



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

DEPARTAMENTO DE POSGRADOS

**“Diseño del Sistema de Ventilación en la Boca Mina 2 del área Minera La
Pituca II, cantón Zamora - provincia de Zamora Chinchipe”**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de:
Magíster en Minas con mención en Planeamiento Minero

Autor:

CESAR AUGUSTO MOROCHO PUGA

Director:

LEONARDO NUÑEZ RODAS

CUENCA, ECUADOR

2024

Cesar Augusto Morocho Puga

Trabajo de Titulación

Ing. Leonardo Núñez Rodas

Mayo, 2024

**“Diseño del Sistema de Ventilación en la Boca Mina 2 del área Minera La Pituca II, cantón
Zamora - provincia de Zamora Chinchipe”**

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mi familia por todo su apoyo, dedicación y aliento brindado durante todo el desarrollo de la maestría.

Cesar Augusto Morocho Puga

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia por su apoyo en todo el proceso, a mi tutor académico quien me permitió trabajar desde el principio en el presente proyecto.

Al personal de docentes de la Universidad del Azuay quienes con paciencia y dedicación permitieron culminar el presente trabajo.

Agradezco la empresa minera La Pituca II, quienes facilitaron la realización de la presente investigación dentro de sus instalaciones mineras.

A mis amigos y compañeros de área que apoyaron en todo momento el que cumpla el presente objetivo.

Cesar Augusto Morocho Puga

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad diseñar un sistema óptimo de ventilación para la Concesión Minera PITUCA II, sector San Marcos, Cantón Zamora, Provincia de Zamora Chinchipe, debido a que actualmente no posee ningún estudio que evalúe los parámetros necesarios para optimizar la atmosfera minera de esta labor. Se realizó el levantamiento de información del sitio, estudios topográficos superficiales y subterráneos, cálculos de caudales, entre otros factores que nos ayudara a establecer el diseño de ventilación. Con la información levantada se estableció la forma adecuada de evacuar estos gases a la superficie de tal forma que los trabajadores mineros tengan un ambiente óptimo para realizar su jornada laboral, así como poder disminuir el tiempo de ventilación natural y poder reiniciar un nuevo ciclo de minado.

Palabras clave: Diseño, ventilación, levantamiento topográfico.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'L. N. Rodas', written over a light blue grid background.

Ing. Leonardo Núñez Rodas

Director del trabajo de titulación

ABSTRACT

The purpose of this work is to design an optimal ventilation system for the PITUCA II Mining Concession, San Marcos sector, Zamora Canton, Zamora Chinchipe Province, because there is currently no study that evaluates the necessary parameters to optimize the mining atmosphere of this work. Site information was collected, surface and underground topographic studies, flow calculations, among other factors that helped us establish the ventilation design. With the information collected, the appropriate way to evacuate these gases to the surface was established so that mining workers have an optimal environment to carry out their work day, as well as being able to reduce the time of natural ventilation and be able to restart a new mining cycle.

Keywords: design, ventilation, topographic survey.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long diagonal stroke extending upwards and to the right.

Ing. Leonardo Núñez Rodas

Thesis director

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN:	v
ABSTRACT:.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
Introducción	1
CAPÍTULO 1	2
1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos	3
<i>1.4.1. Objetivo general</i>	<i>3</i>
<i>1.4.2. Objetivos específicos</i>	<i>4</i>
1.5. Planteamiento de la hipótesis.....	4
CAPÍTULO 2	5

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
2.1 Marco teórico	5
2.1.1 Principios de los sistemas de ventilación	5
2.1.2 Gases presentes en minería subterránea.....	5
2.1.2.1 Gases de estratos.....	5
2.1.2.2 Gases por voladura	6
2.1.2.3 Máquinas de combustión interna.....	6
2.1.2.4 Fuegos y explosiones.....	7
2.1.2.4 Respiración Humana.....	7
2.1.3 Tipo de gases	7
2.1.3.1 Nitrógeno N ₂	7
2.1.3.2 Anhídrido Carbónico	7
2.1.3.3 Monóxido de carbono CO	8
2.1.3.4 Ácido Sulhídrico H ₂ S	9
2.1.3.5 Anhídrido Sulfuroso SO ₂	9
2.1.3.6 Óxidos de Nitrógeno.....	10
2.1.3.6 Gas Grisú	10
2.1.5 Polvo de mina.....	11
2.1.5.1 Suspensión de partículas de polvo en el aire	11
2.1.5.2 Características de partículas de polvo	12

2.1.5.3 Control de partículas de polvo.....	13
2.1.5.4 Polvo como un aerosol	14
2.1.5.5 Tiempo de exposición.....	15
2.1.5.6 Ingeniería de control de polvo	16
2.1.6 Ventilación en Mina Subterranea	16
2.1.6.1 Recursos minerales	17
2.1.7 Tipo de ventilación	17
2.1.7.1 Ventilación Natural.....	17
2.1.7.2 Ventilación Mecánica o Auxiliar.....	17
2.1.8 Clasificación de ventiladores	18
2.1.8.1 Ventilador Axial	18
2.1.8.2 Ventilador Radial.....	18
2.2 Procedimiento para diseñar un sistema de ventilación	19
2.2.1 Requerimiento de aire por el personal	19
2.2.2 Requerimiento de aire por la cantidad de equipos en funcionamiento y polvo en suspension	20
2.2.3 Requerimiento por consumo de explosivos	20
2.2.4 Requerimeinto para mantener condiciones optimas ambientales.....	21
2.3 Leyes y Reglamentos que determinan el requerimiento de caudales en minería subterránea	22

CAPÍTULO 3	23
3. METODOLOGÍA	23
3.1 Fase I: Recopilación de la información de la zona de estudio	23
<i>3.1.1 Localización</i>	<i>24</i>
<i>3.1.2 Acceso</i>	<i>25</i>
<i>3.1.3 Clima y Temperatura</i>	<i>26</i>
<i>3.1.4 Hidrología.....</i>	<i>28</i>
<i>3.1.5 Geología.....</i>	<i>29</i>
3.1.5.1 Geología regional	29
3.1.5.2 Geología local.....	31
3.1.5.3 Mineralización	33
<i>3.1.6 Levantamiento topográfico de superficie</i>	<i>35</i>
<i>3.1.7 Levantamiento topográfico subterráneo con estación total</i>	<i>39</i>
3.2 Fase II: Análisis de los Factores de la Ventilación en la Concesión Minera	39
<i>3.2.1 Factores que dificultan y/o facilitan la ventilacion</i>	<i>40</i>
<i>3.2.2 Determiación del tiempo natural de ventilacion de la mina</i>	<i>40</i>
<i>3.2.3 Cantidad de personal que labora por turno / dia.....</i>	<i>40</i>
<i>3.2.4 Frentes de trabajo por turno / día</i>	<i>41</i>
<i>3.2.5 Tipo de diseño de malla de perforacion y voladura.....</i>	<i>41</i>
<i>4.2.6 Cantidad de explosivo usado por frente de trabajo.....</i>	<i>43</i>

<i>4.2.7 Maquinaria minera que produce gases contaminantes</i>	44
<i>4.2.7 Produccion de mineral ton/turno</i>	45
CAPÍTULO 4	47
4. RESULTADOS	47
4.1 Descripción general de la galería principal de la mina	47
4.2 Tipos de contaminantes presentes en la mina	48
<i>4.2.1 Gases asfixiantes</i>	<i>49</i>
<i>4.2.1 Gases sofocantes</i>	<i>49</i>
<i>4.2.1 Explosivos inflamables</i>	<i>49</i>
4.3 Calculo del caudal de aire requerido en los frentes	50
<i>4.3.1 Caudal por el numero de trabajadores</i>	<i>50</i>
<i>4.3.2 Caudal por consumo de madera</i>	<i>51</i>
<i>4.3.3 Caudal requerido por el numero de trabajadores</i>	<i>51</i>
<i>4.3.4 Caudal por equipo con motor (QEq)</i>	<i>52</i>
<i>4.3.5 Caudal requerido por fugas (QFu)</i>	<i>52</i>
<i>4.3.6 Caudal por consumo de explosivos (QEx)</i>	<i>53</i>
<i>4.3.6 Aire nevesario en mina subterranea (QEx)</i>	<i>54</i>
<i>4.3.7 Cálculo total de aire (QTo)</i>	<i>54</i>
<i>4.3.8 Calculo de caudal en las difrentes estaciones</i>	<i>56</i>
4.4 Tipo de ventiladores a utilizarse	56

4.5 Calculo del tipo de manga y/o tubería a utilizarse	57
4.6 Diseño de ventilación a implantarse	59
4.7 Diagrama de Flujo de Aire.....	60
<i>4.7.1 Circuito de Ventilación Natural</i>	<i>60</i>
<i>4.7.1 Circuito de Ventilación Forzada o Mecanizada</i>	<i>62</i>
CONCLUSIONES.....	64
RECOMENDACIONES	65
BIBLIOGRAFÍA.....	66
ANEXOS.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistemas de ventilación	5
Figura 2. Concentración del polvo en el ambiente	15
Figura 3. Mapa de ubicación de la zona de estudio	24
Figura 4. Mapa de acceso	26
Figura 5. Mapa de Isoyetas de Zamora Chinchipe	27
Figura 6. Mapa de Isotermas de la provincia de Zamora Chinchipe	27
Figura 7. Cuencas Hidrográficas de Zamora	28
Figura 8. Mapa de Geología Regional de Zamora Chinchipe	31
Figura 9: Mapa de Geología Local.	35
Figura 10. Levantamiento topográfico en superficie de la Concesión	36
Figura 11. Georreferenciación de la Concesión Minera.....	38
Figura 12. Diseño de voladura en rocas	42
Figura 13. Maquinaria utilizada para la actividad minera	45
Figura 14. Mina subterránea.....	46
Figura 15. Galería principal de la mina	48
Figura 16. Gases contaminantes en la mina	49
Figura 17. Manga de ventilación	58

Figura 18. Diagrama de ventilación natural en labor minera la Pituca II, sobre el nivel II . 61

Figura 19. Ventilación forzada o mecanizada 63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Gases para dinamita permisibles	6
Tabla 2. Gases para dinamita no permisibles	6
Tabla 3. Síntomas de una persona por el porcentaje de CO	8
Tabla 4. Clasificación de las partículas	12
Tabla 5. División de aerosoles.....	14
Tabla 6. Concentración del polvo.....	15
Tabla 7. Coordenadas de ubicación del proyecto	25
Tabla 8. Puntos recolectados con antenas EMLID.....	37
Tabla 9, Tipo de malla de perforación y voladura.....	41
Tabla 10. Cantidad de explosivo por frente de trabajo.....	43
Tabla 11. Accesorios y explosivos para la Voladura.....	43
Tabla 12. Factor de producción por consumo de madera.....	51
Tabla 13. Caudal requerido por temperatura	52
Tabla 14. Resumen de caudal de aire necesario	59
Tabla 15. Distancias y puntos de comunicación.....	61

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Ficha técnica del proyecto.....	69
Anexo 2: Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	70
Anexo 3: Mapa de acceso.	71
Anexo 4: Mapa de Isoyetas de Zamora Chinchipe.	72
Anexo 5: Mapa de Isotermas de la provincia de Zamora Chinchipe.	73
Anexo 6: Cuencas Hidrográficas de Zamora.....	74
Anexo 7: Mapa de Geología Regional de Zamora Chinchipe.....	75
Anexo 8: Certificado de Mantenimiento de Estación Total.....	76
Anexo 9: Reporte de Servicio Técnico de la Estación Total.....	77
Anexo 10: Ficha Técnica Especifica de la Mecha de Seguridad - AB.....	78
Anexo 11: Ficha de datos de Seguridad EMULNOR.....	79
Anexo 12: Ficha Técnica Fulminante Común FULMESA.....	80
Anexo 13: Ficha Técnica EMULNOR.....	81
Anexo 14: Ficha Técnica del producto ANFO.....	82
Anexo 15: Ubicación de Galerías.	83
Anexo 16: Diagrama de Perforación Área Minera Pituca II.....	84
Anexo 17: Diseño de Ventilación, Mangas y Ventiladores.....	85

Anexo 18: Plano Topográfico de las Galerías Nivel I y Nivel II.....	86
Anexo 19: Diseño 1 de minado Pituca II	87
Anexo 20: Diseño 2 de minado Pituca II	88

Introducción

En el Ecuador la actividad minera en el régimen de pequeña minería va avanzando a pasos agigantados por ello es necesario desarrollar sistemas acordes a las necesidades de los pequeños mineros que les permita tener una alta eficiencia en laboreo minero, así como mejorar la calidad de la atmosfera minera y con ello mejorar las condiciones del ambiente minero.

El trabajo inicia con la realización mediante la colocación de puntos glonas GNSS sistema estático; en superficie misma que nos permitirá georreferenciar el orto mosaico producto del levantamiento con el uso de dron Mavic 2 Pro.

Posterior a esto se realizará el levantamiento topográfico de las galerías con estación total sokkia, partiendo de los mojones de superficie.

Finalmente analizare los parámetros que generan los gases de mina, consumo por personal para finalmente sugerir un diseño de ventilación al proyecto.

CAPÍTULO 1

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

En el contexto de la economía nacional, el campo de los recursos no renovables, en el que se presenta mejores posibilidades de desarrollo a mediano y largo plazo y, por lo tanto su incidencia podría ser determinante en la economía del país (Paladines, 2005).

Desde años atrás, al Sur del Ecuador, la minera ha sido una de las actividades que genera fuentes de trabajo especialmente en la provincia de Zamora Chinchipe, sin embargo a pesar a los avances de la tecnología, no se cuenta con sistemas óptimos y adecuados que permitan tener un ambiente sano para realizar las actividades mineras subterráneas, en este contexto se analizara el diseño de ventilación adecuado que se adaptará a las condiciones de la actual situación, proponiendo cambios en franqueo y/o desarrollo de mina. (G, 2021)

1.2. Planteamiento del problema

El Proyecto Pituca II se desarrolla con galerías a niveles superiores e inferiores, sin un diseño adecuado, lo que provocan la acumulación de gases interior mina, generando sectores anaeróbicos que pueden ocasionar graves daños en caso de ingresar a esos sitios sin previa ventilación.

