

**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



Tesis

Mejoramiento del sistema de ventilación en el nivel 23 con la implementación de una chimenea, en la unidad minera Alpayana S.A. Huarochirí - 2024

Presentado por:

Delmio Parcco Pumapillo  
Bacilio Gualberto Cjula Cjuno

Para optar el título de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú  
2025



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**Mejoramiento del sistema de ventilación en el nivel 23 con la implementación de una chimenea, en la unidad minera Alpayana S.A. Huarochirí - 2024**

Presentado por **Delmio Parcco Pumapillo y Bacilio Gualberto Cjula Cjuno**, para optar el título de Ingeniero de Minas.

Sustentado y aprobado 09 de junio del 2025 ante el jurado evaluador:

**Presidente:**

*Mtro. Darío Dante Sánchez Castillo*

**Primer miembro:**

*Mg. Edgar Crispin Huacac Farfán*

**Segundo miembro:**

*Mtro. Guido Bravo Mendoza*

**Asesor:**

*Dr. Walquer Huacani Calsin*



---

## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 077-2025

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la Tesis intitulada: **Mejoramiento del sistema de ventilación en el nivel 23 con la implementación de una chimenea, en la unidad minera Alpayana S.A. Huarochirí - 2024**, presentado por los Bachrs: **Delmio Parcco Pumapillo y Bacilio Gualberto Cjula Cjuno**, Para optar el Título de **Ingeniero de Minas**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud ACEPTABLE de **(21%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 25 de febrero del 2025

  
UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS  
DE APURIMAC  
**Dr. Linfol Contreras Salas**  
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACION  
FACULTAD DE INGENIERIA

C. c.  
Archivo  
REG. N°231



### **Agradecimiento**

*En primer lugar, agradecemos a Dios por regalarnos la vida y por darnos la oportunidad de concluir esta importante etapa de la vida profesional. Extendemos nuestro más sincero agradecimiento a nuestros queridos padres y hermanos, quienes han sido nuestra inspiración y apoyo incondicional para hacer realidad este sueño.*

***Parcco Pumapillo, Delmio***

*De igual manera, agradecemos a los docentes de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, cuyas orientaciones y enseñanzas fueron clave para nuestra formación profesional y personal.*

***Cjula Cjuno, Bacilio Gualberto***



## **Dedicatoria**

*Dedicamos este logro a Dios, por las bendiciones que nos otorga cada día, guiándonos en cada paso. A nuestros padres y hermanos, por su apoyo incondicional, amor y motivación constante.*

***Parcco Pumapillo, Delmio***

*A nuestros maestros de la prestigiosa Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, por sus valiosas enseñanzas que nos han inspirado a ser profesionales preparados, comprometidos y competitivos, para enfrentar nuevos desafíos en el rubro de la minería.*

***Cjula Cjuno, Bacilio Gualberto***



Mejoramiento del sistema de ventilación en el nivel 23 con la implementación de una chimenea, en la unidad minera Alpayana S.A. Huarochirí - 2024

Línea de investigación: Minería y procesamiento de minerales

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



## ÍNDICE

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>RESUMEN</b>	3
<b>ABSTRACT</b>	4
<b>CAPÍTULO I</b>	5
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	5
1.1 Descripción del problema	5
1.2 Enunciado del problema	6
1.2.1 Problema general	6
1.2.2 Problemas específicos	6
1.2.3 Justificación de la investigación	7
1.3 Delimitaciones	9
1.3.1 Delimitación espacial	9
1.3.2 Delimitación geológica	13
1.3.3 Delimitación local	23
1.3.4 Delimitación social	28
<b>CAPÍTULO II</b>	29
<b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b>	29
2.1 Objetivos de la investigación	29
2.1.1 Objetivo general	29
2.1.2 Objetivos específicos	29
2.2 Hipótesis de la investigación	29
2.2.1 Hipótesis general	29
2.2.2 Hipótesis específicas	30
2.3 Operacionalización de variables	30
<b>CAPÍTULO III</b>	31
<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b>	31
3.1 Antecedentes	31
3.1.1 Antecedentes internacionales	31
3.1.2 Antecedentes nacionales	33
3.1.3 Antecedentes regionales	37
3.1.4 Aspectos generales de la unidad minera	38
3.1.5 Ventilación	43
3.2 Marco teórico	44
3.2.1 Atmósfera de mina	44



	<b>Pág.</b>
3.2.2 Aire atmosférico	44
3.2.3 Aire de mina	44
3.2.4 Propiedades físicas del aire	45
3.2.5 Métodos de ventilación de minas	46
3.2.6 Sistema de ventilación	48
3.2.7 Ventiladores	51
3.2.8 Normas legales que sustentan el estudio	56
3.2.9 Requerimiento de aire	58
3.2.10 Definición sobre ventilación de minas	59
3.2.11 Leyes de Kirchhoff	61
3.2.12 Circuitos de ventilación	62
3.2.13 Ley básica de ventilación de minas	64
3.2.14 Perdidas de presión	65
3.2.15 Formula de Atkinson	66
3.2.16 Factor de fricción (K)	67
3.2.17 Software Ventsim	68
3.2.18 Composición de aire atmosférico	69
3.2.19 Efectos fisiológicos de los gases presentes en mina	71
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>79</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>79</b>
4.1 Tipo y nivel de investigación	79
4.2 Diseño de la investigación	79
4.3 Población y muestra	80
4.3.1 Población	80
4.3.2 Muestra	80
4.4 Procedimiento	80
4.5 Técnica e instrumentos	87
4.5.1 Técnicas	87
4.5.2 Instrumentos	88
4.5.2 Software	88
4.6 Análisis estadístico	88
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>89</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>	<b>89</b>
5.1 Análisis de resultados	89
5.1.1 Situación actual del sistema de ventilación del nivel 23 UM Alpayana S.A.	89
5.1.2 Cálculo del rendimiento del caudal de aire	92
5.2 Análisis de los resultados según objetivos propuestos	98
5.2.1 Proceso constructivo de la chimenea Raise Boring 060	98



5.2.2	Distribución de los flujos de aire para las diferentes labores	<b>Pág.</b> 106
5.2.3	Incremento de las velocidades de aire y reducción de la temperatura	107
5.2.4	Continuidad de los flujos de aire y la profundización de los niveles	109
5.3	Contrastación de hipótesis	112
5.4	Discusión	114
<b>CAPÍTULO VI</b>		116
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		116
6.1	Conclusiones	116
6.2	Recomendaciones	117
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		118
<b>ANEXOS</b>		121



## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1</b> — Cuadro de coordenadas de la concesión olvidada II Alpayana	10
<b>Tabla 2</b> — Accesibilidad a la unidad minera Alpayana S.A.	12
<b>Tabla 3</b> — Operacionalización de la variable	30
<b>Tabla 4</b> — Gases presentes en actividades mineras	57
<b>Tabla 5</b> — Límites de exposición ocupacional para agentes químicos	57
<b>Tabla 6</b> — Cantidad de aire mínimo requerido por persona.	58
<b>Tabla 7</b> — Valores del coeficiente de fricción K	67
<b>Tabla 8</b> — Composición del aire seco	69
<b>Tabla 9</b> — Efectos fisiológicos (CO)	71
<b>Tabla 10</b> — Efectos fisiológicos (H <sub>2</sub> S)	71
<b>Tabla 11</b> — Efectos fisiológicos (NO <sub>2</sub> )	72
<b>Tabla 12</b> — Ingreso de aire fresco nivel 23	90
<b>Tabla 13</b> — Salida de aire viciado nivel 23	91
<b>Tabla 14</b> — Balance de ventilación nivel 23	91
<b>Tabla 15</b> — Requerimiento de aire por trabajador	93
<b>Tabla 16</b> — Monitoreo de velocidad y temperatura	94
<b>Tabla 17</b> — Requerimiento de aire por temperatura	94
<b>Tabla 18</b> — Requerimiento de aire por equipos	95
<b>Tabla 19</b> — Requerimiento de aire por fugas	96
<b>Tabla 20</b> — Requerimiento total de caudal de aire	96
<b>Tabla 21</b> — Balance actual de ventilación	97
<b>Tabla 22</b> — Datos operativos del proyecto RB 060	101
<b>Tabla 23</b> — Resumen de las características del ventilador	104
<b>Tabla 24</b> — Requerimiento total de aire	105
<b>Tabla 25</b> — Resumen de aforo de ingreso y salida de aire	110
<b>Tabla 26</b> — Resultados de balance de ventilación	111
<b>Tabla 27</b> — Programa de mantenimiento de ventiladores año 2025	112
<b>Tabla 28</b> — Matriz de consistencia	122

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1</b> — Ubicación de la unidad minera Alpayana S.A.	9
<b>Figura 2</b> — Registro de derecho minero INGEMMET N° 010000812L	10
<b>Figura 3</b> — Vista de la unidad minera Alpayana S.A. en Google Earth	12
<b>Figura 4</b> — Accesibilidad a la unidad minera Alpayana S.A.	13
<b>Figura 5</b> — Sección de la geológica local yacimiento Casapalca	15
<b>Figura 6</b> — Sección de la geología local yacimiento Casapalca	17
<b>Figura 7</b> — Columna estratigráfica unidad Americana	19
<b>Figura 8</b> — Plano geológico del yacimiento	20
<b>Figura 9</b> — Procesamiento de datos en Google Earth Engine periodo 2023	24
<b>Figura 10</b> — Series de tiempo de la temperatura periodo 2023	25
<b>Figura 11</b> — Procesamiento de datos en Google Earth Engine 2023	26
<b>Figura 12</b> — Series de tiempo de la precipitación periodo 2023	26
<b>Figura 13</b> — Asteraceae presencia en la zona de influencia directa	27
<b>Figura 14</b> — Mapa de altitud de la unidad minera Alpayana S.A. 2023	28
<b>Figura 15</b> — Esquema de minado sublevel stoping	39
<b>Figura 16</b> — Esquema en planta de polvorín de explosivos y accesorios nivel 15	41
<b>Figura 17</b> — Transformadores de 6/7.5 MVA de sub-estación N°1	42
<b>Figura 18</b> — Sistema de ventilación natural	47
<b>Figura 19</b> — Ventilación mecánica	47
<b>Figura 20</b> — Sistema de ventilación impelente	48
<b>Figura 21</b> — Zonas del sistema de ventilación impelente	49
<b>Figura 22</b> — Sistema de ventilación aspirante	49
<b>Figura 23</b> — Sistema de ventilación mixta o combinado	50
<b>Figura 24</b> — Sistema aspirante con apoyo impelente	51
<b>Figura 25</b> — Ventilador centrífugo	53
<b>Figura 26</b> — Ventilador axial	55
<b>Figura 27</b> — Primera ley de Kirchhoff	61
<b>Figura 28</b> — Segunda ley de Kirchhoff	62
<b>Figura 29</b> — Circuito en serie	63



	<b>Pág.</b>
<b>Figura 30</b> — Circuito cerrado en serie	63
<b>Figura 31</b> — Circuito en paralelo	64
<b>Figura 32</b> — Visualización en el software ventsim el RB 060	68
<b>Figura 33</b> — Equipo Robbins 43 RAC de la marca Atlas Copco	73
<b>Figura 34</b> — Inicio de la implementación del RB 060	81
<b>Figura 35</b> — Visualización en programa Civil 3D proyecto RB 060	83
<b>Figura 36</b> — Equipo Raise Boring para la ejecución proyecto RB 060	84
<b>Figura 37</b> — Visualización en programa Ventsim las labores y el proyecto RB 060	85
<b>Figura 38</b> — Equipo para medir la velocidad de aire (anemómetro)	86
<b>Figura 39</b> — Equipo para medir concentración de gases (draguer x-am 5600)	86
<b>Figura 40</b> — Reporte de monitoreo de gases nivel 23	87
<b>Figura 41</b> — Circuito de ventilación actual – zona Esperanza	92
<b>Figura 42</b> — Monitoreo de ventilación en el nivel 23	95
<b>Figura 43</b> — Balance de ventilación – zona Esperanza	97
<b>Figura 44</b> — Análisis de estabilidad del nivel 21A al nivel 23	100
<b>Figura 45</b> — Ubicación del Raise Boring en el nivel 21A	101
<b>Figura 46</b> — Características del ventilador de 30k CFM	104
<b>Figura 47</b> — Circuito de ventilación veta Esperanza del RB 060	107
<b>Figura 48</b> — Incremento de las velocidades de aire en las diferentes labores	108
<b>Figura 49</b> — Continuidad de los flujos de aire en los niveles inferiores	110
<b>Figura 50</b> — Balance de ventilación 2024- 2025	111
<b>Figura 51</b> — Programa anual de actividades de ventilación	112
<b>Figura 52</b> — Continuidad de los flujos de aire en niveles inferiores	114
<b>Figura 53</b> — PETS de empate de perforación	123
<b>Figura 54</b> — PETS de comunicación de piloto	124
<b>Figura 55</b> — PETS de perforacion de rimado	125
<b>Figura 56</b> — Plan de trabajo	126
<b>Figura 57</b> — Monitoreo de labor	127
<b>Figura 58</b> — Recolección de datos en campo nivel 23	127
<b>Figura 59</b> — Equipos de monitoreo del área de ventilación	128
<b>Figura 59</b> — Equipo Raise Boring Alpayana	128
<b>Figura 61</b> — Monitoreo de labores nivel 21A	129
<b>Figura 62</b> — Instalación del equipo RB nivel 21A	129
<b>Figura 63</b> — Coeficiente del factor de fricción K	130

<b>Figura 64</b> — Factor de fricción K para labores mineras	<b>Pág.</b> 130
<b>Figura 65</b> — Circuito de ventilación en el software ventsim	131
<b>Figura 66</b> — Visualización del flujo del aire del nivel 20 al nivel 23A	131
<b>Figura 67</b> — Vista de la profundización de los niveles inferiores	132
<b>Figura 68</b> — Vista de la veta Esperanza	132



## INTRODUCCIÓN

La minería subterránea es una actividad que conlleva diversos riesgos laborales en seguridad y la salud en los trabajadores. Estos riesgos que presentan como la presencia de gases tóxicos, polvos suspendidos, temperaturas elevadas, debido a la deficiencia de caudal de aire fresco en las labores subterráneas son preocupaciones significativas. La calidad del aire en las minas no solo afecta la salud de los trabajadores, sino que también impacta en la productividad y la rentabilidad de las operaciones. Se presenta una investigación titulada "Mejoramiento del sistema de ventilación en el nivel 23 con la implementación de una chimenea, en la unidad minera Alpayana S.A. Huarochirí - 2024". Una buena ventilación eficiente en entornos mineros contribuye a mitigar riesgos como la exposición a gases nocivos, la inhalación de partículas de polvo y la posibilidad de explosiones debido a la acumulación de gases inflamables. Además, la circulación efectiva del aire fresco ayuda a mantener niveles óptimos de temperatura y humedad, lo que influye en el bienestar y el rendimiento de los trabajadores.

