees a implementarse

$$K = 20 \text{ ft}$$

$$20 \text{ ft} = f \left( \frac{L}{D} \right)$$

$$20 = \frac{L}{D}$$

Para una tee de 4"

$$L = 20 \times \frac{4.33 \text{ in}}{12 \left(\frac{\text{in}}{\text{ft}}\right)}$$

$$L = 7.21 \text{ ft}$$

### Reducciones

Para una reducción de 4" a 1"

$$L = 0.5 \left( 1 - \frac{1.21^2}{4.33^2} \right) \left( \frac{\frac{1.21 \text{ in}}{12 \left(\frac{\text{in}}{\text{ft}}\right)}}{0.018} \right)$$

$$L = 2.582 \text{ ft}$$

## 4.4 Accesorios de cambio de tubería

Tabla 4.5 Accesorios de tubería

Accesorios	Cantidad
Tee de 4 pulgadas	1
Reducción de 4 a 1	1
Válvula de 1 pulgada	1
Total	3

Fuente: Autor

Tabla 4.6 Longitudes totales corregidas

#	Veta	Descripción	Diámetro (pulg)	L Real (ft)	VC de 1"	TEE de 4"	Reducción 4" a 1"	L Calc. (ft)	LT (ft)	LT Cal. (ft)
1	Cristina Norte	Socavón	4	656.158		1		7.21	663.368	
2	Cristina Norte	Socavón	1	656.158	1			0.806	656.964	
3	Cristina Norte	Socavón	1	656.158			1	2.582	658.74	
4	Cristina Norte									666.756

Fuente: Autor

## 4.5 Parámetros considerados

### 4.5.1 Caudal de aire por Perforadoras

Con la ficha técnica del fabricante se obtuvo que por cada perforadora se consume 176 CFM y una presión de 91.4 psi. pero para obtener un consumo real se debe multiplicar por ciertos factores.

#### Ajuste por altitud

El trabajo normal de la perforadora esta dado en 0 msnm y a una presión de 14psi, para eso se necesita ajustar para la altura real de la mina

#### Ecuación para el consumo por altitud

$$F1 = \frac{Ps}{Pe} = \frac{\text{Presión estandar}}{\text{Presión en función de la altura}} \quad (20)$$

$$F1 = \frac{14.7\text{psi}}{12.9\text{psi}} = 1.139$$

A este resultado se le multiplica por el requerimiento estándar

$$\text{Consumo corregido 1} = 176\text{CFM} \times 1.139 = 200.5 \text{ CFM}$$

#### Ajuste del consumo por fugas

En el transcurso de la tubería, se encuentran perdidas por fugas, por lo general estas pérdidas se dan del 5 al 20% de su consumo.

$$\text{Perdidas en union de manguera y perforadora} = 10\%$$

$$\text{Consumo corregido 2} = 200.5 \times 1.1 = 220.55\text{CFM}$$

$$\text{Perdidad de union de entre dos tuberías} = 10\%$$

$$\text{Consumo corregido 3} = 220.55 \times 1.1 = 242.60 \text{ CFM}$$

#### Corrección por utilización efectiva de la perforadora

Esta corrección se da por el tiempo de trabajo realizado en el día de cada perforadora, para esta labor generalmente se da un factor del 50%, esta se da porque la mayoría de las veces estas máquinas pasan paradas la mitad del tiempo de trabajo.

$$\text{Consumo corregido 4} = 242.60 \times 0.5 = 123.3\text{CFM}$$

### Corrección de consumo por simultaneidad

Este factor está en relación con el número de perforadoras que están en uso. En la concesión Cebral se encuentran 3 perforadoras para ser usadas. Con esta tabla se puede dar el valor de simultaneidad.



Figura 4.9 Abaco del factor de corrección por simultaneidad

Fuente: (Bresdel, 2016)

De acuerdo a la imagen el factor de corrección sería 0.85

$$\text{Consumo corregido 5} = 121.3 \text{ CFM} \times 0.85 = 103.105\text{CFM}$$

### Consumo real

De acuerdo al consumo corregido por 5 partes indispensables se obtuvo

$$\text{Consumo real} = 103.105 \text{ CFM}$$

$$CT = \# \text{ de perforadoras} \times \text{consumo real}$$

$$CT = 3 \times 103.105\text{CFM} = 309.315\text{CFM} = 8.758 \text{ m}^3/\text{min}$$

### Consumo total de las máquinas perforadoras

Tabla 4.7 Consumo total de las máquinas perforadoras

Nivel	Veta	# Perforadoras	Consumo (CFM)
O	Veta 1 Norte	1	103.105
O	Veta 2 Norte	1	103.105
O	Veta Pacay	1	103.105
			309.315

Fuente: Autor

#### 4.5.2 Caudal de aire por trabajadores

Datos:

El número de trabajadores total de la mina R-Nivel es de 80 los cuales trabajan en las dos concesiones y por jornadas de trabajo.

El caudal de aire por persona dentro de mina es de  $3\text{m}^3/\text{min}$

$$Q_{\text{trabajadores}} = \# \text{trabajadores} \times 3\text{m}^3/\text{min} \quad (21)$$

$$Q_{\text{trabajadores}} = 40 \times 3\text{m}^3/\text{min} = 120\text{m}^3/\text{min}$$

#### 4.5.3 Caudal de aire por consumo de explosivos

- La cantidad de carga de explosivo aproximada es de **55 kg** por voladura.
- El tiempo que se demora en ventilar es un aproximado de **40min**
- El valor de **0.04** es valor dado por kilogramo de explosivo utilizado

$$Q_{\text{se}} = \frac{100 \text{ a A}}{0.008 \text{ t}} ; \left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}}\right) \quad (21)$$

$$Q_{\text{se}} = \frac{100 * 0.04 * 40\text{kg}}{0.008 * 40\text{min}} ; \left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}}\right)$$

$$Q_{\text{se}} = 500\text{m}^3/\text{min}$$

#### 4.6 Caudal de aire total

El caudal total del aire empleado en la concesión Cebral se muestra en la siguiente tabla

Tabla 4.8 Caudal total

Descripción	#	Consumo
Máquinas perforadoras	3	8.758m <sup>3</sup> /min
Trabajadores	40	120 m <sup>3</sup> /min
Por consumo de explosivos	1	500 m <sup>3</sup> /min
<b>Total</b>		<b>628 m<sup>3</sup>/min</b>

Fuente: Autor

#### 4.7 Inversión necesaria en equipos e infraestructura

##### Compresor

Compresor Ingersoll Rand con una capacidad de 690 CFM



Figura 4.10 Compresor Ingersoll Rand

Fuente: Autor

##### Tubería de 4 pulgadas

Para el transporte del caudal del aire desde el compresor es necesario una tubería de 4 pulgadas ya que la distancia a recorrer es de 1430 metros.