Por ello y debido a la falta de un sistema de ventilación en la mina La Pituca II, se dificulta desarrollar las actividades mineras en un ambiente adecuado, y; es necesario analizar los parámetros topográficos y de procesos mineros que permitan diseñar el sistema adecuado de ventilación para los diferentes frentes de trabajo en exploración y explotación.

En la actualidad el tiempo que se utiliza para realizar la ventilación es de 10 horas por medios naturales, lo que dificulta realizar un segundo turno de trabajo disminuyendo la producción de la mina.

1.3. Justificación

Con la presente investigación se pretende calcular el caudal requerido para ventilación durante el ciclo de minado en la labor minera la Pituca II, sector Pituca, Cantón Zamora, Provincia de Zamora Chinchipe, en donde actualmente no posee ningún estudio que evalúe los parámetros necesarios para optimizar la atmosfera minera de esta labor.

En este contexto se partirá desde la realización de la topografía superficial y subterránea a detalle (Esc: 1:500) misma que permita determinar valorar la viabilidad del sistema de ventilación, posteriormente se analizara el ciclo de minado en donde se determinara los factores y condiciones que generan gases nocivos y polvos así como la forma adecuada de evacuar estos gases a la superficie de tal forma que los trabajadores mineros tengan un ambiente óptimo y de confort para realizar su jornada laboral, así como poder disminuir el tiempo de ventilación natural y poder reiniciar un nuevo ciclo de minado.

El diseño de ventilación se adaptará a las condiciones de la actual situación, proponiendo cambios en franqueo y /o desarrollo de mina.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Calcular el caudal requerido para ventilación durante el ciclo de minado en la labor minera la Pituca II, sector Pituca, Cantón Zamora, Provincia de Zamora Chinchipe.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar las principales fuentes de emisión de gases en los frentes de exploración/explotación.
- Realizar el cálculo de caudales y realizar un análisis comparativo entre la normativa ambiental minera y los parámetros medidos en campo.
- Diseñar el sistema óptimo de ventilación minera.

1.5. Planteamiento de la hipótesis

¿En base a los resultados de la evaluación de las condiciones y parámetros actuales, que dificultan y generan gases contaminantes, esto, permitirá la implementación de un diseño de ventilación adaptado a las condiciones actuales del laboreo y proceso minero del Sistema de Ventilación en el Área PITUCA II.?

CAPÍTULO 2

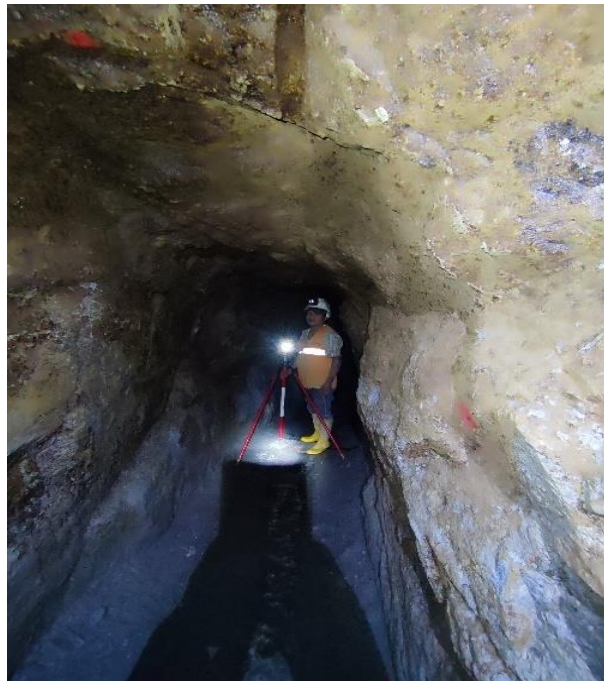
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Marco teórico

2.1.1 Principios de los sistemas de ventilación

La ventilación en minas, tiene por misión, el suministro de aire fresco con el objetivo de lograr condiciones termo-ambientales adecuadas para el personal que labora en faenas mineras subterráneas, como también la operación de diversos equipos e instalaciones subterráneas (Valarezo, 2020).

Figura 1. Sistemas de ventilación



Fuente: Elaboración propia

2.1.2 Gases presentes en minería subterránea

2.1.2.1 Gases de estratos

Son gases que existentes en las estructuras rocosas del yacimiento; en este sentido cuando está en contacto con una labor minera, pueden producir grandes concentraciones de gases tóxicos. (Anónimo, 2023).

2.1.2.2 Gases por voladura

Las dinamitas se clasifican según su emisión de gases al detonar. El fabricante de explosivos deberá entregar los gases que resultan del uso de sus productos, esto tiene real importancia cuando se necesita efectuar cálculos de dilución de los gases por medio del aire. (G Y. , 2021)

Tabla 1. Gases para dinamita permisibles

PARA DINAMITAS PERMISIBLES	
Clase de explosivos	Cantidad de gases (m3 por Kgr. De explosivo)
A	menos de 0,078
B	0,08 - 0,156
C	0,16 - 0,232

Fuente: (G Y. , 2021)

Tabla 2. Gases para dinamita no permisibles

PARA DINAMITAS NO PERMISIBLES		
Humos clase	Gases ponzoñosos liberados	
	m3 / cartucho	m3 / Kgr. exp.
1	menos de 0,0045	menos de 0,02
2	0,0045 - 0,009	0,02 - 0,04
3	0,009 - 0,019	0,04 - 0,08

Fuente: (G Y. , 2021)

2.1.2.3 Máquinas de combustión interna

Pueden liberar gran cantidad de contaminantes, hasta 0,28 m³/min por caballo de potencia; estos gases son CO, NO₂ aldehidos, humos, metano, y SO₂. (Yanes, 2023)

La cantidad de impurezas indeseables varían con el ajuste de la razón de combustible de la máquina, su condición mecánica, propiedades de combustible y condiciones atmosféricas.

2.1.2.4 Fuegos y explosiones

La combustión es generalmente incompleta en el caso de fuegos y explosiones, por lo cual, además de bióxido de carbono, pueden producirse monóxidos de carbono, metano y otros gases.

Los fuegos mineros son casi siempre sellados y el muestreo detrás de la tapadura indica cuando el fuego se ha sofocado y se ha llegado a un estado de equilibrio. Esto puede llegar a durar semanas o meses, pero si los sellos son impermeables al aire, la combustión terminará cuando se haya consumado el oxígeno disponible. (Yanes, 2023)

2.1.2.4 Respiración Humana

La respiración humana libera aproximadamente 47,20 m³/seg de dióxido de carbono por cada trabajador. (Yanes, 2023)

2.1.3 Tipo de gases

2.1.3.1 Nitrógeno N₂

Según la revista de Seguridad Minera, este gas se produce por la caída de rocas en las minas y por el consumo de oxígeno del aire, principalmente por la combustión de explosivos que se produce cuando gases tóxicos menos pesados que el aire se acumulan en chimeneas. (Minera, 7 gases presentes en minas subterráneas, 2018).

2.1.3.2 Anhídrido Carbónico

El porcentaje de anhídrido carbónico producido por la respiración de los trabajadores es pequeño, con respecto al producido por otras fuentes. Los trabajadores en minería subterránea sienten la presencia de este gas por síntomas como el calentamiento de las piernas y de la piel, dolor de cabeza y decaimiento general, cuando existe mayor presencia de este gas produce tos, aceleración de la respiración y accesos de temblor. (G Y. , 2021)

Este tipo de gas se forma en minas subterráneas por y durante la putrefacción de la madera, descomposición de rocas carbonatadas por aguas ácidas, trabajo con explosivos y por combustión. Para ello se debe contar con un sistema de ventilación eficiente y evitar que las concentraciones de este gas aumenten y se ponga en riesgo la salud de los trabajadores. (Minera, 7 gases presentes en minas subterráneas, 2018).

2.1.3.3 Monóxido de carbono CO

El Monóxido de Carbono se genera cuando existen incendios en minas, explosiones de gas y polvo, voladuras, quema de explosivos y generado por los motores de combustión interna y es casi imposible detectar su presencia si no se cuenta con los equipos adecuados; por otro lado por mínima cantidad de este gas es altamente peligroso. (Minera, 7 gases presentes en minas subterráneas, 2018)

Tabla 3. Síntomas de una persona por el porcentaje de CO

% CO	SINTOMAS
0,02	Produce dolor de cabeza después de cuatro horas de exposición.
0,04	Produce dolor de cabeza y malestar en dos horas.
0,12	En media hora produce palpitaciones del corazón tendencia a perder el equilibrio en una hora y media.
0,2	Produce inconsciencia en media hora.

Fuente: (Ruiz, 2017)

La peligrosidad del monóxido de carbono está ligada con el tiempo de exposición ya que a mayor tiempo y con igual porcentaje del gas en el aire, mayor es la saturación de la sangre, con una saturación de la sangre de 70 a 80% proviene la muerte. (Minera, 7 gases presentes en minas subterráneas, 2018).

2.1.3.4 Ácido Sulhídrico H₂S

Este tipo de gas puede llegar a ser más venenoso que el monóxido de carbono, sin embargo, al poseer un olor particular lo hace menos peligroso. Provoca la irritación de las mucosas de los ojos, conductos respiratorios y es capaz de atacar al sistema nervioso. Con solamente tener en nuestro cuerpo el 0,05% de H₂S, en un lapso de 30 minutos produce envenenamiento y con contenido de 0,1% de H₂S, puede producir la muerte. (Minera, Seguridad Minera, 2016)

En este sentido en los sitios de trabajo en los cuales se tenga presencia de H₂S recomienda que no pueden ser en concentraciones mayores a 0,002% por volumen durante 8 horas. En el caso de que se tuviera un trabajador envenenado por H₂S, la sangre y la piel presentan un color verdoso; para ello lo que se procede a realizar es el traslado de la víctima al aire natural, proporcionándole respiración artificial e inhalación de oxígeno. (G Y. , 2021)

Estos gases se forman en las minas por la putrefacción de sustancias orgánicas, descomposición de minerales sulfurosos, emanación de gases de las grietas y combustión incompleta de explosivos. (Minera, 7 gases presentes en minas subterráneas, 2018)

2.1.3.5 Anhídrido Sulfuroso SO₂

Es un gas incoloro, sofocante, con fuerte olor sulfuroso; su peso específico 2,26 Kg/m³ y se disuelve fácilmente en agua. (G Y. , 2021)

Estos gases se forman a raíz de las voladuras de algunos minerales sulfurosos y combustión de piritas y minerales de alto contenido de azufre. En concentraciones superiores a 0,001 % ataca a las mucosas y con 0,05 % es mortal. (Minera, 7 gases presentes en minas subterráneas, 2018).

2.1.3.6 Óxidos de Nitrógeno

Es un gas más ligero que el aire, inerte, incoloro, inodoro e insípido, cuando el nitrógeno se mezcla con una mínima cantidad de oxígeno puede sofocar el organismo de la persona. Este tipo de gases se forman cuando existe el desprendimiento de las rocas o por inhalar el oxígeno del aire por algún tipo de combustión principalmente cuando hay detonaciones de explosivos. (Minera, Seguridad Minera, 2016)

Según Yánez estos óxidos se forman en las minas por combustión retardada y, en ocasiones por detonación de explosivos (especialmente AN-FO). Este gas es más pesado que el aire, de color rojo oscuro por lo que no es visible en lugares que no cuenta con buena iluminación. Su presencia es principalmente en las vías respiratorias, se disuelve en agua formando ácido nítrico y nitroso que corroen los tejidos. Al inhalar este gas, por más mínima cantidad que sea las consecuencias pueden ser mortales esto se debe a que si se lo respira puede rehacerse aparentemente y después de varios días u horas la persona muere. (G Y. , 2021)

2.1.3.6 Gas Grisú

Es un gas compuesto principalmente por metano, el más peligroso existente en las minas, por formar mezclas explosivas con el aire. (Minera, 7 gases presentes en minas subterráneas, 2018)

Para la eliminación de este gas en minería subterránea debe existir un buen sistema ventilación ya que tiene baja reactividad química a temperatura normal.

El peso específico es de $0,554 \text{ kg/m}^3$, se concentra en las partes altas de las labores mineras de atmósfera tranquila. (Huaman, s.f.)

2.1.5 Polvo de mina

Es un material sólido finamente dividido, el cual, dependiendo del tamaño de sus partículas, de concentración y composición, puede constituir un peligro tanto para la salud del personal como la seguridad de la operación en lo que se refiere a visibilidad, etc. (Chamba, 2016)

El polvo de mina al ser partículas se encuentra presente en el aire, paredes, piso y techo de las minas. Cuando el polvo se encuentra en el aire, forma un sistema disperso llamado "aerosol", puede permanecer en él un largo tiempo, dependiendo esto de varios factores, a saber: finura del polvo, de su forma, peso específico, velocidad del movimiento del aire, de su humedad y temperatura. (Ramírez)

El polvo se genera comunmente por algunos factores detallados a continuación:

- La gestión de carga, transporte y descarga de los materiales extraídos, los cuales se expanden por la erosión, de las tracciones en terrenos.
- Por el chancado y tamizaje de minerales.
- Por las pilas de acopio y tanques de relaves. (Admin, 2023)

2.1.5.1 Suspensión de partículas de polvo en el aire

Para determinar el tiempo de suspensión de una partícula de polvo en el aire sin movimiento, se deben tomar en cuenta la interacción de dos fuerzas: la gravedad de la partícula y la fuerza de resistencia del aire. Mientras mayor sea la fuerza de gravedad, la

velocidad de caída de la partícula será más grande, al mismo tiempo, la fuerza de resistencia del aire crece. Cuando se trata de partículas menores de 10 micrones éstas caerán, desde cierto instante, con velocidad constante determinada por la ley de Stokes: (G Y. , 2021)

$$V = \frac{[2 * r^2 * (d-d') * g]}{9 * \nu}$$

Dónde:

V : velocidad de las partículas (cm/seg)

r : radio de la partícula (cm).

d : peso específico de la partícula (gr/cm³)

d' : peso específico del aire (gr/cm³).

g : aceleración de gravedad (cm/seg²).

ν : Viscosidad de aire inmóvil.

