

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

“Análisis del consumo energético generado en el interior mina de la Asociación Minera OROSOL UNO y propuesta de optimización de los equipos eléctricos, neumáticos e iluminación”

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Nombre de la titulación**  
**Ingeniero en Minas**

Presentado por:

Kevin Alexander Aguirre Aguilar

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

## DEDICATORIA

A mis padres Fredy Aguirre y Herlita Aguilar, por ser tan pacientes conmigo y haberme apoyado a lo largo de toda mi carrera universitaria, sin dar los brazos a torcer, y confiando que un día llegaría a la meta.

A mi hijo Benjamín, por ser el motor de mi vida, y la esperanza que necesito para mejorar día a día, y por la alegría que trajo a mi vida desde su nacimiento.

A mi familia por creer siempre en mis capacidades y apoyarme en cada decisión que he tomado a lo largo de la vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

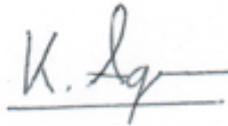
Primeramente, quiero agradecerle a Dios por esta oportunidad que me ha dado de superarme y alcanzar mis metas y anhelos, y por la fortaleza que me ha dado para seguir adelante a pesar de las circunstancias adversas que se hayan podido presentar.

Al Ing. Rinaldo Blacio por su ayuda brindada y por los consejos que me pudo dar en su momento para la realización de esta tesis.

A la Asociación Minera OROSOL UNO, especialmente a su presidente el Ing. Alberto Salazar, por la acogida que tuve en mi estadía por el campamento y las facilidades prestadas para la realización del proyecto, de igual forma a todo su personal por haber estado dispuesto a colaborar con cualquier inquietud y duda que se haya presentado.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Kevin Alexander Aguirre Aguilar doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'K. Aguirre', is written over a horizontal line.

Kevin Alexander  
Aguirre Aguilar

# **EVALUADORES**

**MSc. René Ayala**  
**Profesor Tutor**

**MSc. Wilmer Vásquez**  
**Profesor Tutor**

**PhD. Samantha Jiménez Oyola**  
**Profesor de Materia Integradora**

## RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo realizar un estudio del consumo energético que se genera en el interior de la mina de OROSOL UNO. Para ello, se realizó un inventario de los equipos eléctricos, neumáticos e iluminación con el fin de determinar los tiempos operativos de cada uno de los equipos. Se determinó que el 82.53% del consumo total de energía eléctrica se genera dentro de la mina, y que los equipos que originan el mayor consumo son el compresor y la bomba centrífuga con el 75.92% y el 14.86%, respectivamente. Para llevar a cabo las estrategias de optimización, se realizó el dimensionamiento de cada uno de los equipos, y se determinó que el compresor y la bomba centrífuga se encuentran sobredimensionados. Posteriormente, se presentó una propuesta de optimización para cada uno de los equipos, con la finalidad de reducir sus costos de energía eléctrica. La propuesta para el compresor es la que genera el mayor ahorro mensual con aproximadamente el 53% del consumo total. Finalmente, se aplicó todas las estrategias en conjunto, llegando a la conclusión de que con estas implementaciones la empresa minera se ahorrará \$ 458,36 mensuales por concepto de energía eléctrica, recuperándose la inversión inicial de \$ 30.507,70 en un tiempo de 5 años con 7 meses.

**Palabras Clave:** Consumo energético, interior mina, potencia, compresor, ahorro.

## **ABSTRACT**

*This project aims to carry out a study of the energy consumption generated inside the OROSOL UNO mine, for this purpose an inventory of electrical, pneumatic and lighting equipment was made in order to find in the field the operating times of each of them. It was determined that 82,53% of the total consumption of electrical energy is generated inside the mine, and that the equipment that originate the highest consumption are the compressor and the centrifugal pump with 75,92% and 14,86% respectively. To carry out the optimization strategies, first, the sizing of each of the equipment was carried out, where it was determined that the compressor and the centrifugal pump are oversized. Then a proposal was analyzed for each of the equipment in order to reduce their electrical energy costs, where the proposal for the compressor is the one that generates the greatest monthly savings with approximately 40% of the total consumption. Finally, all the strategies were applied together, reaching the conclusion that these implementations will save USD 458,36 per month for electric energy, recovering the initial investment of USD 30,507,77 in a period of 5 years and 7 months.*

**Keywords:** *Energy consumption, Inside mine, power, compressor, savings.*

# INDICE

RESUMEN .....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS .....	IX
ÍNDICE DE MAPAS.....	X
ABREVIATURAS.....	XI
SIMBOLOGÍA .....	XII
CAPÍTULO 1.....	13
1. Introducción .....	13
1.1 Descripción del problema .....	14
1.2 Justificación del problema .....	14
1.3 Objetivos .....	15
1.3.1 Objetivo general .....	15
1.3.2 Objetivos específicos .....	15
1.4 Marco teórico.....	15
1.4.1 Caracterización del área de estudio .....	15
1.4.2 Consumo energético en la minería subterránea .....	19
1.4.3 Equipos y maquinaria eléctricos, neumáticos empleados en el interior de la mina de OROSOL UNO. ....	21
.....	22
CAPÍTULO 2.....	30
2. Metodología.....	30
2.1 Método de investigación .....	30
2.2 Tipo de investigación.....	30

2.3	Metodología.....	30
2.3.1	Trabajo de campo .....	31
2.3.2	Trabajo de oficina.....	32
2.4	Determinación del consumo energético en interior mina.....	32
2.4.1	Identificación de los frentes de producción .....	32
2.4.2	Inventario de equipos y maquinaria.....	33
2.4.3	Muestreo de tiempos de operación .....	35
2.4.4	Procesamiento de datos.....	36
2.5	Dimensionamiento de los equipos eléctricos, neumáticos e iluminación	38
2.5.1	Bomba centrífuga .....	38
2.5.2	Ventilación .....	51
2.5.3	Compresor .....	54
2.5.4	Iluminación.....	57
CAPÍTULO 3.....		60
3.	Resultados Y Análisis .....	60
3.1	Costo mensual del consumo eléctrico en interior mina .....	60
3.2	Estadísticas de consumo de energía eléctrica .....	62
3.2.1	Consumo eléctrico en OROSOL UNO.....	62
3.2.2	Consumo kW-día, kWh-día en el interior de la mina .....	63
3.3	Propuesta de optimización del consumo energético .....	64
3.3.1	Bomba Centrífuga .....	64
3.3.2	Ventilación .....	65
3.3.3	Winche .....	66
3.3.4	Compresor .....	67
3.3.5	Iluminación.....	68
3.4	Costos de implementación de nueva propuesta .....	68

3.4.1	Bomba centrífuga .....	68
3.4.2	Ventilación .....	69
3.4.3	Winche .....	70
3.4.4	Compresor .....	72
3.4.5	Iluminación .....	73
3.5	Ahorro estimado con la implementación de propuestas realizadas.....	74
3.6	Análisis de resultados.....	75
CAPÍTULO 4.....		78
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	78
4.1	Conclusiones.....	78
4.2	Recomendaciones.....	79
ANEXOS .....		83

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Coordenadas de los límites del área minera OROSOL UNO .....	16
Tabla 1.2	Acceso al campamento minero desde Guayaquil .....	19
Tabla 1.3	Acceso al campamento minero desde Quito.....	19
Tabla 1.4	Ficha técnica del motor de la bomba centrífuga empleada en OROSOL UNO.....	21
Tabla 1.5	Ficha técnica del motor del ventilador axial empleado en OROSOL UNO.....	23
Tabla 1.6	Ficha técnica del motor del winche empleado en OROSOL UNO....	24
Tabla 1.7	Ficha técnica del compresor empleado en OROSOL UNO.....	25
Tabla 1.8	Ficha técnica del motor del compresor empleado en OROSOL UNO.....	26
Tabla 1.9	Ficha técnica de la perforadora neumática empleada en OROSOL UNO.....	27
Tabla 1.10	Ficha técnica de los focos empleados en OROSOL UNO.....	28
Tabla 2.1	Frentes de producción operativos en la mina OROSOL UNO.....	32
Tabla 2.2	Equipos eléctricos, neumáticos y la iluminación para cada frente de producción.....	35
Tabla 2.3	Formato empleado para registro de datos. ....	36
Tabla 2.4	Tabla de pérdidas por accesorios (Inyección).....	43
Tabla 2.5	Tabla de pérdidas por accesorios (Succión) .....	43
Tabla 2.6	Coeficiente de rugosidad absoluta $\epsilon$ para distintos materiales. ....	44
Tabla 2.7	Datos de la Estación 1, curva característica y punto de operación. .	50
Tabla 2.8	Velocidad mínima a cierta temperatura.....	52
Tabla 2.9	Caudal mínimo y máximo requerido. ....	54
Tabla 2.10	Equipos neumáticos y su coeficiente de utilización.....	54
Tabla 2.11	Consumo total útil de los equipos neumáticos. ....	54

Tabla 2.12	Niveles mínimos de iluminación dentro de una mina. ....	59
Tabla 3.1	Costo mensual de energía eléctrica en el interior de la mina .....	62
Tabla 3.2	Consumo kW·día, kWh·día por cada equipo .....	63
Tabla 3.3	Valor de consumo eléctrico al mes por equipo y su porcentaje.....	64
Tabla 3.4	Propuesta de nuevo ventilador propuesto.....	66
Tabla 3.5	Propuesta de nuevo compresor.....	67
Tabla 3.6	Propuesta de mantener foco LED.....	68
Tabla 3.7	Costos de adquisición de la tubería 3 in. ....	69
Tabla 3.8	Tiempo de retorno de la inversión para nueva propuesta en el sistema de bombeo.....	69
Tabla 3.9	Costos de adquisición del ventilador propuesto. ....	70
Tabla 3.10	Ahorro estimado para nueva propuesta para el ventilador. ....	70
Tabla 3.11	Cotización del variador de frecuencia propuesto. ....	71
Tabla 3.12	Cotización de lista de accesorios.....	71
Tabla 3.13	Costo de inversión de nueva propuesta.....	71
Tabla 3.14	Ahorro estimado para nueva propuesta para el winche. ....	72
Tabla 3.15	Cotización del compresor actual. ....	72
Tabla 3.16	Cotización del compresor propuesto.....	73
Tabla 3.17	Ahorro estimado para nueva propuesta para el compresor.....	73
Tabla 3.18	Costos de mantenimiento de los focos LED actuales. ....	74
Tabla 3.19	Costo de inversión total de propuestas. ....	74
Tabla 3.20	Ahorro estimado en interior mina con la implementación de nuevas propuestas.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Metodología de investigación propuesto.....	31
Figura 2.2	Esquema de la mina subterránea OROSOL UNO.....	33
Figura 2.3	Esquema del sistema de bombeo de la mina de OROSOL UNO....	38
Figura 2.4	Curva característica de la estación de bombeo y su punto de operación.....	50
Figura 3.1	. Cargos tarifarios para medio voltaje con demanda horaria diferenciada.....	61
Figura 3.2	Consumo eléctrico en OROSOL UNO .....	63
Figura 3.3	Curva característica de la estación de bombeo con tubería de 3 in...	65

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.1	Bomba centrífuga instalada en interior mina de OROSOL UNO.....	22
Fotografía 1.2	Ventilador axial instalado en interior mina de OROSOL UNO... ..	23
Fotografía 1.3	Winche instalado en interior mina de OROSOL UNO .....	25
Fotografía 1.4	Compresor empleado en la mina de OROSOL UNO .....	26
Fotografía 1.5	Perforadora neumática empleada en la mina de OROSOL UNO.....	27
Fotografía 1.6	Iluminación empleada en la mina de OROSOL UNO.....	29

## ÍNDICE DE MAPAS

- Mapa 1.1 Ubicación del cantón Camilo Ponce Enríquez (Escala 1:3.600.000) 17
- Mapa 1.1 Ubicación del área minera de OROSOL UNO (Escala 1:300.000) ... 18

## **ABREVIATURAS**

ARCEM	Agencia de Regulación y Control de Energía y Minas
IEEE	Institute of electrical and electronics engineers
PDyOT	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
PLANEE	Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador

## SIMBOLOGÍA

A	Amperios
Art.	Artículo
Au	Oro
CFM	Pies cúbicos por minuto
g	Gramos
ha	Hectáreas
HP	Caballos de fuerza
Hz	Hercio
in	Pulgadas
Km	Kilómetros
kWh	Kilovatio hora
lm	Lumen
min	Minutos
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
PSI	Libra de fuerza por pulgada cuadrada
Q	Caudal
Re	Número de Reynolds
RPM	Revoluciones por minuto
s	Segundos
T.I	Tiempo Inicial
T.F	Tiempo Final
Tn	Tonelada
USD	Dólar
V	Voltio

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

En la comunidad San Gerardo perteneciente al cantón Ponce Enríquez, provincia de Azuay, se encuentra la Asociación Minera OROSOL UNO, la cual forma parte de la concesión minera denominada Asociación de producción beneficio fundición y refinación de oro y otros minerales Renacer M3 GUENA II (Código 101602), que se dedica principalmente a la extracción de mineral Au mediante el método de explotación subterránea de Corte y Relleno Ascendente.

Actualmente, la asociación continúa realizando estudios de prospección y exploración minera, de forma paralela a la explotación que se realiza en los frentes de producción ya desarrollados, cuyas leyes de corte aún son rentables (5 gr/Tn). El proceso de minado consiste en las operaciones de perforación, voladura, carguío y transporte, ventilación, drenaje y extracción para las cuales se emplea equipos y maquinaria eléctricos, neumáticos que demandan el uso de energía eléctrica y aire comprimido para su funcionamiento.

El consumo energético generado por estos equipos y maquinaria eléctricos, neumáticos e iluminación en el ciclo minero subterráneo del proceso de minado, puede representar un valor de consumo no óptimo que variará según la producción que se tenga considerándose uno de los factores fundamentales para determinar la ley de corte de cada frente de producción.

Dado que en la mina de OROSOL UNO, se conoce que no se ha realizado el debido dimensionamiento técnico de los equipos, especialmente de las bombas eléctricas, lo cual implicaría que en los frentes de trabajo el consumo energético no sea el adecuado, de este modo es indispensable conocer el valor de este consumo de los equipos y maquinaria eléctricos, neumáticos e iluminación en interior mina, la presente investigación nos servirá para definir estrategias de optimización que reduzcan el gasto, otorgando un dimensionamiento correcto de los equipos e iluminación que estén de acuerdo al tamaño de las labores mineras para garantizar su vida útil.

Esta mina subterránea cuenta con dos frentes de explotación, el primero se denomina Frente del lado derecho y el segundo Frente del lado izquierdo, este último cuenta con 3 subniveles que siguen la veta a una inclinación de 45°. Dentro de estos

dos frentes se encuentran distribuidos los equipos y maquinaria eléctricos, neumáticos e iluminación, que en este caso corresponden a la bomba centrífuga, compresor, winche, ventilador centrífugo, perforadoras neumáticas y focos LED de 110 V ubicados en los ingresos de los subniveles, winche y galería principal, además para las labores dentro de mina cada trabajador cuenta su lámpara minera ubicada en su casco.

### **1.1 Descripción del problema**

En la pequeña minería en el Ecuador, la explotación y desarrollo de las labores mineras en los frentes de trabajo generalmente en la zona se realiza en función de la experiencia de manera empírica, y no en base a un análisis técnico-económico, es por ello que el dimensionamiento de los equipos y maquinaria eléctricos, neumáticos y sistema de iluminación a emplearse en interior mina podría no ser el óptimo, lo que implica que pueden existir equipos que realizan un sobreesfuerzo o están subutilizados en algunos de los dos frentes de explotación de la mina de OROSOL UNO, los cuales están relacionados con el consumo energético y su costo de energía eléctrica del sistema nacional interconectado.

### **1.2 Justificación del problema**

Dentro de la industria minera, la energía eléctrica es un recurso primordial a lo largo del ciclo minero en los procesos de minado en la etapa de explotación, ya que es donde se cuenta con los equipos y maquinaria, empleados para realizar las actividades de perforación, ventilación, acarreo vertical, drenaje e iluminación de las labores mineras que requieren el consumo energético, de modo que se vuelve vital llevar un registro del gasto de energía eléctrica que se está generando en el interior de la mina, con el fin de emplear medidas que reduzcan el consumo y lograr la efectividad en las operaciones mineras.

Es por ello que, con la realización de este proyecto se desea disponer de resultados reales establecidos técnicamente para el mejoramiento y optimización estratégico del consumo energético de los equipos y maquinaria eléctricos, neumáticos e iluminación en interior mina que actualmente dispone la mina subterránea de Sociedad

Minera OROSOL UNO, para obtener la disminución de costo de energía eléctrica y lograr una mayor productividad.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Determinar el consumo energético generado en el interior de la mina subterránea de OROSOL UNO, mediante el análisis de los equipos, maquinaria e iluminación que requieren energía eléctrica en los frentes de producción y con miras en la implementación de estrategias de optimización.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- a) Realizar el inventario de los equipos y maquinaria eléctricos, neumáticos e iluminación de cada uno de los frentes de producción.
- b) Recopilar características y tiempos de operación de cada uno de los equipos y maquinarias de interior mina.
- c) Elaborar una base de datos acorde a la información compilada y formular las estadísticas de estas con el cálculo teórico de consumo energético.
- d) Analizar los costos en las áreas donde el consumo energético es más alto y proponer estrategias de optimización.

### **1.4 Marco teórico**

#### **1.4.1 Caracterización del área de estudio**

##### **1.4.1.1 Localización**

La Asociación Minera OROSOL UNO, perteneciente a la Asociación de producción beneficio fundición y refinación de oro y otros minerales Renacer M3 GUENA II, cuenta con aproximadamente 24,1 ha de concesión y se encuentra ubicada al sur del Ecuador en el cantón Ponce Enríquez, provincia de Azuay, específicamente en la comunidad San Gerardo, a unos 30 km de la cabecera cantonal.