Figura 4.11 tubería 4 pulgadas

Fuente: Autor

### **Tubería 1 pulgada**

Se propuso una tubería de 1 pulgada por 200 metros para poder satisfacer así el consumo de aire en los diferentes frentes de explotación de la veta Pacay.



Figura 4.12 Tubería 1 pulgada

Fuente: (Plastigama, 2017)

### **Válvula de bola**

Se utiliza el siguiente tipo de válvula para cuando ya no se necesite ventilación solo cerrar la válvula



Figura 4.13 Válvula de bola

Fuente: (Floconx, 2005)

### Reducción de tubería

Para poder realizar el cambio de una tubería de 4 pulgadas a 1 pulgada se utilizó una tee de 4 pulgadas y una reducción de 4 a 1.

**Para el diseño del sistema de ventilación se seleccionaron los siguientes instrumentos**

Tabla 4.9 Instrumentos para el diseño

Descripción	Cantidad
Turbina de 30cm de diámetro	1
Polea de 30cm	1
Polea de 10cm	1
Correa de 266.83 cm	1
Ventilador de 50cm de diámetro	1
Total	5

Fuente: Autor

### 4.8 Mejora en el proceso de ventilación en la mina Cebal

Con los cálculos anteriormente realizados se logró obtener el total de las revoluciones por minuto que realiza el ventilador de 50cm, con un total de **2292.03 rpm**

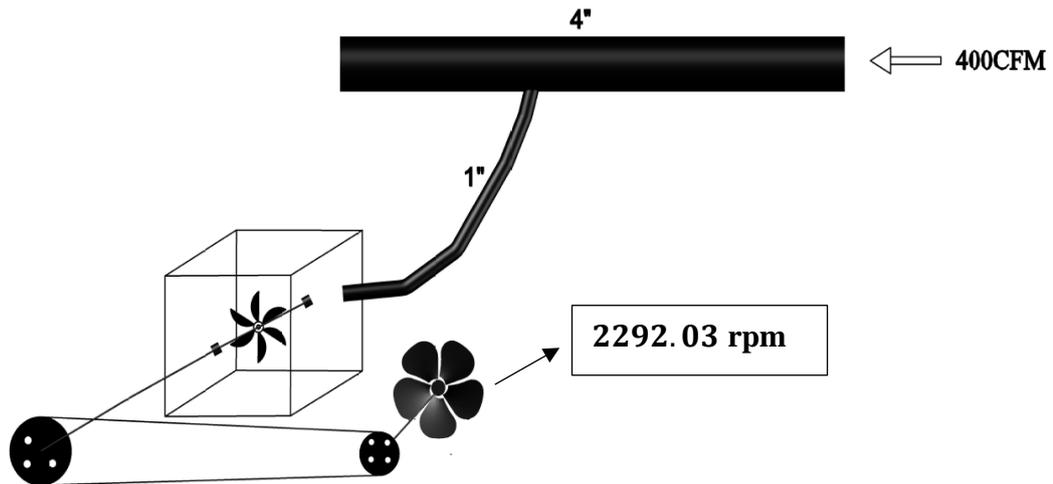


Figura 4.14 Numero de revoluciones en el ventilador

Fuente: Autor

Para calcular el movimiento de aire que este realizara, a la cantidad de rpm se las multiplica por la cantidad de aire que este ventilador mueve con cada revolución que da.

Por cada vuelta que del ventilador de 50cm de diámetro, mueve 13.33 pulgadas (0.3385m) de aire esto multiplicado con las revoluciones por minutos antes calculadas se obtiene.

$$0.3385\text{m} \times 2292.03 = 775.84\text{m}$$

El movimiento del aire es de **775.84m**, con un aumento del **300%** de movimiento del aire conforme a la turbina principal del diseño propuesto.

Esto mejorara en gran cantidad el ambiente de la mina para una mayor facilidad en el trabajo y una más eficiente disipación de gases mina.

#### 4.9 Costos e inversión

Para poder obtener los costos totales de la infraestructura a utilizarse se presenta a continuación el siguiente cuadro, donde se detalla la evaluación económica de los materiales a utilizarse y los costos de instalación de las tuberías.

#### 4.10 Evaluación económica

Tabla 4.10 Materiales a instalar en el diseño propuesto

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio por unidad</b>	<b>Costo</b>
Tubería 4" (m)	1430	Rollo	\$22.4	\$533.79
Tubería 1" (m)	200	Rollo	\$12	\$24
Válvula de bola 1"	1	Unid	\$4	\$4
Tee 4"	1	Unid	\$5.11	\$5.11
Reducción de 4" a 1"	1	Unid	\$3.58	\$3.58
Polea matriz	1	Unid	\$7	\$7
Polea conductora	1	Unid	\$3	\$3
Correa (m)	2.6683	Unid	\$8	\$8
Turbina	1	Unid	\$15	\$15
Ventilador	1	Unid	\$25	\$25
<b>Subtotal</b>				<b>\$628.48</b>

Fuente: Autor

El costo de instalación de la tubería se considera con el 20% de costo.

$$\text{Costo de instalación} = 557.79 \times 20\% = \$111.55$$

## CAPÍTULO V

### DISEÑO PROPUESTO PARA MEJORAR EL SISTEMA DE DESAGUE

#### 5.1 Cálculo de Volúmenes

Para el cálculo del volumen de las aguas subterráneas de la mina R-Nivel se tomó en cuenta las medidas del pozo, el cual tiene una capacidad de  $12\text{m}^3$

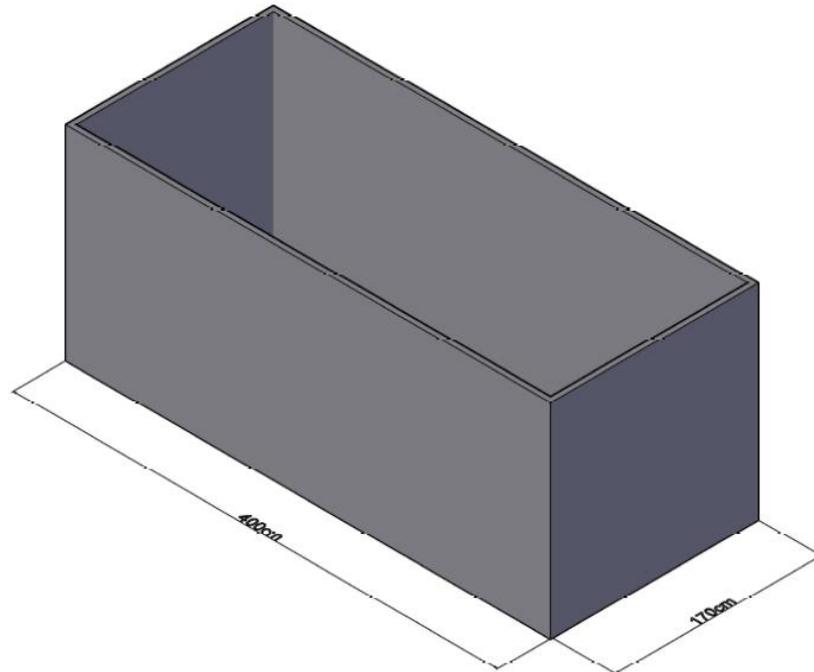


Figura 5.1 Dimensiones del pozo de agua

Fuente: Autor

El cual es alimentado por un sistema de cunetas de 0.5 metros de profundidad rellenas de material filtrante, ubicadas a lo largo de los diferentes niveles