Tabla 4. Clasificación de las partículas

CLASIFICACION	VISIBLE	NIEBLA	HUMOS
Diámetro (µm)	> 10	44936	< 0,1
Velocidad de caída en aire inmóvil	Acelerada	Constante	Inaceptable

Fuente: (Yanes, 2023)

2.1.5.2 Características de partículas de polvo

El polvo ocupa el segundo lugar entre los contaminantes del aire que preocupa al trabajo de minería subterránea, es similar a los gases, ya que presenta características como: modo de ocurrencia, comportamiento y control. Las suspensiones de cuerpos particulados en el aire son llamados "aerosoles". (G Y. , 2021)

A continuación se detallan algunas características para el control de partículas:

- Las partículas, ya sean sólidos o líquidos, tienen características similares al estar suspendidas.
- Las partículas de polvo de consecuencias patológicas y combustibles están predominantemente bajo 10 μm de tamaño (1 micrón = 0,001 mm);
- Las partículas mayores de 10 micrones no se mantienen en suspensión en corrientes de aire aún de velocidad moderada.
- Los polvos industriales y mineros tienen característicamente un tamaño medio en el rango de 0,5 a 3 μm .
- La actividad química aumenta con el tamaño decreciente de las partículas.
- Los polvos por debajo de 10 μm . que son los de importancia en la higiene industrial, casi no tiene peso o inercia y por esto pueden permanecer indefinidamente suspendido en la atmósfera.
- No se puede esperar su asentamiento.
- El control de los polvos finos (bajo 10 μm .) que están en suspensión, requiere el control de la corriente de aire donde se encuentran. Este es el concepto básico del control de polvo. (G Y. , 2021)

2.1.5.3 Control de partículas de polvo

Para el control del polvo es importante tener claro las principales características de los contaminantes del aire y equipos que ayuden al control del polvo.

En este sentido se puede definir 4 principios básicos que se pueden implementar para disminuir la presencia del polvo en la mina:

- Mantener el control minucioso en la fuente de generación de polvo a fin de disminuirlo o al menos evitar que se contamine el ambiente externo.

- Diluir el polvo en el menor tiempo posible.
- Filtrarlo (retenerlo)
- Evitar (mitigación en la producción). (Ventius, 2016)

2.1.5.4 Polvo como un aerosol

Los aerosoles forman parte de los Agentes Químicos, juntos a los Gases y Vapores y estos pueden ser sólidos (humos y polvo) o líquidos (rocío y niebla). (Minera, 7 gases presentes en minas subterráneas, 2018)

Tabla 5. División de aerosoles

AEROSALES SOLIDOS	Polvos (Disgregación)		Neumoconiógenos
			Silíceos
			No Silíceos
		Inorgánicos	No Neumoconiógenos
			Metales
			Metaloides
			Sales
			Naturales
			Vegetales
			Animal
			Sintéticos
		Orgánicos	Plásticos
			Resinas
			Pesticidas
		Drogas, etc.	
		Humos (Condensación)	Plomo (Óxidos)
		Fierro (Óxidos)	
		Manganeso (Óxidos)	
AEROSALES LIQUIDOS	Rocío (Disgregación)		Sustancias puras
			Soluciones
			Suspensión
	Nieblas (Condensación)		Sustancias puras
			Soluciones
			Suspensión

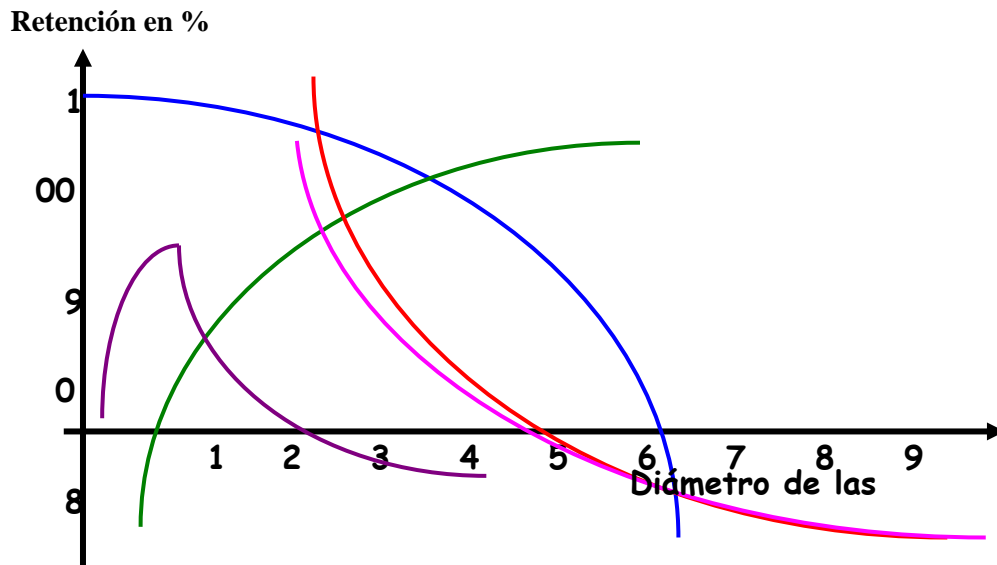
Fuente: ((UNASAM), 2019)

Tabla 6. Concentración del polvo

OPERACIÓN	FUENTE	
	Primaria	Secundaria
Tronadura	+	+
Circado minería continua	+	-
Tiraje de chimenea	-	+
Perforación	+	0
Paleo, carguío	-	+
Soplado de barrenos	0	+
Volcado de carros	-	+
Arrastre por scrapers	-	+
Descarga chutes de correas	0	-
Acarreo	0	-
Enmaderación	0	-
Acuñadura	0	-

Fuente: (G Y. , 2021)

Figura 2. Concentración del polvo en el ambiente



- ☞ Polvo respirable definido en Johanneburgo para partículas de densidad igual a la unidad.
- ☞ Polvo respirable definido por C.E.A. (Los Alamos).
- ☞ Polvo respirable definido por A.C.C.I.H.
- ☞ Retención en vías respiratorias superiores según Brown.
- ☞ Retención alveolar según Hath.

Fuente: (Yanes, 2023)

2.1.5.5 Tiempo de exposición

Otro factor importante es el tiempo que el trabajador está en contacto con el ambiente cargado de polvo; es decir cuando existe un ambiente minero considerablemente controlado, la enfermedad se desarrollará de 20 a 30 años. (G Y. , 2021)

2.1.5.6 Ingeniería de control de polvo

Muchas de las medidas empleadas en el control del polvo son las mismas del control de gases. A continuación, se expone en resumen las siguientes medidas de control de polvo:

- **Prevención.** Modificar operaciones o mejorar práctica; Reducir formación de polvo con equipo de polvo.
- **Eliminación.** Limpiar labores para eliminar polvo asentado; Depuración del aire con colectores de polvo.
- **Supresión.** Infusión con agua o vapor, previo al arranque; Apaciguamiento con rociado de agua o espuma; Tratamiento de polvo asentado con productos químicos delicuescentes (que absorben humedad del aire).
- **Aislamiento.** Tronadura restringida o con personal afuera; Encerramiento de operaciones generadoras de polvo; Sistema de aireamiento local;
- **Dilución.** Dilución local por ventilación auxiliar; Dilución por corriente de la ventilación principal; Neutralización por polvo inerte para disminuir contenido combustible del polvo asentado. (G Y. , 2021)

2.1.6 Ventilación en Mina Subterránea

La ventilación en una mina subterránea es el proceso mediante el cual se hace circular por el interior de la misma, el aire necesario para asegurar una atmosfera respirable y segura para el

desarrollo de los trabajos, la ventilación se realiza estableciendo un circuito para la circulación del aire a través de todas las labores. (Chamba, 2016)

La ventilación de una mina consiste en el proceso de hacer pasar un flujo de aire considerable y necesario para crear las condiciones óptimas para que los trabajadores se encuentren en una atmosfera agradable, limpia y sin gases. (Marco Antonio Mejía Flores, 2020)

2.1.6.1 Recursos minerales

2.1.7 Tipo de ventilación

2.1.7.1 Ventilación Natural

La Ventilación Natural es el flujo natural del aire fresco al interior de una labor sin necesidad de equipos de ventilación. (Chamba, 2016)

Para que se dé la ventilación natural es necesario que en el movimiento exista una diferencia de altura entre las bocaminas de entrada y salida; es decir que este tipo de ventilación se debe a la diferencia del peso específico del aire entrante y saliente. (Ricse, 2021)

- **El caudal del aire:** es la cantidad de aire que ingresa a la mina y que sirve para ventilar labores, cuya condición debe ser que el aire fluya de un modo constante y sin interrupciones. El movimiento de aire se produce cuando existe una alteración del equilibrio: diferencia de presiones entre la entrada y salida de un ducto, por causas naturales (gradiente térmica) o inducida por medios mecánicos. (Ricse, 2021).

2.1.7.2 Ventilación Mecánica o Auxiliar

La ventilación mecánica o ventilación forzada son aquellos sistemas que, haciendo uso de ductos y ventiladores auxiliares, ventilan áreas restringidas de las minas subterráneas, empleando

para ello los circuitos de alimentación de aire fresco y de evacuación del aire contaminado que le proporcione el sistema de ventilación general. (Ricse, 2021)

En minería, cuando la ventilación natural no es capaz de cumplir con las exigencias de caudal y velocidad suficientes, se utiliza la ventilación mecánica sea con ventiladores principales, secundarios o auxiliares. (Ricse, 2021)

2.1.8 Clasificación de ventiladores

Los ventiladores son los equipos necesarios para el movimiento del aire, tanto en la ventilación principal como en la secundaria. Por lo general los ventiladores principales se encuentran ubicados en el exterior de la mina, en la superficie. (Valarezo, 2020)

2.1.8.1 Ventilador Axial

Un ventilador es axial cuando el aire (o gas) entra y sale del ventilador siguiendo una trayectoria paralela al eje de la hélice. En los ventiladores axiales el aire es impulsado por una hélice dotada de un número variable de alabes o palas que están ancladas en un núcleo o cubo que es un elemento que transmite la energía del eje a los alabes. (Valarezo, 2020)

Existen de varios tipos, como el axial de propela (hélice) o aspas que se usa con descarga libre, generalmente en oficinas; de aspas con aplicaciones industriales, con descarga libre, especialmente utilizados en planta concentradoras como extractores y el axial tabular que es apropiado para conectar a conductos donde hay limitaciones de espacio y usado mayormente en minería. (Valarezo, 2020)

2.1.8.2 Ventilador Radial

Un ventilador radial es un dispositivo que se compone de un impulsor alimentado por un motor eléctrico. El giro del impulsor hace que el aire se ponga en movimiento, y el aire se aspira desde el lado de entrada del ventilador radial, la toma de entrada está ubicada de forma perpendicular (90°) a la salida. (Valarezo, 2020)

2.2 Procedimiento para diseñar un sistema de ventilación

Para diseñar un sistema de ventilación eficiente es necesario establecer un circuito para la circulación del aire a través de las galerías. Es de vital importancia que la mina disponga de accesos independientes. Si la mina cuenta con un acceso la ventilación se la realiza con la utilización de tubería; para ello se debe colocar la tubería en la entrada y salida de la galería.

Para el diseño del sistema de ventilación de la labor minera es necesario el cálculo en cada explotación de los factores analizados, por lo que se debe contar con un profesional de la rama para los cálculos de los ventiladores principales y caudales necesarios, y en base a estos resultados se defina el circuito de ventilación adecuado para la mina. (Marco Antonio Mejía Flores, 2020)

2.2.1 Requerimiento de aire por el personal

Para el cálculo de aire por el número de personal que trabaja dentro de la mina los cuales se considerara entre perforistas, ayudantes y pateros, se necesita aplicar la siguiente formula:

$$Q_1 = n * q$$

En donde:

Q_1 = cantidad de aire necesario para el “n” de personas (m³/min)

q = cantidad de aire mínimo por persona (m³/min)

n = número de personas en el lugar (Marco Antonio Mejía Flores, 2020)

2.2.2 Requerimiento de aire por la cantidad de equipos en funcionamiento y polvo en suspension

Para el presente cálculo se aplicará la siguiente formula:

$$Q_2 = K * N$$

En donde:

Q_2 = cantidad necesaria para partículas desprendidas de equipos (m³/min)

K = cantidad de aire necesario por cada Operadora (m³/min)

N = número equipos operando autorizados que trabajan en la mina (Marco Antonio Mejía Flores, 2020)

2.2.3 Requerimiento por consumo de explosivos

El cálculo para el requerimiento por consumo de explosivos se basa en lo siguiente:

- Formación de productos tóxicos por la voladura (explosivos)
- La ventilación no debe ser mayor a 30 min.
- Así mismo, tomando en cuenta algunos reglamentos de seguridad, los productos tóxicos de la explosión deben ser diluidos a no más de 0,008% en volumen. (Marco Antonio Mejía Flores, 2020)

Para el cálculo del caudal de aire se lo obtendrá con la siguiente formula:

$$Q_3 = \frac{100 * a * A}{0,008 * t}$$

En donde:

Q_3 = cantidad de aire necesario en m^3/min

A= cantidad de explosivo en voladura en kg

a = formación de productos tóxicos (m^3/kg)

t = tiempo de pausa entre la voladura y el regreso al frente o tiempo de ventilación en minutos. (Marco Antonio Mejía Flores, 2020)

2.2.4 Requerimiento para mantener condiciones optimas ambientales

Para mantener óptimas condiciones ambientales es necesario considerar lo siguiente:

- Número de personas que trabajan en interior mina
- El aire que ingresa a la mina
- Los niveles más críticos que tienen al interior mina
- Temperatura con la que trabajan

En este sentido para determinar la cantidad de aire que se requiere para mantener óptimas condiciones ambientales se aplica la siguiente formula:

$$Q_4 = V * n * A$$

En donde:

Q_4 = cantidad de aire para mantener condiciones ambientales ideales

V = velocidad del aire usando valores de T_1 (9m/min)

N = número de niveles a trabajar con temperaturas elevadas

A = área promedio de la sección de labor (Marco Antonio Mejía Flores, 2020)

2.3 Leyes y Reglamentos que determinan el requerimiento de caudales en minería subterránea

Las Leyes y reglamentos en los cuales nos regimos para el cumplimiento y seguridad de las actividades mineras subterráneas se detallan a continuación:

- Ley de minería: Registro Oficial Suplemento 517 de 29-ene.-2009 - Última modificación: 21-ago.-2018.
- Reglamento Ambiental de Actividades Mineras - Acuerdo Ministerial 37 Registro Oficial Suplemento 213 de 27-mar.-2014 Última modificación: 18-sep.-2014 Estado: Vigente
- Legislación ecuatoriana dentro del reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional del Ámbito Minero - RESOLUCIÓN Nro. ARCERNNR-013/2020 del 27 de noviembre de 2020.
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos usos y Aprovechamiento del Agua - Registro Oficial Suplemento 305 de 06-ago.-2014.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

Para elaborar el presente trabajo y cumplir con los objetivos propuestos en el tiempo establecido se dividió el proyecto en tres fases, apoyándose en una investigación experimental, técnica y descriptiva por medio de la siguiente metodología:

- **Investigación documental:** Se recopiló información bibliográfica, documental sobre la concesión minera “PITUCA II”.
- **Investigación de campo:** Se realizó levantamiento topográfico de superficie y subterráneo, colocación de mojones y sobre estos las antenas Emlid así como visitas técnicas en la concesión minera “PITUCA II”.
- **Investigación experimental:** Se realizó un análisis de los datos obtenidos en campo, mediante cálculos de caudales y condiciones actuales de la concesión minera “PITUCA II” y en base a ello realizar el diseño de ventilación óptimo.
- **Investigación descriptiva:** Basándose en la problemática investigativa, se determinó los caudales, cantidad de explosivo, número de personal por turno, tiempo de ventilación natural de la mina, información recopilada que sirvió para diseñar el sistema de ventilación óptimo para la mina de la concesión minera “PITUCA II”.