Muchos autores que han contribuido al estudio y las bondades que ofrece la construcción de chimenea Raise Boring y su impacto en la ventilación minera como Thompson (2010) que ha realizado investigaciones significativas en el campo de la ventilación minera, abordando diversas técnicas para mejorar la circulación del aire en entornos subterráneos. Para Sanchez (2017) su estudio consistió en la construcción de labores verticales mediante perforación y voladura, para lo cual se necesita dos niveles para la implementación del RB, la gran ventaja que presenta esta modalidad es su alta seguridad y poco tiempo de ejecución, pero necesita un gran conocimiento de los trabajos realizados y personal con gran experiencia en minería para que sea exitoso.

Es común en nuestro país que ocurran accidentes relacionados a la inhalación de gases tóxicos y polvos en suspensión en labores subterráneas, debido a la deficiencia en la distribución de flujos de aire, la baja velocidad de aire debido a las pérdidas por fricción, por choque y por la distancia que se encuentra el frente de trabajo. Así mismo debido a la profundización de los niveles las temperaturas del ambiente se incrementa debido al calor de las rocas, funcionamiento de equipos diésel y diferentes operaciones en minería subterránea debido a estos problemas ambientales se presentan accidentes de trabajo que ocasionan pérdidas de vidas humanas cada



año, según la estadística de accidentes mortales en el sector minero elaborada por el ministerio de energía y minas mencionan que los accidentes más frecuentes se presentan en labores subterráneas. En los últimos años, el requerimiento de aire fresco, es muy necesario para la extracción de minerales en las labores subterráneas y se ha convertido en un parámetro necesario para garantizar la salud en los trabajadores (Vera, 2019).

El sistema de flujo de ventilación de minas en el entorno de la minería subterránea es muy complejo debido a que el flujo de aire no llega con facilidad a los lugares y frentes de trabajo, la ventilación de minas juega un papel muy importante en la seguridad de los trabajadores y en la productividad. La eficiente circulación del aire no solo garantiza condiciones de trabajo óptimas para los mineros, sino que también contribuye a la gestión de los riesgos asociados con gases nocivos y polvo presentes en las labores subterráneas. Una técnica muy innovadora que ha ganado popularidad en la mejora de la ventilación minera es la implementación de chimeneas mediante el método de Raise Boring que permite inyectar aire fresco y también evacuar gases nocivos y polvo en suspensión.

En resumen, la ejecución de chimenea por el método de Raise Boring ofrece una solución innovadora y efectiva y rápida para mejorar la ventilación en las minas subterráneas. Su capacidad para proporcionar una circulación de aire eficiente, junto con sus beneficios en términos de costos, tiempo y seguridad, lo convierten en una herramienta valiosa para la industria minera en su búsqueda continua de prácticas más seguras y eficientes.

El presente trabajo, contiene 5 capítulos, el primer capítulo abordara los temas relacionados al planteamiento del problema, donde se dará un breve descripción y justificación de este mismo, en el segundo capítulo se determinara los objetivos e hipótesis de la investigación, en el tercer capítulo se fundamentara el marco teórico a partir de referencias bibliográficas, en el cuarto capítulo se indicara la metodología desarrollada que se plantea para solucionar los objetivos y obtener un resultado óptimo con respecto a la implementación de una chimenea Raise Boring, en el quinto capítulo se presentara el desarrollo y los resultados obtenidos en el presente trabajo y las conclusiones que ha llegado en esta investigación de acuerdo a los objetivos planteados.



## RESUMEN

La minería subterránea, presenta problemas de contaminación del aire de mina como la presencia de gases, polvo en suspensión, temperaturas elevadas, estas ocasionan problemas a la salud humana. El objetivo del presente trabajo de investigación es mejorar el sistema de ventilación en el nivel 23, con la implementación de una chimenea Raise Boring 060 para la distribución de aire fresco de acuerdo a los requerimientos determinados a diferentes labores operativos del nivel 23, que comunica del nivel 21A al nivel 23 y al sub nivel 035. Se inicia con la evaluación integral de ventilación del nivel 23, ingresos y salidas de aire, determinando los caudales de aire, velocidades de aire, temperaturas, concentración de gases, inventario de equipos diésel que trabajan en dicho nivel, luego se calcula el requerimiento de aire tanto para equipos, trabajadores, temperaturas, fugas; llegando solo a una cobertura del 81% que representa 99,882 cfm con una deficiencia de aire de 23,380 cfm y posterior a ello se realiza la chimenea para implementar un ventilador de 30,000cfm, que inyecta al sub nivel 035 y dar continuidad de flujo de aire, reducir las temperaturas elevadas. La metodología de investigación es enfoque cuantitativo, porque se ha recopilado datos de campo para medir las variables planteados y evaluarlos. Los resultados de la evaluación determinan un requerimiento de aire de 123,262 cfm para cubrir el 100% de la operación en el nivel 23, se procede la instalación y reubicación de los ventiladores a puntos estratégicos, se instala un ventilador de 30,000 cfm al pie del RB 060 para aumentar la velocidad de aire fresco y el caudal, las velocidades de aire se incrementan de 12.2 m/min hasta 30.2 m/min, asimismo la temperatura en las zonas de 28°C reduce hasta 22.3°C, con este proyecto se dará continuidad de flujo de aire a zonas de profundización. En conclusión, la implementación del RB 060 y la instalación del ventilador en el sub nivel y al pie del RB dio una mejora de ingreso de aire fresco llegando a una postmejora cubriendo una cobertura de 105%.

*Palabras clave: Aire, chimenea, flujo, raise boring y ventilador*



## ABSTRACT

Subway mining presents problems of mine air pollution such as the presence of gases, dust in suspension, high temperatures, which cause problems to human health. The objective of this research work is to improve the ventilation system in level 23, with the implementation of a Raise Boring 060 chimney for the distribution of fresh air according to the requirements determined to the different operative works of level 23, which communicates from level 21A to level 23 and sub level 035. It begins with the integral evaluation of ventilation of level 23, air inlets and outlets, determining the air flow rates, air velocities, temperatures, gas concentration, inventory of diesel equipment working on that level, then the air requirement is calculated for both equipment, workers, temperatures, leaks; Afterwards, the air requirement is calculated for equipment, workers, temperatures, leaks; reaching only a coverage of 81% which represents 99,882 cfm with an air deficiency of 23,380 cfm and after that the chimney is made to implement a fan of 30,000cfm, which injects the sub level 035 and give continuity of air flow, reducing high temperatures. The research methodology is quantitative approach, because field data has been collected to measure the variables proposed and evaluate them. The results of the evaluation determine an air requirement of 123,262 cfm to cover 100% of the operation on Level 23, the installation and relocation of the fans to strategic points, a fan of 30,000 cfm is installed at the foot of RB 060 to increase the speed of fresh air and the flow, the air speeds are increased from 12.2 m/min to 30.2 m/min, and the temperature in the 28°C zones is reduced to 22.3°C. This project will provide air flow continuity to the deepening zones. In conclusion, the implementation of the RB 060 and the installation of the fan in the sub level and at the foot of the RB gave an improvement in fresh air intake reaching a post improvement covering a coverage of 105%.

**Keywords:** *Air, chimney, flow, raise boring and fan.*



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Descripción del problema

La unidad minera Alpayana realiza evaluaciones constantes de sistema de ventilación, durante estas apreciaciones se identificaron deficiencia de caudal de aire fresco de acuerdo a la cobertura, condiciones ambientales en la labores con temperaturas elevadas en la zona de profundización de la veta Esperanza del nivel 23, así mismo durante las evaluaciones efectuadas se muestra incremento de la temperatura hasta 30 °C, las velocidades de aire están por debajo de 25 m/min, de acuerdo al D.S N°024-2016-EM modificado por D.S N°023-2017-EM, esto significa que no hay presencia de aire fresco suficiente para cubrir las necesidades de los trabajadores, se muestra también que hay demasiadas perdidas por fricción y choque dentro de los conductos de mangas ya sea por el tiempo de uso y debido a las grandes longitudes de ventilación que se encuentran las labores, demoras excesivas en la ventilación de las labores para extraer aire viciado producto de las operaciones mineras, implicando baja productividad de operación. Así mismo se observó la presencia de gases fuera de LMP generados por la voladura y equipos diésel presente en la operación, al efectuar el monitoreo de aire, existen labores de preparación ciegas sin proyección a inyectar aire limpio para su explotación del tajo como en la galería 085, bypass 300, crucero 100, crucero 700, y el subnivel 035 también presenta la recirculación de aire viciado.

La unidad minera Alpayana S.A. para poder evacuar gases nocivos utiliza el sistema de ventilación mecanizada mediante el uso de ventiladores principales de extracción, logrando así la evacuación de gases y polvo en suspensión, por esta razón la unidad minera pretende ejecutar la implementación de una chimenea para su operación y cumplir con los estándares.

El proyecto de veta Esperanza del nivel 23, para la unidad minera Alpayana S.A. es gran expectativa y prioridad, actualmente se está utilizando explosivos como ANFO en tajos, y en labores de exploración, desarrollo y preparación la dinamita, se pretende realizar la



implementación de una chimenea para mantener la calidad y cantidad de aire dentro de los parámetros que exige el reglamento de seguridad y no poner en riesgo la salud e integridad física de los trabajadores, para el cumplimiento del programa anual de explotación y desarrollo. Para poder resolver los problemas descritos anteriormente, el presente trabajo de investigación es la implementación de una chimenea Raise Boring para el ingreso de aire fresco desde el nivel 21A hasta el nivel 23, de esta manera mejorar el sistema de ventilación del nivel 23.

Por las características de método de explotación, sub level stoping en la mina Alpayana requiere una chimenea Raise Boring para mejorar el sistema de ventilación, mantener ambientes confortables para los trabajadores y mantener velocidades de aire dentro los LMP, ya que estas chimeneas deben ser rectas vertical o inclinada. En este proceso de implementación se plantea la perforación de un taladro piloto, y posteriormente realizar el rimado, atravesando diferentes tipos de roca que se presentan de acuerdo a su formación litológica y estructural.

Por esta razón en el presente trabajo de investigación titulado: Mejoramiento del sistema de ventilación en el nivel 23 con la implementación de una chimenea en la unidad minera Alpayana – Huarochirí - 2024; tuvo como objetivo principal mejorar el sistema de ventilación a través de la implementación de una chimenea Raise Boring, de esta manera mejorar la ventilación de diferentes labores para la profundización del nivel 23; con la finalidad de dar un ambiente saludable acorde a los niveles permisibles para el personal que labora en esta unidad minera Alpayana.

## **1.2 Enunciado del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cómo mejorar el sistema de ventilación en el nivel 23, con la implementación de una chimenea Raise Boring 060 en la unidad minera Alpayana S.A. Huarochirí – 2024?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿De qué manera se implementara la chimenea RB 060 de ventilación del nivel 21A al nivel 23 e instalar ventilador impelente en la unidad minera Alpayana S.A.?



- ¿Como se distribuirá el aire a las diferentes labores, con la ejecución de la chimenea RB 060 en la unidad minera Alpayana S.A.?
- ¿En qué medida se aumentará el caudal y las velocidades de aire y reducir la temperatura en las labores, con la ejecución de RB 060 del nivel 21A al nivel 23 en la unidad minera Alpayana S.A.?
- ¿Se podrá dar continuidad de flujo de aire en los niveles inferiores y la profundización en las zonas de operación en la unidad minera Alpayana S.A.?

### 1.2.3 Justificación de la investigación

Esta investigación mejoró el sistema de flujo de aire en el nivel 23, que es un factor clave para la seguridad de los trabajadores, un sistema de ventilación inadecuado puede resultar peligroso para los trabajadores, como la acumulación de gases tóxicos o inflamables, así como la falta de oxígeno en espacios confinados. Además, la ejecución del proyecto continuó con labores de preparación y desarrollo, con el mejoramiento del sistema de ventilación mediante la implementación de una chimenea Raise Boring. El incumplimiento de estas regulaciones puede acarrear multas significativas y suspensión de operaciones, al mejorar el sistema de ventilación se dio cumplimiento a las normativas del control de los ambientes subterráneos para evitar sanciones legales y mantener la operación en conformidad a lo planificado. En cuanto a las evaluaciones permanentes realizadas de ventilación se identificaron deficiencias de las condiciones termo ambiental en las siguientes zonas.

En la zona Esperanza nivel 23, el incremento de la temperatura llega hasta 32°C y velocidades de aire por debajo de 25 m/min que comprenden en la galería 085, bypas 300, crucero 300, crucero 200, crucero 100, crucero 700 y rampa 150 que son labores de preparación que posteriormente será explotado.

Por otro lado, para la profundización de la zona de trabajo del nivel 21A hasta el nivel 23 facilitó romper la alta resistencia que ofrecen las labores, donde la columna principal desde el nivel 23 hasta el nivel. 21A, tiene un diámetro de 1.5m



tanto para ingreso de aire fresco y salida de aire viciado, realizadas durante el presente año 2024.