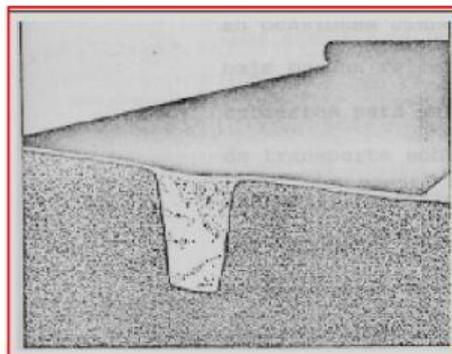


Figura 5.2 Cuneta filtrante

Fuente: (Herrera, 2007)



$$Q = \frac{6\text{m}^3}{30 \text{ min}} = \frac{0.2\text{m}^3}{\text{min}} = \frac{12\text{m}^3}{\text{h}}$$

Para poder sacar el diámetro de la tubería, que será conducida por la bomba se utiliza la siguiente formula.

$$Q = V \times A$$

V= Velocidad recomendada 0.5-2m/s

$$A = \text{Área} \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$Q = V \times \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (23)$$

De esta ecuación se despeja el diámetro de la tubería quedándonos.

$$DH = \sqrt{\frac{4 \times Q}{V \times \pi}}$$

$$DH = \sqrt{\frac{4 \times 3.33 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\frac{1.5 \text{m}}{\text{s}} \times \pi}} = 0.05316 \text{m}$$

$$DH = 53.16 \text{mm}$$

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA TUBERÍA PARA AGUA FRÍA PRESIÓN NTP 399.002: 2015**

Diámetro Exterior		Longitud		Clase 5 SDR 41 72 PSI (5 bar)		Clase 7.5 SDR 27.7 108 Psi (7.5 bar)		Clase 10 SDR 21 145 PSI (10 bar)		Clase 15 SDR 14.3 215 PSI (15 bar)	
Nominal (Pulg)	Real (mm)	Total (metros)	Útil (metros)	Espesor (mm)	Peso (Kg/tubo)	Espesor (mm)	Peso (Kg/tubo)	Espesor (mm)	Peso (Kg x tubo)	Espesor (mm)	Peso (Kg x tubo)
1/2"	21.0	5.00	4.97	-	-	-	-	1.8	0.841	1.8	0.841
3/4"	26.5	5.00	4.96	-	-	-	-	1.8	1.082	1.8	1.082
1"	33.0	5.00	4.96	-	-	-	-	1.8	1.365	2.3	1.717
1 1/4"	42.0	5.00	4.96	-	-	1.8	1.758	2.0	1.943	2.9	2.755
1 1/2"	48.0	5.00	4.96	-	-	1.8	2.020	2.3	2.554	3.3	3.584
2"	60.0	5.00	4.95	1.8	2.544	2.2	3.088	2.9	4.021	4.2	5.692
2 1/2"	73.0	5.00	4.94	1.8	3.111	2.6	4.444	3.5	5.905	5.1	8.407
3"	88.5	5.00	4.93	2.2	4.608	3.2	6.625	4.2	8.593	6.2	12.385
4"	114.0	5.00	4.90	2.8	7.562	4.1	10.944	5.4	14.244	8.0	20.597
6"	168.0	5.00	4.86	4.1	16.326	6.1	23.995	8.0	31.099	11.7	44.432
8"	219.0	5.00	4.82	5.3	27.519	-	-	-	-	-	-
10"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(I) Sello Sedapal para 21mm y 26.5mm según especificación técnica SEDAPAL.

Figura 5.4 Características técnicas para tubería de agua fría

Fuente: (Sedapal, 2011)

Mediante la tabla de características técnicas para tubería de agua fría, da como resultado una tubería de 2 pulgadas.

Una vez teniendo el diámetro de la tubería se puede corregir la velocidad.

$$Q = V \times A$$

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi \times D^2}{4}}$$

$$V = \frac{3.33 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi \times 0.05316 \text{ m}^2}{4}} = \frac{1.5 \text{ m}}{\text{s}}$$

#### 5.4 Cálculo de Reynolds

El número de Reynolds se lo utiliza principalmente para identificar si un fluido es laminar o turbulento (Giles, 1991).

$$Re = \rho \times \frac{V \times DH}{\mu} \quad (24)$$

V = Velocidad (m/s)

DH = Diámetro de la tubería(m)

$\rho$  = Densidad (kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$  = Viscosidad absoluta (N s/m<sup>2</sup>)

$$Re = \frac{992 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \frac{\frac{1.5 \text{ m}}{\text{s}} \times 0.05316 \text{ m}}{1008 \times 10^{-6} \text{ N s/m}^2} = 78474.286$$

Lo cual da como resultado un flujo turbulento

Para poder determinar el factor de fricción, se necesita la rugosidad del material que se la encuentra en la siguiente tabla.