3.1 Fase I: Recopilación de la información de la zona de estudio

Para esta fase se recopiló datos e información bibliográfica de la zona de estudio como: localización, topografía, geología, geomorfología, entre otra documentación que nos sirva para analizar y procesar la información, utilizando software (ArcMap, Autocad, Metashape) se elaboró mapas de ubicación, geológicos y topográficos del área de estudio. Se realizó

levantamiento topográfico subterráneo con estación total y un mapeo superficial mediante levantamiento topográfico con Dron. Con esta documentación se determinó los parámetros para el Diseño de ventilación a implantarse en la concesión minera motivo de la presente investigación.

3.1.1 Localización

La zona de interés como lo es la concesión minera “**PITUCA II**”, está ubicada al Sur de Ecuador:

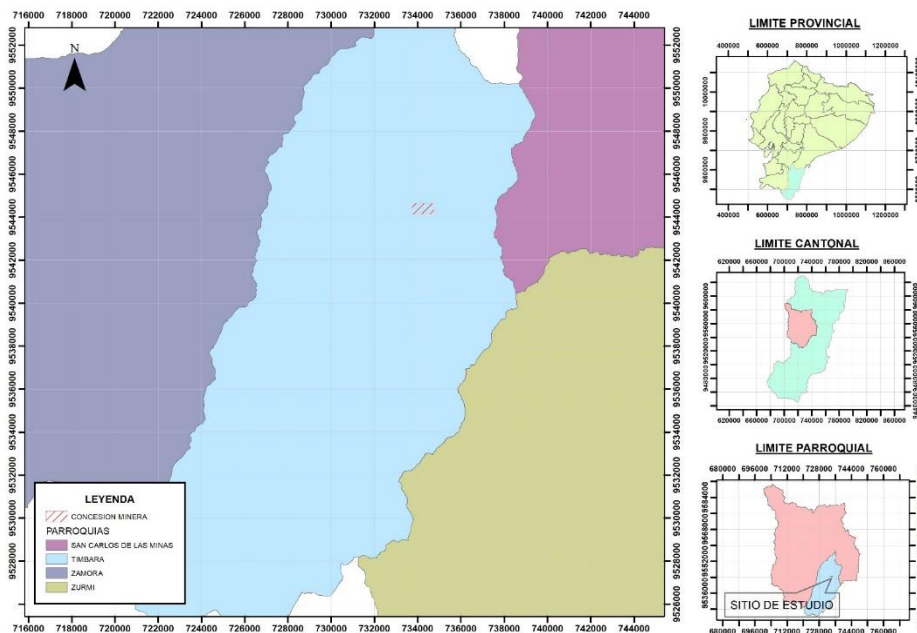
Barrio: San Marcos Alto

Parroquia: Timbara

Cantón: Zamora

Provincia: Zamora Chinchipe. (Robles, 2016)

Figura 3. Mapa de ubicación de la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia

La concesión minera bajo régimen de pequeña minería se encuentra dentro de la zona geográfica 17 Sur, a continuación, se detallan las coordenadas referenciales UTM del proyecto en WGS 84.

Tabla 7. Coordenadas de ubicación del proyecto

ID	X	Y
PP	733747	9544635
P1	734747	9544635
P2	734747	9544135
P3	733747	9544135

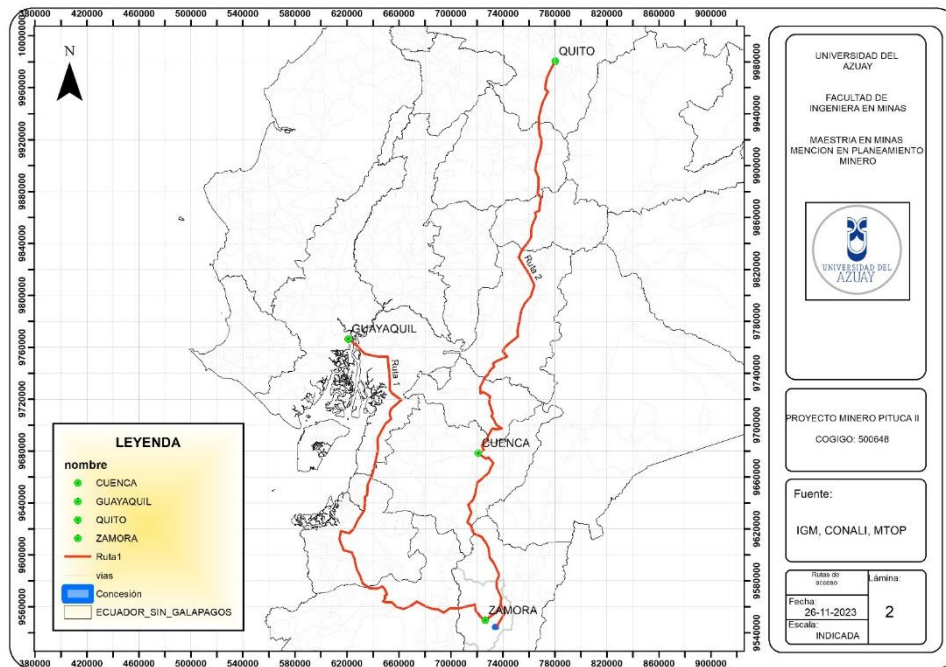
Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Acceso

Para llegar a la zona de estudio, existen diferentes rutas, se tomará como referencia la ciudad de Cuenca – Loja - Zamora, vía terrestre con un recorrido aproximado de 286km en una

vía de primer orden hasta llegar a Timbara y desde Timbara en una vía de cuarto orden con un recorrido de 12 km el mismo que se lo realiza en carro óptimo para transitar en este tipo de vías hasta la concesión minera PITUCA II, código 500648. El recorrido completo tomando como referencia la ciudad de Cuenca toma un tiempo aproximado de 6.5 horas.

Figura 4. Mapa de acceso



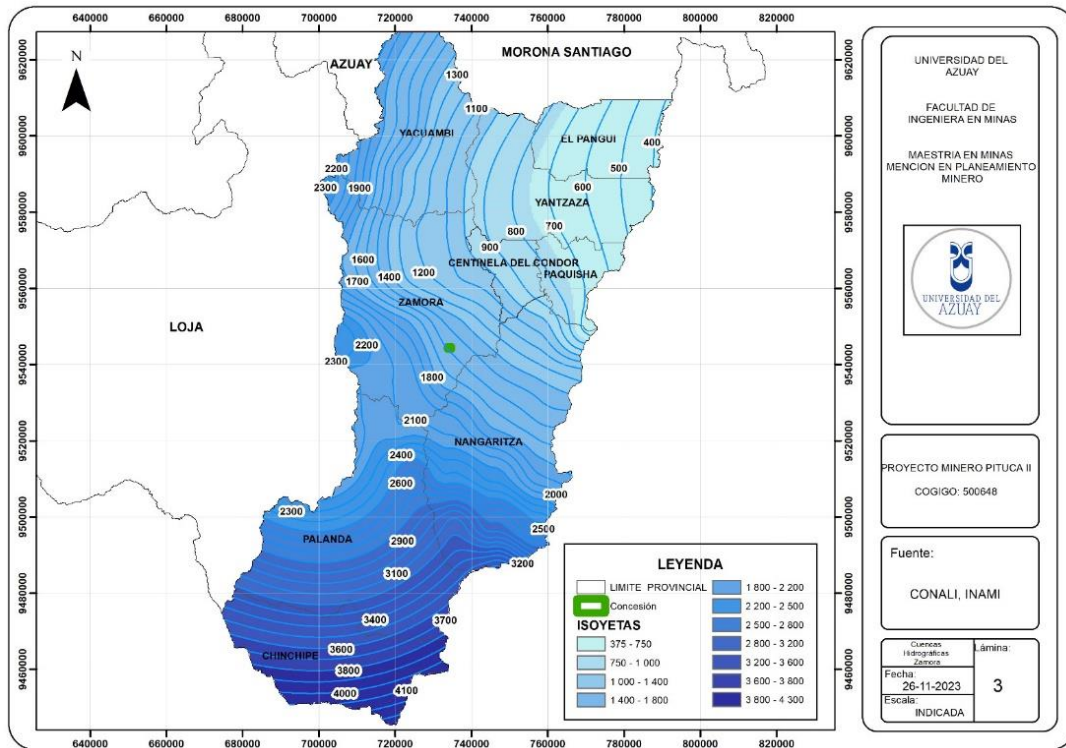
Fuente: Elaboración propia.

3.1.3 Clima y Temperatura

En base a los datos oficiales del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) y los mapas de Isotermas e Isoyetas del INAMHI (2013), la zona tiene una temperatura promedio entre los 16° y 18° Celsius, lo que corresponde a un clima templado con pequeñas variaciones a lo largo del año. (Robles, 2016)

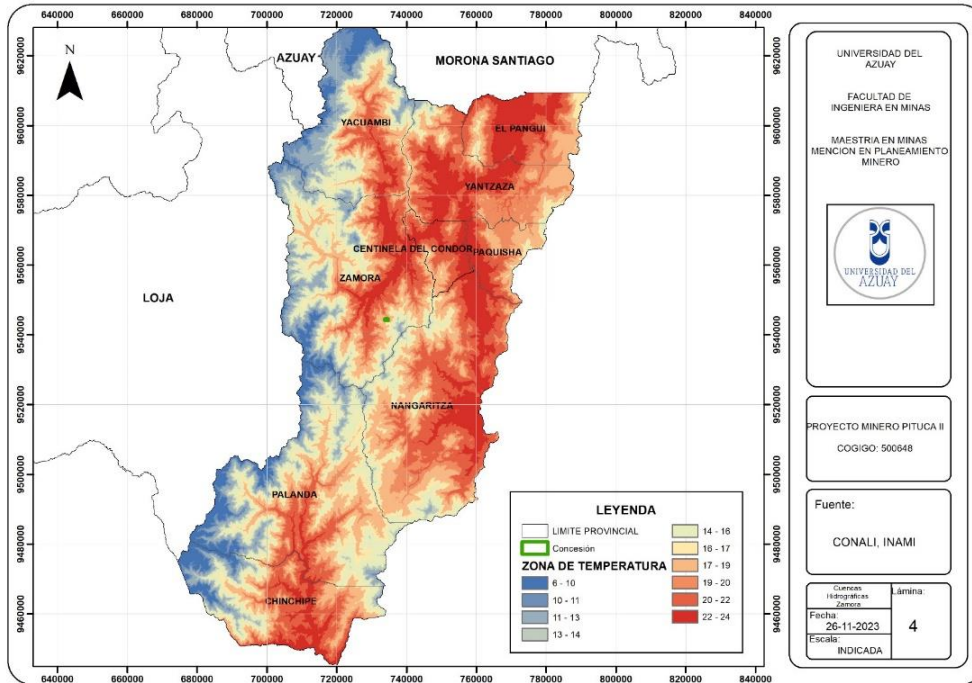
Según los datos analizados tenemos que febrero y julio son los más lluviosos a diferencia del mes de noviembre que es el más seco del año. El sector presenta dos tipos de vegetación: Bosque de Neblina Montano y Matorral Húmedo Montano Bajo. (Robles, 2016).

Figura 5. Mapa de Isoyetas de Zamora Chinchipe



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Mapa de Isotermas de la provincia de Zamora Chinchipe

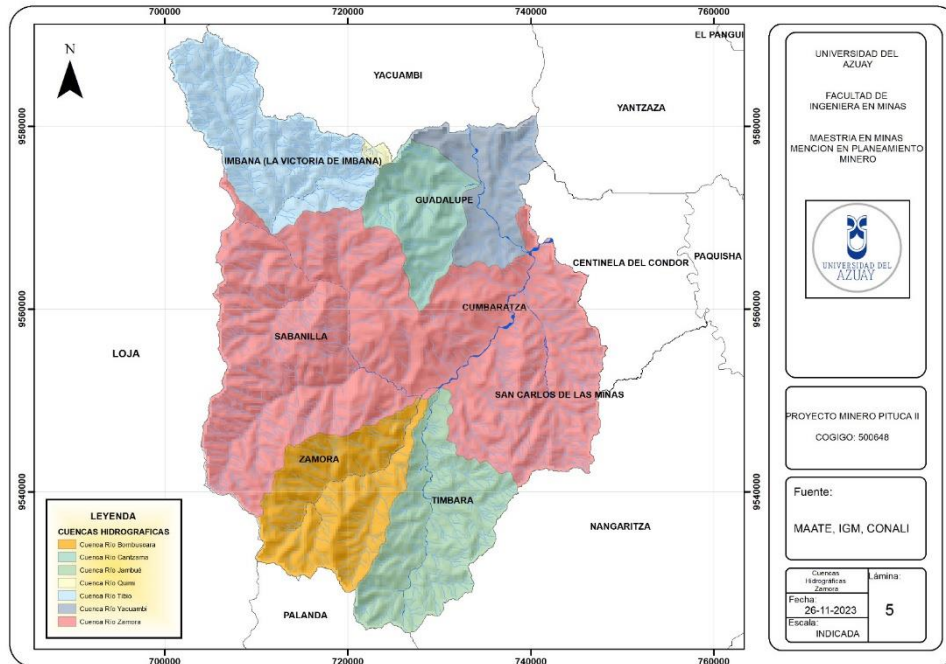


Fuente: Elaboración propia.