**a) Justificación teórica**

Con la implementación de un RB las labores se mantuvieron dentro de los LMP, como indica en el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería. Los estudios efectuados sobre ventilación de minas, revelan que la contaminación atmosférica es un desafío evidente en entornos subterráneos, donde las sustancias tóxicas se encuentran dispersas en forma de gases y partículas de polvo en suspensión. Este fenómeno ambiental repercute tanto en la salud de quienes trabajan en estas áreas como en el funcionamiento de los equipos, esta contaminación representa un riesgo significativo para la salud humana.

**b) Justificación práctica**

Muchos estudios efectuados sobre la contaminación de las labores subterráneas, indican que el personal y los equipos presentes generan gases tóxicos, el cual altera la composición del aire fresco que ingresa a estas labores, de tal manera afectan a la salud de los trabajadores cuando inhalan aire contaminado. La implementación de un RB proporcionó respuestas o soluciones a problemas ambientales, económicos y de seguridad, lo que, al implementarse mejoró la calidad de aire para los trabajadores involucrados, el rendimiento más eficiente.

**c) Justificación metodológica**

Este estudio de mejoramiento del sistema de ventilación nos permitió elaborar un plan a corto, medio y largo plazo, con el propósito de diseñar un sistema de ventilación adecuado que cumpla con las normativas establecidas en el Reglamento de Seguridad e Higiene Minera, garantizando el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles. Además, con la implementación de una chimenea de inyección de aire fresco al nivel 23, se mejoró la temperatura y la velocidad de flujo de aire en las labores operativas.



### 1.3 Delimitaciones

#### 1.3.1 Delimitación espacial

##### a) Ubicación

La unidad minera Alpayana S. A. es una empresa dedicada a la exploración, desarrollo, preparación, explotación y tratamiento-beneficio de minerales polimetálicos (Cu, Pb, Zn y Ag).

Está ubicada en el paraje piedra parada, del distrito de Chicla, provincia de Huarochirí del departamento de Lima. Se localiza entre: las vertientes del flanco occidental de la cordillera occidental de los andes entre los 3600 y 4750 m.s.n.m.; geográficamente el campamento central Alpayana se localiza en las coordenadas UTM 366761,70E; 8710455,60N, a una altitud de 4350 m.s.n.m, la bocamina principal Alex se encuentra a 4414 m.s.n.m y la bocamina el Carmen se encuentra a los 4456 m.s.n.m. Según el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), se registra con Código de Derecho Minero N° 010000812L.

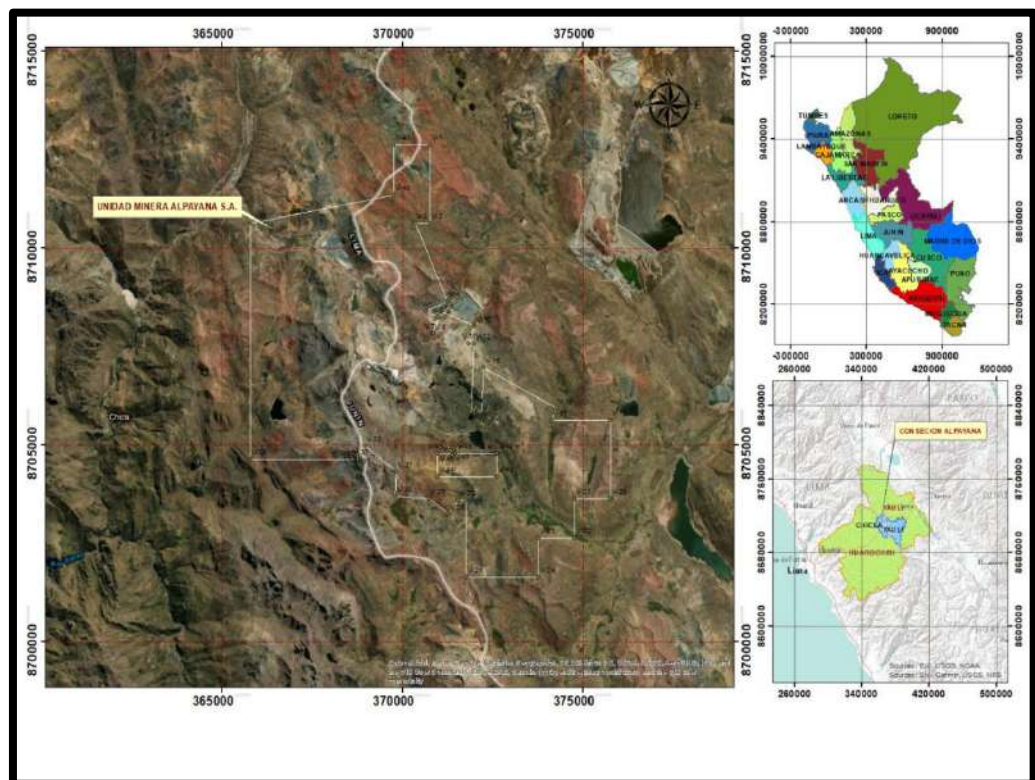
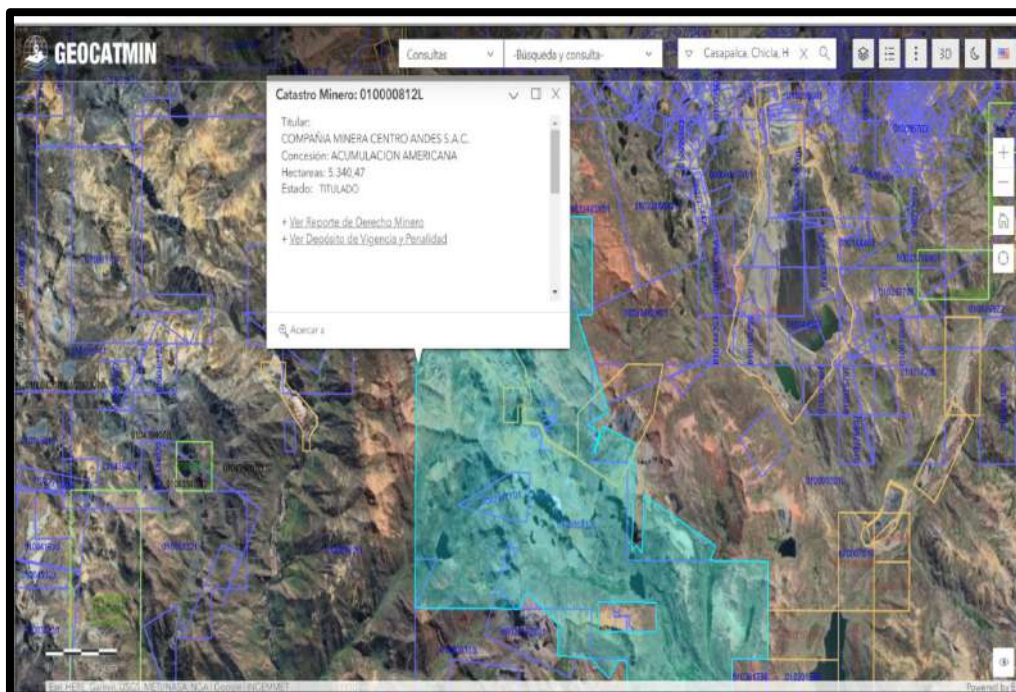


Figura 1 — Ubicación de la unidad minera Alpayana S.A.



FUENTE: GEOCATMIN, 2024.

**Figura 2 — Registro de derecho minero INGEMMET N° 010000812L.**

**Tabla 1 — Cuadro de coordenadas de la concesión olvidada II Alpayana**

DATUM WGS - 84 ZONA 18 SUR		
Vértices	Este	Norte
V-1	370775.37	8712632.95
V-2	370775.39	8710632.94
V-3	370351.88	8710632.94
V-4	371253.41	8708657.93
V-5	370653.82	8708388.99
V-6	370997.46	8708243.01
V-7	370823.46	8707833.39
V-8	370867.61	8707828.90
V-9	371090.63	8708383.78
V-10	372017.60	8708011.19
V-11	371844.94	8707581.62
V-12	371999.99	8707573.93
V-13	371912.05	8705830.42
V-14	372042.63	8705945.44
V-15	372192.49	8705775.31
V-16	372250.45	8706961.81
V-17	374285.84	8705934.41
V-18	374133.67	8705632.92



V-19	375775.43	8705632.93
V-20	375775.45	8703632.92
V-21	374775.46	8703632.91
V-22	374775.47	8702632.91
V-23	373775.47	8702632.90
V-24	373775.48	8701632.90
V-25	371775.49	8701632.89
V-26	371775.47	8703583.85
V-27	371549.50	8703595.25
V-28	371281.30	8703234.77
V-29	370742.04	8703635.99
V-30	369803.08	8703683.36
V-31	369834.75	8704311.03
V-32	368963.85	8704958.99
V-33	368775.47	8704757.17
V-34	368775.47	8704632.90
V-35	368659.46	8704632.90
V-36	368639.32	8704611.32
V-37	368616.20	8704632.90
V-38	365775.48	8704632.89
V-39	365775.41	8710632.92
V-40	369775.39	8711361.93
V-41	369775.38	8712632.95
V-42	372625.45	8704782.91
V-43	372625.46	8704182.91
V-44	370975.47	8704182.90
V-45	370975.46	8704782.91
V-46	371466.97	8704782.91
V-47	371402.38	8704777.30
V-48	371407.40	8704719.56
V-49	371479.32	8704782.91
FUENTE: GEOCATMIN, 2024		



FUENTE: Google Earth Engine, 2024.

**Figura 3 — Vista de la unidad minera Alpayana S.A. en Google Earth.**

**b) Accesibilidad**

El acceso a la unidad minera Alpayana S.A., es por una carretera asfáltica, alcanzando la ruta que va de Lima a Casapalca, que tiene una distancia aproximada de 129 Km. el tiempo de trayecto es de tres horas. La carretera de asfalto de, Huancayo - La Oroya y Casapalca, tiene una distancia promedio de 100 Km. El tiempo de viaje es de tres horas. De Casapalca - Piedra parada a la unidad, es por trocha carrozable tiene una distancia de 3 Km el tiempo de viaje es aprox. 15 minutos.

**Tabla 2 — Accesibilidad a la unidad minera Alpayana S.A.**

Tramo		Vía	Distancia (km.)	Tiempo (hrs.)
Abancay	Lima	Terrestre asfaltado	854	16
Lima	Casapalca	Terrestre asfaltado	129	03
Casapalca	Piedra parada	Trocha carrozable	3	0.15
<b>TOTAL</b>			<b>986</b>	<b>19h 15 min</b>

FUENTE: Compañía minera Alpayana, 2023.





FUENTE: Compañía minera Alpayana, 2023.

**Figura 4 — Accesibilidad a la unidad minera Alpayana S.A.**

### 1.3.2 Delimitación geológica

#### a) Geología regional

La empresa minera Alpayana S.A. está ubicada sobre depósitos cuaternarios que se encuentran por encima de rocas sedimentarias e intrusivas del cretácico superior y terciario inferior. Según el sentido de la curva la estructura geológica más notable es el anticlinal de Alpayana, situado en el centro de la mina. Según la inclinación, este anticlinal tiene un pliegue con un eje axial inclinado a 80 grados y muestra menores plegamientos en sus flancos noreste y sur oeste. En el subsuelo se han identificado fallas pre-minerales que afectan las vetas, como la "Gran Falla" con una orientación de N55°W.

Las unidades estratigráficas están sometidas a plegamientos, cuyos ejes están orientados en dirección N20°W, alineados paralelamente a la cordillera de los andes. La estructura más significativa es el anticlinorio Casapalca, que también presenta menores plegamientos en sus flancos. El sinclinal americano, que contiene estructuras volcánicas terciarias expuestas y tiene un núcleo formado por las calizas Bellavista, bordea el flanco noreste del anticlinorio.

La columna estratigráfica de la región incluye areniscas, lutitas calcáreas, calizas, brechas, rocas volcánicas, tufos y lavas, con un espesor aproximado de 5.4 metros. Se divide en las formaciones Jumasha, Casapalca, Carlos Francisco, Bella Vista y Río Blanco.

#### **b) Geología local**

En el distrito minero de Casapalca, se encuentran abundantemente rocas sedimentarias y volcánicas que datan del Cretácico Superior y Terciario. Estas incluyen areniscas, lutitas y conglomerados de la formación Casapalca, una sucesión de rocas volcánicas de la formación Carlos Francisco, capas de caliza de la formación Bellavista y una secuencia volcánica de la formación Río Blanco. La tectónica andina se evidencia mediante pliegues, destacando el anticlinal y sinclinal Casapalca, los cuales han sido afectados por numerosos sistemas de fallas y fracturas tanto regionales como locales, como las fallas Carmen y americana.

Las rocas intrusivas en el área de Casapalca están representadas por stocks de composición intermedia conocidos como los intrusivos Taruca, que afloran en el sector sureste.