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	$\epsilon$ (mm)	Material	$\epsilon$ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

Figura 5.5 Rugosidad absoluta

Fuente: (Giles, 1991)

Una vez obtenida la rugosidad absoluta de la tabla se calcula la rugosidad relativa

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{\epsilon}{DH} \quad (25)$$

$\epsilon$  = Rugosidad absoluta

DH = Diámetro de la tubería

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{0.0015\text{mm}}{53.16\text{mm}} = 2.822 \times 10^{-5}$$

Una vez obtenido el número de Reynolds y la rugosidad relativa, se pasa al diagrama de Moody para poder obtener el factor de fricción

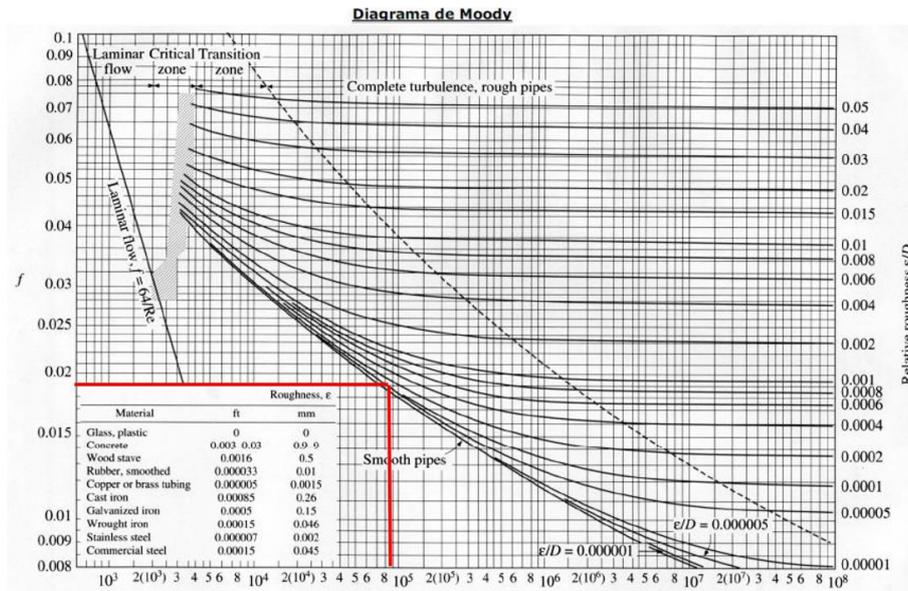


Figura 5.6 Diagrama de Moody

Fuente: (Streeter, 1997)

Una vez ubicado el numero de Reynolds y la rugosidad relativa se calculo el factor de fricción obteniendo un valor de

$$F = 0.019$$

### 5.5 Calculo del TDH de la bomba

#### 5.5.1 Pérdidas primarias

Con el factor de fricción obtenido anteriormente se calcula las pérdidas primarias con la siguiente formula.

$$H_f = \frac{F \times L \times V^2}{2 \times g \times D_H} \quad (26)$$

F = Factor de fricción

L = Longitud total de tubería (m)

V = Velocidad (m/s)

G = Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Dh = Diametro de la tubería

$$H_f = \frac{0.019 \times 80m \times 1.5m/s^2}{2 \times 9.81m/s^2 \times 0.05316m} = 3.27m$$

### 5.5.2 Pérdidas secundarias

$$h_f = \epsilon K \left( \frac{V^2}{2g} \right) \quad (27)$$

K = Factor de accesorios de tubería

V = Velocidad = (m/s)

G = Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Tabla 5.1 Accesorios de tubería

Accesorios	Cantidad	K	Total
Codo de 90	5	0.75	3.75
Valvula de compuerta	1	0.2	0.2
Total			3.95m

Fuente: Autor

$$h_f = 3.95m \left( \frac{1.5m/s^2}{2 \times 9.81m/s^2} \right) = 0.45m$$

Perdidas totales en la tubería

$$H = H_f + h_f = 3.69m$$

### 5.6 Altura total de bomba

H bomba = H geodesica + H perdidas

$$H \text{ bomba} = 80m + 3.69m = 83.69m$$

### 5.7 Potencia de la bomba

$$P_b = \frac{H_b \times \rho \times g \times Q}{n} \quad (28)$$

HB = Altura total de bomba (m)

$\rho$  = Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

G = Gravedad(m/s<sup>2</sup>)

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

n = Eficiencia de la bomba, recomendada del 70%

$$P_b = \frac{83.69 \text{ m} \times \frac{992 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 3.333 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{0.7} = 3874.36 \text{ W}$$

$$P_b = 3.874 \text{ KW}$$

### 5.8 Potencia del motor

$$P_m = \frac{P_b}{n} \quad (29)$$

$P_b$  = Potencia de la bomba

$n$  = Eficiencia de transmisión mecánica, recomendada el 90%

$$P_m = \frac{3.874 \text{ KW}}{0.9} = 4.30 \text{ KW}$$

### 5.9 NPSHD disponible de la bomba

$$NPSH_D = 0.7 \times \frac{(P_s - P_v)}{G.E} - z - h \quad (30)$$

$P_s$  = Presión atmosférica = 14.7 psi

$P_v$  = Presión de vapor de agua = 0.263 psi

G.E = Gravedad específica del agua = 1

$Z$  = Altura de succión = 0.5 m

$H$  = 0.05 m

$$NPSH_D = 0.7 \times \frac{(14.7 \text{ psi} - 0.2563 \text{ psi})}{1} - 0.5 \text{ m} - 0.05 \text{ m}$$

$$NPSH_D = 9.56 \text{ m}$$

Este valor debe ser mayor al NPSHR del fabricante

Con todo lo antes calculado se tiene los siguientes datos para una óptima selección de bomba.

Tabla 5.2 Parámetros técnicos para la selección de bomba

Parámetros	
Q	12m <sup>3</sup> /h
Hb	83.69m
Pm	4.30KW
NPSH <sub>D</sub>	9.56m

Fuente: Autor

Mediante los parametros tecnicos se selecciona la siguiente bomba de acuerdo a su caudal y su altura establecida.