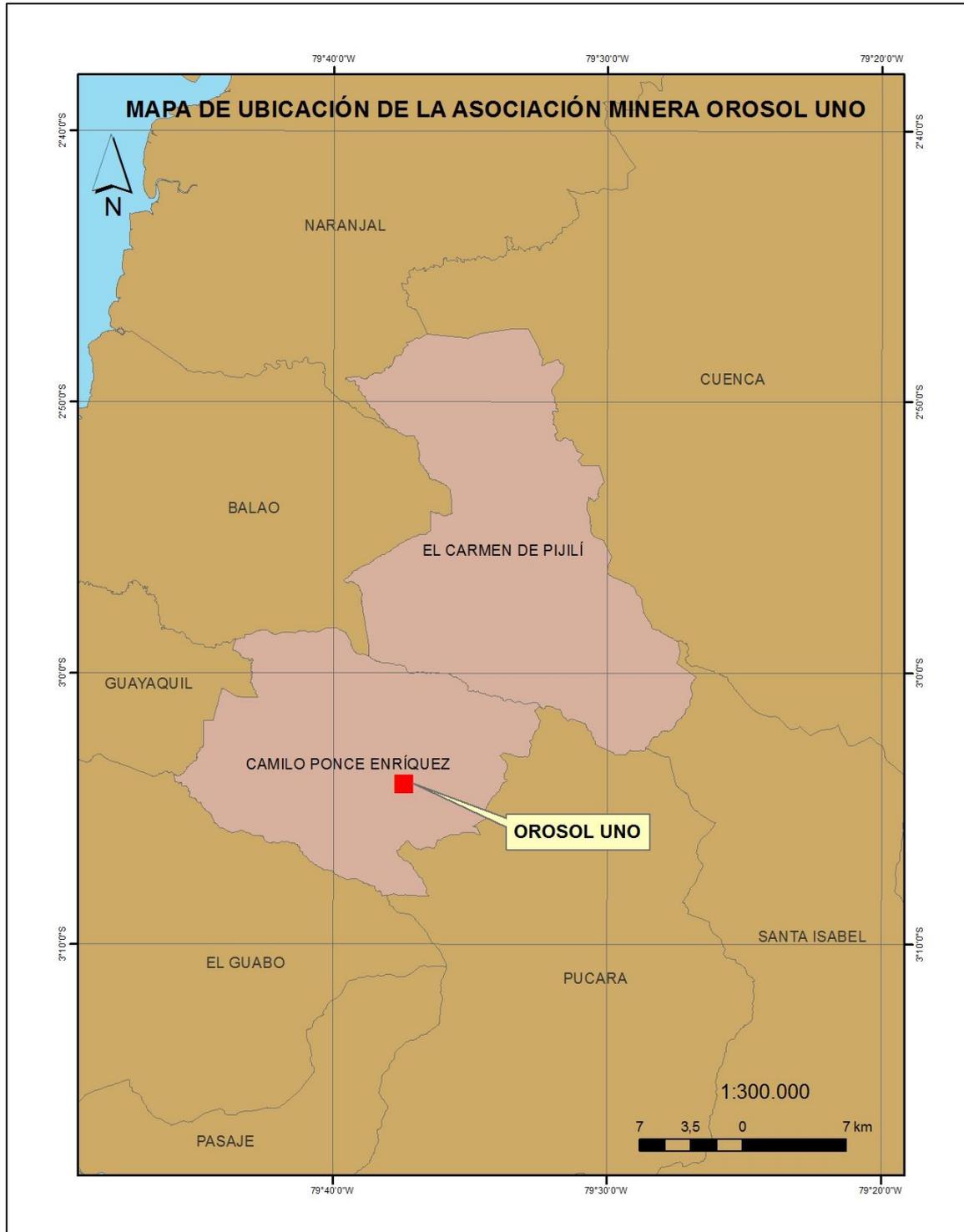
El cantón Camilo Ponce Enríquez está ubicado en el sector suroccidental del país, al oeste de la provincia del Azuay, de la cual forma parte, en el límite de las provincias del Guayas y El Oro. Limita al norte por la parroquia Molleturo, constitutiva del cantón Cuenca, al oeste por la parroquia Tenguel del cantón Guayaquil, al sur por la parroquia Rio Bonito del cantón El Guabo, provincia de El Oro, y al este con territorios del cantón Pucara, la parroquia Chaucha, integrante del cantón Cuenca y por Zhaglli del cantón Santa Isabel (PDyOT Cantón Camilo Ponce Enriquez, 2014). Las coordenadas UTM del área minera son las siguientes:

**Tabla 1.1 Coordenadas de los límites del área minera OROSOL UNO**

Punto	Coordenada UTM. Datum: WGS84		Distancia entre los puntos		Cota (aproximadamente) m.s.n.m.	
	Longitud	Latitud				
PP	651.630	9.662.360	PP-1 =	240 m		
01	651.630	9.662.600	1-2 =	170 m	Cota alta aprox.	1700
02	651.800	9.662.600	2-3 =	200 m	Cota baja	1592
03	651.800	9.662.800	3-4 =	400 m	Cota. BM. Aprox.	1627
04	652.200	9.662.800	4-5 =	500 m		
05	652.200	9.662.300	5-6 =	400 m		
06	651.800	9.662.300	6-7 =	60 m		
07	651.800	9.662.360	7-PP =	170 m		



**Mapa 1.1 Ubicación del cantón Camilo Ponce Enríquez (Escala 1:3.600.000)**



**Mapa 1.1 Ubicación del área minera de OROSOL UNO (Escala 1:300.000)**

### 1.4.1.2 Vías de acceso

Para acceder al campamento minero por vía terrestre desde Guayaquil, se debe tomar la ruta hacia la ciudad de Machala, pasando por Naranjal, hasta llegar al cantón Camilo Ponce Enríquez, e ingresar por una vía alterna que conduce hacia la comunidad San Gerardo, para luego dirigirse al área minera de OROSOL UNO a través de un camino de segundo orden.

Desde la capital del país se puede llegar por vía terrestre pasando por la ciudad de Guayaquil y tomando el camino sugerido anteriormente, o bien por vía aérea hacia el aeropuerto de Santa Rosa, para luego trasladarse hacia la ciudad de Camilo Ponce Enríquez y tomar el tramo final desde este cantón al área minera ubicada en San Gerardo.

**Tabla 1.2 Acceso al campamento minero desde Guayaquil**

Tramos	Tiempo aproximado de viaje	Distancia
Guayaquil – Camilo Ponce Enríquez	2 horas	140 km
Camilo Ponce Enríquez – San Gerardo	1 hora	30 km
San Gerardo – OROSOL UNO	10 min	4 km

Fuente: Autor, noviembre 2022.

**Tabla 1.3 Acceso al campamento minero desde Quito**

Tramos	Tiempo aproximado de viaje	Distancia
Quito - Guayaquil	8 horas	430 km
Guayaquil - Camilo Ponce Enríquez	2 horas	140 km
Camilo Ponce Enríquez – San Gerardo	1 hora	30 km
San Gerardo – OROSOL UNO	10 min	4 km

Fuente: Autor, noviembre 2022.

### 1.4.2 Consumo energético en la minería subterránea

El consumo energético en la minería subterránea es un factor preponderante en la industria, la creciente demanda de productos básicos y los largos tiempos de espera para poner en funcionamiento nuevas minas, ha generado una brecha entre la demanda y la oferta, afectando directamente sobre los costos de producción, es por ello que la

necesidad de implementar un plan de eficiencia energética eficaz y sostenible, es de suma importancia hoy en día para la industria minera (Pitis, 2016).

La demanda de energía eléctrica necesaria para realizar las labores mineras subterráneas representa un rubro considerable de los costos operativos, entre el 15-20% de los costos totales de operación, este valor puede variar dependiendo del mineral de interés, del método de explotación, de los equipos y maquinarias, entre otros (Levesque et al., 2014).

Dentro de una mina subterránea, el aire comprimido es uno de los servicios más costosos, se suministra a lo largo de los frentes de producción a través de los compresores, Cilliers (2016) menciona que estos equipos pueden contribuir hasta con un 21% de la demanda total de electricidad de una mina de pequeña minería.

Dado que la minería requiere del soporte para el normal desarrollo de sus actividades de construcción, fabricación, transporte y energía, a medida que exista un aumento de la población mundial y una mejora en la economía de países bajos ingresos, crecerá la demanda de minerales y a su vez aumentará la demanda de energía eléctrica, tan empleada en actividades de explotación subterránea (Igogo et al., 2021). Por este motivo el sector minero, al ser uno de los mayores consumidores de energía eléctrica, recae sobre ellos un gran potencial para mejorar la efectividad energética considerando la energía de equipo, maquinaria y tipo de iluminación.

Actualmente en el interior de la mina subterránea de OROSOL UNO, se dispone de equipos eléctricos a una bomba centrífuga de 15 HP para la evacuación del agua de mina contenida en el reservorio ubicado en el subnivel 3, también un winche con motor de 10 HP para la extracción del material de los subniveles inferiores, y con un ventilador axial dedicado a la ventilación de las labores mineras luego de la voladura. Como equipos neumáticos se cuenta con las perforadoras neumáticas, empleadas a la hora de perforar la cuña.

En lo que respecta al sistema de iluminación, se cuenta con seis focos LED los cuales están ubicados en lugares estratégicos dentro de la mina. Se dispone de un compresor SULLAIR VCC-200S el cual abastece de aire comprimido a los equipos neumáticos en el interior de la mina.

### **1.4.3 Equipos y maquinaria eléctricos, neumáticos empleados en el interior de la mina de OROSOL UNO.**

A continuación, se presenta información sobre los principales equipos eléctricos y neumáticos que consumen energía eléctrica, empleados para sus respectivas labores en el interior de la mina OROSOL UNO:

#### **1.4.3.1 Equipos eléctricos**

##### **1.4.3.1.1 Bomba centrífuga**

Este tipo de bombas son de las más comunes para el sector de la minería subterránea. Para su funcionamiento, el fluido primeramente entra por el impulsor de forma axial, que es la parte central hueca, luego este fluido se topa con los álabes rotatorios, estos con su movimiento, transfieren cantidad de movimiento al fluido de modo que gana velocidad tangencial debido a la acción de fuerzas centrífugas, finalmente el fluido sale del rotor hacia la voluta una vez que ha adquirido velocidad y presión adicional (Cimbala & Cengel, 2001).

En la mina de OROSOL UNO se utiliza una bomba centrífuga de 15 HP, para la extracción del agua de mina que se acumula en el Subnivel 3 hacia el Subnivel 1, en donde a través de una cuneta ubicada a un lado de la galería principal, el agua sale por la bocamina al exterior. En la siguiente tabla se muestra la ficha técnica del equipo:

**Tabla 1.4 Ficha técnica del motor de la bomba centrífuga empleada en OROSOL UNO**

<b>Especificaciones</b>	
Marca	Weg W22
Tipo de motor	Motor Eléctrico Trifásico
Potencia nominal del motor	11 KW (15 HP)
Número de fases	3
Tensión nominal de operación	220/380/440 V
Eficiencia	90.5%
Tamaño de carcasa	132 M
Grado de protección	IP55
Frecuencia	60 Hz
Corriente nominal de operación	36.2/21.0/18.1 A
Factor de potencia	0.88

Temperatura ambiente máxima	40°C
Altitud ambiente máxima	1000 m.s.n.m.
Peso del motor	79 Kg
Velocidad nominal del motor	3520 RPM
Fecha de fabricación	26-abr-16

**Fuente:** Catalogo Motor Eléctrico Trifásico W22.



**Fotografía 1.1 Bomba centrífuga instalada en interior mina de OROSOL UNO**

#### **1.4.3.1.2 Ventilador axial**

El ventilador axial es un equipo utilizado para el sistema de ventilación para la recirculación o extracción del aire, en la mina subterránea. Su uso es esencial en la minería especialmente al momento que se realizan las voladuras, en donde los gases que se emanan como el monóxido de carbono, anhídrido carbónico, óxidos nitrosos deben ser evacuados de forma inmediata para poder continuar con las labores del turno respectivo.

Este tipo de ventiladores son los más comunes en la pequeña minería en el Ecuador, debido a que se lo ubica en cualquier punto designado en la mina subterránea, a diferencia de los ventiladores centrífugos que ofrecen un alto rendimiento, pero bajo un rango reducido, en donde si las condiciones varían demasiado, su rendimiento se verá afectado considerablemente (Ventiladores, 2007).

Este equipo está conformado básicamente por un rodete, que es la parte móvil del ventilador, compuesto de los álabes y su soporte, lo conforma un motor, en donde su

potencia debe guardar relación a las características del sistema en donde se desea colocar el ventilador, y finalmente lo conforma una carcasa, la cual es la encargada de proteger al rodete y al motor (Ventiladores, 2007).

**Tabla 1.5 Ficha técnica del motor del ventilador axial empleado en OROSOL UNO**

Especificaciones	
Marca	Weg W22
Tipo de motor	Motor Eléctrico Trifásico
Potencia nominal del motor	11 KW (15 HP)
Número de fases	3
Tensión nominal de operación	220/380/440 V
Eficiencia	90.5%
Tamaño de carcasa	132 M
Grado de protección	IP55
Frecuencia	60 Hz
Corriente nominal de operación	36.2/21.0/18.1 A
Factor de potencia	0.88
Temperatura ambiente máxima	40°C
Altitud ambiente máxima	1000 m.s.n.m.
Peso del motor	79 Kg
Velocidad nominal del motor	3520 RPM
Fecha de fabricación	26-abr-16

Fuente: Catalogo Motor Eléctrico Trifásico W22.



**Fotografía 1.2 Ventilador axial instalado en interior mina de OROSOL UNO**

### 1.4.3.1.3 Winche

Un winche o también llamado cabrestante, es un equipo que funciona con energía eléctrica, empleado para trasladar material o personal dentro de la mina a través de chimeneas o piques verticales.

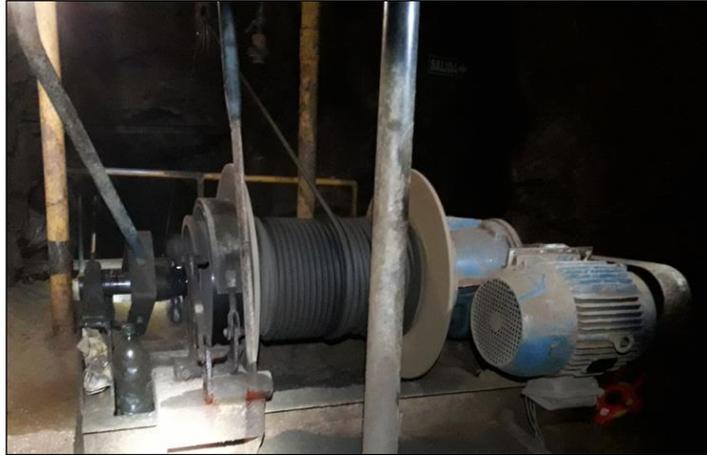
Cada winche cuenta con un operario que es el encargado del buen funcionamiento del mismo, además de mantener una constante comunicación con los supervisores y obreros de los subniveles cercanos.

Una vez en funcionamiento, se accionan las tamboras que rotan de modo que el cable de acero se enrolla si la canastilla sube a través del pique, y se desenrolla si la canastilla baja. Este cable está formado por alambres de acero que han sido trenzados en forma de espiral, y su grosor está ligado a la potencia del motor del winche (Aníbal Mallqui, 2001).

**Tabla 1.6 Ficha técnica del motor del winche empleado en OROSOL UNO**

<b>Especificaciones</b>	
Marca	Weg W22
Tipo de motor	Motor Eléctrico Trifásico
Potencia nominal del motor	7.5 KW (10 HP)
Número de fases	3
Tensión nominal de operación	220/380/440 V
Eficiencia	87.5%
Tamaño de carcasa	132 S
Grado de protección	IP55
Frecuencia	60 Hz
Corriente nominal de operación	27.2/15.7/13.6 A
Factor de potencia	0.83
Temperatura ambiente máxima	40°C
Altitud ambiente máxima	1000 m.s.n.m.
Peso del motor	65 Kg
Velocidad nominal del motor	1755 RPM
Fecha de fabricación	27-jun-13

**Fuente:** Catalogo Motor Eléctrico Trifásico W22.



**Fotografía 1.3 Winche instalado en interior mina de OROSOL UNO**

#### **1.4.3.1.4 Compresor**

Es un equipo utilizado para aumentar la presión y ocasionar un desplazamiento de aire u otros gases en un sistema de flujo, su función es bastante similar a la de los ventiladores y sopladores, aunque su construcción física está entre las principales diferencias (Mott & Untener, 2015).

Este equipo está diseñado para desarrollar presiones más altas que las de un ventilador y soplador, incluso de varios miles de psi. Es por ello que una aplicación bastante común de este equipo es en el suministro de aire comprimido en minas subterráneas, ya que, dentro de las labores mineras se ocupa una gran cantidad de equipos neumáticos que requieren un constante abastecimiento de este aire comprimido (Mott & Untener, 2015).

**Tabla 1.7 Ficha técnica del compresor empleado en OROSOL UNO**

<b>Especificaciones</b>	
Marca del compresor	SULLAIR
Modelo	VCC-200S
Presión de operación	125 PSI
Potencia	150 HP
Voltaje	220/440
Flujo de aire	683 CFM

**Tabla 1.8 Ficha técnica del motor del compresor empleado en OROSOL UNO**

Especificaciones	
Marca	Weg NEMA Premium
Tipo de motor	Motor Eléctrico Trifásico
Potencia nominal del motor	110 KW (150 HP)
Número de fases	3
Tensión nominal de operación	460 V
Eficiencia	95.8%
Tamaño de carcasa	444/5TSC
Frecuencia	60 Hz
Corriente nominal de operación	166 A
Factor de potencia	0.87
Temperatura ambiente máxima	40°C
Peso del motor	1443 Lb
Velocidad nominal del motor	1780 RPM
Fecha de fabricación	03-abr-12

**Fuente:** Catalogo Motor Eléctrico Trifásico W22.



**Fotografía 1.4 Compresor empleado en la mina de OROSOL UNO**

### **1.4.3.2 Equipos neumáticos**

#### **1.4.3.2.1 Perforadora neumática YT27**

La perforadora neumática Shenyang YT27 utilizada para las labores de perforación dentro de la mina de OROSOL UNO, se trata de una perforadora neumática que debe utilizar aire comprimido para su accionamiento, además de agua, los cuales salen a través de los orificios de la broca ubicada en el extremo del barreno y chocan a presión contra la roca causando la rotura de la misma (Aníbal Mallqui, 2001).

Su principio de funcionamiento consta de percusión y rotación, en la perforación por percusión los impactos que se producen por los golpes del pistón sobre la culata del barreno, generan una onda de choque que se transmite a través del barreno, provocando la rotura de la roca. Mientras que la rotación hace girar al barreno, de modo que las pastillas de la broca empleada, impacten en lugares distintos a la roca (Aníbal Mallqui, 2001).

Cuenta con una pata plegable, que es básicamente el pie de avance, es decir, un dispositivo acoplable que soporta a la perforadora, mantiene al barreno en contacto firme con la roca y brinda estabilidad al operario para seguir avanzando en la perforación (Aníbal Mallqui, 2001).

**Tabla 1.9 Ficha técnica de la perforadora neumática empleada en OROSOL UNO**

Especificaciones	
Marca	Shenyang
Modelo	YT27
Largo total	668 mm
Peso	27 Kg
Frecuencia de impacto	39 Hz
Consumo de aire	57 L/s
Presión de aire	0.63 Mpa
Presión de agua	0.3 Mpa
Diámetro del cilindro	80 mm
Diámetro del orificio	32-45 mm
Velocidad de perforación	300 r/min



**Fotografía 1.5 Perforadora neumática empleada en la mina de OROSOL UNO**

### 1.4.3.3 Sistema de Iluminación

La iluminación en el interior de una mina subterránea es fundamental, ya que puede prevenir accidentes y mejorar el entorno de trabajo, facilitándoles a los obreros su labor y precautelando su seguridad.

Para el sistema de iluminación empleado en la mina subterránea de OROSOL UNO, se utiliza la energía eléctrica que proviene del Sistema Nacional Interconectado. Dado que la mina se encuentra ubicada en la comunidad de San Gerardo, perteneciente al cantón Camilo Ponce Enríquez, la entidad encargada de regir el servicio eléctrico en el sector es la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, con sede en la ciudad de Cuenca.

La iluminación dentro de la mina se realiza a través de 4 focos LED encendidos en el día y en la noche, siendo cada foco de 60 W y 0.5 A. Se encuentran ubicados en puntos estratégicos donde se requiere una iluminación constante como en el área donde labora el operador del winche, entre otros.