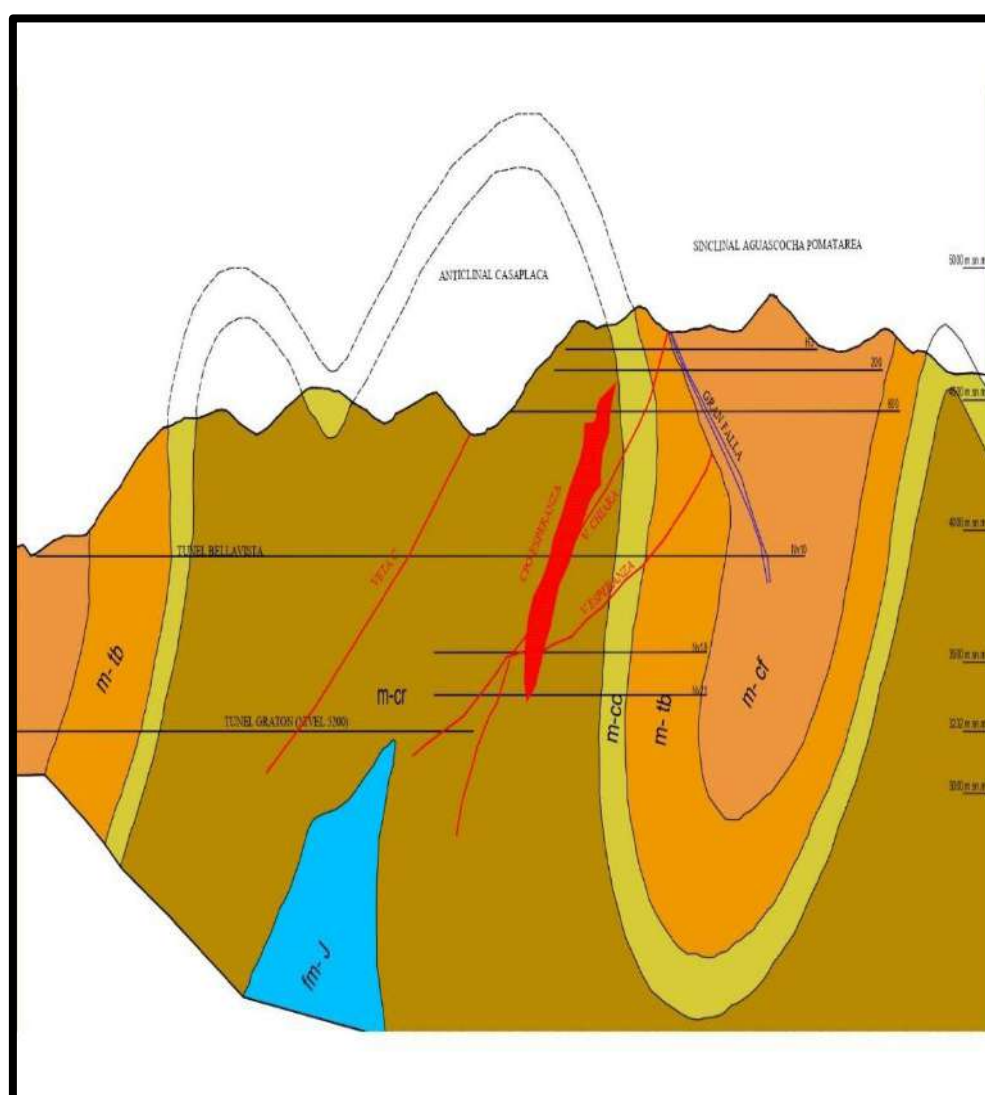
La mineralización en el distrito minero de Casapalca se presenta en vetas y cuerpos. En superficie, el sistema de vetas ha sido reconocido con longitudes de hasta 5 km y en profundidad, se han trabajado hasta 1,300 metros. Existen dos tipos de cuerpos mineralizados: cuerpos mineralizados por reemplazamiento o skarn, y disseminaciones con vetillas que ocurren por relleno de fisuras.

Las vetas se han formado mediante procesos hidrotermales que rellenan fracturas, presentando una diversidad de estructuras generalmente resultado de la combinación de fracturas de tipo tensional y de cizallamiento pre-minerales. Los cuerpos mineralizados en Casapalca son yacimientos formados tanto por reemplazamiento metasomático como por relleno de cavidades en las rocas de las formaciones Casapalca y Carlos Francisco. La presencia de epidota, un mineral calcosilicatado común de los skarns, evidencia el proceso de reemplazamiento en la formación Casapalca, mostrando un zoneamiento distintivo desde la zona de cuerpos hacia la roca regional circundante,



incluyendo una aureola de epidota, silicificación y hasta arenisca rojiza desde los cuerpos mineralizados hacia la zona externa. Los cuerpos formados por relleno de cavidades están asociados a vetas y fracturas de los sistemas de vetas y fallas. La mineralogía principal consiste en minerales metálicos como, asociados a minerales de mena como calcita, cuarzo, rodocrosita y pirita, además de tetraedrita-freibergita, greenockita y bournonita en cantidades menores.

La alteración en las rocas de caja es de bajo grado, y la alteración propilítica consiste principalmente en cloritización, epidotización, piritización, calcitización y silicificación.



FUENTE: Compañía minera Alpayana S.A. 2023.

**Figura 5 — Sección de la geológica local yacimiento Casapalca.**

**c) Litología**

Son reconocidas las siguientes secuencias estratigráficas:



- **Formación Casapalca**

Constituye el afloramiento estratigráfico más antiguo de la región, forma un anticlinal denominado Casapalca; formado por rocas sedimentarias de diversos ambientes continentales. La formación se ha dividido en los siguientes miembros: i) Capas rojas: se compone de capas intermedias de arenisca y esquistos calcáreos y ii) Conglomerado Carmen: superpuesta con capas rojas, conglomerados y calizas intercaladas con areniscas y formaciones de lutitas calcáreas.

- **Formación Jumasha (Ks-j)**

La formación Jumasha aflora de manera extensa en el área de estudio. En el cuadrante 24k2, forma secuencias continuas donde es posible identificar sus distintos miembros, que presentan pliegues asimétricos y pliegues tipo chevron. En el resto del área de estudio, sus afloramientos se presentan como escamas tectónicas que cabalgan sobre secuencias de la formación Casapalca o sobre rocas volcánicas cenozoicas.

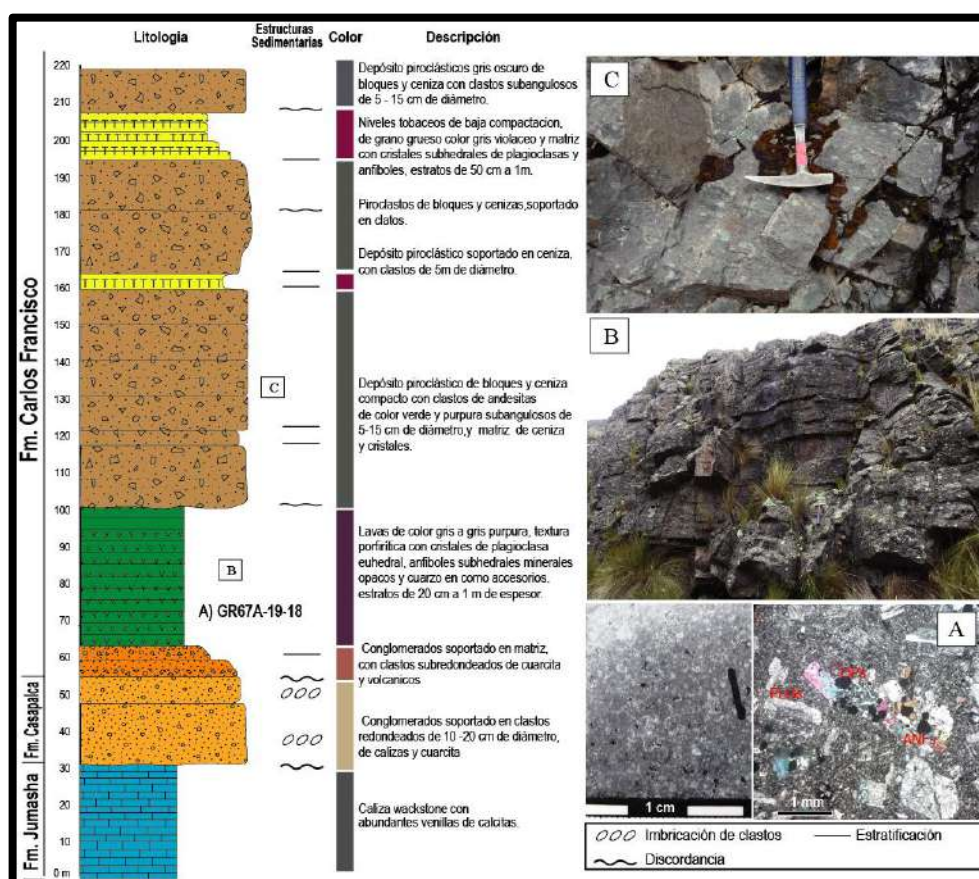
Esta unidad se encuentra en concordancia sobre la formación Pariatambo y bajo la formación Celendín. En las zonas más occidentales, yace en discordancia sobre la formación Casapalca y/o sobre los términos inferiores de las rocas volcánicas cenozoicas. Su espesor es variable; en una secuencia continua puede alcanzar hasta 700 metros, como se observa en el área de Lacsacocha. Sin embargo, debido al intenso plegamiento y a algunos cabalgamientos, se repite constantemente, llegando a alcanzar más de 1000 metros en las zonas de cabalgamiento por repetición tectónica.

- **Formación Carlos Francisco (Po-cf)**

En su informe interno de Cerro de Pasco Copper Corp., McKinstry y Still definieron esta unidad como la "Formación Carlos Francisco", dividiéndola en "Miembro Tablacacha", "Miembro Carlos Francisco" y "Miembro Yauliyacu", ubicados próximo de la localidad de Casapalca. Posteriormente, a esta formación reconociendo y utilizando esta nomenclatura de formación Carlos Francisco.



La formación presenta extensos afloramientos en ambas márgenes de los ríos Blanco y Yanavisca, así como en las quebradas Puculla, Cutay, Alcagranda, cerro Piedra Parada, Chauca y Culcayoc, entre otros. Su distribución está limitada estructuralmente por el sistema de fallas de Río Blanco, que se extiende en dirección NO-SE. Esta unidad ha sido dividida en varios miembros. Los resultados de los análisis geoquímicos de la muestra GR67A-19-87, graficados en el diagrama TAS, indican una correspondencia con la serie calcoalcalina-traquiandesita basáltica. El diagrama multielemental de elementos traza muestra anomalías negativas de Nb, Ti y Ta, y anomalías positivas de U y Th.



FUENTE: Compañía minera Alpayana S.A. 2023.

Figura 6 — Sección de la geología local yacimiento Casapalca.

- Formación Bellavista y río Blanco (Peo-be, Peo-rb)



En el cuadrángulo de Matucana, Salazar en año 1983 agrupó y mapeó ambas formaciones como un solo polígono, debido a que estas unidades presentan condiciones rocosas y cambios similares de facies tanto en dirección E-O como NO-SE. Afloran en la desembocadura del río Blanco en el río Rímac, en el poblado de Chicla y en Bellavista. Se caracterizan por secuencias de brechas y areniscas volcanoclásticas bien estratificadas, con bancos tabulares deformados por pliegues, como el sinclinal de río Blanco.

La formación Bellavista presenta afloramientos de competencia moderada, compuesta por areniscas volcanoclásticas en estratos de 10 a 20 cm de espesor, con niveles de calizas y areniscas volcanoclásticas que localmente muestran deformación tipo slump y convoluta. El espesor total varía entre 50 y 100 m. Esta formación yace en concordancia debajo de la formación río. La formación río Blanco muestra estratos competentes de brechas, conglomerados con bases erosivas y areniscas volcanoclásticas en estratos de 30 a 50 cm de espesor, junto con niveles de lavas andesíticas. Su espesor total es de aproximadamente 250 m.

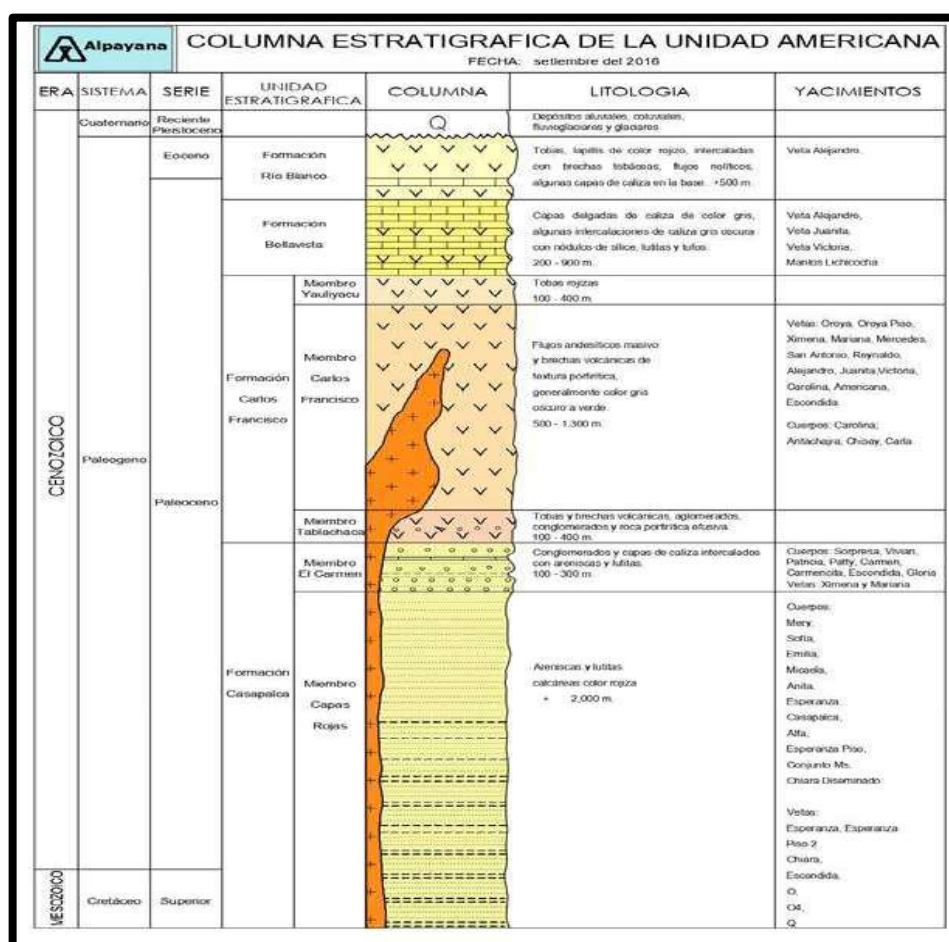
- **Formación Huarochirí (Nm-h)**

Esta formación es una secuencia de rocas volcánicas y volcanoclásticas que se extiende hacia el este del área de estudio. Dentro de esta área, se cartografiaron principalmente depósitos de tobas con niveles de lavas y piroclásticos que se extienden hacia el sur. Los afloramientos de esta unidad se caracterizan por su coloración blanquecina y su litología de composición intermedia a ácida, incluyendo dacitas y riódacitas. Los depósitos de tobas de ceniza con fragmentos líticos, pómez e incluso cristales se observan en los cerros Alcalá y en la margen derecha del río Mala. Al sur de Paccha, afloran depósitos de tobas soldadas de riódacitas con una coloración rosácea a rojiza.