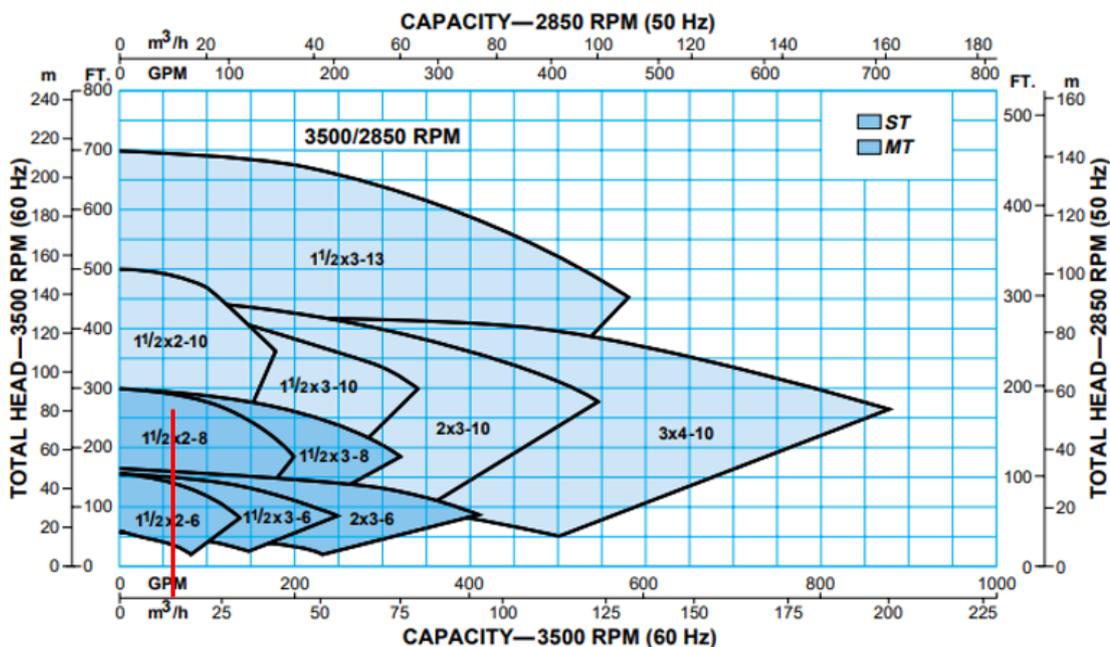


Figura 5.7 Cobertura hidráulica

Fuente: (Pumps, 2001)

La bomba selecciona fue la 1 1/2 x 2-8, la cual cumple con el caudal y la altura necesaria para el desalajo del agua subterranea.

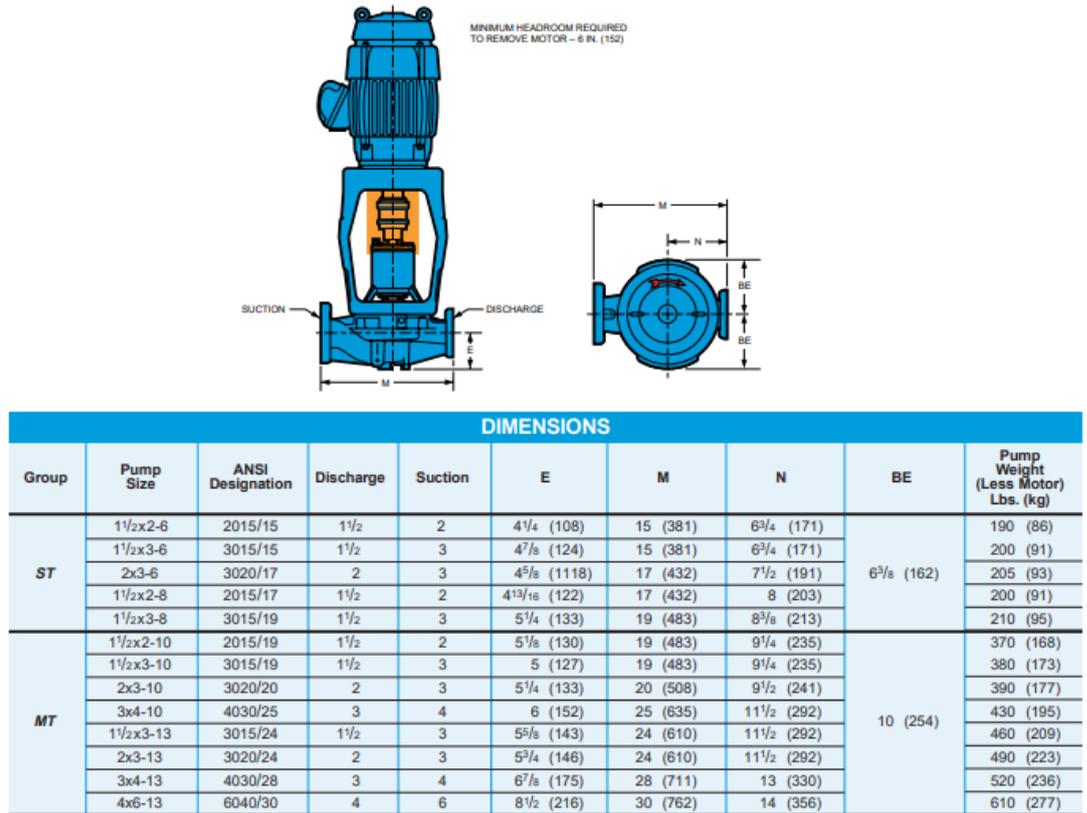


Figura 5.8 Bomba 1½x2-8

Fuente: (Pumps, 2001)

### 5.10 Inversión necesaria en equipos e infraestructura

#### Tubería

Se calculó una tubería de 2" por 83.69m en los tres niveles de la mina R-Nivel



Figura 5.9 Tubería acuaflex de 2"

Fuente: (Plastigama, 2017)

### Codos

Para la instalación de la tubería se necesita 5 codos de 90 grados de 2"



Figura 5.10 Codo de 90 grados

Fuente: (Plastigama, 2017)

### Válvula de compuerta

Para la instalación se necesita 1 válvula de compuerta de 2"



Figura 5.11 Válvula de compuerta

Fuente: (Plastigama, 2017)

### Bomba de agua

Con los cálculos de selección de bomba se seleccionó la siguiente

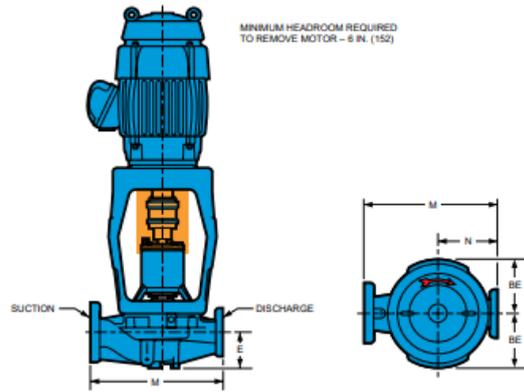


Figura 5.12 Bomba 1 1/2x2-8

Fuente: (Pumps, 2001)

### Pozo

Adecuacion del pozo de agua con una capacidad de 12 m<sup>3</sup>

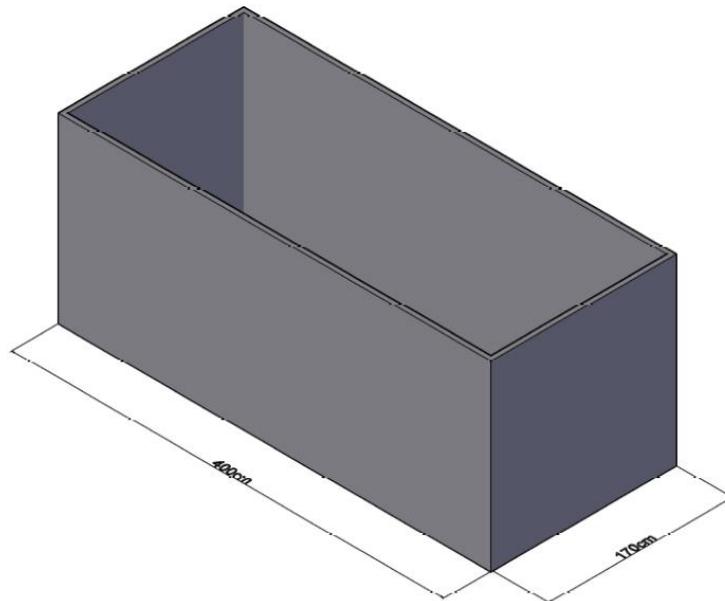


Figura 5.13 Pozo de agua

Fuente: Autor

### 5.11 Mejora en el proceso de desagüe de la mina R-Nivel

Se logró mejorar el sistema de recolección de aguas subterráneas con la adecuación de las cunetas, con una profundidad de 0.5m. Además de una adecuación al pozo de agua con una capacidad de 12m<sup>3</sup>.