**Tabla 1.10 Ficha técnica de los focos empleados en OROSOL UNO.**

Equipo	Especificaciones
	Foco LED
	Marca: MAVIJU
	Modelo: E27
	Potencia: 15 W
	Temperatura de color: 6500 K
	Lúmenes: 1500 lm
	Voltaje: 110-220V 60Hz
	Ángulo de apertura: 240°
	Horas de vida: 15000 H



**Fotografía 1.6 Iluminación empleada en la mina de OROSOL UNO**

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Método de investigación

- **Investigación bibliográfica**

Fue necesario la revisión bibliográfica a través de motores de búsqueda destinados a artículos científicos como Science Direct, IEEE y Scopus, por medio de los tópicos de interés: Eficiencia Energética, Consumo energético en la minería, Optimización de equipos eléctricos y neumáticos, y demás temas afines. De este modo se recopiló artículos científicos, tesis de postgrado, informes técnicos y documentos varios que brindarán distintos puntos de enfoque al problema planteado.

### 2.2 Tipo de investigación

- **Tipo pre experimental**

En esta investigación se pretende determinar el consumo energético en el interior de la mina a través de la toma de datos en campo y procesamiento de los mismos, para definir estrategias de optimización, con el fin de reducir el consumo energético que refleja directamente en los costos de producción.

- **Tipo prospectivo**

Los datos que son requeridos para el desarrollo de esta investigación son tomados directamente, mediante la planificación previa considerando el sesgo de la medición.

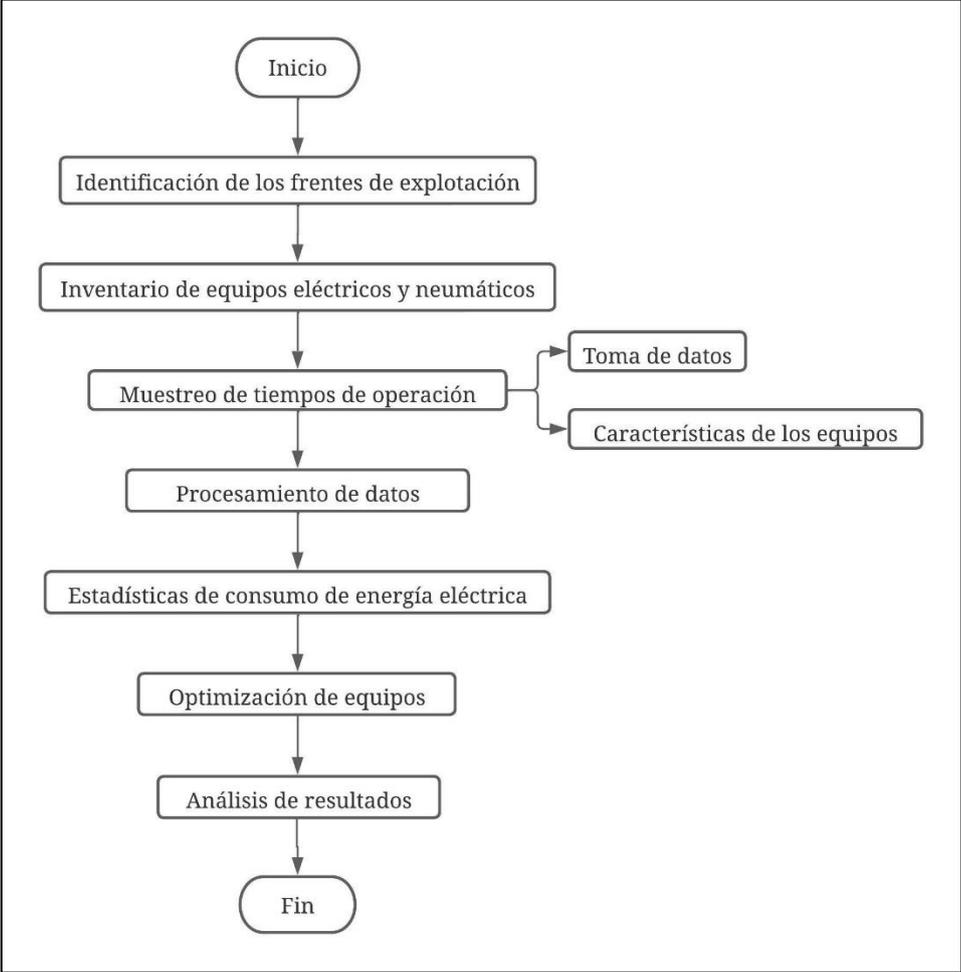
- **Tipo transversal**

Los datos fueron medidos un cierto periodo de tiempo, es decir, en un momento único determinado, pero su influencia puede verse reflejada a lo largo del tiempo, la flexibilidad de considerar múltiples variables juntas como una constante, con una sola variable como foco del estudio transversal.

### 2.3 Metodología

La metodología propuesta para llegar a los resultados deseados se basó en dos partes fundamentales, la primera trata la determinación del consumo energético en el interior de la mina y la segunda sobre las estrategias de optimización que se pueden

implementar con el fin de optimizar el consumo y costos de producción, para ello fue necesario seguir paso a paso el siguiente esquema planteado:



**Figura 2.1 Metodología de investigación propuesto**

Adicionalmente, la realización de este trabajo constó de dos locaciones, el trabajo en campo en mina y oficina, tal como se especifica a continuación:

**2.3.1 Trabajo de campo**

Para poder determinar el consumo energético en el interior de la mina, fue necesario realizar el reconocimiento general de la mina, para ello se hizo un recorrido por todos los frentes de producción realizando esquemas de las instalaciones de la mina subterránea. Posteriormente se tomó los datos de los tiempos operativos de la bomba

eléctrica ubicada en su respectivo frente de trabajo, para luego seguir con el resto de equipos eléctricos y neumáticos. Adicionalmente se consideró los datos de las variables para realizar el correcto dimensionamiento de las bombas.

### **2.3.2 Trabajo de oficina**

Los datos obtenidos a través del trabajo de campo, fueron procesados en el computador por medio de softwares como Excel, AutoCAD y ArcGis. Por medio de estas herramientas, se realizaron tablas en Excel por cada equipo de interior mina eléctrico o neumático, y su consumo eléctrico en USD/mes, así como los planos y mapas de la zona de estudio.

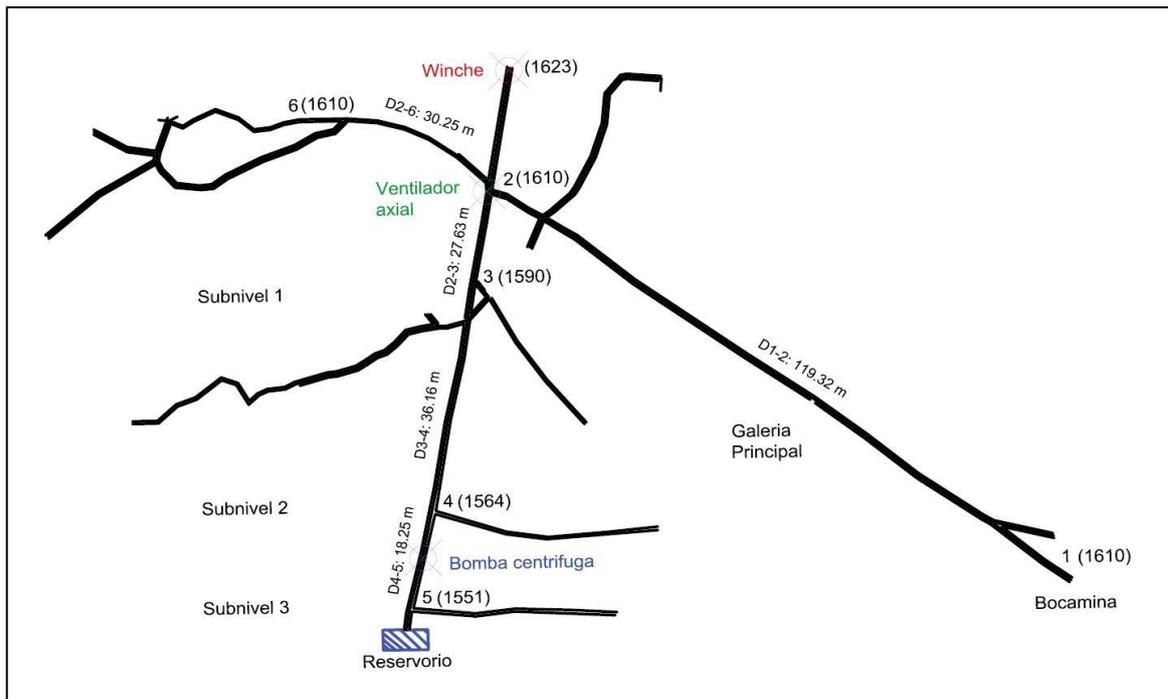
## **2.4 Determinación del consumo energético en interior mina**

### **2.4.1 Identificación de los frentes de producción**

Se realizó un recorrido a lo largo del interior de la mina, con el fin de identificar todos los frentes de producción, los sectores que los comprenden y sus subniveles correspondientes. En la siguiente tabla se especifican los frentes de producción que actualmente se encuentran aún en operación, junto con el número de subniveles:

**Tabla 2.1 Frentes de producción operativos en la mina OROSOL UNO**

<b>Frentes de Producción</b>	<b>Subniveles</b>
Frente lado derecho	Subnivel 100
	Subnivel 1
	Subnivel 2
	Subnivel 3
Frente lado izquierdo	Subnivel 100



**Figura 2.2 Esquema de la mina subterránea OROSOL UNO.**

#### **2.4.2 Inventario de equipos y maquinaria eléctricos, neumáticos e iluminación**

Para los procesos de minado subterráneo utilizados en el sistema de producción mineral, es necesario el uso de equipos eléctricos y neumáticos. Cabe indicar que, en el caso de los equipos neumáticos, el consumo se lo mide en función de los compresores, ya que son estos los que se encargan de distribuir el aire comprimido a lo largo de los frentes hacia estos equipos.

Se ha identificado que existen 4 equipos eléctricos y 1 equipos neumáticos distintos. Se divide la maquinaria en función del tipo de trabajo que realiza, tal como se presenta a continuación:

##### **❖ Drenaje:**

Bomba Centrífuga de 15 HP

Cantidad:1

Marca Mark

Modelo HV2C11

Motor Weg W22 (Trifásico)

Tensión nominal de operación: 220/380/440 V

Velocidad del motor: 3520 RPM

❖ **Ventilación:**

Ventilador Axial

❖ **Transporte:**

Winche de ¼ de tonelada de capacidad

Cantidad:1

Motor Weg W22 (Trifásico)

Potencia nominal del motor: 10 HP

Tensión nominal de operación: 220/380/440 V

Velocidad del motor: 1755 RPM

❖ **Energía:**

- Neumática:

Compresor SULLAIR

Cantidad:1

Modelo VCC-200S

Motor Weg NEMA PREMIUM (150 HP)

Presión de operación: 125 PSI

Flujo de aire: 683 CFM

❖ **Perforación y Voladura:**

Perforadora neumática

Cantidad:2

Marca Shenyang

Modelo YT27

Frecuencia de Impacto: 39 Hz

Consumo de aire: 57 L/s

Diámetro de perforación: 32-45 mm

Velocidad de perforación: 300 r/min

❖ **Iluminación:**

Foco LED de 60 W; 0.5 A

Cantidad:6

En los siguientes gráficos se muestran los equipos eléctricos, neumáticos y la iluminación para cada frente de producción:

**Tabla 2.2 Equipos eléctricos, neumáticos y la iluminación para cada frente de producción**

Frentes de Producción	Subniveles	Equipos Eléctricos	Equipos Neumáticos	Iluminación
Frente lado derecho	Subnivel 100	1 Ventilador Axial	-	1 Foco LED
	Subnivel 1	1 Winche	-	1 Foco LED
	Subnivel 2	-	1 Perforadora Neumática	1 Foco LED
	Subnivel 3	1 Bomba Centrífuga	-	-
Frente lado izquierdo	Subnivel 100	-	1 Perforadora Neumática	1 Foco LED

### 2.4.3 Muestreo de tiempos de operación

Para medir los tiempos operativos reales de cada equipo eléctrico y neumático en los distintos frentes de producción, se cronometró el tiempo que opera cada equipo desde que se prende hasta que se apaga, por un lapso de 3 horas por cada uno.

Dado que en la mina de OROSOL UNO se realizan dos jornadas laborales al día, el tiempo que obtuvimos del muestreo para cada equipo se lo multiplicó por dos, de este modo se obtuvo el tiempo operativo de cada equipo que estaba en funcionamiento en el respectivo frente de producción.

Además del tiempo operativo, fue importante también realizar las debidas anotaciones del sector en donde estaba ubicado el equipo, así como sus características principales, como son la potencia y el modelo.

El formato que se utilizó para el registro de datos de cada uno de los equipos en el frente del lado derecho se muestra a continuación:

**Tabla 2.3 Formato empleado para registro de datos.**

Frente	Equipo	Potencia	Marca	Tiempo Operativo
Frente lado derecho	Winche	15 HP	SACE Motor Weg W22	T.I: 12:30:00
				T.F: 12:32:17
				T.I: 13:03:15
				T.F: 13:10:14
				T.I: 13:39:46
				T.F: 13:49:14
				T.I: 13:57:12
				T.F: 14:06:45
				T.I: 14:38:11
				T.F: 14:47:39
<b>Total Horas de Trabajo:</b>				5.07

#### 2.4.4 Procesamiento de datos

Una vez que se tomaron los datos, se los debe procesar de modo que al final se logre obtener el consumo energético en dólares por mes de cada uno de ellos.

Con los datos de la potencia y el tiempo operativo tomados en campo, ya es posible determinar el consumo eléctrico en dólares al mes que se genera en interior mina. Para ello se debe especificar si se trata de un equipo eléctrico o neumático, tal como se muestra a continuación:

##### a) Caso de equipos eléctricos

Para determinar los Kilovatios hora (kWh) de los equipos eléctricos en interior mina se emplea la siguiente ecuación:

$$kWh \cdot día = (Potencia * 0,7457) * Horas de Trabajo * Cantidad Equipos \quad (2.1)$$

Una vez se haya determinado los kWh de los equipos eléctricos, es necesario llevar esa cantidad a un valor monetario de consumo diario, para ello se multiplica el valor del kWh.día por la tarifa en dólares de cada kilovatio hora, es importante considerar que el costo de la energía varía dependiendo de la hora del día.

$$USD/día = kWh * (USD/kWh) \quad (2.2)$$

Finalmente, para llevar este consumo diario a un consumo mensual, se lo debe multiplicar por los 30 días del mes.

$$USD/Mes = USD/día * 30 \quad (2.3)$$

### **b) Caso de equipos neumáticos**

En el caso de los equipos neumáticos, se consideró el consumo que produce el compresor SULLAIR VCC-200S, es el que abastece a todos los equipos que utilizan aire comprimido en los frentes de producción, como son el caso de las perforadoras YT27.

Al ser equipos neumáticos, se tomó los datos para el compresor del consumo de flujo de aire en CFM en lugar de su potencia en HP, debido a que esta última no es una variable tan importante como si lo es la presión y el flujo de aire. Cabe resaltar que estos equipos no pasan encendidos durante todo el día, es por ello que a través de las mediciones tomadas se colocó un tiempo operativo de 8 horas, en donde trabajan independientemente si los equipos neumáticos en interior mina lo hagan o no.

Para determinar los CFM consumidos en el día del compresor SULLAIR VCC-200S, se aplica la siguiente ecuación:

$$CFM/día = Cantidad\ de\ Equipos * CFM * Horas\ de\ Trabajo * 60 * 1.14 \quad (2.4)$$

Teniendo los CFM/día ya es posible determinar el valor de consumo diario en dólares para el compresor SULLAIR VCC-200S.

$$USD/día = CFM/día * 0.000126 \quad (2.5)$$

Finalmente, para tener el valor del consumo eléctrico mensual generado por el compresor SULLAIR VCC-200S, se multiplica el consumo diario por los 30 días del mes.

$$USD/Mes = USD/día * 30 \quad (2.6)$$

Los valores de consumo eléctrico al mes de cada uno de los equipos e iluminación se encuentran en el Anexo 7.

## 2.5 Dimensionamiento de los equipos eléctricos, neumáticos e iluminación

### 2.5.1 Bomba centrífuga

Para determinar si la bomba centrífuga Mark HV2C11 empleada para la actividad de drenaje en el interior de la mina de OROSOL UNO posee un correcto dimensionamiento, se va a realizar el cálculo de la potencia de la bomba necesaria para extraer agua desde el Subnivel 3 al Subnivel 1 del frente lado derecho.

Los datos recolectados corresponden al sistema de bombeo dispuesto para el mes de noviembre de 2022.

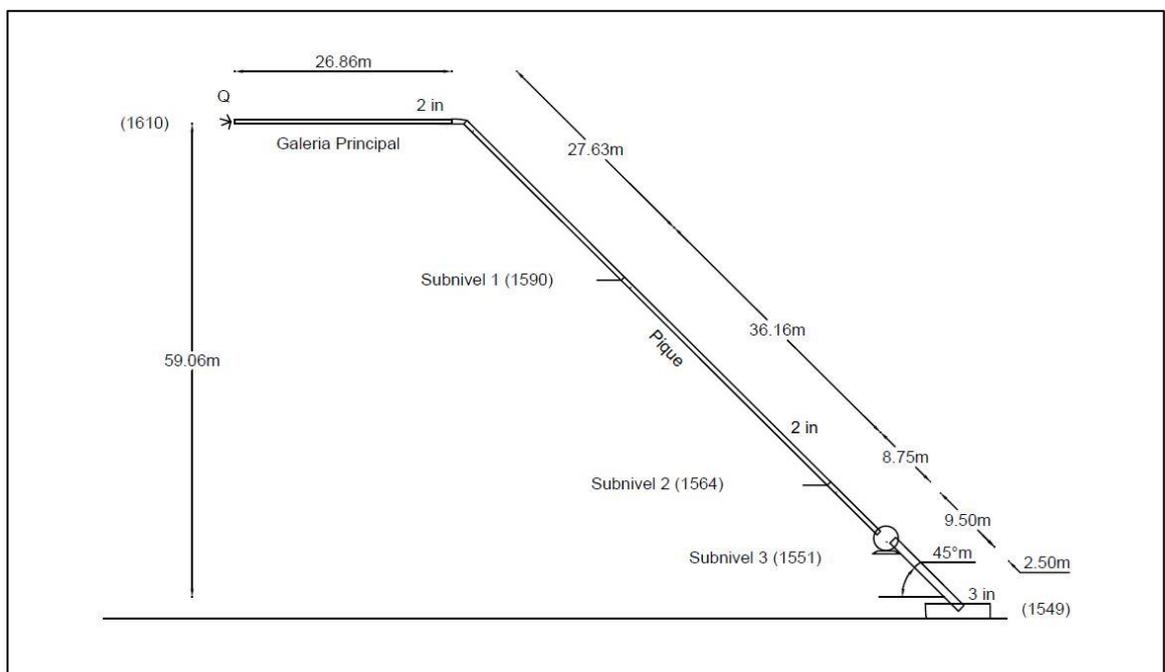


Figura 2.3 Esquema del sistema de bombeo de la mina de OROSOL UNO.

#### 2.5.1.1 Datos iniciales

Se realizó el muestreo de cuanto caudal sale en la tubería de descarga ubicada en el Subnivel 1 del sector de Frente lado derecho. Utilizando un balde de 20 litros, se tomó cinco tiempos de llenado, con los cuales ya es posible conocer el caudal con el tiempo de llenado promedio de 4 segundos.

$$\text{Volumen} = 20 \text{ L} = 0.02 \text{ m}^3$$

**Longitud de la tubería** = 99.42 m

**Tiempos de llenado** =  $T_1$ :4 s

### Descarga

$$Q = \frac{V}{T} \quad (2.7)$$

Donde:

$Q$ : Caudal ( $\frac{m^3}{s}$ )

$V$ : Volumen ( $m^3$ )

$T$ : Tiempo (s)

Entonces:

$$Q = \frac{V}{T}$$

$$Q = \frac{0.02 \text{ m}^3}{4 \text{ s}}$$

$$Q = 0.005 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

#### **2.5.1.2 Cálculo de la carga estática total**

La carga estática es básicamente la carga que debe mover la bomba centrífuga Mark HV2C11 para elevar un fluido desde dos puntos ubicados a diferentes cotas.