3.1.4 Hidrología

En el cantón Zamora se forma una red tipo dendrítica la misma que está conformada por los siguientes afluentes: afluente secundario el cual se encuentra cubriendo gran parte de la zona en la que está la quebrada La Piuntza, que corre en sentido paralelo al curso de aguas del río Jambué y se une con la quebrada Timbara, algunos kilómetros abajo desembocan sobre el río Zamora en una red hidrográfica (Robles, 2016).

Figura 7. Cuencas Hidrográficas de Zamora



Fuente: Elaboración propia.

3.1.5 Geología

3.1.5.1 Geología regional

La zona subandina representa el lado occidental plegado de la cuenca marginal Preandina, el basamento cristalino en la base de esta zona se ha desplazado a una profundidad mayor a los 8km, sobre el cual discordantemente descansa un complejo de rocas sedimentarias y volcánogeno-sedimentarias marinas. (Robles, 2016)

Según el Mapa Geológico de Zamora, Hoja 77 CT-NVII-A-3881, los materiales volcánicos depositados en este sector pertenecen a la Formación Chapiza de edad Jurásica, y sobreyacen a metasedimentos y metavolcánicos de la Formación Santiago. (Robles, 2016)

Según las estructuras y afloramientos existentes en zonas aledañas, se aprecia que este sector ha sufrido fuertes movimientos tectónicos a causa de la intrusión del granito metasomático, el cual originó que los esquistos, gneises y cuarcitas del Grupo Zamora, del

Paleozoico, se erosionen de tal manera que en la actualidad solamente aparezcan en depósitos aislados al Este de los volcánicos Piuntza y Sacantza, separados por afloramientos del intrusivo. (Robles, 2016)

A continuación, se detallan las principales formaciones geológicas que se encuentran cerca del área de estudio:

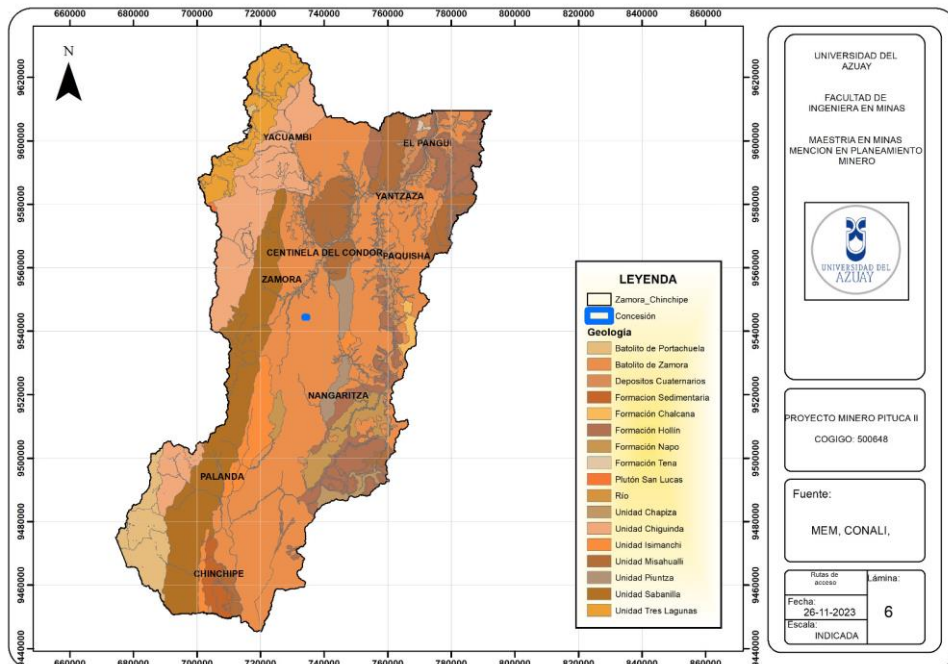
- **Batolito de Zamora:** es un Intrusivo-plutónico tipo I de composición calco-alcalina de edad Jurásica. Comprende localmente granodiorita hornblédica de megacristales de pertita y oligoclasa de grano grueso a muy grueso. El cuarzo muestra un alineamiento direccional. Las zonas de brechas pueden contener también clastos angulosos de pórfido de cuarzo, andesita y andesita basáltica. El batolito intruyó la región de intercepción de la zona Subandina con la Zona Transversal Puna Méndez, lo que puede considerarse como señal complementaria de la existencia de esta zona en el Mesozoico temprano. (Robles, 2016)

El conjunto de rocas volcánicas e intrusivas descritas constituyen el arco volcánico continental de edad jurásica, de enorme importancia, pues en este arco en la última década se han descubierto los yacimientos de los cinturones metálicos de cobre-molibdeno y de oro-plata más importantes del país. (Robles, 2016)

- **Unidad Piuntza:** La Unidad Piuntza consta de rocas volcano clásticas de buzamiento leve dentro de los Granitoides Zamora. Sobreyacen inconformemente la Unidad Isimanchi. Los fósiles de bivalvos se encuentran en una secuencia de limolitas calcáreas skarnificadas cerca de las poblaciones de Piuntza y Nambija, en el río Timbara, definen la localidad y señalan una edad del Triásico medio a tardío. (Robles, 2016)

- **Unidad Misahualli):** Unidad constituida por brechas volcánicas con intercalaciones de pequeños diques andesíticos, más o menos basálticos, variando a andesitas porfiríticas. Contienen una o varias mineralizaciones de sulfuros, compuestos por piritita, calcopirita, molibdenita, trazas de pirrotina, esfalerita, galena y como ganga hematita y calcita. (Robles, 2016)
- **Formación Napo:** Paquetes de pizarras bituminosas con lentes e intercalaciones de subgrauvacas, ocurren localmente dentro o en la base de la secuencia volcánica y también se superponen directamente al basamento de granitoides. (Robles, 2016).

Figura 8. Mapa de Geología Regional de Zamora Chinchipe



Fuente: Elaboración propia.

3.1.5.2 Geología local

- **Litoestratigrafía:** El levantamiento geológico estructural subterráneo permitió recoger muestras y diferenciar tres grupos importantes litoestratigráficos, siendo estos los siguientes, junto a su nomenclatura:

- ✓ **PALEOZOICO (rocas ígneas):**

- g. Granito metasomático

- ✓ **JURÁSICO (metavolcánicos):**

- t. Tobas

- b. Brechas y conglomerados

- ✓ **Granito Metasomático (Paleozoico) g.**

Forma parte del Batolito de Zamora, es el cuerpo que se presume liberó fluidos pirometasomáticos hacia la parte superior, en donde están ubicados actualmente los metavolcánicos, enriquecidos e impregnados de sustancias minerales metálicas. El ascenso de estos fluidos se produjo a través de las fallas y fracturamientos existentes en las rocas superiores. (Robles, 2016)

El contacto entre el granito y las rocas metavolcánicas es discordante; y presenta coloración rojiza como producto de la meteorización química, por la presencia de aguas meteóricas.. (Robles, 2016)

No se aprecia ningún tipo de mineralización en el granito, adicionales de los minerales principales cuarzo, feldespatos y micas; su estructura está fresca a partir de los 50cm de la línea de contacto en la zona de oxidación por las aguas meteóricas. (Robles, 2016)

- ✓ **Tobas (Jurásico) t.**

Los Filones de tobas volcánicas de coloración rojiza, formados aparentemente después de la mineralización de los metavolcánicos, se encuentran en direcciones 78°/13°NW preferentemente, aparecen en espesores de 2 metros y un buzamiento de 84°. (Robles, 2016)

✓ **Brechas (Jurásico) b.**

Las brechas volcánicas están presentes en toda la parte alta del sector, sobreyaciendo al cuerpo granítico, su textura es uniforme con granos de cuarzo y feldespatos de hasta 3mm y clastos atravesados de rocas oscuras de hasta 5mm de diámetro, pirita diseminada del 5 al 10% se encuentra en las partes cercanas a las zonas de fracturas y fallas, dentro de los cuerpos brechoides, lo que da una idea de la mineralización metasomática que sufrió. (Robles, 2016)

La matriz de estas brechas es calcárea algo silicificada con una dureza en roca de 3-4 en la escala de Mohs, de origen volcánico. La textura está soportada por la matriz, con sus fragmentos sub-angulosos de diversos tipos dispersos en el material de grano más fino. (Robles, 2016)

✓ **Otras rocas.**

Capas despreciables de andesitas poco meteorizadas y con alteraciones cloríticas, se encuentran intercaladas con las brechas y tobas, estas andesitas también presentan mineralización pirítica diseminada a un aproximado de 5%. (Robles, 2016)

3.1.5.3 Mineralización

En los espejos de falla con abertura de hasta 1cm, se encuentran vetillas mineralizadas por ascenso de soluciones hidrotermales, en estas vetillas predomina la pirita, acompañada de calcopirita y esfalerita y en valores despreciables galena, este material también contiene oro, pero en estado refractario.

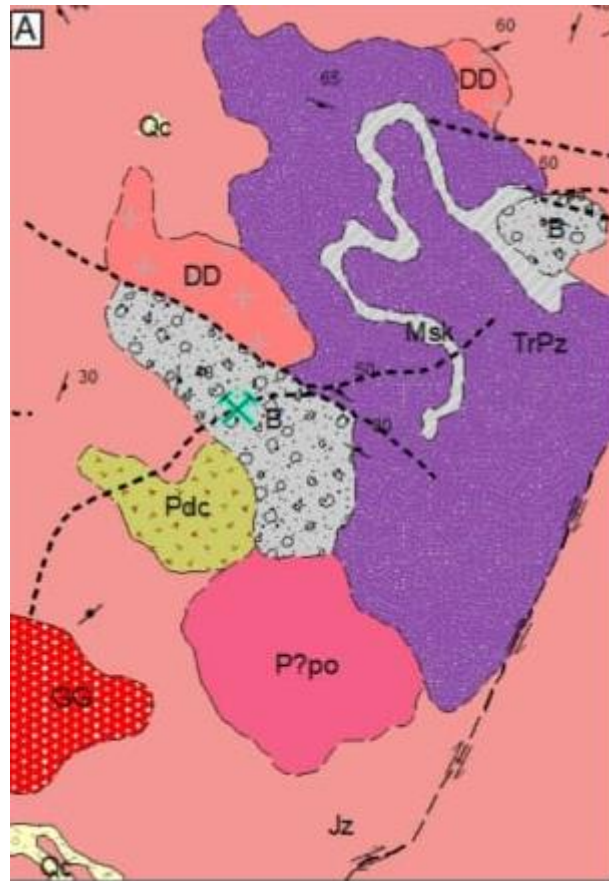
La aparición de vetillas mineralizadas en los espejos de falla y su relación con el vulcanismo geosinclinal presente en la zona, deja abierto el criterio acerca de la génesis de formación del depósito en dos hipótesis: la primera, por ascensión de fluidos de origen mesotermal desde el cuerpo intrusivo; y, la segunda hipótesis, la depositación metalífera de pirita y otros como el oro en ciclos separados de depositación piroclástica y el ascenso posterior de soluciones hidrotermales a través de chimeneas volcánicas. (Robles, 2016)

Macroscópicamente se observa que las vetillas están rellenas con pirita (FeS_2) en un 80%, y el restante material de mena lo conforman en proporciones similares, esfalerita (ZnS), calcopirita (CuFeS_2), cuarzo (SiO_2), y galena (PbS). Aunque se conoce la existencia de oro dentro de esta mena, a este mineral no se lo aprecia a simple vista. (Robles, 2016)

De acuerdo a lo encontrado, por diferenciaciones evidentes en la estratigrafía de las brechas, como por ejemplo el diámetro de los elementos conformantes de los metavolcánicos, la disposición de capas andesíticas, la cercanía al contacto con el cuerpo intrusivo, y, los diques tobáceos de inclinación casi perpendicular que muestran un segundo ciclo de sedimentación vulcanoclástica; se puede determinar que la profundidad de formación de este yacimiento es algo somera y no podría superar algunas decenas de metros. (Robles, 2016)

La formación y ascenso de soluciones ricas a través de chimeneas volcánicas en los momentos de actividad, puede haber ocasionado que en estos conos apagados se haya depositado filones metalíferos muy ricos, que deberán ser comprobados con estudios geofísicos o directamente con sondajes. (Robles, 2016)

Figura 9: Mapa de Geología Local.



Fuente: (Medina J. , 2024)

3.1.6 Levantamiento topográfico de superficie

La Concesión minera La Pituca II, en sus archivos no dispone de un levantamiento topográfico de superficie, por lo cual se realiza el levantamiento topográfico bajo las siguientes consideraciones:

En primera instancia mediante contrato de obra cierta y de servicios profesionales, se realiza la colocación de una malla de puntos geodésicos con la utilización de Robert Emlid REACH RS+ (Receptor RTK GNSS), mismos que fueron ubicados a lo largo de la vía y

campamento por tratarse de una zona montañosa, puntos georreferenciados en el sistema de coordenadas WGS 84 UTM 17S.

Este equipo, Emlid REACH RS+ emite coordenadas con una precisión centimétrica en base a sus características de posicionamiento y por tratarse de zona montañosa.

Figura 10. Levantamiento topográfico en superficie de la Concesión



Fuente: Elaboración propia.

En la zona de estudio se realizó la colocación de las antenas Emlid para la recolección de datos del punto base, el cual se enlazo a la red GNSS de monitoreo continuo del Ecuador (REGME) ubicado en la UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA (LJEC), la cual enlaza con 21 satélites globales reconocidos por las antenas Emlid, para poder realizar el enlace se requiere de servicio de internet, una vez enlazado a la red se procede a la recolección del punto base ubicado en el exterior del campamento (Cerca de la planta de beneficio) por un tiempo de 1 hora, una vez cotejada y verificado los datos de enlace y puesta a punto del equipo se realizó la lectura de los nueve puntos ubicados en lugares despejados y de fácil visibilidad desde el aire, así como cercanos a la boca mina II de las labores mineras La Pituca II. El tiempo

que se le digito para la recolección de las coordenadas en territorio es de 20 minutos en cada punto y son levantados con la antena Rover de la misma marca. En la tabla siguiente se muestran los datos obtenidos y corregidos del equipo de medición.