En los alrededores de Tupicocha, se identificaron dos litofacies predominantes. La base está constituida por depósitos de tobas de ceniza y líticos de moderada compactación en estratos decrecientes de 2 a 3 metros de espesor, con una coloración que va del gris blanquecino al gris violáceo,



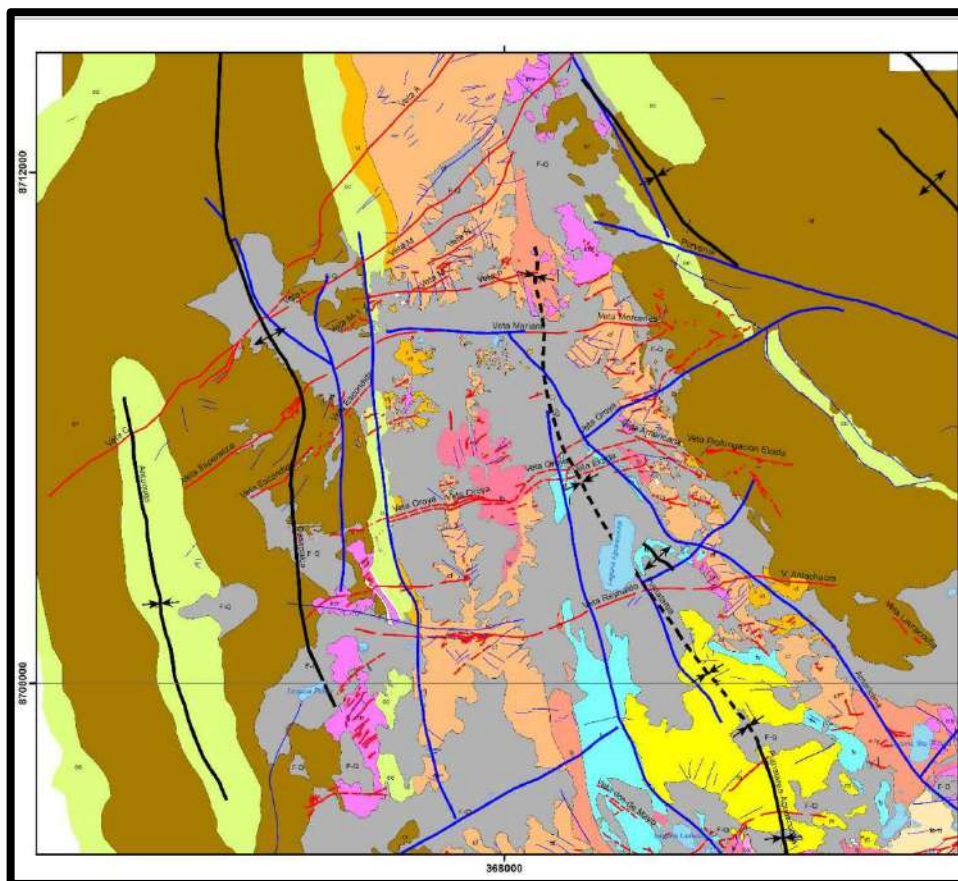
alternando con niveles delgados de tobas de 10 a 15 cm de espesor. En los alrededores del poblado de Llanca, se observan afloramientos competentes de más de 500 metros, de coloración blanquecina, constituidos por depósitos soldados de tobas cristalolíticas de matriz vítrea, con cristales fragmentados de plagioclasa, feldespatos potásicos y cuarzo. Sobre estos depósitos, y al este del poblado de Tupicocha, aflora una estructura de forma dómica con más de 100 metros de espesor, compuesta por rocas masivas y compactas de coloración rojiza, con composición dacítica y textura porfírica. Estas rocas contienen cristales de plagioclasa, cuarzo y biotita, alterados a arcillas, con una matriz criptocrystalina reemplazada por sílice y óxidos de hierro, además de fragmentos líticos volcánicos.



FUENTE: Compañía minera Alpayana S.A. 2023.

Figura 7 — Columna estratigráfica unidad Americana.





FUENTE: Compañía minera Alpayana S.A. 2023.

**Figura 8 — Plano geológico del yacimiento.**

El cuadrángulo de Matucana presenta un conjunto de estructuras tectónicas de dirección NO-SE caracterizada por la presencia de fallas inversas, de rumbo y pliegues.

- **Fallas Pancar**

Esta estructura se localiza en la parte oriental del cuadrante 2 de la hoja de Matucana. Con una orientación  $N45^{\circ}E$ , se extiende a lo largo de 11.3 km. Su inclinación es hacia el suroeste. Es reconocida por las alineaciones de las lagunas Chaqueta, Yanacocha y Pancar, y se extiende hasta Yauli. Esta falla es de tipo inverso con un alto ángulo y es responsable de que el grupo Pucará cabalque sobre la formación Jumasha. En el extremo sur, pone en contacto las formaciones Pariatambo y Jumasha. Al oeste de la laguna Yanacocha, asociado a la falla principal, hay un ramal donde los volcánicos del Grupo Mitu se superponen a las calizas del Grupo Pucará.

Además, la falla Pancar aparentemente controla la sedimentación del Pérmico-Triásico y Jurásico inferior, donde los espesores de los grupos Mitu y Pucará son mayores en comparación con los de la zona del domo de Yauli, ubicada al este de la falla. Esto sugiere que la falla Pancar tuvo un movimiento normal durante el Pérmico-Triásico y Jurásico, y que ahora está invertida debido a la compresión ocurrida en el Eoceno.

- **Sistema de fallas del río Blanco**

El sistema de fallas Río Blanco comprende varias estructuras alineadas en dirección NO-SE. Se extiende desde el nevado Colquepucro, al sureste de la hoja 24k2, hasta la quebrada Huanchurina, ubicada en la parte central de la hoja 24k4.

Principalmente, está compuesto por fallas transcurrentes asociadas a una tectónica de transpresión. Por ejemplo, en el nevado Colquepucro, este sistema es responsable de que las calizas de la Formación Jumasha se encuentren sobre los volcánicos más recientes, además de la ocurrencia de sulfuros ricos en Cu, Pb y Ag.

Al oeste de la laguna Yuracmayo, hay una falla de tipo inverso que causa que la formación Jumasha se superponga a las lavas de la formación Carlos Francisco. En este mismo sector, el intrusivo Llipina está asociado con la dirección del sistema de fallas Río Blanco.

En el segmento de San Mateo, estas estructuras son de tipo transcurrente con movimiento sinistral, de modo que el Cretácico está en contacto con los volcánicos de la formación Rímac al oeste y con la formación Carlos Francisco al este. El sistema de fallas Río Blanco habría controlado los depósitos volcanosedimentarios de las formaciones Carlos Francisco, Bellavista y Río Blanco, delimitándolos al este, y también delimitando el grupo Rímac y la formación Colqui hacia el oeste.



- **Geología económica**

La UEA Americana es un yacimiento polimetálico cuyas reservas minerales se encuentran en vetas y en cuerpos, con mineralogía simple, los principales minerales son: esfalerita, galena, tetraedrita/freibergita, calcopirita, pirita, cuarzo, calcita y rodocrosita.

- i) **Vetas.** - En el conjunto de vetas existe una diversidad de estructuras, generalmente como resultado de la combinación de fracturas de tipo tensional y de cizallamiento, preminerales. Formadas mediante el relleno de fisuras por proceso hidrotermal. En superficie el sistema de vetas ha sido reconocido en longitudes de 3 a 5 km en el rumbo, en altura se han trabajado desde 4 800 m.s.n.m., y están reconocidas hasta 3 540 m.s.n.m.; generalmente las vetas tienen rumbo N30°E a N90°E, con buzamientos variables. Las vetas se emplazan en todas las secuencias litológicas y las más importantes son: Oroya, Oroya piso, Ximena, Ana María, Carolina, Chisay, Americana, Carla, Esperanza, Mariana, Mercedes, N3, San Antonio, Chisay, Antachajra, Luisa, Reynaldo y Alejandro; estas vetas presentan lazos cimoides y ramales como son las vetas Cimoide Oroya, Cimoide Oroya piso, Tensional, Oroya CT, Ximena Piso, Carolina W, Esperanza piso, Esperanza piso 2, Esperanza Norte, Marianita, Marianita piso y Escondida.
- ii) **Cuerpos.** - Que pueden ser de tres tipos como Stockworks y disseminaciones adyacentes a las vetas; sulfuros disseminados concordantes en horizontes de conglomerados; y vetillas y disseminaciones en areniscas. Los cuerpos mineralizados son yacimientos tipo skarn, depósitos de reemplazamiento metasomático, tienen formas irregulares, y están emplazadas en la formación Casapalca.

Los cuerpos mineralizados son depósitos formados por relleno de cavidades y por reemplazamiento metasomático, en areniscas y conglomerados de la formación Casapalca, tienen forma irregular. El mayor volumen de cuerpos mineralizados se encuentra en areniscas asociadas a la epidotización y silicificación del miembro capas rojas



Casapalca de la formación Casapalca; en los horizontes de conglomerados del miembro Carmen los cuerpos son de menor volumen, relativamente angostos y concordantes con la estratificación.

La epidota, mineral calcosilicatado que evidencia la introducción metasomática de Si, Al, Fe y Mg en areniscas y conglomerados calcáreos de la formación Casapalca nos indica que se trata de un yacimiento tipo skarn de Zn. La alteración presenta zoneamiento de epidota a silicificación desde los cuerpos hacia fuera, hasta arenisca rojiza (capas rojas).

### 1.3.3 Delimitación local

#### a) Características fisiográficas y ambientales

La zona de la unidad minera Alpayana está localizada sobre un entorno glaciar a alturas que pueden superar los 5000 msnm. Los trabajos de explotación se llevan a cabo entre los 3900 a 4500 msnm, las instalaciones de los campamentos y otros se ubican en la superficie, estos están a un nivel 4500 msnm en promedio.

La topográfica de la unidad minera presenta relieves muy accidentado con valles estrechos y las pendientes muy pronunciadas en las laderas de los flancos, los valles interandinos se presentan en secciones U debido a la erosión provocada por la presencia de glaciares como la erosión fluvial que abunda en las áreas producto del deshielo y la precipitación pluvial. También se puede encontrar circos glaciares en las zonas más alta sobre todo en las cabeceras de los valles (Camargo y Segura, 2023).

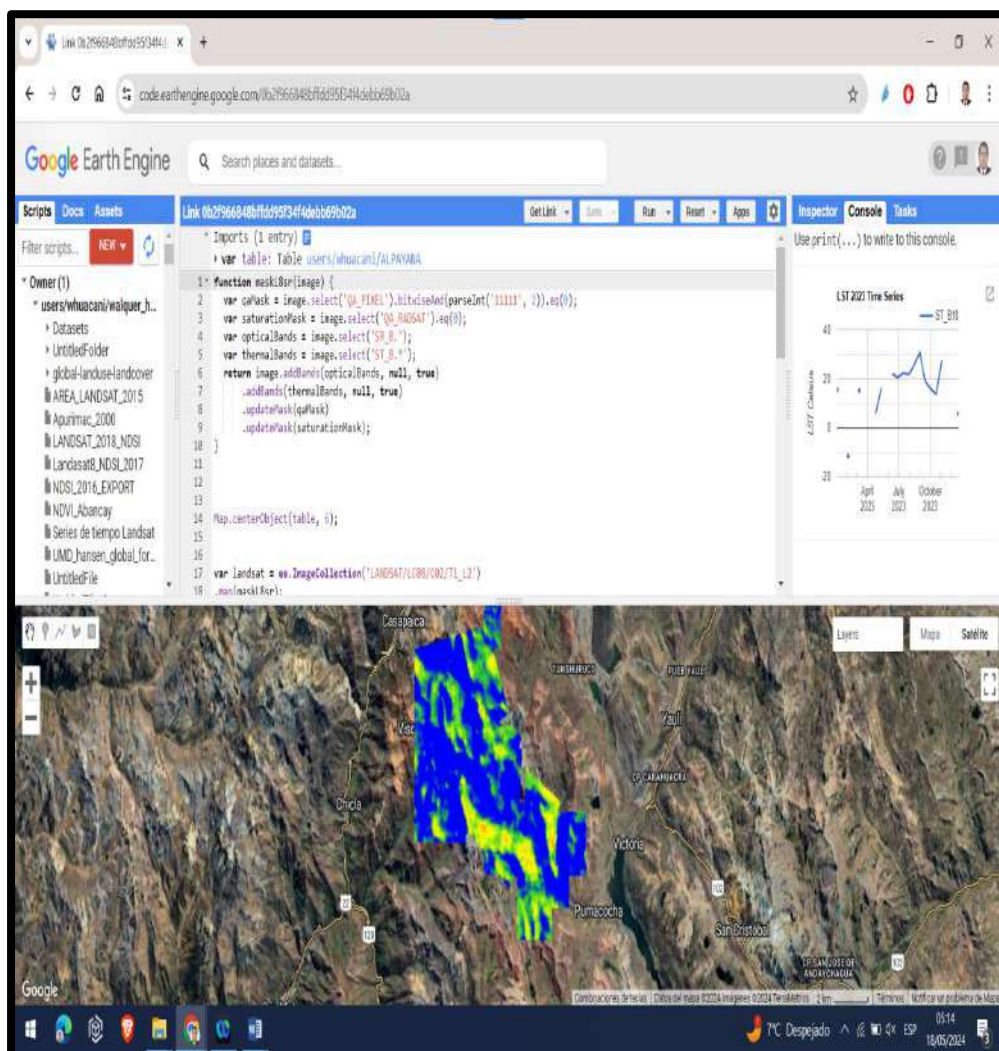
#### b) Procedimiento

Para determinar la temperatura se emplearon datos provenientes de sensores Landsat 8 OLI/TIRS debido a que en la zona no hay estaciones meteorológicas. Para el procesamiento de datos, se tiene hoy en día imágenes de satélites para estudios medioambientales datos históricos y actuales, para el procesamiento se ha utilizado la plataforma de Google Earth Engine (GEE), utilizando los algoritmos en Javascript para el procesamiento de datos. Los datos obtenidos



encierran la reflectancia de la superficie corregida atmosféricamente y la temperatura de la superficie terrestre. Los datos han sido validado y comparados con estaciones meteorológicas en muchos trabajos, los cuales indican que son fiables. Se consideró el distrito de Chicla como área de influencia directa.