Hay que considerar que si la succión de la bomba se encuentra por debajo de la superficie del agua, el valor de  $H_s$  será positivo, mientras que si la succión de la bomba se encuentra por encima de la superficie del agua, este valor será negativo.

El término  $\frac{P_D - P_S}{\gamma}$  será igual a cero debido a que los depósitos se encuentran descubiertos y bajo la misma presión atmosférica minera.

$$H_E = H_D - H_s + \frac{P_D - P_S}{\gamma} \quad (2.8)$$

Donde:

$H_E$ : Carga estática total

$H_D$ : Altura de descarga

$H_S$ : Altura de succión

$P_D$ : Presión en el recipiente de descarga

$P_S$ : Presión en el recipiente de succión

$\gamma$ : Peso específico del agua

Entonces:

$$H_E = H_D - H_S + \frac{P_D - P_S}{\gamma}$$

$$H_E = 51.31 \text{ m} - (-6.72 \text{ m})$$

$$H_E = 58.03 \text{ m}$$

### 2.5.1.3 Cálculo del cabezal dinámico

#### a) Pérdidas por accesorios

Para determinar las pérdidas por accesorios o pérdidas menores, las cuales se producen debido a los accesorios empleados, es necesario conocer el caudal, diámetro de la tubería y la velocidad del agua en la tubería donde se encuentran ubicados estos accesorios.

- Para la tubería (Diámetro nominal de 2 in):

$$\text{Caudal} = 0.005 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Diámetro interno} = 1.89 \text{ in} = 0.048 \text{ m}$$

$$\text{Área} = \frac{\pi}{4} * d^2 \quad (2.9)$$

Donde:

$d$ : Diámetro (m)

Entonces:

$$\text{Área} = \frac{\pi}{4} * d^2$$

$$\text{Área} = \frac{\pi}{4} * (0.048)^2$$

$$\text{Área} = 0.0018 \text{ m}^2$$

$$Q = A * V \quad (2.10)$$

Donde:

$Q$ : Caudal ( $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ )

$A$ : Área ( $\text{m}^2$ )

$V$ : Velocidad del fluido ( $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ )

Entonces:

$$Q = A * V$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0.005 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.0018 \text{ m}^2}$$

$$V = 2.76 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Para el Neplo (Diámetro nominal de 2 ½ in):

**Diámetro interno** = 2.36 in = 0.06 m

$$\text{Área} = \frac{\pi}{4} * d^2$$

$$\text{Área} = \frac{\pi}{4} * (0.06)^2$$

$$\text{Área} = 0.00282 \text{ m}^2$$

$$Q = A * V$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0.005 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.00282 \text{ m}^2}$$

$$V = 1.77 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Para la tubería (Diámetro nominal de 3 in):

**Diámetro interno** = 2.83 in = 0.072 m

$$\text{Área} = \frac{\pi}{4} * d^2$$

$$\text{Área} = \frac{\pi}{4} * (0.072)^2$$

$$\text{Área} = 0.00406 \text{ m}^2$$

$$Q = A * V$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0.005 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.00406 \text{ m}^2}$$

$$V = 1.23 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Con estos valores calculados es posible encontrar las pérdidas para cada uno de los accesorios, con la siguiente fórmula que se muestra a continuación:

$$h_m = k * \frac{v^2}{2g} \quad (2.11)$$

Donde:

$k$ : Coeficiente de pérdida

$V$ : Velocidad del fluido ( $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ )

$g$ : Gravedad ( $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ )

Los valores de  $k$  empleados para cada accesorio se encuentran en la sección de Anexos 1, 2, 3, 4 y 5.

**Tabla 2.4 Tabla de pérdidas por accesorios (Inyección)**

<b>Pérdidas menores (Inyección)</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>K</b>	<b><math>h_m</math></b>
Neplo 2 in	2	0.25	0.194
Empalme en T de 2 in	1	1.8	0.700
Válvula de compuerta 2 in	1	0.19	0.074
Adaptador 2 in	1	0.4	0.156
<b>Total</b>			<b>1.124</b>

**Tabla 2.5 Tabla de pérdidas por accesorios (Succión)**

<b>Pérdidas menores (Succión)</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>K</b>	<b><math>h_m</math></b>
Neplo 2 ½ in	1	0.25	0.040
Reductor de 3 in a 2 in	1	0.1	0.039
Adaptador 3 in	2	0.4	0.062
Válvula Cheque 3 in	2	2.5	0.387
<b>Total</b>			<b>0.528</b>

Por lo tanto, la sumatoria total de las pérdidas menores producidas por los accesorios tanto en la inyección como en la succión de la bomba Mark HV2C11, es de 1.65 metros.

### **b) Pérdidas por fricción**

Para determinar las pérdidas por fricción o pérdidas mayores que se generan a lo largo de la tubería, primeramente, es necesario conocer el Número de Reynolds, de este modo se sabrá si se tiene un régimen laminar o turbulento.

- Para la tubería (Diámetro nominal de 2 in):

$$\text{Densidad del agua a } 20^{\circ}\text{C} = 998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Diámetro interno} = 1.89 \text{ in} = 0.048 \text{ m}$$

$$\text{Velocidad del fluido} = 2.76 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Viscosidad dinámica del agua a } 20^{\circ}\text{C} = 0.001 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$$

$$Re = \frac{\rho * D * V}{\mu} \quad (2.12)$$

Donde:

$\mu$ : Viscosidad dinámica ( $\frac{kg}{m \cdot s}$ )

$$Re = \frac{\rho * D * V}{\mu}$$

$$Re = \frac{(998 \frac{kg}{m^3}) * (0.048 m) * (2.76 \frac{m}{s})}{0.001 \frac{kg}{m \cdot s}}$$

$$Re = 132215.04$$

Dado que  $Re > 4000$ , se tiene un **flujo turbulento**. Es necesario determinar el valor de la rugosidad relativa ( $\epsilon/D$ ), esta depende del material de la tubería, que en este caso se trata de Polietileno, que viene a ser un plástico.

**Tabla 2.6 Coeficiente de rugosidad absoluta  $\epsilon$  para distintos materiales.**

Material	Rugosidad absoluta $\epsilon$ (mm)
Concreto centrifugado nuevo**	0.16
Concreto centrifugado con protección bituminosa**	0.0015 a 0.125
Concreto de acabado liso**	0.025
Concreto alisado interiormente con cemento**	0.25
Concreto con acabado rugoso**	10.00
Acero bridado	0.91 a 9.10
Tubería de acero soldada	0.046
Acero comercial o hierro dulce	0.046
Hierro fundido asfaltado	0.120
Hierro fundido	0.260
Hierro fundido oxidado**	1.0 a 1.5
Hierro galvanizado	0.15
Madera cepillada	0.18 a 0.90
Arcilla vitrificada*	0.15
Asbesto cemento nuevo**	0.025
Asbesto cemento con protección interior de asfalto**	0.0015
Vidrio, cobre, latón, madera bien cepillada, acero nuevo soldado y con una mano interior de pintura, tubos de acero de precisión sin costura, serpentines industriales, plástico, hule, **	0.0015

Fuente: Saldarriaga J., 1998.

Una vez conocido el valor del Número de Reynolds y la Rugosidad relativa, ya es posible emplear la fórmula de Swamee para encontrar el factor de fricción:

**Número de Reynolds:**  $Re = 132215.04$

**Rugosidad relativa:**  $\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.0000015}{0.048} = 0.0000312$

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right) \right]^2} \quad (2.13)$$

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log\left(\frac{0.0000312}{3.7} + \frac{5.74}{132215.04^{0.9}}\right) \right]^2}$$

$$f = 0.017$$

Con estos valores ya es posible encontrar las pérdidas por fricción que se generan a lo largo de la tubería, para ello empleamos la siguiente ecuación de Darcy-Weisbach:

**Longitud de la tubería** = 99.42 m

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad (2.14)$$

Donde:

$f$ : Factor de fricción

$L$ : Longitud de la tubería (m)

$D$ : Diámetro de la tubería (m)

$V$ : Velocidad del fluido ( $\frac{m}{s}$ )

$g$ : Gravedad ( $\frac{m}{s^2}$ )

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

$$h_L = (0.017) * \frac{99.42 \text{ m}}{0.048 \text{ m}} * \frac{(2.76 \frac{m}{s})^2}{2(9.81 \frac{m}{s^2})}$$

$$h_L = 13.67 \text{ m}$$

- Para la tubería de 3 in:

**Diámetro de la Tubería** = 2.83 in = 0.072 m

**Velocidad del fluido** =  $1.23 \frac{m}{s}$

$$Re = \frac{\rho * D * V}{\mu}$$

$$Re = \frac{(998 \frac{kg}{m^3}) * (0.072 m) * (1.23 \frac{m}{s})}{0.001 \frac{kg}{m \cdot s}}$$

$$Re = 88382.88$$

Al ser un flujo turbulento, se necesita conocer el valor de la rugosidad relativa ( $\epsilon/D$ ):

$$\text{Rugosidad relativa: } \frac{\epsilon}{D} = \frac{0.0000015}{0.072} = 0.0000208$$

Empleando la ecuación del factor de fricción para flujo turbulento se determina el valor del factor de fricción:

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log\left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right) \right]^2}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log\left(\frac{0.0000208}{3.7} + \frac{5.74}{88382.88^{0.9}}\right) \right]^2}$$

$$f = 0.01845$$

Empleando la siguiente ecuación de Darcy-Weisbach obtenemos las pérdidas por fricción para la tubería de 3 in:

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

$$h_L = (0.01845) * \frac{99.42 m}{0.072 m} * \frac{(1.23 \frac{m}{s})^2}{2(9.81 \frac{m}{s^2})}$$

$$h_L = 1.96 m$$

Una vez determinado los valores de las pérdidas por accesorios y por fricción, es posible conocer el valor del cabezal dinámico, el cual es la suma de ambas:

$$H_{Dinámica} = h_m + h_L \quad (2.15)$$

$$H_{Dinámica} = 1.65 \text{ m} + (13.67 + 1.96)\text{m}$$

$$H_{Dinámica} = 17.28 \text{ m}$$

#### 2.5.1.4 Cálculo de la carga dinámica total

La carga dinámica total se la encuentra por medio de la suma de la carga dinámica (pérdidas mayores y menores) y la carga estática total.

$$H_{Total} = H_E + H_{Dinámica} \quad (2.16)$$

$$H_{Total} = 58.03 \text{ m} + 17.28 \text{ m}$$

$$H_{Total} = 75.31 \text{ m}$$

#### 2.5.1.5 Cálculo de potencia de la bomba

Para determinar la potencia requerida de la bomba, necesaria para evacuar el agua de mina que se almacena en el reservorio del Subnivel 3 hasta el Subnivel 1, primeramente, se debe hallar el valor en Watts, por medio de la siguiente ecuación:

**Eficiencia del motor de la bomba:**  $\eta = 70\%$

$$W = \frac{H_{Total} * \rho * g * Q}{\eta} \quad (2.17)$$

Donde:

$W$ : Watts

$\eta$ : Eficiencia de la bomba (%)

Entonces:

$$W = \frac{H_{Total} * \rho * g * Q}{\eta}$$
$$W = \frac{(75.31 \text{ m}) * (998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) * (9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) * (0.005 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{0.7}$$
$$W = 5266.52 \text{ Watts}$$
$$W = 5.27 \text{ kW}$$

Considerando:

1 HP = 746 Watts

Por lo tanto, se necesita una bomba centrífuga de 7 HP como mínimo, para poder evacuar la cantidad de agua de mina que se genera diariamente en el Subnivel 3 del frente lado derecho.

### 2.5.1.6 Cálculo de la eficiencia del sistema

#### 2.5.1.6.1 Potencia real consumida por el sistema

A continuación, se muestra la fórmula empleada para determinar la potencia real consumida por el sistema, considerando el voltaje y amperaje de cada motor, así como su factor de potencia ( $\cos \phi$ ).

$$P_{consumida}(KW) = \frac{\sqrt{3} * V * I * \cos \phi}{1000} \quad (2.18)$$

Donde:

V: Voltaje

I: Amperaje

Entonces:

$$P_{consumida}(KW) = \frac{\sqrt{3} * V * I * \cos \phi}{1000}$$
$$P_{consumida}(KW) = \frac{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 36.2 \text{ A} * 0.88}{1000}$$
$$P_{consumida}(KW) = 12.14$$

### 2.5.1.6.2 Eficiencia del conjunto motor-bomba

$$\eta_{total}(\%) = \frac{\gamma * Q * H_T}{P_{consumida} * 102.302} * 100 \quad (2.19)$$

Donde:

$\gamma$ : Peso específico del fluido ( $\frac{kgf}{m^3}$ )

$Q$ : Caudal ( $\frac{m^3}{s}$ )

$H_T$ : Carga dinámica total (m)

Entonces:

$$\eta_{total}(\%) = \frac{\gamma * Q * H_T}{P_{consumida} * 102.302} * 100$$
$$\eta_{total}(\%) = \frac{1000 \frac{kgf}{m^3} * 0.005 \frac{m^3}{s} * 72.76 m}{12.14 KW * 102.302} * 100$$
$$\eta_{total}(\%) = 29.37$$

### 2.5.1.7 Curva característica del sistema

Se determinó mediante los cálculos realizados que la eficiencia con la cual está trabajando la bomba centrífuga Mark HV2C11 actualmente en la mina OROSOL UNO es 29.37%, la cual es muy baja comparado con las condiciones óptimas de trabajo, que debe presentar un rendimiento entre el 50 y 85%, esto lo podemos corroborar a través de la gráfica de la curva del sistema Figura 2.5.

Esta gráfica considera la relación entre el caudal y la carga dinámica total, obtenida a través de los cálculos previos, en donde a cada valor de caudal le corresponde un valor de carga dinámica, esto nos permitirá determinar el punto de operación óptimo de una bomba a determinadas condiciones, el cual está dado por la intersección de la curva característica del modelo de la bomba con la curva obtenida para la bomba de estudio, en este caso le denominamos Estación 1 como se indica en la Tabla 2.6.

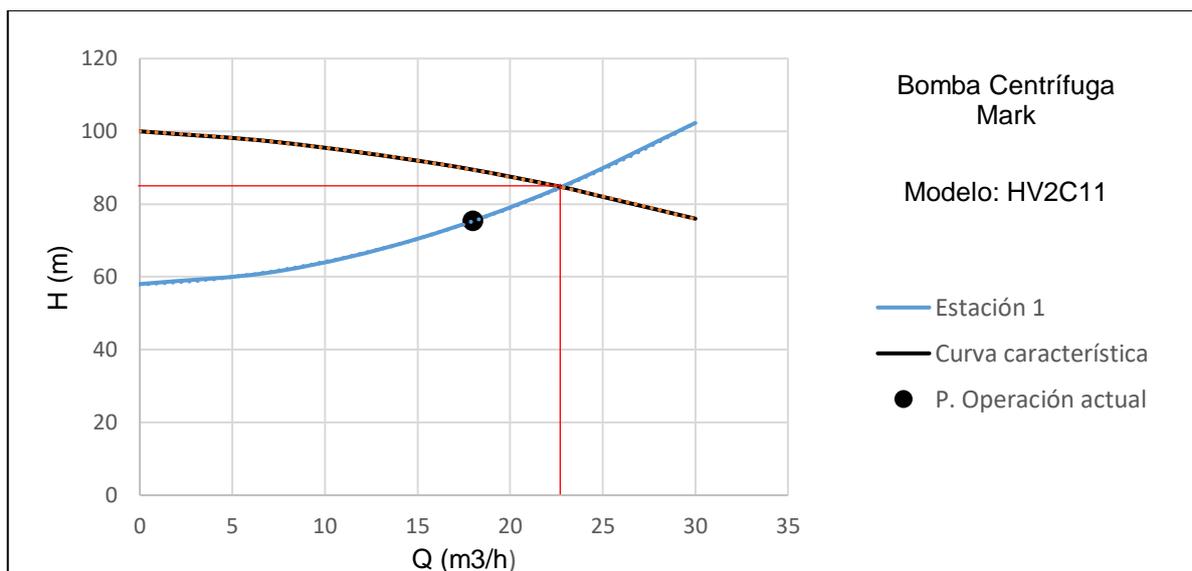


Figura 2.4 Curva característica de la estación de bombeo y su punto de operación.

Tabla 2.7 Datos de la Estación 1, curva característica y punto de operación.

Estación 1		Curva característica		Punto de operación	
Q (m³/h)	H (m)	Q (m³/h)	H (m)	Q (m³/h)	H (m)
0	58.03	0	100	18	75.34
7,5	61.58	7,5	97	-	-
15	70.47	16,2	91	-	-
22,5	84.17	22,5	85	-	-
30	102.3	25	82	-	-
-	-	27,5	79	-	-
-	-	30	76	-	-

Fuente: Autor, noviembre 2022.

Dado que el punto de operación actual de la bomba centrífuga empleada en la mina de OROSOL UNO es de  $(Q = 18 \frac{m^3}{s}$  y  $H = 75.31$  m), el cual está por debajo del punto de operación óptimo  $(Q = 22.79 \frac{m^3}{s}$  y  $H = 84.78$  m), la bomba centrífuga Mark HV2C11 está trabajando a una capacidad menor a la que puede lograr, por ello se debe considerar una variación en el sistema de bombeo, con el fin de aprovechar la bomba que se dispone actualmente y a su vez lograr una reducción en el consumo energético generado por este equipo.

## 2.5.2 Ventilación

### 2.5.2.1 Determinación del caudal de aire necesario en interior mina

Para conocer el caudal total que es necesario para una buena ventilación en el interior de la mina, se debe determinar los caudales que se generan según una serie de variables que influyen directamente en la ventilación de las labores mineras.

#### a) Caudal según el personal que trabaja:

De acuerdo a lo establecido en el Art.247 RSSO, D.S. N.º 023-2017, el caudal mínimo requerido por persona por seguridad es de  $6 \frac{m^3}{min}$ .

$$Q = N * f \quad (2.20)$$

Donde:

$Q$ : Caudal ( $\frac{m^3}{min}$ )

$N$ : Número de personas por guardia

$f$ : Volumen de aire necesario por persona

Entonces:

$$Q = N * f$$

$$Q = 28 * 6 \frac{m^3}{min}$$

$$Q = 168 \frac{m^3}{min}$$

#### b) Caudal según la temperatura:

En interior mina se encuentra a una temperatura que varía de 24 a 30°C.

$$Q = A * V \quad (2.21)$$

Donde:

$A$ : Área promedio de labores ( $m^2$ )

$V$ : Velocidad mínima ( $\frac{m}{min}$ )

**Tabla 2.8 Velocidad mínima a cierta temperatura.**

Humedad relativa	Temperatura seca	Velocidad mínima
≤ 85%	24 a 29°C	30 m/min
> 85%	> 30°C	120 m/min

Fuente: Art.252 RSSO, D.S. N.º 023-2017.