Tabla 8. Puntos recolectados con antenas EMLID

Denominación	Norte	Este	Cota
Base	733990.304	9544430.131	2024.590
Punto 1	733998.127	9544433.165	2024.660
Punto 2	734001.729	9544435.047	2024.720
Punto 3	733941.282	9544433.579	2024.470
Punto 4	733979.188	9544450.130	2035.343
Punto 5	733900.878	9544473.100	2025.486
Punto 6	733843.384	9544521.306	2016.408
Punto 7	733836.374	9544475.010	2006.452
Punto 8	733752.712	9544467.468	1957.536
Punto 9	733754.150	9544476.201	1957.265

Fuente: Elaboración propia.

La ubicación de los puntos se muestra en la Figura 11, los cuales sirven como punto de partida para los futuros trabajos de topografía superficial y subterránea.

Con estos antecedentes se realiza el mapeo superficial mediante el levantamiento topográfico con dron DJI MAVIC 2 PRO, con la aplicación (Dron Deploy) de un plan de vuelo autónomo del equipo que permitió obtener imágenes aéreas del sector para luego con la utilización del software Metashape realizar una ortofotografía del sector, cuya información se corrigió con los puntos geodésicos tomados con los GPS EMLID.

Se utilizó primeramente el software DJI GO 4, que sirve para calibrar los parámetros de navegación del equipo y facilitar la realización de un vuelo autónomo con seguridad que permita obtener la información de calidad. Seguidamente se procede a realizar el proyecto de vuelo

3.1.7 Levantamiento topográfico subterráneo con estación total

Previo a iniciar este trabajo se preparó y corrigió los equipos que consiste en estación Total Marca, Modelo SET550RX, prismas y bastones de medición, como se puede verificar en los registros de calibración.

Los trabajos de campo inician con fecha 15 de junio del 2023, para lo cual se utilizó los puntos tomados con los GPS Glonas Emlind, puntos fijos cercanos a la boca mina 2, de las galerías franqueadas por la empresa minera La Pituca II; y a la vez distantes una de otra.

Procediendo en primer lugar a emplazar el equipo en un mojón de coordenadas conocidas y visar al prisma colocado en otro mojón de coordenadas conocidas, realizando el disparo de lectura y comprobación de estas. Este procedimiento se realizó emplazando la estación en los dos mojones fijos y comprobando las lecturas que coincidan, teniendo error en la tercera cifra decimal.

Con este procedimiento de vista atrás de comprobación y medición en vista adelante se mide toda la galería hasta el punto donde se presentan los bloques de exploración explotación de minerales polimetálicos tanto a nivel superior como a nivel inferior, siguiendo el centro de la galería.

Una vez transportadas las coordenadas hasta el interior mina y frentes de interés, descargando la tabla de datos de la estación, se procede a importarlos al software AUTOCAD, para realizar la unión e intersección de puntos que permitan visualizar las galerías mineras en 2D y 3D, sobre esta base de dibujo y en formato DXF con ayuda del software ArcMap se coteja la información en 2D Ortofoto y galería minera, y levantamiento proporcionado del nivel I.

3.2 Fase II: Análisis de los Factores de la Ventilación en la Concesión Minera

3.2.1 Factores que dificultan y/o facilitan la ventilacion

El desarrollo de la actividad minera en la Pituca II, por información proporcionada por el Ing. Fabian Morocho, desde su inicio se ha venido dando como minería artesanal, ya que dispone de galerías franqueadas siguiendo vetillas, fracturas, fallas, mismas que dan lugar a un sinnúmero de recodos, sumando a ello el poco ancho y altura de estas, dificultan en alto grado una ventilación natural pese a ser tramos de galerías relativamente cortos.

Otro factor no menos importante que impide una ventilación natural es la falta de comunicación entre niveles de explotación, aunque estos se encuentren abandonados por agotamiento de reservas, disminución de leyes o por el riesgo que conlleva seguir la explotación a niveles inferiores o superiores según sea el nivel para analizar.

3.2.2 Determiación del tiempo natural de ventilacion de la mina

Se analiza el nivel II, ya que es el único que se encuentra en exploración explotación, los otros niveles y galerías se han abandonado como se dijo en líneas anteriores por falta de una exploración explotación tecnificada, por agotamiento de reservas o por 'bajas leyes'.

El tiempo de permanencia en campamento corresponde a 14 horas, y el tiempo de trabajo es de 10 horas, pese al tiempo de ventilación natural no se logra una ventilación adecuada. Por lo que al ingreso del turno del próximo día se encuentra gran cantidad de polvo en suspensión, determinado a simple vista y al simple respirar.

3.2.3 Cantidad de personal que labora por turno / dia

De acuerdo con archivos existentes y versiones de los mismos trabajadores, la presencia de personal es variable, existen meses en donde pueden llegar a 60 trabajadores de mina y al

próximo mes llegar a 25 a 30, ya que la mayoría son personal nativo del oriente ecuatoriano, el personal mestizo se encarga de la administración, control y seguimiento de los trabajos de minado.

Para la realización del presente trabajo se toma en consideración el número más alto de trabajadores es decir sesenta.

3.2.4 Frentes de trabajo por turno / día

Los frentes de trabajo que actualmente tiene el nivel II, y es en donde actualmente se encuentra en producción, son tres, con dos voladuras día en cada frente, y corresponde a perforación, voladura, ventilación, desquinche y extracción, de los cuales dos se realizan a nivel inferior y uno a nivel superior de la línea principal de arrastre (Nivel II).

De estos niveles se extrae mineral hacia el nivel principal desde la parte superior por gravedad y desde los niveles inferiores con el uso de winches de izaje a buzones de madera.

3.2.5 Tipo de diseño de malla de perforación y voladura

Al tratarse de trabajos a nivel de minería artesanal el conocimiento de los perforistas se ha venido adquiriendo entre ayudante y perforador, que con el transcurso de los años han llegado a conocer en forma empírica el comportamiento de la roca, y los trabajos de perforación y voladura lo hacen bajo este principio, siendo muy difícil cambiar ese modelo de perforación.

Como norma general para cumplir este objetivo utilizan la siguiente maquinaria.

Tabla 9, Tipo de malla de perforación y voladura

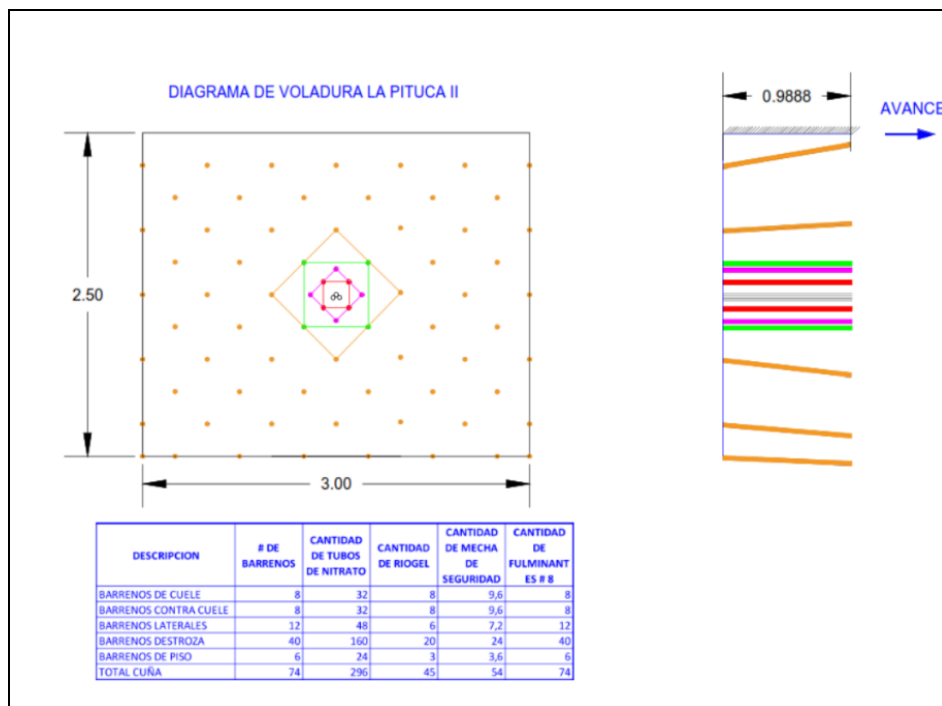
ORDEN	TIPO	MARCA
-------	------	-------

1	Neumática	Yt27 Máquina de barrenar
2	Acero	Atlas coopco barrena de 1.20 m
3	Acero/diamante	Atlascoopco brocas de pupos
4	Neumática	Lubricadora
5	Hierro/aleaciones	Llaves
6	Combustión	Compresor

Fuente: Elaboración propia.

Durante las observaciones realizadas en el sitio se utiliza el siguiente diseño de voladura de rocas.

Figura 12. Diseño de voladura en rocas



Fuente: Elaboración propia

4.2.6 Cantidad de explosivo usado por frente de trabajo

Los trabajos de laboreo minero tanto de material estéril como mineral, así como el desarrollo minero, lo realizan mediante voladuras no eléctricas utilizando para el efecto:

Tabla 10. Cantidad de explosivo por frente de trabajo

Orden	Descripción	Tipo
1	Mecha lenta	Combustión
2	Fulminante Ordinario No.8	Sensible a la chispa
3	Dinamita – EMULNOR 3000 1 1/8 x 7	Detona con el iniciador
4	ANFO	Nitrato de amonio más Diesel.

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando los accesorios y explosivo se realizan las voladuras en los diferentes frentes de exploración explotación, bajo el siguiente diagrama de carga de explosivo y cantidad en los diferentes barrenos franqueados para este fin.

Tabla 11. Accesorios y explosivos para la Voladura

Orden	Barreno	Descripción	Unidades	Peso Unitario	Peso parcial
1	Cuele	Mecha lenta	12 m	0.019 Kg	0.228 Kg
		Fulminante No.8	8 uds	0.00144 Kg	0.01152 Kg
		Emulnor	8 uds	0.130208Kg	1.041666 Kg
		Nitrato	32 tubos	0.11Kg	3.52Kg
	ontr	Mecha lenta	12 m	0.019 Kg	0.228 Kg

2		Fulminante No.8	8 uds	0.00144Kg	0.01152 Kg
		Emulnor	8 Uds	0.130208Kg	1.041666 Kg
		Nitrato	32 tubos	0.11Kg	3.52Kg
3	Laterales piso,destroza	Mecha de seguridad	87 m	0.019 Kg	1.653 Kg
		Fulminante No 8	58 uds	0.00144 Kg	0.08352 Kg
		Emulnor	29 uds	0.130208 Kg	3.776032 Kg
		Nitrato	232 tubos	0.11 Kg	25.52 Kg
		MECHA	FULMINANTES	EMULNOR	NITRATO
TOTAL		2.109 Kg	0.10656 Kg	5.859364 Kg	32.56 Kg

Fuente: Elaboración propia.

Si tomamos en consideración como se dijo en líneas anteriores que se realizan tres voladuras bajo este tenor, en la tarde a final de turno y tres más previo a salir al almuerzo al medio día se tiene un consumo acumulado diario de **12.654 Kg** de mecha lenta, **0.63936 kg** de fulminante ordinario No.8, EMULNOR se consume **35.1561 Kg** y finalmente se consume de nitrato **195.36 Kg**, lo que conlleva una gran producción de gases y material en suspensión en las galerías mineras de trabajo.

4.2.7 Maquinaria minera que produce gases contaminantes

La empresa minera La pituca II, no posee maquinaria que produzca gases contaminantes interior mina, los equipos de izaje (Winches) son eléctricos, al igual que los ventiladores ubicados interior mina, los vagones son de fuerza-hombre que los guía hacia la tolva del exterior mina.

Figura 13. Maquinaria utilizada para la actividad minera



Fuente: Elaboración propia.

4.2.7 Producción de mineral ton/turno

El proyecto La pituca II, se proyecta a un mejoramiento continuo y una modernización en sus operaciones para mejorar las condiciones ambientales interior mina, así como aumentar la producción a corto plazo, para cumplir con este objetivo tiene previsto mecanizar la flota de extracción de mineral, así como aumentar la capacidad de las mismas a 2 Ton cada una.

En la actualidad se extraen 12.75 ton/día, que se detallan en 51 vagones mineros de $\frac{1}{4}$ de tonelada, en algunos días en que se incrementa el número de obreros se logra sacar 68 vagones mineros equivalente a 17 ton/día, mismas que alimentan los dos molinos chilenos que poseen en planta de beneficio.

Figura 14. Mina subterránea



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

Como parte del desarrollo del presente trabajo se sigue el procedimiento para diseñar un sistema de ventilación que consiste en:

- La recopilación de datos.
- Estimación de caudales.
- Diseñar un sistema de ventilación.
- Resolver la red de ventilación.
- Examinar el tamaño de ventiladores.
- Analizar si es económico el sistema.
- Llegar al sistema óptimo requerido.

En el presente capítulo se presentan los resultados de los análisis realizados mediante la aplicación de métodos matemáticos, software e interpretación personal.

4.1 Descripción general de la galería principal de la mina

La pequeña minería en el Ecuador se encuentra poco desarrollada y aun se viene utilizando métodos y técnicas traídos por las empresas extranjeras de hace más de 100 años atrás.

Algunas empresas mineras han tomado como referente estos métodos durante las etapas de exploración explotación. Pituca II no ha sido una excepción.

La galería principal se encuentra franqueada en material estéril con un ancho de 1,20 m y 1,70 m de alto, de forma semi abovedada, con variaciones significativas en altura durante el recorrido, presenta curvas pronunciadas o codos superiores a 40 grados presentes en forma

abrupta, no obstante, durante el recorrido y al acercarse al cuerpo mineral presenta galerías relativamente rectas con bajas pendientes.