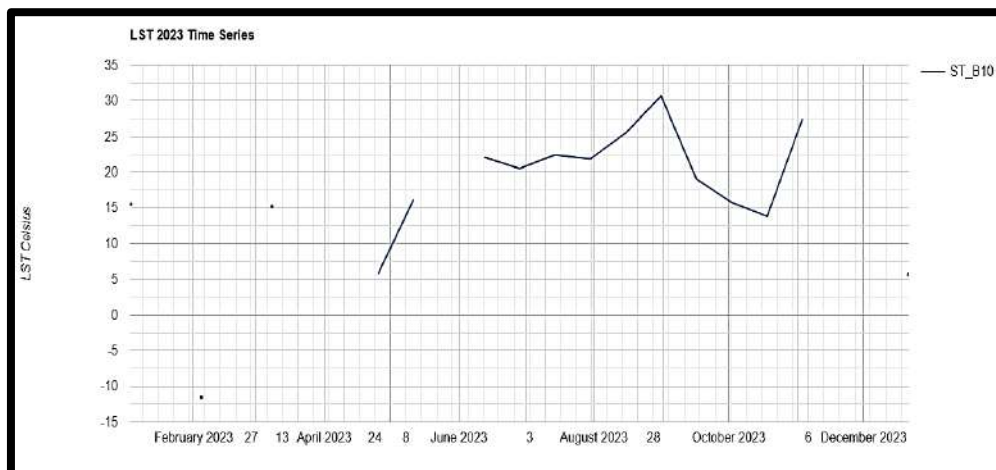
La temperatura en la unidad minera es variante durante los meses de abril a mayo se mantienen en una media de 6°C. Durante los periodos de setiembre y octubre llega a valores máximos que oscilan entre 25 °C a 30°C, en esta temporada podemos observar que los meses son más calurosos.



FUENTE: Google Earth Engine, 2023.

Figura 9 — Procesamiento de datos en Google Earth Engine de la temperatura periodo 2023.





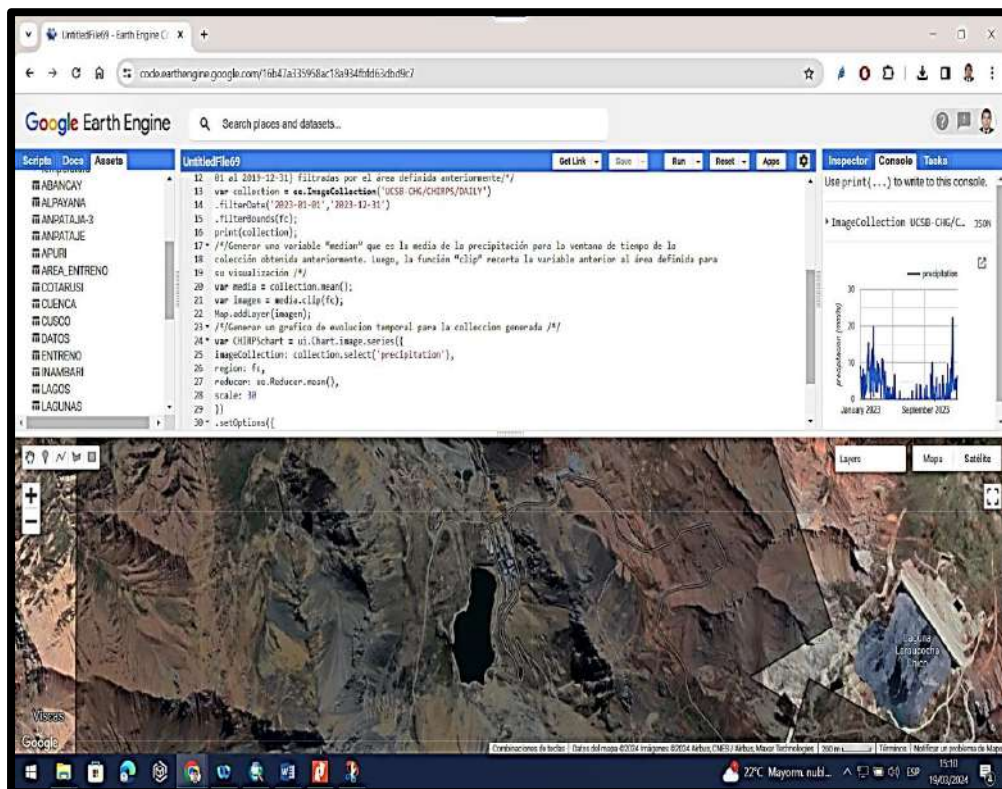
FUENTE: Google Earth Engine, 2023.

**Figura 10 — Series de tiempo de la temperatura periodo 2023.**

Para estimar la precipitación en el área Indirecta de la unidad minera Alpayana S.A., se han empleado imágenes satelitales del conjunto de datos Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS). CHIRPS consiste en un archivo pluviométrico cuasi global con más de 30 años de datos, que fusiona imágenes satelitales de alta resolución (0,05°) con registros de estaciones meteorológicas para generar series temporales de la precipitación, permitiendo el análisis de tendencias y la monitorización estacional de sequías. Estos datos están accesibles en: [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/UCSB-CHG\\_CHIRPS\\_DAILY](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/UCSB-CHG_CHIRPS_DAILY). Se ha utilizado la plataforma Google Earth Engine (GEE) y el lenguaje de programación JavaScript para procesar los datos. Se ha seleccionado un punto de referencia dentro de la concesión y se ha establecido el área de la poligonal de la concesión para delimitar el área de estudio.

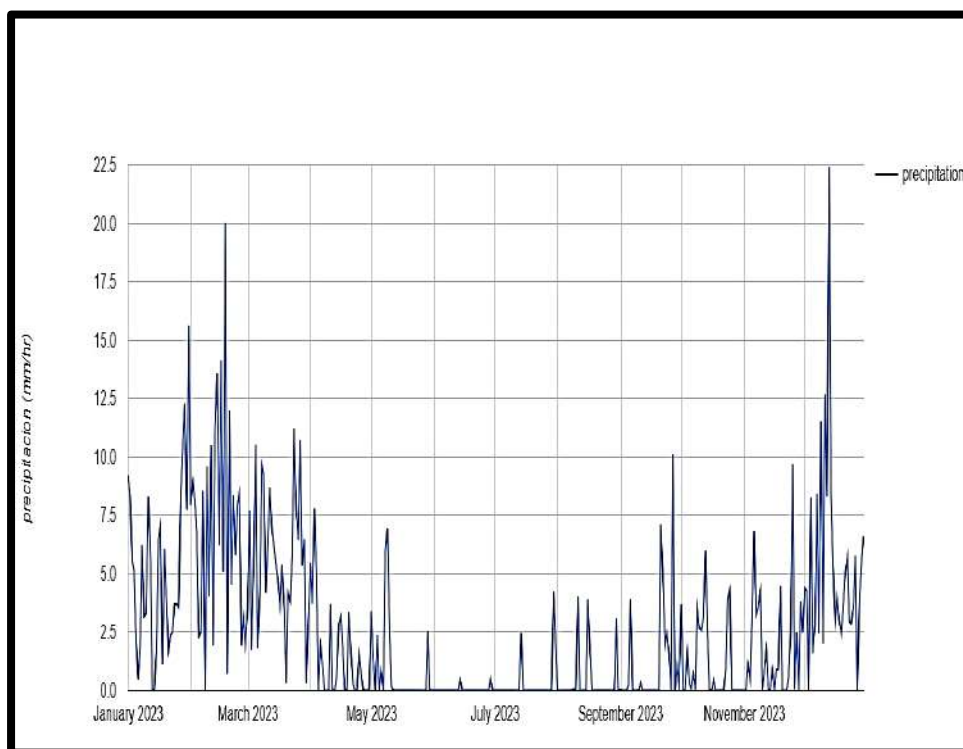
La temporada de precipitaciones en verano comienza aproximadamente en octubre, con lluvias intermitentes que se intensifican desde noviembre hasta marzo, siendo estos últimos meses los más lluviosos. Esta temporada se extiende hasta abril. Durante los meses más lluviosos, la precipitación alcanza su máximo con niveles de hasta 20 mm/hr, y como valores mínimos en los meses de mayo, junio y julio con un promedio de 2,5 mm/hr, el estudio es durante el periodo de 2023.





FUENTE: Google Earth Engine, 2023.

**Figura 11 — Procesamiento de datos en Google Earth Engine de la precipitación 2023.**



FUENTE: Google Earth Engine, 2023.

**Figura 12 — Series de tiempo de la precipitación periodo 2023.**

### c) Flora y fauna

Para Aquino, (2018). Los Andes peruanos, además de tener varias áreas con lagunas de información botánica, albergan ecosistemas con una notable diversidad florística. Por esta razón, se investigó la composición florística del distrito de Huarochirí, en la provincia de Huarochirí (Lima), ubicado en la vertiente occidental de los Andes centrales del Perú. Las colectas botánicas se llevaron a cabo durante las dos estaciones del año (húmeda y seca) entre 2016 y 2018, diferenciando las formaciones vegetales del distrito y determinando la endemismo y el grado de amenaza de las especies registradas. La flora total consistió en 504 especies agrupadas en 296 géneros y 84 familias, siendo las más diversas Asteraceae (108 especies), Poaceae (47), Fabaceae (24) y Solanaceae (20). Las formas de vida predominantes fueron las hierbas (78 %) y los arbustos (18 %). Se identificaron 6 formaciones vegetales: matorral arbustivo de nivel medio, que albergó el 45 % de la flora total; matorral arbustivo de nivel superior (50 %); pajonal altoandino asociado con formaciones rocosas (35 %); rodal de *Puya raimondi* (34 %); bosque de *Polylepis incana* (21 %) y bofedal (14 %). Se registraron 65 especies endémicas de Perú, además de 28 especies categorizadas según la legislación peruana y 18 según la legislación internacional. Estos datos destacan la gran diversidad de especies, endemismos y especies amenazadas, así como la importancia de los diversos ecosistemas para la conservación.



FUENTE: Aquino, 2018.

**Figura 13 — Asteraceae presencia en la zona de influencia directa.**

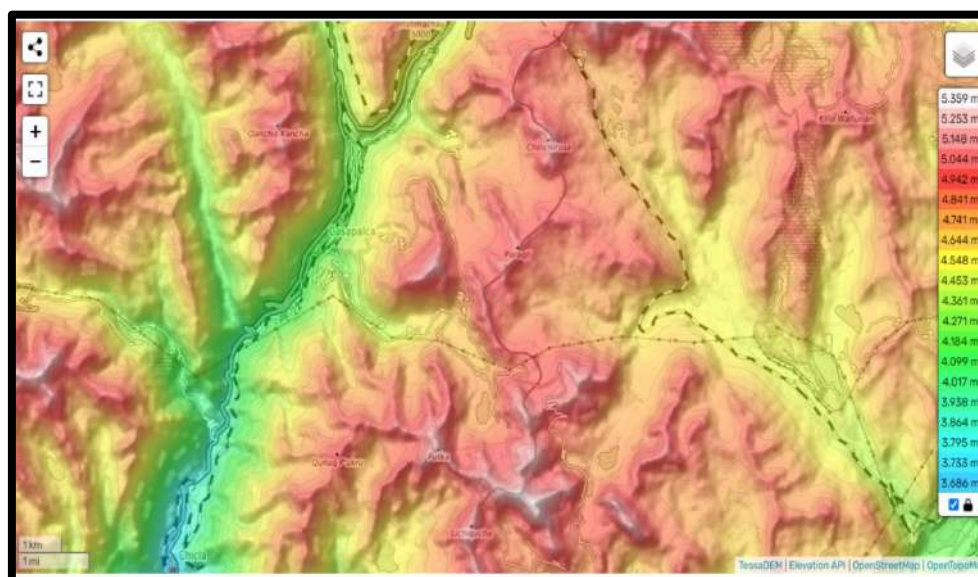
### 1.3.4 Delimitación social

#### a) Población

Actualmente la población de Alpayana está conformado por tres unidades mineras: Americana, Yauliyacu e Iscaycruz, aproximadamente tiene 2000 habitantes de las comunidades de San Antonio y San Mateo, en la provincia de Huarochirí, conformado por niños y adultos que se encuentran en la sierra de Lima. A través de esta iniciativa, desarrollarán proyectos de desarrollo comunitario enfocados en impulsar la salud, educación, emprendimiento y bienestar social. Alpayana es un grupo minero dedicado a la minería subterránea principalmente polimetálica: produce zinc, plomo, cobre y plata.

#### b) Topografía de la zona

En los sectores de la Concesión Alpayana S.A. podemos observar diferentes altitudes que varían desde 3938 m.s.n.m. hasta los 5044 m.s.n.m., la topografía es accidentada con depresiones y quebradas típico de la sierra andina.



FUENTE: Topographic-map.com, 2023.

**Figura 14 — Mapa de altitud de la unidad minera Alpayana S.A. 2023.**

## CAPÍTULO II

### OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### 2.1 Objetivos de la investigación

##### 2.1.1 Objetivo general

Mejorar el sistema de ventilación en el nivel 23, con la implementación de chimenea Raise Boring 060 en la unidad minera Alpayana S.A. Huarochirí – 2024.

##### 2.1.2 Objetivos específicos

- Implementar chimenea Raise Boring 060 de ventilación del nivel 21A al nivel 23 e instalar ventilador impelente en la unidad minera Alpayana S.A.
- Distribuir el aire fresco a las diferentes labores, con la ejecución de la chimenea Raise Boring 060 en la unidad minera Alpayana S.A.
- Incrementar el caudal y las velocidades de aire y reducir la temperatura en las labores con la ejecución de chimenea Raise Boring 060 del nivel 23 en la unidad minera Alpayana S.A.
- Dar continuidad de flujo de aire fresco en los niveles inferiores y la profundización de las zonas de operación en la unidad minera Alpayana S.A.