Entonces:

$$Q = A * V$$

$$Q = 5.48 \text{ m}^2 * 30 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$Q = 164.4 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

**c) Caudal según el consumo de explosivos:**

En OROSOL UNO se utiliza como explosivos la dinamita (Riodin HE) de 22 mm x 200 mm cada cartucho de la marca Maxam, que, junto con el nitrato de amonio, cumplen con la función de carga explosiva para detonar la roca en el frente de trabajo.

$$Q = \frac{G * E}{T * F} \tag{2.23}$$

Donde:

$G$ : Formación de gases, como norma general  $G = 0.04 \frac{\text{m}^3}{\text{kg explosivo}}$

$E$ : Cantidad de explosivos a detonar (Kg)

$T$ : Tiempo de dilución

$F$ : Porcentaje de dilución en la atmósfera (0.008%)

Entonces:

$$Q = \frac{G * E}{T * F}$$

$$Q = \frac{0.04 \frac{\text{m}^3}{\text{kg explosivo}} * 8.72 \text{ kg explosivo}}{30 \text{ min} * 0.00008}$$

$$Q = 145.36 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

**d) Caudal total:**

Cabe indicar que no se considera el caudal de aire que requieren la maquinaria a combustión por no disponer en la mina de OROSOL UNO.

$$Q_{total} = \sum Q \quad (2.24)$$
$$Q_{total} = 168 \frac{m^3}{min} + 164.4 \frac{m^3}{min} + 145.36 \frac{m^3}{min}$$
$$Q_{total} = 477.76 \frac{m^3}{min}$$

**e) Caudal requerido por fugas:**

$$Q_{fugas} = 15\% * Q_{total} \quad (2.25)$$
$$Q_{fugas} = 0.15 * 477.76 \frac{m^3}{min}$$
$$Q_{fugas} = 71.66 \frac{m^3}{min}$$

**f) Caudal total de operaciones:**

$$Q_{To} = Q_{total} + Q_{fugas} \quad (2.26)$$
$$Q_{To} = 477.76 \frac{m^3}{min} + 71.66 \frac{m^3}{min}$$
$$Q_{To} = 549.42 \frac{m^3}{min}$$
$$Q_{To} = 19,394.53 CFM$$

Por lo tanto, el caudal de aire necesario en el interior de la mina de OROSOL UNO, para que exista una buena ventilación a lo largo de las labores mineras, será de aproximadamente de  $550 \frac{m^3}{min}$  y de 19395 CFM.

Para la cantidad de aire limpio de ventilación y seleccionar el ventilador debe estar en un valor mínimo del 5% y un valor máximo del 7%, del valor teórico calculado.

**Tabla 2.9 Caudal mínimo y máximo requerido.**

Caudal teórico calculado	Caudal mínimo requerido	Caudal máximo requerido
$550 \frac{m^3}{min}$	$578 \frac{m^3}{min}$	$589 \frac{m^3}{min}$
19395 CFM	20365 CFM	20753 CFM

Para seleccionar el ventilador y cumplir con el aire fresco se requerirá de un ventilador que varíe entre  $578 \frac{m^3}{min}$  (20365 CFM) y  $589 \frac{m^3}{min}$  (20753 CFM).

### 2.5.3 Compresor

Para determinar la capacidad del compresor a emplearse en la mina de OROSOL UNO, es necesario considerar el consumo de aire que ocupan los equipos neumáticos en el interior de la mina, así como la presión que requieren para realizar de forma óptima su labor.

#### 2.5.3.1 Selección del compresor

Primeramente, es necesario hacer un pequeño inventario con los equipos neumáticos (Perforadora neumática YT27) que se disponen en el interior de la mina, con el fin de establecer la cantidad existente, así como su coeficiente de utilización, es decir las horas de trabajo del equipo con respecto a su disponibilidad.

**Tabla 2.10 Equipos neumáticos y su coeficiente de utilización.**

Equipo	Cantidad	Coef. Útil
Perforadora neumática YT27	2	$1.7/2 = 0.85$

Lo siguiente es identificar el consumo unitario de aire del equipo el cual se lo encuentra en el catálogo del fabricante y, servirá para determinar el respectivo consumo útil.

**Tabla 2.11 Consumo total útil de los equipos neumáticos.**

Equipo	Cantidad	Coef. Útil	Consumo unitario (L/min)	Consumo total (L/min)	Consumo útil (L/min)
Perforadora neumática YT27	2	0.85	3966	7932	6742

Al consumo útil encontrado para el equipo neumático, en este caso, la perforadora neumática YT27, se le debe agregar dos valores como son el 10% del consumo útil, correspondientes a las fugas en la tubería de aire comprimido, así como el 50% del consumo útil, destinado a ampliaciones futuras.

$$\text{Cons. total útil} = \text{Cons. útil} + 10\% \text{ fugas} + 50\% \text{ amplia. futuras} \quad (2.27)$$

$$\text{Cons. total útil} = 6742 \frac{L}{\text{min}} + 674.2 \frac{L}{\text{min}} + 3371 \frac{L}{\text{min}}$$

$$\text{Cons. total útil} = 10787.2 \frac{L}{\text{min}}$$

$$\text{Cons. total útil} = 10.79 \frac{m^3}{\text{min}}$$

$$\text{Cons. total útil} = 381 \text{ CFM}$$

Si llevamos el consumo total útil ( $\frac{m^3}{\text{min}}$ ) a unidades de CFM, vamos a obtener un total de aproximadamente 10.79 m<sup>3</sup>/min (381 CFM), este valor está un 56% por debajo de los 19.35 m<sup>3</sup>/min (683 CFM) de capacidad que otorga el compresor instalado actualmente, lo que nos indica que existe un sobredimensionamiento en este equipo, lo cual genera un gasto en consumo eléctrico adicional.

$$I_c = \frac{10.79 \text{ m}^3/\text{min}}{19.35 \text{ m}^3/\text{min}} * 100$$

$$I_c = 44 \%$$

Donde:

$I_c$ : Índice de capacidad

El índice de capacidad instalada está sobredimensionado el 44% con lo que requiere las actividades actualmente.

### 2.5.3.2 Selección del tanque de almacenamiento (Pulmón)

Todo compresor necesita un tanque de almacenamiento, en donde se pueda acumular el aire comprimido para su posterior traslado hacia el interior de la mina, para ello empleamos la siguiente ecuación:

$$V_{tk} = \frac{0.25 * Q_w * P_w * T_c}{f_{max} * (P_{wc} - P_a) * T_w} \quad (2.28)$$

Donde:

$Q_w$ : Requerimiento de aire ( $\frac{L}{s}$ )

$P_w$ : Presión atmosférica absoluta a condiciones de trabajo

$T_c$ : Temperatura del aire a la salida del compresor (°K)

$f_{max}$ : Ciclo de frecuencia de regulación entre carga y descarga del compresor

$P_{wc}$ : Presión máxima en el acumulador (bar)

$P_a$ : Presión mínima en el acumulador (bar)

$T_w$ : Temperatura del aire al ingreso del compresor (°K)

Entonces:

$$V_{tk} = \frac{0.25 * Q_w * P_w * T_c}{f_{max} * (P_{wc} - P_a) * T_w}$$

$$V_{tk} = \frac{0.25 * 155.04 \frac{L}{s} * 0.87 \text{ bar} * 310 \text{ °K}}{\frac{1}{30 s} * (1 \text{ bar}) * 295 \text{ °K}}$$

$$V_{tk} = 1063.08 L$$

Para el volumen máximo almacenado de aire, el volumen del tanque debe tener una capacidad del 110% de la capacidad teórica calculada.

$$V_{tka} = 1063.08 L * 110\%$$

$$V_{tka} = 1169.46 L$$

Se dispone actualmente del tanque de almacenamiento Tkp-01, cilíndrico horizontal con dimensiones de 6.7 m de largo, y 1.80 m de diámetro, con un volumen de 16 m<sup>3</sup> (16000 L).

$$Ca = \frac{16000 L}{1169.46 L} * 100$$

$$Ca = 1368 \%$$

El tanque existente tiene una capacidad de almacenamiento de 1368% más que el volumen de almacenamiento teórico, lo que nos permite disponer de aire de reserva almacenado, por lo que no hay inconvenientes en cuanto a seguir empleando el tanque de almacenamiento disponible actualmente.

#### 2.5.4 Iluminación

La iluminación empleada en la mina subterránea de OROSOL UNO, está conformada por 6 focos LED de 15 W, 1500 lm de la marca MAVIJU, los cuales están ubicados en puntos estratégicos de la mina, como son a la llegada a un subnivel, el área del operador del winche y en tramos de la galería principal, cabe indicar que el personal dispone de su lámpara de minero.

Para la iluminación en interior mina se emplea el cable eléctrico enrollable No.14, el cual tiene su respectivo recubrimiento, debido a las constantes filtraciones de agua en las labores. Este cableado es colocado en las galerías con ganchos metálicos empotrados en la pared a lo largo del trayecto.

Es importante identificar si los focos empleados actualmente brindan un nivel de flujo luminoso (lumen) acorde a las labores donde se encuentran ubicados, para garantiza mayor seguridad a las personas que se encuentran trabajando en el sector.

Para determinar los lúmenes que requiere un foco para una adecuada iluminación, se debe seguir el siguiente proceso:

##### a) Cálculo del radio de zona de cobertura útil:

$$r = h * \tan \frac{\phi}{2} \quad (2.29)$$

En donde:

$r$ : Radio de zona de cobertura útil

$h$ : Altura entre el LED y superficie a iluminar

$\phi$ : Ángulo de visión del LED (Dato del fabricante)

Entonces:

$$r = h * \tan \frac{\phi}{2}$$
$$r = 2.3 \text{ m} * \tan \frac{240}{2}$$
$$r = 1.64 \text{ m}$$

**b) Cálculo del ángulo sólido:**

$$\Omega = 2\pi(1 - \cos \frac{\phi}{2}) \quad (2.30)$$

En donde:

$\Omega$ : Ángulo sólido

$\phi$ : Ángulo de visión del LED (Dato del fabricante)

Entonces:

$$\Omega = 2\pi(1 - \cos \frac{\phi}{2})$$
$$\Omega = 2\pi(1 - \cos \frac{240}{2})$$
$$\Omega = 1.17$$

**c) Cálculo de lúmenes necesarios:**

Para determinar los lúmenes necesarios, primeramente, debemos relacionar dos fórmulas, las cuales son:

$$Iv = \frac{Lm}{\Omega} \quad (2.31)$$

En donde:

$Iv$ : Intensidad de luz (cd-candelas)

$Lm$ : Flujo luminoso (lumen)

$\Omega$ : Ángulo sólido

$$Ev = \frac{Iv}{r^2} \quad (2.32)$$

En donde:

$Ev$ : Iluminancia sobre la superficie (Lux)

$Iv$ : Intensidad de luz (cd-candelas)

r: Radio de zona de cobertura útil

Igualando las ecuaciones y despejando el término de interés, en este caso los lúmenes, tenemos la siguiente ecuación:

$$Lm = Ev * r^2 * \Omega \quad (2.33)$$

En esta fórmula, el valor de la iluminancia sobre la superficie (lux) está dado según los niveles mínimos que deba poseer cierta zona de trabajo, tal como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 2.12 Niveles mínimos de iluminación dentro de una mina.**

Zona o parte del lugar de trabajo (*)	Nivel mínimo de iluminación (LUX)
Zona donde se ejecutan tareas con:	
Bajas exigencias visuales	100
Exigencias visuales moderadas	200
Exigencias visuales altas	500
Áreas o locales de uso ocasional	50
Áreas o locales de uso habitual	100
Vías de circulación de uso ocasional	25
Vías de circulación de uso habitual	50

Fuente: Díaz, Marcelo Raúl, 2019.

Dado que para la ubicación de los focos actualmente se necesitan unas exigencias visuales moderadas, se toma el valor de iluminancia no menor de 200 Luxes, con el cual ya es posible determinar los lúmenes requeridos.

$$Lm = Ev * r^2 * \Omega$$

$$Lm = 200 \text{ luxes} * (1.64 \text{ m})^2 * 1.17$$

$$Lm = 629.37$$

Por lo tanto, la iluminación dentro de la mina de OROSOL UNO colocada en estos sitios estratégico no podrá ser menor de 200 Lux, y siempre el personal deberá portar su lámpara de minero asegurándose previo a su ingreso a la mina que esté cargada y en buenas condiciones.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Costo mensual del consumo eléctrico en interior mina

Para determinar el costo mensual del consumo eléctrico en interior mina, hay que considerar los cargos tarifarios que aplican para el sector minero ecuatoriano, para ello se emplea el pliego tarifario, el cual indica tres aristas de consumo a tomar en cuenta, como son el de comercialización, demanda y energía.

Es importante señalar que la Asociación minera OROSOL UNO se ubica en la sección **Medio voltaje con demanda horaria diferenciada**, específicamente en el apartado de industriales, por lo que en el día existe un costo por kW, y en la noche este varía.

Rango de consumo	Demanda (USD/kW-mes)	Energía (USD/kWh)	Comercialización (USD/Consumidor)
<b>Nivel voltaje</b>	<b>General medio voltaje con demanda</b>		
	<b>Comerciales</b>		1.414
	4.79	0.095	
	<b>Industriales</b>		
	4.79	0.083	
	<b>E. Oficiales, Esc. Deportivos Servicio comunitario y abonados especiales</b>		
	4.79	0.071	
	<b>Bombeo agua</b>		
	4.79	0.061	
<b>Nivel voltaje</b>	<b>Medio voltaje con demanda horaria</b>		
	<b>Comerciales</b>		1.414
08:00 hasta 22:00 horas 22:00 hasta 08:00 horas	4.576	0.095	
		0.077	
	<b>E. Oficiales, Esc. Deportivos Servicio comunitario y abonados especiales</b>		
08:00 hasta 22:00 horas 22:00 hasta 08:00 horas	4.576	0.071	
		0.059	
	<b>Bombeo agua</b>		

08:00 hasta 22:00 horas	4.576	0.061	
<b>Nivel voltaje</b>	<b>Medio voltaje con demanda horaria diferenciada</b>		
	<b>Bombeo agua servicio público de agua potable</b>		1.414
L-V 08:00 hasta 18:00 horas L-V 18:00 hasta 22:00 horas L-V 22:00 hasta 08:00 horas S, D 18:00 hasta 22:00 horas	2.62	0.043 0.073 0.034 0.043	
	<b>Estación de carga rápida</b>		
L-V 08:00 hasta 18:00 horas L-V 18:00 hasta 22:00 horas L-V 22:00 hasta 08:00 horas S, D 18:00 hasta 22:00 horas	4.05	0.069 0.086 0.043	
	<b>Industriales</b>		
L-V 08:00 hasta 18:00 horas L-V 18:00 hasta 22:00 horas L-V 22:00 hasta 08:00 horas S, D 18:00 hasta 22:00 horas	4.576	0.0897 0.1037 0.0501 0.0897	

**Figura 3.1. Cargos tarifarios para medio voltaje con demanda horaria diferenciada.**

**Fuente: Pliego Tarifario del Servicio Público de Energía Eléctrica, 2021.**

Considerando las tres aristas de consumo, el costo mensual de energía eléctrica en el interior de la mina, se lo determina de la siguiente forma:

**a) Comercialización (USD/Consumidor)**

Valor: USD 1.414

**b) Demanda (USD/kW)**

$$\begin{aligned}
 \text{Demanda} &= \text{Total kW} * \text{Cargo Tarifario} & (3.1) \\
 &= 130.59 \text{ kW} * 4.576 \text{ USD/kW} \\
 &= \text{USD } 597.58
 \end{aligned}$$

**c) Energía (USD/kWh)**

*Turno Día*

$$\text{Energía} = \text{Total kWh} * \text{Cargo Tarifario} * \text{Días del mes} \quad (3.2)$$

$$= 257.80 \text{ kWh} * 0.0897 \text{ USD/kWh} * 30$$

$$= \text{USD } 693.74$$

#### Turno Noche

$$\text{Energía} = \text{Total kWh} * \text{Cargo Tarifario} * \text{Días del mes}$$

$$= 257.80 \text{ kWh} * 0.1037 \text{ USD/kWh} * 30$$

$$= \text{USD } 802.02$$

**Tabla 3.1 Costo mensual de energía eléctrica en el interior de la mina**

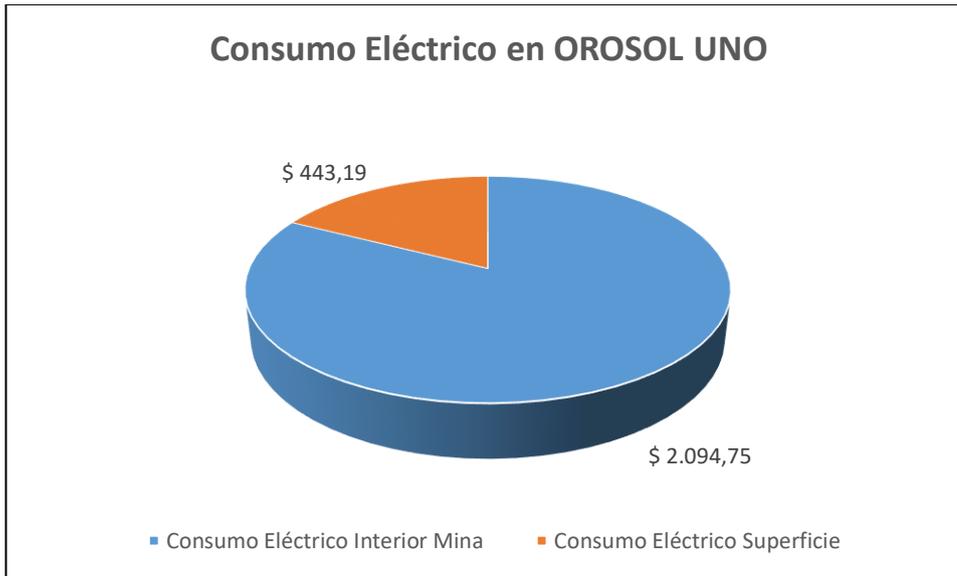
<b>Costo mensual de energía eléctrica en el interior de la mina</b>			
<b>Rango de consumo</b>	<b>Valor</b>	<b>%</b>	
Comercialización	USD 1.414	0.06	
Demanda	USD 597.58	28.53	
Energía	Turno día	USD 693.74	33.12
	Turno noche	USD 802.02	38.29
<b>Total</b>	<b>USD 2,094.75</b>	<b>100</b>	

### 3.2 Estadísticas de consumo de energía eléctrica

#### 3.2.1 Consumo eléctrico en OROSOL UNO

El consumo mensual de toda la mina por concepto de energía eléctrica dado por el departamento eléctrico considerando el consolidado mensual durante el año 2022 es de USD 2537.94; y el 85.4% (USD 2157.24) del consumo eléctrico promedio anual generado por OROSOL UNO, corresponde exclusivamente al interior de la mina.

Con el valor teórico calculado del costo mensual de energía eléctrica generado en el interior de la mina, el cual es de USD 2094.75 y comparándolo con el costo total promedio mensual durante el año 2022 de USD 2157.24, se determina que existe un consumo adicional del 3% de lo consumido en relación a lo calculado con una diferencia de USD de 62.49.



**Figura 3.2 Consumo eléctrico en OROSOL UNO**

### 3.2.2 Consumo kW-día, kWh-día en el interior de la mina

En la siguiente tabla, se muestra el consumo en kW y kWh que se genera al día para cada uno de los equipos empleados en el interior de la mina, además de los porcentajes que estos representan.