Con los cálculos de selección de bomba se corrigió la altura real de tubería necesaria para la extracción de agua siendo de 83.69m. Además, se realizó los cálculos de los diferentes parámetros necesarios para una óptima selección de bomba.

Tabla 5.3 Parámetros técnicos para la selección de bomba

<b>Parámetros</b>	
Q	12m <sup>3</sup> /h
Hb	83.69m
Pm	4.30KW
NPSH <sub>D</sub>	9.56m

Fuente: Autor

### 5.12 Costos e inversión

Para obtener los costos necesarios para la infraestructura a utilizarse se presenta en el siguiente cuadro de evaluación económica de los materiales a utilizarse y los costos de instalación de la tubería.

### 5.13 Evaluación económica

Tabla 5.4 Materiales a instalar en el diseño propuesto

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio por unidad</b>	<b>Costo</b>
Tubería 2" (m)	100	Rollo	\$10	\$10
Codos de 90 grados	5	Unid	\$1	\$5
Válvula de compuerta 2"	1	Unid	\$5	\$5
Bomba de agua	1	Unid	\$150	\$150
Adecuación de pozo	1	Unid	\$100	\$100
Adecuación de cunetas	1	Unid	\$150	\$150
<b>Subtotal</b>				<b>\$420</b>

Fuente: Autor

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- El sistema de ventilación actual de la concesión minera Cebral, presenta inconvenientes en la alimentación de aire necesario, para poder desarrollar las diferentes labores mineras; Ya sea por fugas en la tubería, pérdidas de presión y fricción, caudal insuficiente hacia las labores mineras.
- Para poder mejorar la capacidad de ventilación hacia los frentes de exploración y explotación. Se propuso el diseño de este sistema de ventilación, que tendrá como principal objetivo la disipación de gases, y una correcta alimentación de aire hacia los trabajadores.
- Para el diseño de ventilación se realizaron los cálculos de las dimensiones de: turbina, ventilador, diámetro de la tubería y un estudio del consumo total del aire de los diferentes equipos y personal minero que labora en la mina.
- El diseño de ventilación cuenta con un caudal de inicio de 400 CFM proporcionado por la tubería ya instalada en la mina. Con el sistema propuesto el caudal de aire mueve la primera turbina generando 764.01 rpm. Seguido de esto con un sistema de poleas de 30cm de diámetro correspondiente a la polea principal y de 50cm de la polea secundaria, siendo activadas por el movimiento de la turbina, que logra mejorar la capacidad del ventilador en 2292.03 rpm. Se obtiene como resultado, un movimiento de la columna de aire de 775.84m por parte del ventilador principal, siendo de vital importancia para futuros labores de exploración y explotación.
- El sistema de desagüe actual presenta algunas fallas en la recolección de aguas subterráneas. Por lo cual se implementó una mejora en las cunetas con una membrana filtrante de 0.5m y un tanque de recolección de 12m<sup>3</sup>

- Con el diseño de desagüe propuesto se realizó la selección de una bomba centrífuga, teniendo en cuenta el caudal, la altura total con pérdidas, la potencia del motor y el cálculo del NPSHD que tiene que ser un valor mayor al del fabricante.
- Para el diseño de desagüe de la concesión minera R-Nivel se seleccionó una bomba centrífuga (11/2x2-8), con un caudal de  $12 \text{ m}^3$ , altura de 83.69 metros y una tubería de 2 pulgadas de diámetro, resultando optimas para la recolección de aguas subterráneas.

### RECOMENDACIONES

- Se tendrá que tener un mantenimiento adecuado en el sistema de ventilación, para poder evitar así las pérdidas del caudal del aire, y un correcto funcionamiento del diseño propuesto.
- En este trabajo se utiliza el aire comprimido como aire de ventilación, el cual viene de la boca mina con una tubería de 4". Para tener una mayor eficiencia, sería recomendable la instalación de una tubería independiente, solo para la ventilación de la mina y así poder evitar perdidas de caudal en el proceso.
- En caso de presentar inconvenientes de pérdidas de aire en el diseño propuesto para los sistemas de ventilación se optaría por una tubería de un diámetro mayor a lo establecido.
- Se tendrá que dar un mantenimiento periódico para el sistema de desagüe, para tener una correcta recolección de aguas hacia el pozo, y así evitar pérdidas en los caudales.

## BIBLIOGRAFÍA

Alcides, I. (2010). Maquinas de transmision. Retrieved from <https://sites.google.com/site/358maquinas/transmision-por-correas-y-poleas>

Atlas, C. (2015). Manual del aire comprimido. Bélgica: Atlas Copco Airpower NV.

Bresdel. (2016). Mangas de ventilación y accesorios de mangas. Lima-Perú: Las Gardenias, Santiago de Surco.

Cidelsa. (2015). Mangas de ventilación. Cidelsa San Juan de Miraflores, Lima, 2.

Freedman, J. (2009). Fisica Universitaria . Mexico: Addison-Wesley.

Giles, R. V. (1991). Mecanica de los fluidos e Hidraulica. Philadelphia: Mc Graw hill.

González, A. O. (2015). Researchgate. Rerieved from [https://www.researchgate.net/figure/Mapa-de-geologia-local-de-la-zona-Zaruma-Portovelo-3\\_fig2\\_324507378](https://www.researchgate.net/figure/Mapa-de-geologia-local-de-la-zona-Zaruma-Portovelo-3_fig2_324507378)

Grundfos. (2011). Ventilador radial. México: Apodaca, Nuevo León, México.

Hasa. (2018). Catálogo general . España: Doctor Ferran, 38-42 la llagosta .