Dado el ancho de esta, no posee cunetas laterales y las paredes son estables debido a que en algunos tramos se han seguido los espejos de falla formados en la roca de caja y que recorren la zona de Norte a Sur.

Los servicios de aire y electricidad se lo canalizan por una chimenea franqueada sobre cuerpo mineral (Vetilla) que reduce la longitud y facilita su interconexión entre los dos niveles de las labores del proyecto Pituca II.

Figura 15. Galería principal de la mina



Fuente: Elaboración propia.

4.2 Tipos de contaminantes presentes en la mina

Los principales generadores de gases interior mina del proyecto minero La Pituca nivel II en donde actualmente se desarrollan los trabajos bajo el régimen de pequeña minería de exploración explotación son los que se producen por el uso de explosivos, descomposición de las sustancias orgánicas y reacciones químicas de los minerales en contacto con el agua.

Basados en estos principios se puede asumir la presencia de:

4.2.1 Gases asfixiantes

- Monóxido de carbono Co.
- Hidrogeno Sulfurado H₂S
- Humos Nitrosos NO₂
- Anhídrido Sulfuroso SO₂

4.2.1 Gases sofocantes

- Nitrógeno N
- Anhídrido Carbónico CO₂

4.2.1 Explosivos inflamables

- Metano CH₄
- Monóxido de carbono CO.

Figura 16. Gases contaminantes en la mina



Fuente: Elaboración propia.

4.3 Calculo del caudal de aire requerido en los frentes

4.3.1 Caudal por el numero de trabajadores

$$Q_{Tr} = F \times N \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

Q_{Tr} = Caudal total para “n” trabajadores (m³/min).

F = Caudal mínimo por persona de acuerdo con la normativa nacional.

N = Número de trabajadores de la guardia más numerosa. (Marco Antonio Mejía Flores, 2020)

$$Q_{Tr} = 19.5 \text{ (m}^3\text{/min)} \times 60$$

$$Q_{Tr} = 1170 \text{ (m}^3\text{/min)}.$$

4.3.2 Caudal por consumo de madera

$$QMa = T \times u \text{ (m}^3\text{/min)}.$$

Donde:

QMa = Caudal requerido por toneladas de producción (m³/min).

U = Factor de producción, de acuerdo con escala establecida según reglamento.

T = Producción en toneladas métricas húmedas por guardia (turno). (Marco Antonio Mejía Flores, 2020)

Tabla 12. Factor de producción por consumo de madera

FACTOR DE PRODUCCION POR EL CONSUMO DE MADERA	
CONSUMO DE MADERA (%)	FACTOR DE PRODUCCION (m ³ /min)
<20	0,00
20 a 40	0,60
41 - 70	1,00
>70	1,25

Fuente: Elaboración propia.

$$QMa = 0.004516 \text{ (m}^3\text{/min)} \times 0.6 \text{ (m}^3\text{/min)}.$$

$$QMa = 0.002725 \text{ (m}^3\text{/min)}.$$

4.3.3 Caudal requerido por el numero de trabajadores

$$QTc = Vm \times A \times N$$

Donde:

QTc = Caudal por temperatura (m³/min).

Vm = Velocidad mínima.

A = Área de la labor promedio

N = Numero de niveles con temperatura mayor a 23 °C de acuerdo con la normativa.

Tabla 13. Caudal requerido por temperatura

VELOCIDAD MINIMA	
TEMPERATURA SECA (°C)	VELOCIDAD MINIMA (m/min)
<24	0,00
24 - 29	30,00

Fuente: Elaboración propia.

$$QTc = 0.00 \text{ (m/min)} \times 1.9884 \text{ m}^2 \times 0$$

$$QTc = 0.0 \text{ (m}^3\text{/min)}.$$

4.3.4 Caudal por equipo con motor (QEq)

$$QEq = 3 \times HP \times Dm \times Fu \text{ (m}^3\text{/min)}.$$

Donde:

QEq = Volumen de aire necesario para la ventilación (m³/min).

HP = Capacidad efectiva de potencia (HPs).

Dm = Disponibilidad mecánica promedio de los equipos (%).

Fu = Factor de utilización promedio de los equipos (%). (Marco Antonio Mejía Flores, 2020)

$$QEq = 0.00 \text{ (m}^3\text{/min)} \times 0 \times 0 \times 0$$

$$QEq = 0.0 \text{ (m}^3\text{/min)}.$$

4.3.5 Caudal requerido por fugas (QFu)

$$QFu = 15\% \times QT1 \text{ (m}^3\text{/min)}.$$

$$QT1 = QTr + QTc + QMa + QEq$$

Donde:

QFu = Caudal requerido por fugas (m^3/min).

$QT1$ = La sumatoria de caudal requerido por:

- El número de trabajadores (QTr)
- El consumo de madera (QMa)
- Temperatura en labores de trabajo (QTe) (Marco Antonio Mejía Flores, 2020)

$$QT1 = 1170(m^3/min) + 0.00 (m^3/min) + 0.002725 (m^3/min) + 0.00 (m^3/min).$$

$$QT1 = 1170.002725 (m^3/min).$$

$$QFu = 0.15 \times 1170.002725 (m^3/min).$$

$$QFu = 175.5004 (m^3/min).$$

4.3.6 Caudal por consumo de explosivos (QEx)

$$QEx = AxVxN (m^3/min).$$

Donde:

QEx = Caudal de aire requerido por consumo de explosivo detonado (m^3/min).

A = Área promedio de labores (m^2).

V = Velocidad mínima requerida según norma (m/min).

N = Número de niveles en voladura. (Marco Antonio Mejía Flores, 2020)

ART: 247 En los lugares de trabajo de las minas ubicadas hasta 1500 msnm, la cantidad mínima de aire necesario por hombre será de 3 m³/min. En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo con la siguiente escala.

- De 1500 a 3000 msnm aumentará un 40% que será igual a 4 m³/min.
- De 3000 a 4000 msnm aumentará el 70% que será igual a 5 m³/min.
- Sobre los 4000 msnm aumentará en un 100% que será igual a 6 m³/min. (University, 2020)

ART.248.- En ningún caso la velocidad del aire será menos a 20 m/min ni superior a 250 m/min, en las labores de explotación incluido el desarrollo y preparación. Cuando se emplee explosivo ANFO u otros agentes de voladura, la velocidad del aire no será menor de 25 m/min.” (University, 2020)

4.3.6 Aire nevesario en mina subterranea (QEx)

$$Q_{Ex} = 4.4942 \text{ m}^2 * 25 \text{ m}^3/\text{min} * 2$$

$$Q_{Ex} = 224.71 \text{ m}^3/\text{min}$$

4.3.7 Cálculo total de aire (QTo)

$$Q_{To} = Q_{T1} + Q_{Fu} \text{ (m}^3/\text{min)}.$$

Donde:

QTo = Caudal total para la operación (m³/min).

QT1 = La sumatoria de caudal requerido por:

- El número de trabajadores (QTr).

- El consumo de madera (QMa)
- Temperatura en labores de trabajo (QTe)

$$Q_{Fu} = 15\% \text{ del } Q_{T1}. \text{ (MISOLI, 2020)}$$

Entonces:

$$Q_{T1} = 11.7 \text{ m}^3/\text{min} + 0.002725 \text{ (m}^3/\text{min)} + 0.0 \text{ (m}^3/\text{min)}.$$

$$Q_{T1} = 11.702725 \text{ (m}^3/\text{min)}.$$

$$Q_{Fu} = 0.15 * 11.702725 \text{ (m}^3/\text{min)}.$$

$$Q_{Fu} = 1.755408 \text{ (m}^3/\text{min)}.$$

$$Q_{To} = 11.702725 \text{ (m}^3/\text{min)} + 1.755408 \text{ (m}^3/\text{min)}.$$

$$Q_{To} = 13.45813 \text{ (m}^3/\text{min)}.$$

Una vez realizado los cálculos de caudal total se compara con el caudal requerido por consumo de explosivos, quedándonos con el de mayor valor para la ventilación minera en nuestro caso será el caudal requerido por consumo de explosivos (**QEx=224.71 m³/min**) o lo que sería **7934.675141 cfm**.

Aquellos que fabrican los ventiladores piden que, para escoger un buen ventilador, se considere un caudal de 1.3 a 2 veces el caudal requerido. (Dv, 2016)

$$7934.675141 \text{ cfm} * 1.3$$

10315 cfm

Con este caudal aseguraríamos una atmosfera respirable y segura interior mina, para desarrollar el ciclo de minado sin complicaciones.

4.3.8 Calculo de caudal en las difrentes estaciones

Al tratarse de una mina relativamente pequeña no se realizará estaciones de ventilación. Ya que solo se dispondrá de un circuito de ventilación principal de ventilación según caudal requerido por cálculo.

4.4 Tipo de ventiladores a utilizarse

Se debe revisar en forma razonable el circuito de ventilación, así como los tipos de ventiladores ya que es de vital importancia para el análisis de los puntos sensibles de cada parte.

- Caudal.
- Presión Total.
- Potencia requerida.
- Capacidad de repuestos in situ
- Condición mecánica
- Costos de mantenimiento preventivo y correctivo. (Buitrago, 2010)

Atendiendo a la trayectoria de aire se ha preferido los ventiladores axiales, ya que la entrada de aire al equipo y su salida sigue una trayectoria según superficies cilíndricas coaxial.

Ventilador Axial De 5000 CFM II Etapa Con Motor De 15 Hp.

Características

- Modelo: 18, 1/4" – 12 – 3,550 – II
- Caudal: 5,000 Cfm
- Hp. Motor: 15hp
- Impulsor De Aluminio Con Tratamiento Térmico

- Voltaje: 220/380/440
- Presión Total: 11.5 C.A A 4000msnm
- RPM Ventilador: 3550
- Diámetro De Carcaza: Ø18”
- Revestimiento: Pintura Epóxica Con Base Y Arenado
- Acabado: Pintura Esmalte Epóxico

El equipo incluye:

- Acople a manga de ventilación
- Campana aerodinámica
- 01 ruedas directrices de alineación de flujo
- Malla de protección en la succión desmontable
- Base de anclaje
- Caja de conexiones exterior
- Sellado de cajas borneras para hermetización de motor contra humedad y polvo.
- Balanceo dinámico
- Protocolo de prueba

Estos ventiladores se eligieron dos unidades, debido a que se requiere en mina más de 10000 CFM y por las condiciones del servicio de energía del campamento. Además de medidas de diseño y comunicación entre niveles que facilitan una ventilación natural, compensando la diferencia de volumen de aire interior mina.

4.5 Calculo del tipo de manga y/o tubería a utilizarse

Figura 17. Manga de ventilación



Fuente: Elaboración propia.

Dimensiones

18" de diámetro x 25 m por cada tramo.

Material

Polyflex 6015 Pega Pega

Características del material

- Polietileno de 300 g/m²
- 100% impermeable
- Unión por termosellado 100 %
- Protección contra los rayos UV (Contiene aditivos UV) – Protección antihongos
- Tejido laminado por ambos lados con polietileno de alta y baja densidad súper liviana para su manipulación
- Basta con ojajillos metálicos cada 50 cm para poder colgar.

- Color: azul/Plata o naranja plata.

Este tipo de manga realizara la evacuación de los gases de mina desde los niveles inferiores a la boca mina del nivel II de la labor minera La Pituca. Y con la misma sección permitirá la inyección de aire fresco como se indica en el diseño de ventilación.

4.6 Diseño de ventilación a implantarse

El presente diseño es un proceso no experimental, se utiliza las técnicas de análisis documental y observación, ya que se recolectaron documentos y datos in situ.

La necesidad de un sistema de ventilación radica en que es necesario realizar voladuras a media jornada para poder alimentar el molino con material.

Por observaciones en campo se determina que la evacuación natural de los gases es muy limitada, ya que solamente se utilizaba el aire del compresor para poder mover el aire, aparte de contaminarle con aceite la atmosfera minera. No existe comunicación entre niveles de exploración explotación, entre niveles principales del área minera La Pituca II.

Con estos antecedentes y los cálculos matemáticos realizados se determina la necesidad de inyectar aire a 10000 CFM.

Tabla 14. Resumen de caudal de aire necesario

Orden	Descripción	Flujo de aire en (m ³ /min)
1	Cálculo del Caudal por número de trabajadores	1170
2	Cálculo del Caudal por la madera consumida	0.002725
3	Cálculo del Caudal por temperatura en el trabajo	0.00
4	Cálculo del Caudal por equipo con motor	0.00
5	Cálculo del Caudal por fugas	175.50
6	Cálculo del Caudal por consumo de explosivos	224.71

7	Requerimiento total de aire:	11.702
---	------------------------------	--------

Fuente: Elaboración propia.

Para efectos del presente cálculo se toma el valor de 7934.675141 CFM, valor máximo por consumo de explosivos.

Aquellos que fabrican los ventiladores piden que, para escoger un buen ventilador, se considere un caudal de 1.3 a 2 veces el caudal requerido. (Dv, 2016)

4.7 Diagrama de Flujo de Aire

El circuito de ventilación de las labores mineras se divide en un circuito de ventilación natural mediante comunicación de galerías y un circuito con ventiladores y mangas de ventilación.

4.7.1 Circuito de Ventilación Natural

Una vez realizado la topografía subterránea del nivel I y nivel II de la empresa minera la Pituca II, se determina cercanía en tres puntos, mismos que se ubican en el desarrollo de niveles de exploración explotación de la labor minera.

La denominación de nivel principal se da a las galerías que permiten la extracción, ingreso y tránsito de personal y maquinaria a un mismo nivel, con ligera variación en la pendiente de estas, para facilitar la extracción de los vagones mineros.

Los niveles hacia cotas inferiores y cotas superiores, tiene espaciamiento de 4 m entre ellos, por facilidad de acceso (Escaleras de 3 y 4 m) y facilidad de extracción manual (mediante carretillas y paleo directo al balde del winche de extracción.

Las distancias y puntos de comunicación o desfonde entre galerías se indican en la Tabla 15.