**Tabla 3.2 Consumo kW-día, kWh-día por cada equipo**

<b>Estadísticas de consumo por equipo</b>		
<b>Equipo</b>	<b>kW-día</b>	<b>kWh-día</b>
Bomba Centrífuga Mark HV2C11	11.19	89.48
Winche	7.46	52.2
Compresor SULLAIR VCC-200S	59	371.76
Iluminación	0.089	2.15
<b>Total</b>	<b>130.59</b>	<b>515.59</b>

### 3.2.3 Consumo (USD) por cada equipo en el interior de la mina

Conociendo los valores del consumo al mes en dólares para cada uno de los equipos, es posible determinar el porcentaje que representa aquel consumo para cada equipo independientemente.

**Tabla 3.3 Valor de consumo eléctrico al mes por equipo y su porcentaje.**

Estadísticas de consumo por equipo en USD		
Equipo	Valor (USD)	%
Bomba Centrífuga Mark HV2C11	311.21	14.86
Winche	186.02	8.88
Compresor SULLAIR VCC-200S	1590.47	75.92
Iluminación	7.05	0.34
<b>Total</b>	USD 2094.75	100

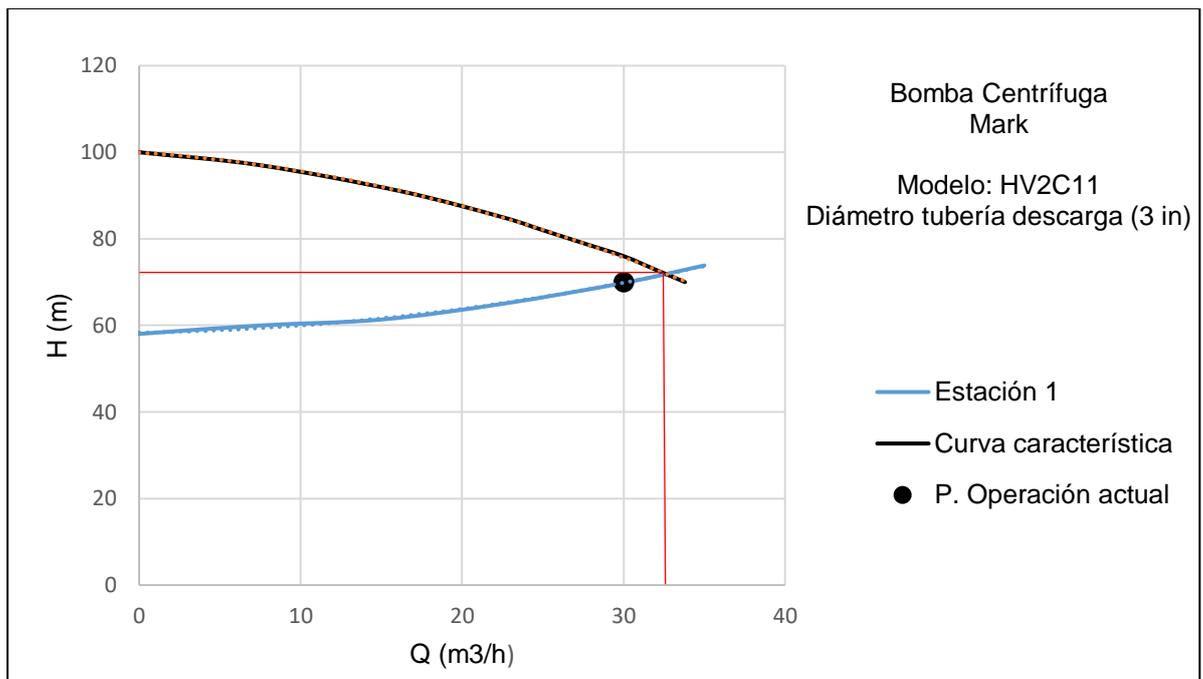
Se puede establecer que el mayor consumo de energía eléctrica es el compresor con un costo de USD 1590.47, que representa un 75.92 %.

### 3.3 Propuesta de optimización del consumo energético

#### 3.3.1 Bomba Centrífuga

En cuanto al sistema de bombeo, en vista de que se logró determinar que la bomba centrífuga Mark HV2C11 usada actualmente no está trabajando en su punto de operación óptimo ( $Q = 22.79 \frac{m^3}{s}$  y  $H = 84.78$  m), se propone cambiar el diámetro de la tubería de inyección de 2 in a 3 in, que consta de un tramo de aproximadamente 100 metros de longitud, con el fin aumentar el caudal de descarga y a su vez reducir el tiempo de operación de la bomba, para de este modo disminuir el consumo eléctrico y aprovechar la disponibilidad del equipo.

En la figura 3.3 se muestra que, usando una tubería de 3 in para la sección de inyección, el punto óptimo de operación será aproximadamente con un caudal de  $33 \frac{m^3}{h}$  a una altura dinámica de 72 metros. Por lo tanto, si consideramos que en la descarga exista un caudal aún inferior al óptimo, por ejemplo, un caudal de  $30 \frac{m^3}{h}$ , se necesitará una altura dinámica de 70 metros, que como se puede notar en la gráfica, la bomba efectivamente será capaz de evacuar el agua. De este modo, se intenta reducir el consumo eléctrico en cuanto al sistema de bombeo, a su vez, aprovechando la disponibilidad de la bomba de 15 HP que se tiene actualmente, ya que la inversión de una tubería nueva es considerablemente menor al costeo de un equipo nuevo.



**Figura 3.3** Curva característica de la estación de bombeo con tubería de 3 in.

### 3.3.2 Ventilación

Para la ventilación, dado que el ventilador centrífugo que se posee en la mina ha permanecido averiado algún tiempo, por ese motivo la labor de ventilación se la ha realizado desde entonces a través del aire comprimido que proporciona el compresor, lo cual eleva los costos debido a la potencia que posee.

Conforme a ello, se ha propuesto la adquisición de un ventilador axial Soler & Palau AVR 500 que cumpla con las funciones de ventilar las labores luego de las voladuras, en lugar del compresor que no es la manera técnica de ventilar, tal como se venía realizando. Para ello se consideró según los cálculos previos, el caudal requerido en el interior de la mina de OROSOL UNO. En la siguiente tabla se muestra el equipo propuesto:

**Tabla 3.4 Propuesta de nuevo ventilador propuesto.**

Equipo	Especificaciones
	Ventilador axial
	Marca: Soler & Palau
	Modelo: AVR 500
	Velocidad: 1750 RPM
	Número de álabes: 9
	Caudal: Hasta 50,000 $\frac{m^3}{h}$

Con la aplicación de esta propuesta, se espera suplir en buena forma la ventilación actual que técnicamente no es recomendable, de modo que se logre reducir además el consumo energético que se generaba al estar encendido el compresor durante esas dos horas destinadas a esta labor.

### 3.3.3 Winche

En lo que respecta al winche, empleado para el transporte del material fragmentado entre los distintos subniveles en el interior de la mina, no se ha encontrado que presente inconvenientes en su labor, además que representa un 9% del consumo eléctrico mensual, por lo que este equipo está bien dimensionado.

Sin embargo, con el fin de reducir el consumo eléctrico que genera este equipo, el cual representa cerca de un 9% del consumo total en interior mina, se propone la instalación en el winche de un variador de frecuencia con arrancador suave, este aparato va a reducir un posible calentamiento en el motor debido a los arranques y paradas frecuentes, lo que alarga la vida útil del equipo. Logra además una reducción de corriente importante, lo cual equivale a un ahorro estimado del 20% aproximadamente para el consumo eléctrico del equipo.

De esta forma, con esta propuesta se logra proteger al equipo en cuestión y se reduce en cierta medida el consumo eléctrico que este genera, dado que optar por un cambio del winche con menor potencia no tendría sentido, considerando que se reduciría la producción diaria y la inversión inicial sería bastante elevada en comparación con la propuesta dada.

### 3.3.4 Compresor

Se ha demostrado que el compresor que se dispone en la mina de OROSOL UNO, posee una capacidad mayor a la que se necesita actualmente con el empleo de dos perforadoras neumáticas, de todo el tiempo que pasa en operación apenas se está aprovechando un 56% de su capacidad total, esto genera un consumo eléctrico adicional injustificado, más aun considerando que el compresor SULLAIR VCC-200S posee alrededor del 76% del gasto total del consumo eléctrico en interior mina, aproximadamente USD 1590.47.

Se propone realizar la adquisición de un compresor a tornillo con variador de frecuencia de la marca DENAIR DVA75, este variador por lo general ya viene instalado de fábrica en los compresores eléctricos, y tiene la función de suministrar únicamente la cantidad de aire comprimido necesaria en el momento de las labores de perforación, es decir reduce el consumo eléctrico del compresor en función de la capacidad que esté otorgando al equipo neumático que se encuentre operando dentro de mina, esto representa disminuir el costo en un 47% del consumo del compresor actual de USD 1590.47, en comparación con el compresor propuesto con un costo de USD 753.25 tal como se indica en la Tabla 3.17.

**Tabla 3.5 Propuesta de nuevo compresor.**

Equipo	Especificaciones
	Compresor eléctrico de tornillo
	Marca: DENAIR
	Modelo: DVA75
	Potencia: 100 HP
	Capacidad: 222 a 443 CFM
	Presión de trabajo: 110 PSI (7.5 bar)
	Presión máxima: 120 PSI (8.3 bar)
	Voltaje: 440 V/ 3F/ 60 Hz
	Eficiencia: 96.2%
	Arranque: Electrónico VSD

El nuevo compresor que se propone utilizar, al poseer el sistema con variador de frecuencia de arranque suave, va a optimizar de un 20-40% el consumo de energía eléctrica de la maquinaria en relación al compresor de velocidad fija actual.

Es importante mencionar que el compresor está cumpliendo, además, la función de ventilar las labores luego de las voladuras por un tiempo de 2 horas cada día, lo cual sin duda representa otro monto superior en gastos en comparación a utilizar los respectivos equipos de ventilación adecuado.

Es por estas razones que se propone en lo que respecta al compresor, realizar las siguientes implementaciones con el fin de lograr un menor consumo eléctrico en interior mina sin ver afectados la operatividad de los equipos y la producción de la mina:

- 1) Reemplazar el compresor eléctrico de velocidad fija empleado actualmente marca SULLAIR, por el compresor eléctrico de tornillo con variador de frecuencia marca DENAIR.
- 2) Sustituir el uso del compresor para las labores de ventilación minera, el cual era de 2 horas diarias aproximadamente, y a su vez emplear el debido ventilador que cumpla con los requerimientos de la mina.

### 3.3.5 Iluminación

Para la iluminación se propone realizar el mantenimiento preventivo considerando las horas de vida del foco LED que recomienda el fabricante para su cambio.

**Tabla 3.6 Propuesta de mantener foco LED.**

Equipo	Especificaciones
	Foco LED
	Marca: MAVIJU
	Modelo: E27
	Potencia: 15 W
	Temperatura de color: 6500 K
	Lúmenes: 1500 lm
	Voltaje: 110-220V 60Hz
	Ángulo de apertura: 240°
	Horas de vida: 15,000 H

## 3.4 Costos de implementación de nueva propuesta

### 3.4.1 Bomba centrífuga

La cotización de la tubería de 3 in para el tramo de inyección, que corresponde aproximadamente a 100 metros de longitud, se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 3.7 Costos de adquisición de la tubería 3 in.**

<b>Costos de adquisición de la tubería</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad (m)</b>	<b>Costo Unitario (USD/m)</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
Tubería polietileno de baja densidad 3 in (Rollo 50m)	2	150.00	300.00
<b>Total</b>			<b>300.00</b>

Considerando los cambios realizados con el nuevo sistema propuesto, se pueden determinar los valores, en función del nuevo tiempo operativo que se estima trabajar, en el cual la bomba va a requerir de aproximadamente 5 horas para extraer la misma cantidad de agua de mina que se extraía usando la tubería de 2 in para la inyección. Esto nos representa un ahorro mensual el cual va a compensar los gastos de inversión para el nuevo sistema en un cierto tiempo determinado, el cual se muestra a continuación:

**Tabla 3.8 Tiempo de retorno de la inversión para nueva propuesta en el sistema de bombeo.**

<b>Descripción</b>	<b>Valor mensual</b>	<b>Valor anual</b>
Consumo actual (kWh)	2,684.4	32,212.8
<b>Consumo con nueva propuesta (kWh)</b>	<b>1,677.84</b>	<b>20,134.08</b>
Consumo actual (USD)	268.45	3,221.4
<b>Consumo con nueva propuesta (USD)</b>	<b>167.78</b>	<b>2,013.36</b>
<b>Ahorro estimado (USD)</b>	<b>100.67</b>	<b>1,208.04</b>
<b>Tiempo de retorno de la inversión</b>	<b>3 meses</b>	<b>-</b>

Dado que el tiempo de retorno de la inversión es de 3 meses operativos, se considera factible la implementación de estas modificaciones en el sistema de bombeo ya que existe un ahorro estimado del 38% mensual que corresponde a USD 100.67 en comparación con el sistema actual, de este modo se aprovecha el equipo ya disponible, lo cual reduce la inversión inicial en comparación si se hubiese elegido un equipo nuevo.

### **3.4.2 Ventilación**

La cotización del ventilador propuesto se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 3.9 Costos de adquisición del ventilador propuesto.**

Descripción	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Ventilador axial AVR 550 Soler & Palau	1	1,170.00	1,170.00
		<b>SUBTOTAL</b>	1,170.00
		<b>IVA 12%</b>	140.4
		<b>TOTAL</b>	1,310.4

Dada la inversión inicial, es importante determinar en cuanto tiempo se va a recuperar dicha inversión, y es desde entonces que la nueva propuesta comienza a dejar réditos monetarios, para el caso de esta propuesta el ahorro estimado lo muestra la siguiente tabla:

**Tabla 3.10 Ahorro estimado para nueva propuesta para el ventilador.**

Descripción	Valor mensual	Valor anual
Consumo actual (kWh)	15,904.5	190,854.00
<b>Consumo con nueva propuesta (kWh)</b>	<b>12,598.2</b>	<b>151,178.4</b>
Consumo actual (USD)	2,094.75	25,137.00
<b>Consumo con nueva propuesta (USD)</b>	<b>1,868.00</b>	<b>22,416.00</b>
<b>Ahorro estimado (USD)</b>	<b>226.75</b>	<b>2,721.00</b>
<b>Tiempo de retorno de la inversión</b>	<b>6 meses</b>	-

El tiempo de retorno de la inversión es de 6 meses operativos, se considera factible la adquisición del ventilador Soler & Palau AVR 500 propuesto, ya que existe un ahorro estimado del 11% mensual que corresponde a USD 226.75 en comparación con el ventilador existente.

### 3.4.3 Winche

En la siguiente tabla se muestra la cotización del variador de frecuencia necesario para operar con el motor de 10 HP que posee el winche en el interior de la mina:

**Tabla 3.11 Cotización del variador de frecuencia propuesto.**

Proveedor	Dirección	Descripción	Cant.	Costo Unitario (USD)	Costo total (USD)
SUMINTOR S.A.	Ayacucho entre 9na y 10ma Norte (Machala)	SIEMENS Variador Sinamics V20 10HP 440V	1	799.33	799.33
				<b>SUBTOTAL</b>	799.33
				<b>IVA 12%</b>	95.92
				<b>TOTAL</b>	895.25

Fuente: Proveedor SUMINTOR S.A., noviembre 2022.

Para la instalación de este aparato se va a requerir una lista de accesorios complementarios, además de la mano de obra, los cuales forman parte también de la inversión inicial que implementar este aparato representa.

**Tabla 3.12 Cotización de lista de accesorios.**

Descripción	Cant.	Costo Unitario (USD)	Costo total (USD)	
Fusible 63A 60V	1	100.00	100.00	
Contactador 63A	1	150.00	150.00	
Pulsador verde de marcha	1	9.00	9.00	
Pulsador rojo de paro	1	9.00	9.00	
Selector	1	12.00	12.00	
Cable rojo calibre 10	10 m	8.00	8.00	
Cable negro calibre 10	10 m	8.00	8.00	
Cable verde calibre 18	50 m	8.00	8.00	
			<b>SUBTOTAL</b>	304.00
			<b>IVA 12%</b>	36.48
			<b>TOTAL</b>	267.52

**Tabla 3.13 Costo de inversión de nueva propuesta.**

Descripción	Valor total
SIEMENS Variador Sinamics V20 10HP 440V	USD 895.25
Costos por lista de accesorios	USD 267.52
Mano de obra (Instalación)	USD 200
<b>TOTAL</b>	<b>USD 1,362.77</b>

Por lo tanto, la implementación de esta propuesta consta de una inversión inicial, en la que se incluye la adquisición del aparato y sus costos de instalación, en donde se espera un retorno de la inversión producto del ahorro por consumo eléctrico del winche, tal como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 3.14 Ahorro estimado para nueva propuesta para el winche.**

Descripción	Valor mensual	Valor anual
Consumo actual (kWh)	1,565.97	18,791.64
<b>Consumo con nueva propuesta (kWh)</b>	<b>1,252.78</b>	<b>15,033.36</b>
Consumo actual (USD)	186.02	2,232.24
<b>Consumo con nueva propuesta (USD)</b>	<b>148.82</b>	<b>1,785.84</b>
<b>Ahorro estimado (USD)</b>	<b>37.20</b>	<b>446.4</b>
<b>Tiempo de retorno de la inversión</b>	<b>37 meses</b>	<b>3 años 1 mes</b>

El tiempo de retorno de la inversión es de 37 meses operativos, se considera factible la adquisición del Variador Sinamics SIEMENS V20 propuesto ya que existe un ahorro estimado del 20% mensual que corresponde a USD 37.20. en comparación del estado actual que no se dispone.

#### 3.4.4 Compresor

En la siguiente tabla, se muestra la cotización del modelo del compresor SULLAIR VCC-200S que se emplea en la mina subterránea de OROSOL UNO:

**Tabla 3.15 Cotización del compresor actual.**

Proveedor	Dirección	Descripción	Cant.	Costo Unitario (USD)	Costo total (USD)
AINSA S.A Soluciones Industriales	Calle 25 de junio, frente a la Piazza. (Machala)	Compresor eléctrico SULLAIR VC-200S	1	95,000.31	95,000.31
<b>SUBTOTAL</b>					95,000.31
<b>IVA 12%</b>					11,400.04
<b>TOTAL</b>					106,400.35

Fuente: Proveedor AINSA S.A., noviembre 2022.

Dentro de la propuesta que se tiene, es la adquisición de un nuevo compresor eléctrico, el cual posea incorporado un variador de frecuencia con arrancador suave, para ello se realizó la cotización del compresor seleccionado y su modelo en cuestión.

**Tabla 3.16 Cotización del compresor propuesto.**

Proveedor	Dirección	Descripción	Cant.	Costo Unitario (USD)	Costo total (USD)
PRESSIONMAX S.A.	Calle Galo Anselmo y Panamericana Sur. (Camilo Ponce Enríquez)	Compresor de tornillo con variador de frecuencia DENAIR DVA75	1	24,560.00	24,560.00
				<b>SUBTOTAL</b>	24,560.00
				<b>IVA 12%</b>	2,947.20
				<b>TOTAL</b>	27,507.20

Fuente: Proveedor PRESSIONMAX S.A., noviembre 2022.