Herrera, J. (2007). Elementos de minería. Retrieved from [http://oa.upm.es/10684/1/070515- Elementos de minería-0607.pdf](http://oa.upm.es/10684/1/070515-Elementos%20de%20minería-0607.pdf)

J.Gamez, I. L. (2002). Caminos del agua . En Medida y evaluación de la extracciones del agua subterránea. España: Madrid España.

Jaume, U. (2008). Mecapedia. Retrieved from [http://www.mecapedia.uji.es/transmision\\_por\\_correa.htm](http://www.mecapedia.uji.es/transmision_por_correa.htm)

Otero, R. E. (2006). Sistemas de captación de agua subterraneas, Master Universitario en ingeniería del agua . 17-18.

Palau, S. y. (2019). Conceptos basicos de la ventilación, Cota, Cundinamarca, Colombia. 1-2.

Piqueras, V. Y. (2012). Ventilación en minas y túneles en fase de construcción. En Técnicas de voladuras y excavación en túneles. España : Ref. 530, 165 pp.

Pumps, G. (2001). Goulds model 3996. 8-10.

Streeter, V. L. (1997). Mecánica de fluidos. Colombia: Emma Ariza H.

Tuthill. (2010). Mnual del operador . EEUU: Tuthill Vacuum & Blower Systems.

Vargas, E. (2015). Ventilación de minas. Chile: Sernageomin Zona Sur.

Zaruma, G. M. (2016). Zaruma. Retrieved from <https://www.zaruma.gob.ec/index.html>

## ANEXOS

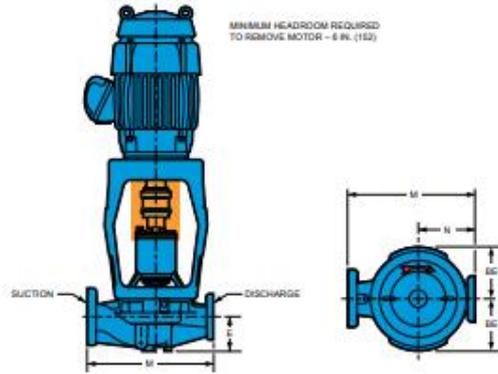
## Anexo 1. Nomenclatura

Cantidad	Unidades inglesas	Sistema internacional (SI)	Factor de conversión
Longitud	<i>pulgada</i>	<i>milímetro</i>	1 in = 25,4 mm
	<i>pie</i>	<i>metro</i>	1 ft = 0,3048 m
	<i>milla</i>	<i>kilómetro</i>	1 milla = 1,609 km
	<i>yarda</i>		1 milla = 5280 ft 1 milla = 1760 yd
Área	<i>Pulgada cuadrada</i>	<i>Centímetro cuadrado</i>	1 in <sup>2</sup> = 6,452 cm <sup>2</sup>
	<i>Pie cuadrado</i>	<i>metro cuadrado</i>	1 ft <sup>2</sup> = 0,09290 m <sup>2</sup>
Volumen	<i>pulgada cúbica</i>	<i>centímetro cúbico</i>	1 in <sup>3</sup> = 16,39 cm <sup>3</sup>
	<i>pie cúbico</i>	<i>metro cúbico</i>	1 ft <sup>3</sup> = 0,02832 m <sup>3</sup>
	<i>Galón( US o Brit)</i>		1 gal(US) = 231 in <sup>3</sup> = 0,003789 m <sup>3</sup> 1 gal (Brit) = 1,2 gal (US)
Masa	<i>libra-masa</i>	<i>kilogramo</i>	1 lbm = 0,4536 kg
	<i>slug</i>		1 slug = 14,59 kg
	<i>onza</i>		1 oz = 28,35x10 <sup>-3</sup> kg
Densidad	<i>slug/pie cúbico</i>	<i>kilogramo/metro cúbico</i>	1 slug/ft <sup>3</sup> = 515,4 kg/m <sup>3</sup>
Fuerza	<i>libra-fuerza</i>	<i>newton</i>	1 lb = 4,448 N
Trabajo	<i>pie-libra</i>	<i>newton-metro</i>	1ft-lb = 1,356 N-m
Presión	<i>libra/pulgada cuadrada</i>	<i>newton/metro cuadrado (pascal)</i>	1 psi = 6895 Pa
	<i>libra/pie cuadrado</i>		1 psf = 47,88 Pa
	<i>Pulgada de mercurio</i>	<i>Bar</i>	1 bar = 105 Pa = 14,7 psi
	<i>Pulgada de agua</i>		1 psi = 2,036 in Hg 1 psi = 27,7 in H <sub>2</sub> O
Temperatura	<i>grado Fahrenheit</i>	<i>grado Celsius</i>	°F= 9/5 °C+32
	<i>grado Rankine</i>	<i>kelvin</i>	°R = 9/5 °K
Energía	<i>unidad térmica británica (BTU)</i>	<i>joule</i>	1 Btu = 1055 J
	<i>caloría</i>		1 cal = 4,186 J
	<i>pie-libra</i>		1 ft-lb = 1,356 J 1 BTU = 778,2 ft-lb
Potencia	<i>caballo de fuerza</i>	<i>watt</i>	1 hp = 745,7 W
	<i>pie-libra/segundo</i>		1 ft-lb/s = 1,356 W
Velocidad	<i>pie/segundo</i>	<i>metro/segundo</i>	1 ft/s = 0,3048 m/s
	<i>Milla/hora</i>		1 mph = 1,467 ft/s
Aceleración	<i>pie/segundo al cuadrado</i>	<i>metro/segundo al cuadrado</i>	1 ft/s <sup>2</sup> = 0,3048 m/s <sup>2</sup>
Frecuencia	<i>ciclo/segundo</i>	<i>hertz</i>	1 cps = 1,000 Hz
Viscosidad	<i>libra-segundo/pie cuadrado</i>	<i>newton-segundo/metro al cuadrado</i>	1 lb-s/ft <sup>2</sup> = 47,88 N.s/m <sup>2</sup>
		<i>Stoke</i>	1 stoke = 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s
		<i>Poise</i>	1 poise = 0,1 N-s/m <sup>2</sup>

Anexo 2. Bomba de agua

## Dimensions Model 3996

All dimensions in inches and (mm). Not to be used for construction.