#### 2.2 Hipótesis de la investigación

##### 2.2.1 Hipótesis general

El mejoramiento del sistema de ventilación en el nivel 23, será eficiente con la implementación de chimenea Raise Boring 060 en la unidad minera Alpayana S.A. Huarochirí – 2024.



### 2.2.2 Hipótesis específicas

- La implementación de chimenea Raise Boring 060 de ventilación del nivel 21A al nivel 23, facilitará suministrar el aire fresco con la instalación del ventilador impelente en la unidad minera Alpayana S.A.
- Se distribuirá el aire fresco a las diferentes labores con la ejecución de la chimenea Raise Boring 060 en la unidad minera Alpayana S.A.
- Se aumentará el caudal y las velocidades de aire y reducir la temperatura en las labores con la ejecución de chimenea Raise Boring 060 del nivel 23 en la unidad minera Alpayana S.A.
- Se dará continuidad de flujo de aire en los niveles inferiores y la profundización en las zonas de operación en la unidad minera Alpayana S.A.

### 2.3 Operacionalización de variables

Tabla 3 — Operacionalización de la variable

Variable	Concepto	Indicadores	Índice
<b>Variable Independiente</b>	Caudal de aire requerido para los frentes de trabajo.	Caudal de aire limpio en cantidad y calidad	cfm
Implementación de una chimenea	Requerimiento de aire fresco de acuerdo al DS N° 024-2016-EM y su modificatoria el D.S.023-2017-EM.	Velocidad del aire	m/min
		Temperatura del aire	°C
<b>Variable Dependiente</b>	Distribución de flujo de aire según necesidades	Sección de labor	m <sup>2</sup>
Mejoramiento del sistema de ventilación		Flujo de aire	Cfm
	Presión	Pa	
	Temperatura	°C	
	Ubicación y características del ventilador impelente	Condiciones de trabajo	saludable
	Implementación de chimenea Raise Boring	Concentración de gases	ppm
		Potencia	Kw

## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 3.1 Antecedentes

##### 3.1.1 Antecedentes internacionales

Yucas (2015), en su trabajo de tesis “Análisis geomecánico del macizo rocoso para la construcción de la chimenea Glory Hole mediante el sistema Alimak” de la Universidad Central del Ecuador, verificó que el uso de la plataforma Alimak del sistema de ventilación fue de menor costo y muy económico su aplicación, en comparación con otros equipos de apertura de conductos, el sistema de construcción de chimeneas es más adecuado y tiene la facilidad de adaptabilidad de tamaño y forma de las chimeneas.

En el trabajo de tesis “Mejoramiento del sistema de ventilación de largo plazo de Mina Granate perteneciente a Sociedad Punta del Cobre S.A.” cuyo objetivo fue: Desarrollar un sistema de ventilación a largo plazo de Mina Granate que sea capaz de satisfacer, de acuerdo con el marco legal vigente, los requerimientos de aire de las operaciones realizadas al interior de la mina para cumplir con el plan minero de largo plazo. En el estudio concluyó que, se logra desarrollar el sistema de ventilación desde el 2018 al 2021 de Mina Granate perteneciente a Sociedad Punta del Cobre S.A. considerando el aumento de producción con la incorporación de cuerpos a explotar, lo que conlleva a utilizar una mayor cantidad de equipos, de acuerdo al estudio del sistema actual mediante trabajo en terreno, se diagnostican diferentes problemas en el sistema de ventilación afectando principalmente a la salud y seguridad a los trabajadores, partir de estas conclusiones se determina, que es necesario desarrollar un estándar de diseño, instalación y mantención de los equipos del sistema de ventilación de mina (Carrasco, 2018).

Gutiérrez (2010), en su trabajo: “Recirculación controlada en minería subterránea”, donde manifiesta de cómo utilizar parte del aire estancado en las labores, e eliminar algunos contaminantes primarios, como el polvo, introduciendo nuevamente para conservar las concentraciones de contaminantes dentro de los



límites permisibles. Se identificaron tres variables que el ingeniero de ventilación debe tener en cuenta: la porción de flujo de entrada recirculado y su eficacia de filtrado. Para ilustrar este concepto, se realizó un estudio donde se evaluaron los caudales, y sus costos para ventilar un bloque de una labor de espeleología en bloque. Se descubrió que el caudal de entrada no puede reducirse más allá de un cierto punto debido a las restricciones en la concentración de monóxido de carbono, el otro contaminante más importante. La filtración no es factible para este contaminante, pero su control se basa en la dilución con el flujo de entrada. La aplicación de una reducción de aproximadamente el 20% en el flujo de entrada en todos los casos examinados, esto dio lugar a una reducción del 51,2% en los costos energéticos, minimizando al máximo el movimiento de aire desde la parte delantera, tal y como exige el gobierno. La eficacia crítica, que marca la diferencia entre las alternativas a la filtración y otros factores, determina el nivel en el que la eficacia de la filtración pasa a ser crucial. Cuanto mayor sea la eficacia de filtración, menor será la fracción recirculada necesaria para lograr la misma reducción del caudal de entrada. Sin embargo, la selección de un sistema de filtrado implica costes adicionales relacionados con la inversión, el funcionamiento y el mantenimiento. Por consiguiente, el problema de elegir un sistema de filtrado no puede resolverse analíticamente como un problema de optimización, y cada alternativa debe examinarse individualmente. Simultáneamente, el estudio investigó las características de rendimiento de varios sistemas de filtrado para identificar los indicadores clave. Se prestó especial atención a las cámaras de decantación, que tienen unos costes de funcionamiento mínimos, y al análisis de los precipitadores electrostáticos para aislar el consumo de energía de los componentes individuales. Las conclusiones indican que, a mayor distancia desde la entrada de la mina o el coste energético del transporte de aire desde la entrada hasta el nivel de ventilación, el ahorro energético resultante de la reducción del movimiento de aire desde el frente hace que las alternativas de recirculación controlada sean económicamente más favorables en comparación con la ventilación tradicional.

Castillo (2017), en su tesis: “Evaluación del sistema de ventilación de la mina el Roble”, realizó una evaluación del tipo de explotación y sus características particulares. Después, se llevó a cabo la inspección del proceso de ventilación, evaluando el circuito actual y efectuando mediciones y cálculos de los flujos de



aire actuales en relación con las operaciones mineras. Además, se identifican los requisitos dispensables de aire, los desafíos relacionados con la temperatura y la contaminación por gases posteriores a las operaciones de voladura, carga y transporte de material. Se concluye, que la ventilación de minas en la empresa minera El Roble no cumple con el Reglamento 1886 del año 2015, específicamente en los artículos 41, 43, 44, 46 y 57 del Título II sobre Ventilación.

La cobertura del sistema actual de ventilación en la mina El Roble es aproximadamente un 16%, mientras que la cobertura propuesta se incrementaría en un 77%. Se señala que los equipos y la maquinaria que trabajan en la mina son los principales generadores de volumen de aire contaminado, alcanzando valores que llegan hasta 199 000 (cfm).

Lotito (2022) en su estudio “Evaluación de un sistema de ventilación On-Demand y de la incorporación de energía solar en el proceso de ventilación minera”, donde menciona el autor que el proceso de hacer circular un flujo de aire hacia el interior de una mina con la finalidad de crear las condiciones adecuadas para que las personas en su interior se encuentren en una atmósfera limpia para desarrollar sus actividades en forma adecuada libre de polvo y gases. Este resultado del estudio no es nuevo, ya que existen diversos proyectos a nivel del mundo que incorporan esta tecnología a las labores subterráneas; porque requiere un bajo costo de inversión y permite un ahorro eléctrico del 20 al 25% cada año según diversos estudios realizados por muchos autores. Dado que el ahorro de emisiones es del 61%, este escenario ocupa el primer lugar desde el punto de vista medioambiental.

### 3.1.2 Antecedentes nacionales

Camargo y Segura (2023), describieron un estudio sobre la implementación de chimenea para la ventilación de flujo de aire desde la operación subterránea en una mina desde 1961, cuyo objetivo es mejorar el flujo de aire en las labores profundas mediante la construcción de chimeneas de más de 80 metros de longitud. El estudio se enfocó en evaluar la viabilidad operativa y técnico-económica del proyecto, aplicando el sistema de perforación Raise Boring. Se recopila información detallada del sistema de flujo de aire, se miden parámetros de ventilación y se realiza un análisis comparativo de costos y rendimiento entre otros sistemas de perforación. Los resultados muestran claramente que el sistema de construcción de la chimenea mejora las condiciones ambientales de trabajo y establece mejoras



con las regulaciones en seguridad minera. En este trabajo se concluye que este sistema Raise Boring es recomendable hacer uso, demostrando seguridad y eficiencia a pesar de tener un costo ligeramente elevado que la convencional. El autor llegó a la conclusión que la ejecución de Raise Boring ofrece ventajas muy significativas en eficiencia y para la creación de conductos subterráneos, a diferencia de otros métodos como la perforación convencional, no involucra explosivos, no genera gases en la perforación. Además, garantiza una ejecución más segura, evitando contacto directo con el macizo rocoso pulverizado, produciendo una sección uniforme sin tener la necesidad de hacer el desquinche ni realizar sostenimiento, proporcionando mayor precisión en la conexión. Tras la implementación del proyecto CM RB 650 y la instalación del ventilador extractor, se registró un notable aumento de caudal de flujo de aire en el nivel 20, satisfaciendo los requerimientos legislativos y mejorando la distribución del aire, debido a la conexión de la chimenea. Los resultados comparativos de varios sistemas de perforación para chimeneas de características similares mostraron que los sistemas Convencional y Raise Boring son los más factibles técnicamente, descartando otros debido a limitaciones de dimensiones y longitud.

Andía (2019), en su tesis “Diseño de chimeneas gemelas para mejorar la ventilación en los niveles 1790 – 2050 veta Paula CIA minera Yanaquihua”, realizó un estudio que se centró en la construcción y diseño de chimeneas gemelas utilizando el método convencional para mejorar la ventilación en la Unidad Minera de Yanaquihua. Se identificó como problema la falta de un ambiente adecuado para el trabajo en el interior de la mina, especialmente para la veta Paula. Previa la construcción, se confirmaron aspectos geomecánicos y se planeó la construcción para permitir un mapeo preciso y la aplicación de técnicas de perforación y voladura adecuada, así como un sostenimiento oportuno. Se optó por el método convencional debido a su viabilidad y capacidad para mejorar las condiciones de trabajo, además de servir como exploración en niveles específicos. El análisis incluyó el diseño de la perforación y el enmaderado, así como la evaluación del costo y el balance de aire necesario para mejorar la ventilación. Se identificaron soluciones para cumplir con los requisitos de flujo de aire necesarios para las actividades mineras. En su conclusión menciona que se diseñaron chimeneas gemelas utilizando el método convencional para mejorar la ventilación en los niveles 1 790 y 2 050 de la zona de la veta Paula, lo que aumentó el flujo de aire



requerido de 63 000 a 148 000 CFM y mejoró las condiciones de trabajo. En el nivel 1790, el flujo de aire requerido era de 90 645 CFM, cubierto por las chimeneas gemelas y ventiladores adicionales, mientras que para el corto plazo se planea instalar un ventilador tipo axial en la chimenea gemela para ventilar los frentes y tajos, junto con ventiladores auxiliares para los avances en dirección este-oeste.

Ramírez y Rico (2021) en su tesis “Proyecto de diseño de chimeneas para mejorar la ventilación en la Unidad Minera Pallasca”, en su investigación propuso diseñar chimeneas para la Unidad de Producción Pallasca, con la finalidad de mejorar la ventilación y crear un entorno laboral más favorable para los trabajadores y la maquinaria. La metodología se centró en proponer la construcción de las chimeneas, analizando factores como la deficiente ventilación, costos de avance y adquisición de equipos. El diseño implicó considerar la topografía de la mina y tomar en cuenta el rumbo y el buzamiento de las labores verticales. Esto permitió visualizar con precisión la chimenea como una vía de salida para gases y polvo, mejorando la ventilación y la eficiencia laboral. Se utilizó el software AutoCAD para calcular el volumen de material volado de manera óptima. En sus conclusiones menciona que la ventilación deficiente en las labores mineras se ve afectada por gases tóxicos como dióxido de carbono, humos nitrosos y metano, generados por la detonación de explosivos y voladura de rocas. La altitud de las labores mineras también influye, por ejemplo, para la galería Luz Angelina se requiere proveer un flujo de 5 m<sup>3</sup>/min por trabajador a una altitud de 3600 m.s.n.m. Además, se deben considerar los costos de construcción de chimeneas, incluyendo adquisición de equipos, transporte, mano de obra y sostenimiento, que resultan viables económicamente para una minería artesanal como la de la mina Pallasca. El diseño de las chimeneas implica modelar su sección, la malla de perforación y voladura, los avances diarios y sistema de sostenimiento, utilizando software como AutoCAD. Esto permitirá mejorar la ventilación en la mina y garantizar un entorno laboral eficiente (Thompson, 2010).

Rozas y Ruiz (2023), en su trabajo de investigación “Mejoramiento de ventilación del nivel 2050 mediante la construcción de una chimenea con equipo Raise Boring Climber en la mina Consuelo” cuyo objetivo de la investigación fue mejorar la ventilación en el nivel 2050 de la mina Consuelo de La Libertad con la



construcción de una chimenea con equipo de Raise Climber. Se analizaron las variables como el caudal de aire, requerimiento de aire, la cantidad de personas que laboran y el número de equipos diésel que ingresan, para poder optimizar las condiciones de trabajo. La metodología implica la propuesta de construcción de la chimenea y el análisis de factores como la deficiente ventilación, costos y adquisición de equipos. Se mejoran la eficiencia, velocidad, sostenimiento y seguridad en la construcción de chimeneas con el equipo Raise Climber. Tras la construcción, se observa un incremento del 9.7% en la cobertura de aire, cumpliendo con la normativa DS-023-2017-EM. Donde concluye que el estudio de la ventilación del nivel 2050, determina un caudal de caudal de aire de 3 078 m<sup>3</sup>/min (170 840 CFM) según la normativa DS-023-2017-EM, con una cobertura del 103.3% previo de la construcción de la chimenea y un aumento al 113,0% después de su construcción, mejorando la concentración de gases tóxicos y manteniendo el nivel de oxígeno adecuado. Se ha efectuado el estudio geomecánico de la zona para la construcción de esta chimenea, identificando rocas regulares tipo III-B y una zona de inestabilidad en la falla San Judas que se reforzó con cimbras metálicas. Se concluye con un análisis económico que muestra un costo total de 447,56 US\$/m para la ejecución de la chimenea con el equipo Raise Climber.