Considerando la implementación de la propuesta planteada, la cual consta del reemplazo del compresor eléctrico y la sustitución del uso de este equipo para labores de ventilación, se va a lograr un gran margen de ahorro económico en comparación al empleo que se está dando actualmente al compresor. En la siguiente tabla se muestra como varia el consumo eléctrico conforme los cambios propuestos:

**Tabla 3.17 Ahorro estimado para nueva propuesta para el compresor.**

Descripción	Valor mensual	Valor anual
Consumo actual (kWh)	15,904.5	190,854.00
<b>Consumo con nueva propuesta (kWh)</b>	<b>7,612.23</b>	<b>91,346.76</b>
Consumo actual (USD)	1,590.47	19,085.64
<b>Consumo con nueva propuesta (USD)</b>	<b>753.25</b>	<b>9,039.00</b>
<b>Ahorro estimado (USD)</b>	<b>837.22</b>	<b>10,046.64</b>
<b>Tiempo de retorno de la inversión</b>	<b>33 meses</b>	<b>2 años 9 meses</b>

El tiempo de retorno de la inversión es de 33 meses operativos, se considera factible la adquisición del compresor DENAIR DVA75 propuesto ya que existe un ahorro estimado del 53 % mensual que corresponde a USD 837.22 en comparación con el compresor existente.

### 3.4.5 Iluminación

En la siguiente tabla se muestran los costos de inversión para el reemplazo del sistema de iluminación actual:

**Tabla 3.18 Costos de mantenimiento de los focos LED actuales.**

Descripción	Cant.	Costo Unitario (USD)	Costo total (USD)
Foco LED MAVIJU E27 15W	6	24.40	24.40
		<b>SUBTOTAL</b>	24.40
		<b>IVA 12%</b>	2.93
		<b>TOTAL</b>	27.33

Este costo sería considerado para el recambio de focos LED y no se tendría un ahorro energético.

### 3.5 Ahorro estimado con la implementación de propuestas realizadas.

Considerando todas las propuestas realizadas, para cada uno de los equipos, se va a tener una inversión inicial total de USD 30.507,7, la cual se muestra a continuación:

**Tabla 3.19 Costo de inversión total de propuestas.**

Descripción	Valor total (USD)
Bomba centrífuga	300.00
Ventilación	1,310.40
Winche	1,362.77
Compresor	27,507.20
Iluminación	27.33
<b>TOTAL</b>	<b>30,507.7</b>

Una vez aplicadas estas propuestas, se va a tener un nuevo consumo energético en interior mina, el cual se estima sea menor al actual, tal como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 3.20 Ahorro estimado en interior mina con la implementación de nuevas propuestas.**

Descripción	Valor mensual	Valor anual
Consumo actual (kWh)	15,467.76	185,613.12
<b>Consumo con nueva propuesta (kWh)</b>	<b>11,593.89</b>	<b>139,117.03</b>
Consumo actual (USD)	2,094.75	25,137.00
<b>Consumo con nueva propuesta (USD)</b>	<b>1,636.39</b>	<b>19,636.62</b>
<b>Ahorro estimado (USD)</b>	<b>458.36</b>	<b>5,500.32</b>
<b>Tiempo de retorno de la inversión</b>	<b>67 meses</b>	<b>5 años 7 meses</b>

El tiempo de retorno de la inversión es de 67 meses (5 años 7 meses) operativos, se considera factible la adquisición de los equipos recomendados en el presente trabajo de investigación propuesto ya que existe un ahorro estimado del 22% mensual que corresponde a USD 458.36 en comparación con los equipos actuales.

### **3.6 Análisis de resultados**

Primeramente, fue necesario determinar el consumo energético que se genera en el interior de la mina subterránea de OROSOL UNO, a través de los datos de potencia y tiempo operativo tomados en campo para los equipos en cuestión, considerando los cargos tarifarios que se aplican para el sector minero, en donde existe un costo de energía eléctrica para el día y otro para la noche.

Es así, que se logró determinar que actualmente existe un consumo dentro de mina de USD 2,094.75 que corresponde al 82.53% del valor total de consumo eléctrico en OROSOL UNO, considerando el valor consolidado mensual durante el año 2022

Esto se debe ya que, en cualquier mina subterránea, los mayores gastos por concepto de energía eléctrica provienen de los equipos empleados en interior mina, dado las potencias que manejan y los tiempos operativos que son generalmente bastante considerables.

En cuanto al consumo energético individual para cada equipo, se pudo determinar que el equipo que genera más gastos en este rubro es el compresor con un costo de USD 1,590.47, que es un 75.92% del consumo total, dado la elevada potencia que maneja para operar, además del tiempo considerable de operación al día, seguido de la bomba centrífuga y el winche con valores cercanos al 15% y 9% respectivamente.

Es por este motivo, que las soluciones propuestas se basaron en reducir el consumo energético que genera cada uno de los equipos dentro de mina, especialmente si hablamos del compresor y la bomba centrífuga, ya que son los que generan el mayor gasto.

En lo que respecta a la bomba centrífuga, se determinó que el equipo no está trabajando actualmente en su punto de operación óptimo, por lo que no se está aprovechando toda la capacidad que ofrece, para ello se propuso el cambio de la tubería de inyección de 2 in a una de 3 in, para de este modo tener un mayor caudal de descarga

y así reducir el tiempo de operación del equipo, considerando que, para la nueva curva del sistema, el equipo efectivamente será capaz de vencer la altura dinámica prevista.

Se determinó que, para la aplicación de este cambio propuesto, se necesita una inversión inicial de USD 300.00 por concepto de la nueva tubería de polietileno. El cambio propuesto genera unos nuevos costos de consumo energético, para los cuales se prevé un ahorro mensual de USD 100.67 correspondiente al 38% menos que el sistema actual, lo cual nos indica que el tiempo de retorno de la inversión será de 3 meses operativos, por lo que se considera factible la aplicación de la propuesta dada.

Para el winche, dado que no se encontraron inconvenientes en su labor, y que su funcionamiento está acorde a los requerimientos de producción de la mina, para reducir el consumo energético que este equipo genera, se propuso la instalación de un variador de frecuencia con arrancador suave SIEMENS, para de este modo proteger al motor del winche de las constantes arranques y paradas que se generan en su labor, y a su vez tener un ahorro cercano al 20% que genera el funcionamiento de este variador.

El costo total de la inversión inicial para esta propuesta está conformado por el variador SIEMENS, los costos por lista de accesorios, y la mano de obra, dando un total de USD 1,362.77. Este valor se tiene previsto recuperarlo en un tiempo de 33 meses, ya que el ahorro que se estima al mes con esta propuesta será de USD 37.20.

En cuanto al compresor, se demostró que posee una capacidad mayor a la que se necesitaría para las labores en la mina de OROSOL UNO, en donde solo se está aprovechando un 56% de su capacidad total, es por ello, que se propuso la adquisición de un compresor de tornillo con variador de frecuencia de 100 HP, ya que estas máquinas al contar con el variador de frecuencia instalado de fábrica, además de proteger al motor de los constantes arranques, suministran solo la cantidad de aire que requiere la labor en ese instante, por ese motivo, tienen un ahorro de un 20% en comparación a los compresores que no poseen este aparato.

Además del cambio del compresor, se propuso la sustitución del uso de esta maquinaria para las labores de ventilación, ya que esas dos horas empleadas para esa labor, representan un costo mucho mayor en comparación si se usara un respectivo ventilador para esta función.

Considerando las propuestas planteadas para el compresor, se va a tener una inversión inicial de aproximadamente USD 27,507.20 por concepto del nuevo compresor, para el cual una vez instalado y en funcionamiento, se prevé un ahorro estimado de USD

837.22 mensuales, lo que representa un ahorro estimado del compresor actual de casi un 53%. De este modo, el tiempo de retorno de la inversión será en aproximadamente 33 meses operativos.

Para la iluminación dentro de la mina, se determinó que el sistema de iluminación empleado actualmente cumple con el flujo luminoso requerido para mantener un ambiente confortable para los trabajadores durante sus turnos, es por ello que sólo se consideró el recambio que deben tener regularmente estos focos con un valor de USD 27.33.

Considerando la aplicación de cada una de las propuestas realizadas, se estima un ahorro mensual por concepto de energía eléctrica de USD 458.36 correspondiente al 22%, para el cual según la inversión inicial realizada de USD 30,507.70, se espera que la tasa de retorno sea en el tiempo de 5 años con 7 meses.

A partir de esa fecha, los cambios generados con las nuevas propuestas van a dejar réditos económicos a la asociación, de modo que estos recursos puedan ser destinados a otras áreas de importancia, como la seguridad y salud ocupacional, geología, mecánica, etc.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- a) De acuerdo a los resultados obtenidos se puede demostrar que los equipos están sobredimensionados y fueron adquiridos de manera empírica sin un análisis técnico- económico.
- b) Se determinó que del consumo eléctrico que se genera al mes en la mina de OROSOL UNO, un 82.53% corresponde al consumo generado en interior mina, esto demuestra la importancia de aplicar estrategias que reduzcan el consumo de los equipos usados dentro de mina.
- c) De todos los equipos empleados para las labores dentro de la mina, el compresor es el que tiene el mayor consumo eléctrico con un 75.92%, seguido de la bomba centrífuga con el 14.86% y el winche con el 88%. Es en estos equipos donde se notará una significativa reducción del consumo con las estrategias propuestas.
- d) En el caso de la bomba centrífuga, se determinó que no se está aprovechando toda su capacidad, por lo que aplicando la propuesta dada se logrará reducir dos horas el tiempo operativo del equipo generando un ahorro por concepto de energía eléctrica del 38%, que corresponde a USD 100.00 mensuales, con un retorno de la inversión en 3 meses.
- e) Con la instalación del variador de frecuencia en el winche, se va a lograr un ahorro del 20%, que corresponde a un valor de USD 37 al mes, por lo que la inversión inicial de USD 1,363.00 estimada para esta propuesta, tendrá un retorno de la inversión en aproximadamente 3 años.
- f) El compresor empleado en la mina de OROSOL UNO, posee una capacidad mayor a la requerida, por lo que considerando la adquisición del nuevo compresor con variador de frecuencia y la eliminación del uso del compresor para labores de ventilación, se logrará un ahorro de USD 837.22 que representa casi un 53% del consumo total. Esta propuesta

tendrá una inversión inicial de USD 27,507.20 que se recuperará en un tiempo de 2 años con 9 meses.

- g) Para las labores de ventilación dentro de mina, si se realizan a través del compresor con aire comprimido se tendrá un consumo eléctrico al mes para interior mina de USD 2,095.00, mientras que, si esta labor se realiza con el ventilador propuesto, el consumo al mes será de USD 1868, lo que representa un ahorro mensual de USD 227 correspondiente al 11%.
- h) Considerando la implementación de cada una de las propuestas en conjunto, el costo de inversión inicial será de aproximadamente USD 30,507.70 y se va a obtener un ahorro estimado mensual del 22%, correspondiente a un valor de USD 458.36 que va a generar un retorno de la inversión en un tiempo de 5 años con 7 meses.

## **4.2 Recomendaciones**

- a) Buscar el financiamiento para cubrir el tiempo de retorno de la inversión que es de 67 meses (5 años 7 meses) operativos, ya que es factible la adquisición de los equipos recomendados en el presente trabajo de investigación propuesto, dado que existe un ahorro estimado del 22 % mensual que corresponde a USD 458.36 en comparación con los equipos actuales.
- b) Planificar las actividades de minado por turno para considerar el funcionamiento de equipos que demanden un alto consumo energético en los horarios entre las 08:00 hasta las 18:00 horas, ya que el costo mensual de energía eléctrica que se genera correspondiente al turno de la noche es del 38%, un 5% más en comparación al turno del día.
- c) Instalación del variador de frecuencia Sinamics SIEMENS V20 para los winches que operan dentro de mina, ya que este aparato protege al motor de los constantes arranques y paradas, alargando su vida útil, además de lograr una reducción en el consumo que genera el winche, con un ahorro estimado del 20% mensual que corresponde a USD 37.20.

- d) Para el nuevo compresor DENAIR DVA75, se puede financiar su adquisición a través del alquiler del compresor SULLAIR VCC-200S hacia otros operadores mineros que se encuentren cercanos al sector, de este modo se aprovecha la capacidad del compresor actual para financiar la inversión propuesta, con un valor alquiler aproximado de USD 5,000.00.
- e) Realizar el mejoramiento del Plan de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de manera periódica a los equipos de interior mina considerando las recomendaciones del fabricante.

## BIBLIOGRAFÍA

- Mallqui, A. (2001). Maquinaria minera. Accedido el 24 de noviembre, 2022, desde <https://es.scribd.com/document/370676679/Maquinaria-Equipo-Minero-Anibal-Mallqui-Tapia>
- Cilliers, C. (2016). Benchmarking electricity use of deep-level mines Thesis submitted for the degree at the Potchefstroom Campus of the North-West University Supervisor : South African Institute for Industrial Engineering, May.
- Cimbala, J. M., & Cengel, Y. a. (2001). Mecánica de Fluidos: Fundamentos y Aplicaciones (1st ed.). MA: McGrawHill.
- Díaz, Marcelo Raúl. (2019). Salud y seguridad en trabajos de minería. Accedido el 29 de diciembre, 2022, desde [http://www.oitcinterfor.org/sites/default/salud\\_seg\\_mineria.pdf](http://www.oitcinterfor.org/sites/default/salud_seg_mineria.pdf)
- Igogo, T., Awuah-Offei, K., Newman, A., Lowder, T., & Engel-Cox, J. (2021). Integrating renewable energy into mining operations: Opportunities, challenges, and enabling approaches. Applied Energy. Accedido el 20 de Junio, 2022, desde <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117375>
- Levesque, M., Millar, D., & Paraszczak, J. (2014). Energy and mining-The home truths. Journal of Cleaner Production, Accedido el 20 de Junio, 2022, desde <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.088>
- Mott, R. L., & Untener, J. A. (2015). Mecánica de fluidos (7ma ed.). México, MA: PEARSON
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, Cantón Camilo Ponce Enríquez. (2014-2030). Accedido el 14 de noviembre, 2022, desde <https://odsterritorioecuador.ec/wp-content/uploads/2019/04/PDOT-CANTON-CAMILO-PONCE-ENRIQUEZ-2014-2030.pdf>
- Pitis, C. (2016). New approach on energy conservation measures types applied in mining industry. Artículo presentado en IEEE Electrical Power and Energy Conference (IEEE - EPEC 2016). Accedido el 23 de Junio, 2022, desde <https://doi.org/10.1109/EPEC.2016.7771742>

Ventiladores (2007). Conferencias sobre ventilación de minas. Accedido el 16 de noviembre, 2022, desde <https://es.scribd.com/document/382351060/CURSO-VENTILACION-ZITRON>

# ANEXOS

## ANEXO 1

### Valores de $K$ para diversos accesorios

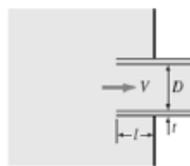
Válvula esférica, totalmente abierta	$K = 10$
Válvula de ángulo, totalmente abierta	$K = 5$
Válvula de retención de clapeta	$K = 2,5$
Válvula de pie con colador	$K = 0,8$
Válvula de compuerta abierta	$K = 0,19$
Codo de retroceso	$K = 2,2$
Empalme en T normal	$K = 1,8$
Codo de 90° normal	$K = 0,9$
Codo de 90° de radio medio	$K = 0,75$
Codo de 90° de radio grande	$K = 0,60$
Codo de 45°	$K = 0,42$

## ANEXO 2

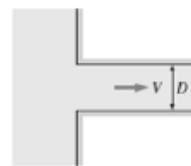
### Entradas/Salidas

Coefficientes de pérdida  $K_L$  de varios accesorios de tubería para flujo turbulento (para usar en la relación  $h_L = K_L V^2 / (2g)$ , donde  $V$  es la velocidad promedio en la tubería que contiene el accesorio)\*

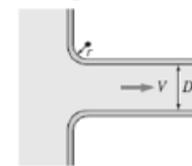
Entrada de la tubería  
Reentrante:  $K_L = 0.80$   
( $t \ll D$  e  $l \approx 0.1D$ )



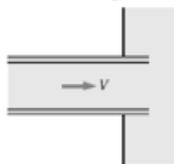
De borde agudo:  $K_L = 0.50$



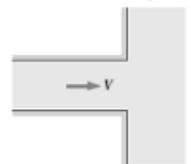
Redondeada ( $r/D > 0.2$ ):  $K_L = 0.03$   
Ligeramente redondeada ( $r/D = 0.1$ ):  $K_L = 0.12$   
(véase figura 8-36)



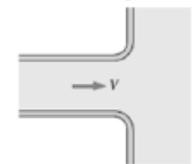
Salida de la tubería  
Reentrante:  $K_L = \alpha$



De borde agudo:  $K_L = \alpha$



Redondeada:  $K_L = \alpha$

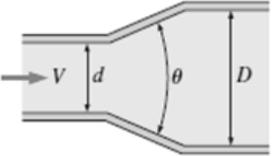


Nota: el factor de corrección de energía cinética es  $\alpha = 2$  para flujo laminar totalmente desarrollado, y  $\alpha \approx 1$  para flujo turbulento totalmente desarrollado.