DIMENSIONS									
Group	Pump Size	ANSI Designation	Discharge	Suction	E	M	N	BE	Pump Weight (Less Motor) Lbs. (kg)
ST	1½x2-6	2015/15	1½	2	4¼ (108)	15 (381)	6¼ (171)	6¼ (162)	190 (86)
	1½x3-6	3015/15	1½	3	4¾ (124)	15 (381)	6¼ (171)		200 (91)
	2x3-6	3020/17	2	3	4¾ (118)	17 (432)	7½ (191)		205 (93)
	1½x2-8	2015/17	1½	2	4¾ (122)	17 (432)	8 (203)		200 (91)
MT	1½x3-8	3015/19	1½	3	5¼ (133)	19 (483)	8¾ (213)	10 (254)	210 (95)
	1½x2-10	2015/19	1½	2	5¼ (130)	19 (483)	9¼ (235)		370 (168)
	1½x3-10	3015/19	1½	3	5 (127)	19 (483)	9¼ (235)		380 (173)
	2x3-10	3020/20	2	3	5¼ (133)	20 (508)	9¼ (241)		390 (177)
	3x4-10	4030/25	3	4	6 (152)	25 (635)	11½ (292)		430 (195)
	1½x3-13	3015/24	1½	3	5¾ (143)	24 (610)	11½ (292)		460 (209)
	2x3-13	3020/24	2	3	5¾ (146)	24 (610)	11½ (292)		490 (223)
	3x4-13	4030/28	3	4	6¾ (175)	28 (711)	13 (330)		520 (236)
	4x6-13	6040/30	4	6	8½ (216)	30 (762)	14 (356)		610 (277)

## X-Series Power Ends Fit 8 Different Process Pumps

Minimize inventory, reduce downtime.



Visit our website at [www.gouldspumps.com](http://www.gouldspumps.com)

Goulds Pumps



Form No. B725-2 10/01

© 2001 Goulds Pumps, Incorporated  
A subsidiary of ITT Industries, Inc.

Fuente: Gould pumps

Anexo 3. Acoples por termofusión

UNIÓN POR TERMOFUSIÓN

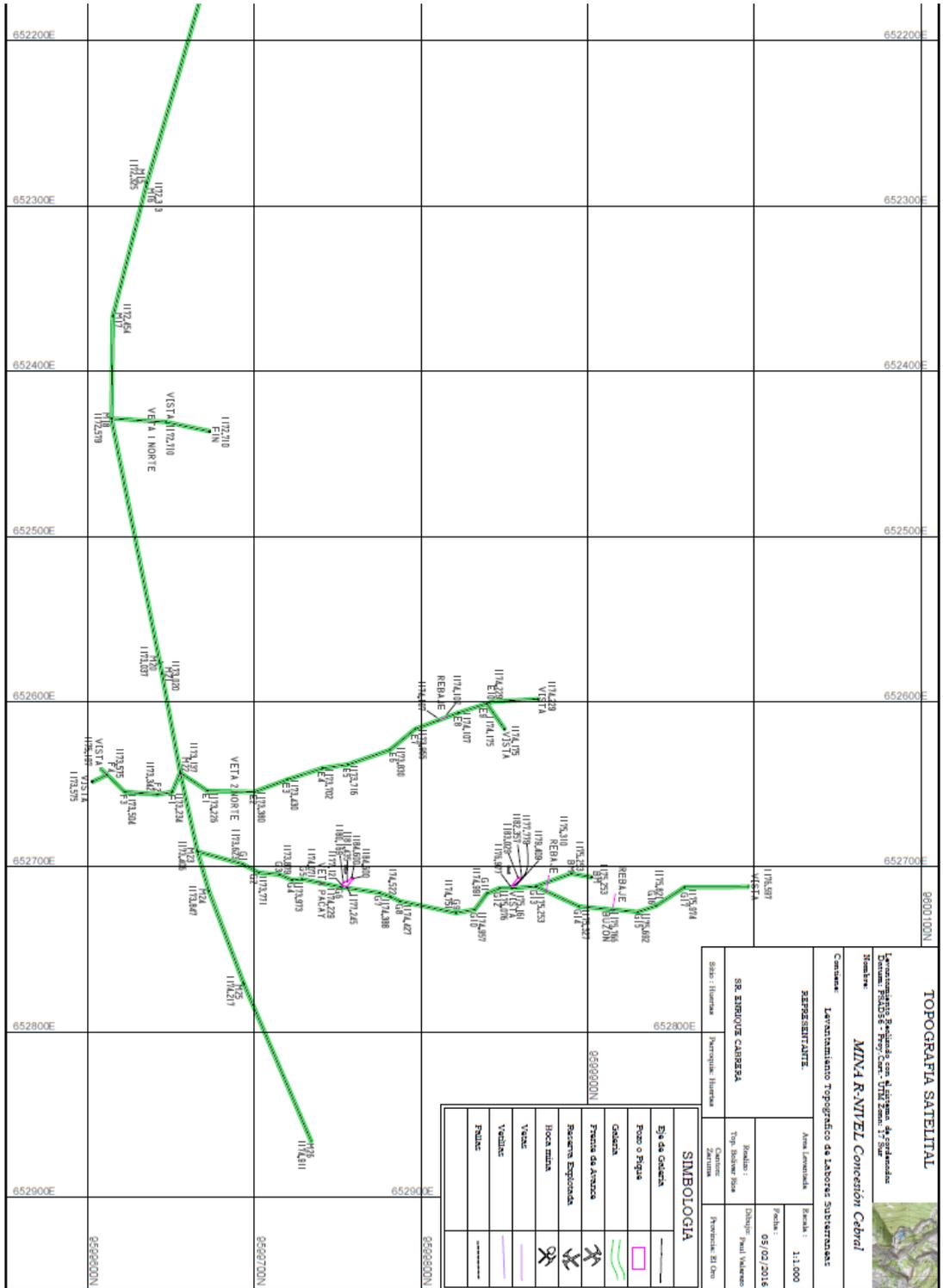
Se utiliza una termofusora (plancha de calentamiento) para producir la plastificación del material, luego se retira dicha herramienta y se unen los extremos aplicando una presión adecuada al tipo de unión que estemos realizando.

	<b>TEE</b> MEDIDA Desde 25mm Hasta 250mm		<b>TEE REDUCTORA</b> MEDIDA Desde 90mm Hasta 250mm con Reducción Desde 50mm Hasta 180mm		<b>CODO 90°</b> MEDIDA Desde 25 mm Hasta 250mm		<b>CODO 45°</b> MEDIDA Desde 25 mm Hasta 250mm
	<b>REDUCTOR</b> MEDIDA Desde 32 mm Hasta 250mm con reducción Desde 25mm Hasta 180mm		<b>PORTA BRIDA</b> MEDIDA Desde 25 mm Hasta 250mm		<b>BRIDA DE ACERO</b> MEDIDA Desde 25 mm Hasta 250mm		<b>TAPON</b> MEDIDA Desde 25 mm Hasta 250mm

Fuente: Plastigama



Anexo 5. Planimetría de concesión minera CebraI







Anexo8. Piscinas de sedimentación



Anexo 9. Tolvas



Anexo 10. Compresores para concesión Cebral y R-Nivel