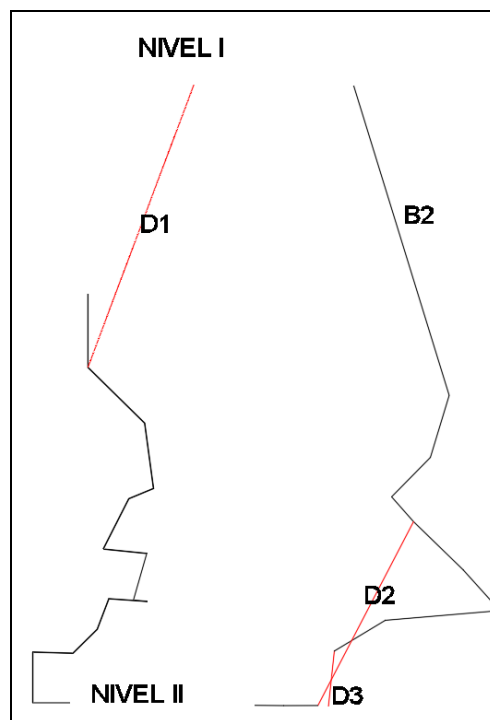
Tabla 15. Distancias y puntos de comunicación

Orden	Descripción	Nivel inferior	Nivel superior	Distancia m
1	De nivel II a nivel I	5to nivel II	Nivel principal I	32
2	De nivel II a Beta 2	Nivel principal II	Beta 2 (pozo Nivel I)	6
3	De Nivel II a B2	Nivel principal II	Beta 2 (pozo beta 2 de nivel I)	4

Fuente: Elaboración propia.

El circuito de ventilación natural por diferencia de presiones se muestra en el diagrama siguiente.

Figura 18. Diagrama de ventilación natural en labor minera la Pituca II, sobre el nivel II



Fuente: Elaboración propia.

Donde:

D1= Desfonde uno.

D2=Desfonde dos.

D3=Desfonde tres.

B2=Beta dos.

4.7.1 Circuito de Ventilación Forzada o Mecanizada

La ventilación mecánica es un proceso de hacer circular un flujo de aire considerable y necesario para crear condiciones óptimas para que los trabajadores se encuentren en una atmosfera limpia y sin gases.

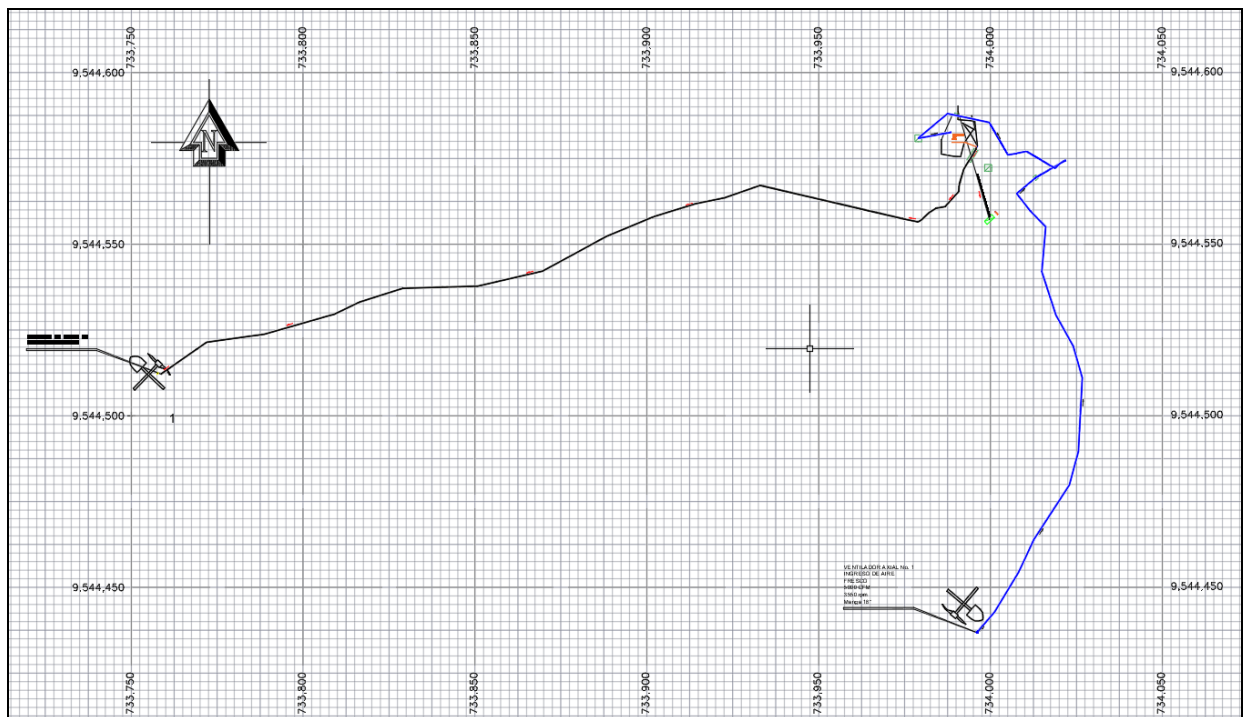
En las galerías mineras la pituca II pese a haber realizado comunicaciones entre niveles no es suficiente tener una atmosfera limpia, sin gases ni polvo durante las voladuras de medio día, por ello es necesario complementar la ventilación natural por una ventilación forzada.

Luego de realizar los cálculos y un análisis general del posible sistema a implementar considerando las galerías existentes (ciegas) y el desarrollo del laboreo minero de exploración y explotación, así como el tiempo de ventilación de medio día (Una Hora) se determina:

- La necesidad de inyección de aire fresco al nivel de explotación menos cinco, a través de un circuito de ingreso de aire por manga de ventilación de diez y ocho pulgadas que iniciaría en la boca mina uno dentro de las coordenadas $X=733996.4448$ E, $Y=9544436.772$ N y altura: 2024.89 msnm, sitio en donde se emplazaría el ventilador de 5000 cfm para inyección de aire fresco hasta el nivel antes indicado. (ver diagrama color azul) en una longitud de 270 m.
- Colocar un ventilador de extracción de gases producto de voladuras de 5000 cfm en el nivel cuatro en el punto de coordenadas $X=733995.9189$ E, $Y=9544578.299$ N y Altura: 1966.32 msnm.

- Para extracción de gases con manga de lona en una longitud de 290 m, hasta la boca mina del nivel II, según se determina en el diagrama de flujo (Color negro).
- Este ventilador posee manga de succión dirigitible de veinte y dos pulgadas y veinte y cinco metros de longitud, anilladas con el objeto direccionar la extracción hacia el pozo, frente este y frente oeste ya que son niveles ciegos de exploración explotación de minerales.

Figura 19. Ventilación forzada o mecanizada



Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Durante el levantamiento y análisis de información se pudo constatar que no existe una planificación previa en el desarrollo de las galerías mineras, se limitan al acierto error durante los trabajos mineros.

La ventilación de la mina es una de las actividades primordiales según la ley de minería y sus reglamentos ya que garantizan una atmosfera y ambiente adecuado para el personal que labora interior mina, precautelando la salud de los trabajadores, en este sentido la ventilación natural por desfondes, debe ir acompañada por una ventilación mecánica debido a la gran cantidad de gases producidos por voladura, existencia de galerías ciegas y un entramado de galerías que dificultan la salida de gases e ingreso de aire fresco.

Los ventiladores axiales requeridos en el presente diseño tienen una gran prestación en flujo continuo de aire y bajo consumo de energía.

El caudal total requerido para ventilación durante el ciclo de minado en la labor minera la Pituca II, a la fecha del presente calculo y diseño del circuito de ventilación corresponde a 10315 CFM, con este caudal aseguraríamos una atmosfera respirable y segura interior mina, para desarrollar el ciclo de minado sin complicaciones.

La evacuación natural de los gases es muy limitada, debido a que se utilizaba el aire del compresor para poder mover el aire, generando una contaminación con aceite de la atmosfera minera y al no existir comunicación entre niveles de exploración explotación, niveles principales del área minera La Pituca II, se determina la necesidad de inyectar aire superior a 5000 CFM.

RECOMENDACIONES

Mantener un control técnico del desarrollo minero para en lo posterior determinar la cercanía entre galerías y permitan realizar desfondes o comunicaciones entre niveles que permitan facilitar la evacuación natural de los gases proveniente de voladuras y demás materiales que se descomponen en la mina y emiten gases.

Utilizar la ventilación natural acompañada por una ventilación mecánica debido a la gran cantidad de gases producidos por voladura, existencia de galerías ciegas y un entramado de galerías, para así garantizar una atmosfera y ambiente adecuado para el personal que labora interior mina, precautelando la salud de los trabajadores conforme lo estipula la ley de minería y sus reglamentos.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

(UNASAM), U. N. (2 de 8 de 2019). *DOCSITY*. Obtenido de DOCSITY:

<https://www.docsity.com/es/ventilacion-de-minas-1/4932329/>

Admin. (7 de 6 de 2023). *IMT INGENIERIA*. Obtenido de IMT INGENIERIA:

<https://www.imtsa.cl/ingenieria/noticias/zonas-y-procesos-que-requieren-mitigacion-y-control-de-polvo-en-mineria>

Anónimo. (2023). *STODUCO*. Obtenido de STODUCO:

<https://www.stodocu.com/pe/document/universidad-continental/seguridad/tipos-de-gases-en-mineria-subterranea/63191219>

Buitrago, A. (12 de 3 de 2010). *SCRIBD*. Obtenido de SCRIBD:

<https://es.scribd.com/doc/96855050/Libro-Ventilacion-de-Minas>

Chamba, D. (2016). *Sistema de Vnetilación para labores subterranas*. Macas.

Dv, R. (1 de 12 de 2016). *docshare.tips*. Obtenido de docshare.tips:

https://docshare.tips/rodriguez-dv_5847fafdb6d87fb8408b4675.html

G, Y. (2 de 5 de 2021). *STUDOCU*. Obtenido de

<https://www.stodocu.com/pe/document/universidad-catolica-de-santa-maria/ventilacion-de-minas/ventilacion-de-minas-capitulo-vi/5172909>

Huaman, K. K. (s.f.). Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/101102118/Trabajo-Gases-de-Mina>

Informe Técnico Produccion y Consumo de Explosivos Grumintor S.A. (2017). En D. T. S.A.,

Produccion y Consumo de Explosivos Grumintor S.A. Ponce Enriquez.

López, B. &. (1997).

Macas, I. C. (2015). *ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DE LA CONCESIÓN MINERA PITUCA II, CODIGO 500648; FASE DE EXPLOTACION SUBTERRANEA*. Zamora: Zamora.

Marco Antonio Mejía Flores, K. M. (2020). Sistema de ventilación para labores subterráneas. *Conciencia Digital*, 15.

Marco Mejia, K. M. (5 de 6 de 2020). *Conciencia Digital*. Obtenido de Conciencia Digital:
<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i2.2.1253>

Medina, J. (2024). *Informe Técnico Area Minera La Pituca II*. Zamora: S/N.

Medina, V. (2016). *Geoxnet*. Obtenido de <https://post.geoxnet.com/codigo-jorc-recursos-y-reservas-minerales/>

Méndez, D. (2019). *Dspace*. Obtenido de Epoch:
<http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/10759>

Minera, S. (6 de 4 de 2016). *Seguridad Minera*. Obtenido de Seguridad Minera:
<https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/7-gases-presentes-minas-subterraneas/>

Minera, S. (2018). 7 gases presentes en minas subterráneas. *Seguridad Minera*.

Minera, S. (5 de Junio de 2020). Obtenido de
<https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/metodos-y-planeacion-de-ventilacion-de-minas-subterraneas/>

MISOLI, H. B. (2020). *MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN*. Peru.

Ramírez, E. B. (s.f.). *SCRIBD*. Obtenido de SCRIBD:

<https://es.scribd.com/document/381372419/Polvos-de-Mina-1>

Ricse, R. (2021). *Diseño del circuito de ventilación para evacuar los gases*. Huancayo.

Robles, L. (2016). *Pruebas comparativas de flotación, cianuración y concentración Area Minera PITUCA II*. Loja.

Ruiz, W. C. (16 de 12 de 2017). Obtenido de

<https://es.slideshare.net/WilmerCastilloRuiz/ventilacin-de-minas-captulo-i>

University, S. A. (9 de 1 de 2020). *Course Hero*. Obtenido de Course Hero:

<https://www.coursehero.com/file/53036726/7-Dialogo-de-Seguridad-Julio-NEXApdf/>

Valarezo, M. (2020). *Diseño del sistema de ventilación* . Cuenca.

Ventius. (2016). *Soluciones Efectivas - Eficientes*. Obtenido de

<http://www.ventius.cl/docs/Ventius%20Polvo%20en%20Mineria%202016.pdf>

Yanes, E. (2023). *Ventilación de Minas*.

ANEXOS

Anexo 1: Ficha técnica del proyecto.

FICHA TÉCNICA DEL PROYECTO	
Nombre del proyecto	PITUCA II
Código	500648
Ente responsable	Teresa Fanny González Sarmiento
Ruc	1900169689001
Ubicación geográfica	
Provincia	Zamora Chinchipe
Cantón	Zamora
Parroquia	Timbara
Detalles del proyecto	
Tipo de minería	Pequeña minería
Material	Metálicos
Fase minera	Explotación
Superficie	50 hectáreas
Sector	San Marcos Alto

Anexo 2: Mapa de ubicación de la zona de estudio

Anexo 3: Mapa de acceso.

Anexo 4: Mapa de Isoyetas de Zamora Chinchipe.

Anexo 5: Mapa de Isotermas de la provincia de Zamora Chinchipe.

Anexo 6: Cuencas Hidrográficas de Zamora

Anexo 7: Mapa de Geología Regional de Zamora Chinchipe

Anexo 8: Certificado de Mantenimiento de Estación Total

Anexo 9: Reporte de Servicio Técnico de la Estación Total

Anexo 10: Ficha Técnica Especifica de la Mecha de Seguridad - AB

Anexo 11: Ficha de datos de Seguridad EMULNOR

Anexo 12: Ficha Técnica Fulminante Común FULMESA

Anexo 13: Ficha Técnica EMULNOR

Anexo 14: Ficha Técnica del producto ANFO

Anexo 15: Ubicación de Galerías.

Anexo 16: Diagrama de Perforación Área Minera Pituca II

Anexo 17: Diseño de Ventilación, Mangas y Ventiladores

Anexo 18: Plano Topográfico de las Galerías Nivel I y Nivel II

Anexo 19: Diseño 1 de minado Pituca II

Anexo 20: Diseño 2 de minado Pituca II