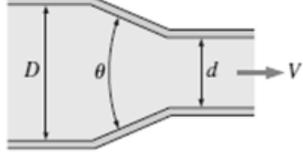
### ANEXO 3

*Expansión y contracción gradual (con base en la velocidad en la tubería de diámetro más pequeño)*

**Expansión:**  
 $K_L = 0.02$  para  $\theta = 30^\circ$   
 $K_L = 0.04$  para  $\theta = 45^\circ$   
 $K_L = 0.07$  para  $\theta = 60^\circ$



**Contracción (para  $\theta = 20^\circ$ ):**  
 $K_L = 0.30$  para  $d/D = 0.2$   
 $K_L = 0.25$  para  $d/D = 0.4$   
 $K_L = 0.15$  para  $d/D = 0.6$   
 $K_L = 0.10$  para  $d/D = 0.8$



Reducción de 2" a 1 1/2"

$$\frac{d}{D} = \frac{0.0381 \text{ m}}{0.0508 \text{ m}} = 0.75$$

### ANEXO 4

Figura	Símbolo gráfico	Coefficiente de resistencia
Codo 90°		2,0
Adaptador macho 90°		2,2
Codo 45°		0,6
Tee Tee reducida		1,3 2,6
Tee Tee reducida		1,8 3,6
Tee Tee reducida		2,2 5,0
Tee Tee reducida		4,2 9,0
Tee adaptador hembra		0,8
Reducción hasta 2 dimensiones Reducción a partir de 3 dimensiones		0,55 0,85
Unión normal		0,25
Adaptador macho		0,4
Adaptador macho con reducción		0,85

## ANEXO 5

**Tabla 2.6** Coeficiente de pérdida ( $K$ ) para aditamentos de tuberías.  
(Munson .B. R. et al., 1990).

Componente	$K$	Diagrama
Codos		
Radio corto 90° con bridas o extremo liso	0.3	
Radio corto 90° extremos roscados.	1.5	
Radio largo 90° con bridas o extremo liso	0.2	
Radio largo 90° extremos roscados.	0.7	
Radio largo 45° con bridas.	0.2	
Radio corto 45° extremos roscados.	0.4	
Curvas a 180°		
Curvas a 180° con bridas	0.2	
Curvas a 180° con extremos roscados	1.5	
Tees		
Paso directo con bridas o extremos lisos	0.2	
Paso directo con extremos roscados	0.9	
Salida de lado con bridas o extremos lisos	1.0	
Salida de lado con extremos roscados	2.0	
Union con extremos roscados	0.08	
Válvulas		
Globo totalmente abiertas	10	
Angulo totalmente abiertas	2	
Compuerta totalmente abiertas	0.15	
Compuerta 1/4 cerrada	0.26	
Compuerta 1/2 cerrada	2.1	
Compuerta 3/4 cerrada	17	
Cheque en el sentido del flujo	2	
Bola totalmente abierta	0.05	
Bola 1/3 cerrada	5.5	
Bola 2/3 cerrada	210	

## ANEXO 6

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>GENERAL MEDIO VOLTAJE CON DEMANDA</b>		
	<b>COMERCIALES</b>		<b>1,414</b>
	4,780	0,085	
	<b>INDUSTRIALES</b>		
	4,780	0,083	
	<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>		
	4,780	0,071	
	<b>BOMBEO AGUA</b>		
	4,780	0,061	
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>MEDIO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA</b>		
	<b>COMERCIALES</b>		<b>1,414</b>
08:00 hasta 22:00 horas	4,578	0,085	
22:00 hasta 08:00 horas		0,077	
	<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>		
08:00 hasta 22:00 horas	4,578	0,071	
22:00 hasta 08:00 horas		0,068	
	<b>BOMBEO AGUA</b>		
08:00 hasta 22:00 horas	4,578	0,061	
22:00 hasta 08:00 horas		0,048	
<b>NIVEL VOLTAJE</b>	<b>MEDIO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA</b>		
	<b>BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE</b>		<b>1,414</b>
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	2,820	0,043	
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,073	
L-V 22:00 hasta 08:00 horas*		0,034	
S,D 18:00 hasta 22:00 horas		0,043	
	<b>ESTACIÓN DE CARGA RÁPIDA</b>		
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	4,060	0,088	
L-D: 18:00 hasta 22:00 horas		0,088	
L-D: 22:00 hasta 08:00 horas		0,043	
SyD: 08:00 hasta 18:00 horas			
	<b>INDUSTRIALES</b>		
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	4,578	0,0887	
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,1037	
L-V 22:00 hasta 08:00 horas*		0,0601	
S,D,F 18:00 hasta 22:00 horas		0,0887	

## ANEXO 7

EQUIPO	CANTIDAD	CARACTERÍSTICA	ÁREA	SECTOR	LABOR	POTENCIA	CONSUMO DE ENERGÍA					Porcentaje de Gasto	
							CONSUMO CFM	HORAS DE TRABAJO	kWh/día	CFM/día	\$/día		\$/MES
Bomba Centrífuga	1	Mark HV2C11	Frente lado derecho	Nivel 3	Extraccion del agua de mina desde el Nivel 3 hasta el Nivel 1	15		8	89,484		8,948	268,452	17,36
Winche	1	Motor Weg W22	Frente lado derecho	Nivel 3	Extraccion de material desde el Nivel 2,3 hasta el Nivel 1	10		7	52,199		5,220	156,597	10,12
Compresor	1	SULLAIR VCC-200S	Superficie	Superficie	Distribucion de aire comprimido a equipos neumaticos en el interior de la mina	150	683	6,3	371,759	294318,4	37,176	1115,278	72,10
Iluminación	6	Focos LED MAVIJU	Todos	Todos	Iluminacion de la zona	0,02		24	2,15		0,215	6,443	0,42
<b>CONSUMO DE ENERGÍA</b>											\$ 2.094,75		

## ANEXO 8



Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.  
Matriz: AV MAX UHLE S/N y AV. PUMAPUNGO  
RUC: 0190003809001  
Contribuyente especial, resolución No. 3257  
OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD



K200000819462

Nro. Factura 001-003-030236248  
Nro. doc. interno 002108884525  
Fecha de emisión 01-09-2022  
Fecha de vencimiento 16-09-2022  
Número de autorización 0109202201019000380900120010030302362480026042311

Información del Consumidor

**VALOR TOTAL \$2556.35**

<b>CUENTA CONTRATO</b> 200000819462	Código Único 0504545521
Razón Social OROSOL UNO	
RUC 0791756197001	Tipo de tarifa Arconel MTCGCD32 - MT Industrial con Dem Hor Dif
Celular 0982881337	Geocódigo Unidad de Lectura 0501E029
Correo Electrónico orosoluno@hotmail.com	
Dirección del servicio CAS: SAN GERARDO 1 / CAMILO PONCE ENRIQUEZ - CAMILO PONCE ENRIQUEZ	

**1. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público**

Número de medidor 18600526	Días facturados 31	Factor de corrección 1.0000
Tipo consumo leído	Fecha hasta 01-09-2022	Factor de potencia (FP) 0.9351

Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo Int. Transfer.	Consumo Total	Unidad Medida	Monto (\$)
Energía act. hor. A (L-V 08h00-18h00)	01-09-2022	754260.00	741063.00	0.00	13197.00	0.00	13197.00	KWH	1183.77
Energía act. hor. B (L-V 18h00-22h00)	01-09-2022	105629.00	105158.00	0.00	1471.00	0.00	1471.00	KWH	152.54
Energía act. hor. C (L-V 22h00-08h00 S,D,F 22h00-18h00)	01-09-2022	531066.00	521989.00	0.00	9077.00	0.00	9077.00	KWH	454.76
Energía act. hor. D (S,D,F 18h00-22h00)	01-09-2022	38969.00	38589.00	0.00	370.00	0.00	370.00	KWH	33.19
Energía reactiva total	01-09-2022	785053.00	775911.00	0.00	9142.00	0.00	9142.00	KVR	0.00
Demanda máx. hor. A (L-V 08h00-18h00)	01-09-2022	137.00	0.00	0.00	137.00	0.00	137.00	KW	0.00
Demanda máx. hor. B (L-V 18h00-22h00)	01-09-2022	123.00	0.00	0.00	123.00	0.00	123.00	KW	0.00
Demanda máx. hor. C (L-V 22h00-08h00 S,D,F 22h00-)	01-09-2022	139.00	0.00	0.00	139.00	0.00	139.00	KW	0.00
Demanda máx. hor. D (S,D,F 18h00-22h00)	01-09-2022	128.00	0.00	0.00	128.00	0.00	128.00	KW	0.00
Demanda facturable	01-09-2022	139.00	0.00	0.00	139.00	0.00	139.00	KW	636.06

**2. Valores pendientes**

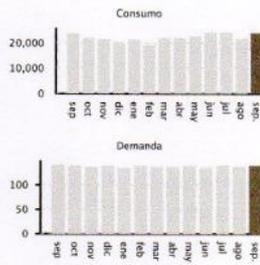
VALORES PENDIENTES (2) 0.00

**3. Planes de Financiamiento Autorizados por el Consumidor**

PLANES DE FINANCIAMIENTO (3) 0.00

**Formas de Pago**

FORMA DE PAGO	VALOR	PLAZO	TIEMPO
SIN UTILIZACIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO	2530.85	15	días



**Servicio Eléctrico y Alumbrado Público**

Valor Consumo	1824.26
Comercialización	1.41
Valor Demanda	636.06
Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	2461.73
Servicio Alumbrado Público	69.12
Subtotal Alumbrado Público	69.12

Base I.V.A. 0%	2530.85
I.V.A. 0%	0.00
<b>TOTAL SE Y AP (1)</b>	<b>2530.85</b>

TOTAL (A)	
Servicio Eléctrico y Alumbrado Público (1)	2530.85
Valores Pendientes (2)	0.00
Planes de Financiamiento (3)	0.00
<b>TOTAL SECTOR ELÉCTRICO (A)</b>	<b>2530.85</b>

**EL GOBIERNO SUBSIDIA ESTE SERVICIO**  
Subsidios del Gobierno  
Subsidio Tarifa Eléctrica 312.32-  
**TOTAL: 312.32**

**Mensajes**

¡Hasta el 29 de noviembre del 2022 incorpórate a la facturación electrónica! Solicita la autorización en [www.sri.gov.ec](http://www.sri.gov.ec)

**Recaudación Terceros**

ESTOS VALORES NO FORMAN PARTE DE LOS INGRESOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA

**4. NOTIFICACIÓN DE PAGO DEL TRIBUTO PARA EL CUERPO DE BOMBEROS DEL CANTÓN CAMILO PONCE ENRIQUEZ**

Beneficiario C. BOMBEROS PONCE ENRIQUEZ  
R.U.C beneficiario 0760035050001  
Fecha de Emisión 01-09-2022  
Cuenta Contrato 200000819462  
RUC 0791756197001  
Nombre OROSOL UNO  
Dirección Servicio CAS: SAN GERARDO 1 / CAMILO PONCE ENRIQUEZ - CAMILO PONCE

CONCEPTO	VALOR
Contribución Bomberos	25.50
<b>TOTAL CONTRIBUCIÓN BOMBEROS (4)</b>	<b>25.50</b>

RESUMEN DE VALORES	
Total Sector Eléctrico (A)	2530.85
Total Recaudación de Terceros (4+5+6)	25.50
<b>VALOR TOTAL (USD)</b>	<b>2556.35</b>

# ANEXO 9



Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.  
Matriz: AV MAX UHLE S/N y AV. PUMAPUNGO  
RUC: 0190003809001  
Contribuyente especial, resolución No. 3257  
OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD



K200000819462

Nro. Factura 001-003-031151472  
Nro. doc. interno 001911037302  
Fecha de emisión 07-11-2022  
Fecha de vencimiento 22-11-2022  
Número de autorización 0711202201019000380900120010030311514720026042314

Información del Consumidor VALOR TOTAL \$2546.01

<b>CUENTA CONTRATO</b>	200000819462	Código Único	0504545521
Razón Social	OROSOL UNO	Tipo de tarifa Arcanel	MTCGCD32 - MT Industrial con Dem Hor Dif
RUC	0791756197001	Geocódigo	Unidad de Lectura 0501E029
Celular	0982881337		
Correo Electrónico	orosoluno@hotmail.com		
Dirección del servicio	CAS: SAN GERARDO 1 / CAMILO PONCE ENRÍQUEZ - CAMILO PONCE ENRÍQUEZ		

## 1. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público

Número de medidor	16600526	Días facturados	31	Factor de corrección	1.0000
Tipo consumo	Isido	Fecha hasta	01-11-2022	Factor de potencia (FP)	0.9289
Fecha desde	02-10-2022				

Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo Int. Transfer.	Consumo Total	Unidad Medida	Monto (\$)
Energía act. hor. A (L-V 08h00-18h00)	01-11-2022	780304.00	767399.00	0.00	12905.00	0.00	12905.00	KWH	1157.58
Energía act. hor. B (L-V 18h00-22h00)	01-11-2022	110149.00	108750.00	0.00	1399.00	0.00	1399.00	KWH	145.08
Energía act. hor. C (L-V 22h00-08h00 S,D,F 22h00-18h00)	01-11-2022	548943.00	540188.00	0.00	8755.00	0.00	8755.00	KWH	438.63
Energía act. hor. D (S,D,F 18h00-22h00)	01-11-2022	40244.00	39585.00	0.00	659.00	0.00	659.00	KWH	59.11
Energía reactiva total	01-11-2022	803702.00	794245.00	0.00	9457.00	0.00	9457.00	KVR	0.00
Demanda máx. hor. A (L-V 08h00-18h00)	01-11-2022	135.00	0.00	0.00	135.00	0.00	135.00	KW	0.00
Demanda máx. hor. B (L-V 18h00-22h00)	01-11-2022	133.00	0.00	0.00	133.00	0.00	133.00	KW	0.00
Demanda máx. hor. C (L-V 22h00-08h00 S,D,F 22h00-18h00)	01-11-2022	142.00	0.00	0.00	142.00	0.00	142.00	KW	0.00
Demanda máx. hor. D (S,D,F 18h00-22h00)	01-11-2022	117.00	0.00	0.00	117.00	0.00	117.00	KW	0.00
Demanda facturable	01-11-2022	142.00	0.00	0.00	142.00	0.00	142.00	KW	649.79

## 2. Valores pendientes

VALORES PENDIENTES (2)	0.00
------------------------	------

## 3. Planes de Financiamiento Autorizados por el Consumidor

PLANES DE FINANCIAMIENTO (3)	0.00
------------------------------	------

## Formas de Pago

FORMA DE PAGO	VALOR	PLAZO	TIEMPO
SIN UTILIZACIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO	2520.51	15	días



## Servicio Eléctrico y Alumbrado Público

Valor Consumo	1800.40
Comercialización	1.41
Valor Demanda	649.79
Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	2451.60
Servicio Alumbrado Público	68.91
Subtotal Alumbrado Público	68.91
Base I.V.A. 0%	2520.51
I.V.A. 0%	0.00
<b>TOTAL SE Y AP (1)</b>	<b>2520.51</b>



Subsidio del Gobierno	
Subsidio Tarifa Eléctrica	301.01-
<b>TOTAL:</b>	<b>301.01</b>

TOTAL (A)	
Servicio Eléctrico y Alumbrado Público (1)	2520.51
Valores Pendientes (2)	0.00
Planes de Financiamiento (3)	0.00
<b>TOTAL SECTOR ELÉCTRICO (A)</b>	<b>2520.51</b>

## Mensajes

¡Hasta el 29 de noviembre del 2022 incorpórate a la facturación electrónica! Solicita la autorización en [www.sri.gov.ec](http://www.sri.gov.ec)

## Recaudación Terceros

ESTOS VALORES NO FORMAN PARTE DE LOS INGRESOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA

## 4. NOTIFICACIÓN DE PAGO DEL TRIBUTO PARA EL CUERPO DE BOMBEROS DEL CANTÓN CAMILO PONCE ENRÍQUEZ

Beneficiario	C. BOMBEROS PONCE ENRIQUEZ		
R.U.C beneficiario	0760035050001		
Fecha de Emisión	07-11-2022		
Cuenta Contrato	200000819462		
RUC	0791756197001		
Nombre	OROSOL UNO		
Dirección Servicio	CAS: SAN GERARDO 1 / CAMILO PONCE ENRIQUEZ - CAMILO PONCE ENRIQUEZ		
CONCEPTO	VALOR		
Contribución Bomberos	25.50		
<b>TOTAL CONTRIBUCIÓN BOMBEROS (4)</b>	<b>25.50</b>		

RESUMEN DE VALORES	
Total Sector Eléctrico (A)	2520.51
Total Recaudación de Terceros (4+5+6)	25.50
<b>VALOR TOTAL (USD)</b>	<b>2546.01</b>

# ANEXO 10



Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.  
Matriz: AV MAX UHLE S/N y AV. PUMAPUNGO  
RUC: 0190003809001  
Contribuyente especial, resolución No. 3257  
OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD



K200000819462

Nro. Factura 001-003-031576139  
Nro. doc. interno 002113644745  
Fecha de emisión 01-12-2022  
Fecha de vencimiento 16-12-2022  
Número de autorización 0112202201019000380900120010030315761390026042313

Información del Consumidor VALOR TOTAL \$2563.44

<b>CUENTA CONTRATO</b>	200000819462	Código Único	050454521
Razón Social	OROSOL UNO	Tipo de tarifa Arcanel	MTCGCD32 - MT Industrial con Dem Hor Dif
RUC	0791756197001	Geocódigo	Unidad de Lectura 0501E029
Celular	0982881337	CAS: SAN GERARDO 1 / CAMILO PONCE ENRÍQUEZ - CAMILO PONCE ENRÍQUEZ	
Correo Electrónico	orosoluno@hotmail.com		
Dirección del servicio			

### 1. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público

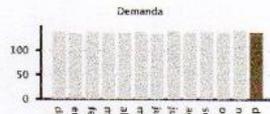
Número de medidor	15600526	Días facturados	30	Factor de corrección	1.0000
Tipo consumo	leído	Fecha hasta	01-12-2022	Factor de potencia (FP)	0.9402
Fecha desde	02-11-2022				

Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo Int. Transform.	Consumo Total	Unidad Medida	Monto (\$)
Energía act. hor. A (L-V 08h00-18h00)	01-12-2022	793194.00	780304.00	0.00	12890.00	0.00	12890.00	KWH	1156.23
Energía act. hor. B (L-V 18h00-22h00)	01-12-2022	111305.00	110149.00	0.00	1156.00	0.00	1156.00	KWH	119.88
Energía act. hor. C (L-V 22h00-08h00 S,D,F 22h00-18h00)	01-12-2022	558396.00	548943.00	0.00	8453.00	0.00	8453.00	KWH	473.60
Energía act. hor. D (S,D,F 18h00-22h00)	01-12-2022	41203.00	40244.00	0.00	959.00	0.00	959.00	KWH	86.02
Energía reactiva total	01-12-2022	812560.00	803702.00	0.00	8858.00	0.00	8858.00	KVR	0.00
Demanda máx. hor. A (L-V 08h00-18h00)	01-12-2022	138.00	0.00	0.00	138.00	0.00	138.00	KW	0.00
Demanda máx. hor. B (L-V 18h00-22h00)	01-12-2022	132.00	0.00	0.00	132.00	0.00	132.00	KW	0.00
Demanda máx. hor. C (L-V 22h00-08h00 S,D,F 22h00-)	01-12-2022	137.00	0.00	0.00	137.00	0.00	137.00	KW	0.00
Demanda máx. hor. D (S,D,F 18h00-22h00)	01-12-2022	130.00	0.00	0.00	130.00	0.00	130.00	KW	0.00
Demanda facturable	01-12-2022	138.00	0.00	0.00	138.00	0.00	138.00	KW	631.49

2. Valores pendientes	
VALORES PENDIENTES (2)	0.00

3. Planes de Financiamiento Autorizados por el Consumidor	
PLANES DE FINANCIAMIENTO (3)	0.00

FORMAS DE PAGO	VALOR	PLAZO	TIEMPO
SIN UTILIZACIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO	2537.94	15	días



<b>Servicio Eléctrico y Alumbrado Público</b>	
Valor Consumo	1835.73
Comercialización	1.41
Valor Demanda	631.49
Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	2468.63
Servicio Alumbrado Público	69.31
Subtotal Alumbrado Público	69.31
Base I.V.A. 0%	2537.94
I.V.A. 0%	0.00
<b>TOTAL SE Y AP (1)</b>	<b>2537.94</b>

<b>TOTAL (A)</b>	
Servicio Eléctrico y Alumbrado Público (1)	2537.94
Valores Pendientes (2)	0.00
Planes de Financiamiento (3)	0.00
<b>TOTAL SECTOR ELÉCTRICO (A)</b>	<b>2537.94</b>

**EL GOBIERNO**  
**SUBSIDIA**  
**ESTE SERVICIO**  
Subsidios del Gobierno  
Subsidio Tarifa Eléctrica 331.25  
**TOTAL: 331.25**

### Mensajes

### Recaudación Terceros

ESTOS VALORES NO FORMAN PARTE DE LOS INGRESOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA

<b>4. NOTIFICACIÓN DE PAGO DEL TRIBUTO PARA EL CUERPO DE BOMBEROS DEL CANTÓN CAMILO PONCE ENRÍQUEZ</b>	
Beneficiario C. BOMBEROS PONCE ENRIQUEZ	
R.U.C beneficiario	0760035050001
Fecha de Emisión	01-12-2022
Cuenta Contrato	200000819462
RUC	0791756197001
Nombre	OROSOL UNO
Dirección Servicio	CAS: SAN GERARDO 1 / CAMILO PONCE ENRÍQUEZ - CAMILO PONCE ENRÍQUEZ
CONCEPTO	VALOR
Contribución Bomberos	25.50
<b>TOTAL CONTRIBUCIÓN BOMBEROS (4)</b>	<b>25.50</b>

<b>RESUMEN DE VALORES</b>	
Total Sector Eléctrico (A)	2537.94
Total Recaudación de Terceros (4+5+6)	25.50
<b>VALOR TOTAL (USD)</b>	<b>2563.44</b>