Castillo y Soto (2022) en su trabajo: “Análisis del Sistema de Ventilación y propuesta de mejora para optimizar el caudal de aire de la minera aurífera Retamas S.A. Marsa – 2020”, para mejorar la ventilación, se evaluó las pérdidas de flujo debido a la fricción y los obstáculos. Según las mediciones efectuadas, la entrada de aire fresco al sistema de ventilación llegó a un valor de 571236 CFM, mientras que la salida de aire contaminado es de 693777 CFM. Esto resultó en un desequilibrio del 17,66%, lo que indica una necesidad de aire de 1084936 CFM. Como resultado, se cubre el 64% de las necesidades de aire fresco, y se requieren de manera inmediata 391159 CFM adicionales para cubrir la demanda. La implementación del plan propuesto, que consiste en reemplazar dos ventiladores con un caudal de entrada combinado de 500000 CFM, permitiría alcanzar una cobertura del 102%, satisfaciendo adecuadamente los requisitos de la unidad minera.



### 3.1.3 Antecedentes regionales

Vera (2019): en la tesis "Implementación y simulación de un sistema de ventilación utilizando el software Ventsim visual en la mina San Valentín S.A. - Curahuasi - Apurímac - 2019", el objetivo principal de esta investigación fue mejorar el sistema de ventilación previa evaluación de la distribución del aire en las operaciones mineras en trabajos de medición de campo, donde se mostró las deficiencias en el sistema de ventilación. Se realizó una simulación de los circuitos presentes en las labores existentes instalando un ventilador tipo auxiliar para proporcionar el caudal de aire necesario a las zonas de trabajo. Los resultados indicaron un caudal de aire natural de 4237.760 pies cúbicos por minuto (cfm), que no llega a cumplir los requerimientos necesarios. Según los cálculos efectuados en este trabajo de investigación, es necesario incrementar el caudal a 21000 cfm.

En su trabajo de tesis titulada "Estudio del sistema de ventilación para el control de agentes químicos y físicos, U.O. Pallancata - Veta Pablo - 2018", Llacho y Vargas (2020), se realizó el estudio para evaluar la calidad de aire y cumplir con la normativa establecida para la distribución de flujo de aire en la mina, para eliminar agentes generados por actividades como la voladura y el transporte de mineral. Se recopilaron datos de concentraciones de varios gases y partículas en diferentes niveles de la veta Pablo. Se concluyó que el circuito de ventilación actual no cumple con los requisitos para controlar los agentes mineros, y se propone un cambio en los circuitos del RC 04 Pablo, que lograría una cobertura del 102%. Por otro lado, se concluye indicando: En primer lugar, se observa que los gases nitrosos, oxígeno y dióxido de carbono no representan un peligro significativo, pero se encuentran concentraciones de monóxido de carbono y polvo que exceden los límites establecidos por la normativa en la mayoría de los frentes de trabajo. La temperatura en los frentes de trabajo y las velocidades del aire también presentan deficiencias, con un 30% de puntos de monitoreo por debajo del límite máximo permisible. En segundo lugar, se concluye que el sistema de ventilación existente en 2018 no es eficiente ni efectivo, no se logra eliminar en su totalidad los agente físicos y químicos debido a la presencia de mayor número de equipos, la falta de chimeneas y la alta producción, lo que resulta en la disipación lenta del gas CO y la recirculación de aire viciado en los frentes de trabajo. En tercer lugar, se señala que los controles de agentes químicos y físicos en la veta



Pablo son predominantemente administrativos, ya que muchas labores no logran cumplir con los parámetros requeridos por la normativa vigente. Se detecta una concentración significativa de monóxido de carbono, y se sugiere un enfoque más proactivo utilizando el mapeo de procesos y la tipificación de peligros que puedan presentarse y riesgos como (IPERC) para abordar adecuadamente los problemas dentro de la mina.

### **3.1.4 Aspectos generales de la unidad minera**

#### **3.1.4.1 Descripción de la mina**

La UEA Americana, perteneciente a la empresa Alpayana S.A., es una empresa dedicada a la extracción polimetálica de minerales. La empresa tiene planeado realizar actividades de explotación minera de 5000 TMD, mediante las operaciones mineras subterráneas de un yacimiento que contiene minerales de zinc, plata, cobre y plomo.

Actualmente se requiere continuar con el plan de producción anual, la preparación, desarrollo y exploraciones dentro del periodo 2025, aplicando 2 métodos de explotación para la extracción de mineral, siendo en zona cuerpos el minado por Sublevel Stopping y en zona vetas el minado por Corte y Relleno Ascendente y Sublevel Stopping. Adicionalmente, se tiene la planta de tratamiento con una capacidad instalada de 6000 TMD.

#### **3.1.4.2 Método de explotación**

Como métodos de explotación se tiene:

- Sublevel Stopping.
- Corte y Relleno Ascendente Semimecanizado.
- Corte y Relleno Ascendente Convencional.

#### **3.1.4.3 Método de explotación Sublevel Stopping**

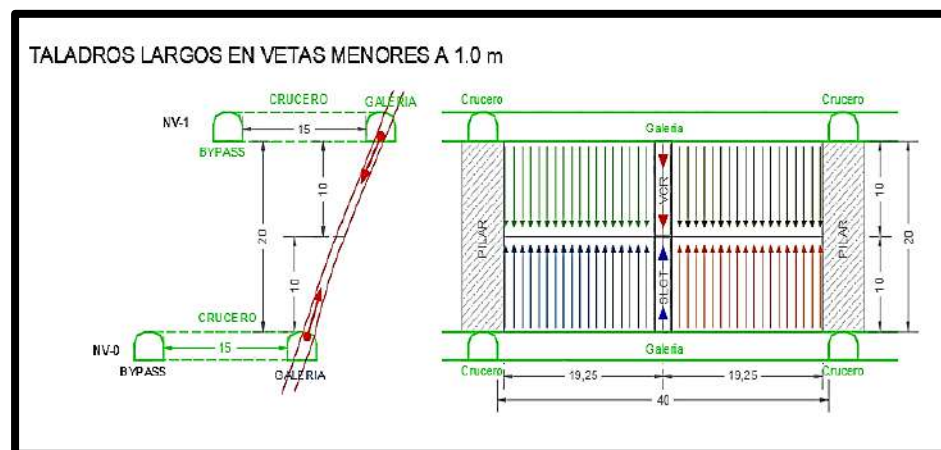
En la unidad minera Alpayana se ha planteado la aplicación del método de explotación de Sublevel Stopping en la zona cuerpos ya que nos permite obtener mayores indicadores de productividad de equipos, mayor cumplimiento de producción y mejora en la seguridad en los procesos.



Para su ejecución se ha considerado la preparación de labores como bypass, galería, crucero y rampas con secciones típicas de 4.50x4.00m y 5.00x4.50m en función a los equipos a usar.

La altura del bloque a minar en los cuerpos Casapalca y Esperanza piso será de 70 metros, en el cual se considera 2 niveles principales y un subnivel intermedio.

El minado comprende el reconocimiento de la estructura mineralizada a través de galerías en niveles principales, posterior a ello se desarrolla el subnivel intermedio con el fin de delimitar la bancada de minado. Para la explotación del tajo se contempla la preparación de bypass alejado a una distancia de 20 m; así mismo se considera ventanas de extracción separadas a 40 metros entre estas, para poder realizar la limpieza de mineral de forma óptima. Además, se considera la preparación de cámaras de acumulación y carguío cada 200 m para hacer uso eficiente de los equipos de acarreo y transporte.



FUENTE: Compañía minera Alpayana S.A. 2023.

**Figura 15 — Esquema de minado sublevel stoping.**

#### 3.1.4.4 Método de corte y relleno para zonas de vetas

En la unidad minera Alpayana, en la zona de vetas, se viene aplicando el método de explotación corte y relleno ascendente semimecanizado y convencional, el cual es altamente selectivo y permite mayor

cumplimiento de producción, mejora en la seguridad del personal al ser un método altamente mecanizable.

Para la variante convencional se considera la preparación de galerías base en los niveles principales, un bypass en el nivel inferior de donde nacerán las chimeneas camino - canal de izaje y ore pass. El bypass servirá como tránsito de equipos tales como locomotoras, equipos de carguío y acarreo, así como el tránsito de personal. La explotación se realiza mediante la perforación con jackleg mediante corte en breasting; siendo la limpieza realizada con scoop eléctrico y/o diésel según la necesidad, el cual se encuentra cautivo en el tajo; posterior a ello se ejecuta una rampa que conectará al ore pass y al camino dándole así circuito de ventilación y accesos.

Para la variante semimecanizada se considera la preparación de accesos como bypass, galería, crucero, rampas con secciones típicas de 4.00x3.50m con la finalidad de pase de equipos de acarreo y transporte.

Para el acceso a los niveles principales se considera bancadas de 57m con la finalidad de obtener la mayor cantidad de cortes con los brazos o rampas basculantes; el acceso a los niveles es mediante una rampa principal que se aleja de la estructura mineralizada una distancia no menor a 50m orientada a la caja piso de la veta.

Se considera la construcción de echaderos principales que nos servirá como ore pass y fill pass, teniendo estos una sección mínima de 1.5x1.5m hacia el nivel inferior. Se considera la ejecución de niveles intermedios, cuya bancada es de 18 m, además se considera la preparación de bypass y rampas basculantes.

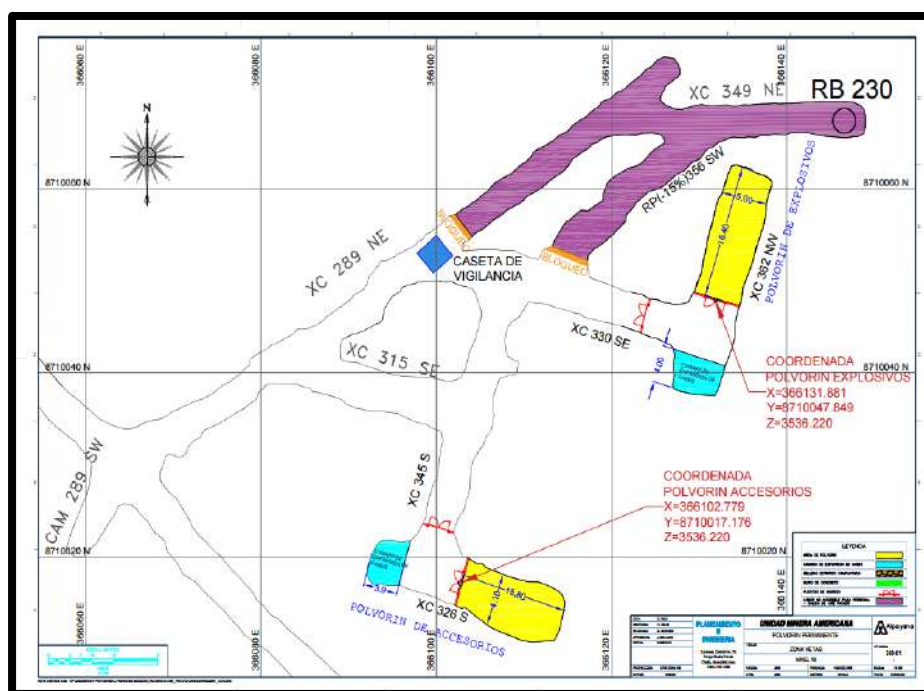
Para el minado de la estructura mineralizada, se realiza la ejecución de rampas basculantes con una pendiente negativa de -15% para generar la mayor cantidad de cortes posibles en el proceso de minado. Las rampas basculantes tendrán una longitud de 50m y un tramo horizontal para cortar la estructura de 3m con la finalidad de aprovechar al máximo la bancada establecida, así como el número de cortes proyectados.



La limpieza del mineral roto es llevada a cabo con los equipos scooptram diésel de 2,5yd3 y 4,1yd3 con la finalidad de generar la menor dilución en las cajas al momento de realizar la extracción de mineral. Culminada la explotación del corte en breasting, se procede a rellenar el tajo mediante el uso de relleno hidráulico para luego proceder a marcar la rasante de batido y continuar con los siguientes cortes.

### 3.1.4.5 Infraestructura minera Polvorín nivel 15

Los polvorines tanto de explosivos como accesorios del nivel 15 se encuentran ubicados políticamente en el paraje Piedra Parada, Distrito Chicla, provincia Huarochirí, departamento y región Lima.



FUENTE: Compañía minera Alpayana S.A. 2023.

**Figura 16 — Esquema en planta de polvorín de explosivos y accesorios nivel 15.**

#### a) Sistema de suministro de energía eléctrica

La empresa ENEL S.A. suministra energía eléctrica con un nivel de tensión de 50 kV y la frecuencia industrial de 60 Hz para las operaciones de Apayana S.A unidad minera Americana, el cual se adquiere desde las barras de la subestación “Antuquito”.



Mediante una red eléctrica aérea de una sola terna con nivel tensión de 50 kV – estructuras de madera tratada, conductor tipo AAAC de 95 mm<sup>2</sup> – se transporta la energía eléctrica hasta la Subestación N°1. La longitud de la línea eléctrica desde la subestación Antuquito hasta la subestación Casapalca es de 3.01 km



FUENTE: Compañía minera Alpayana S.A. 2023.

**Figura 17 —Transformadores de 6/7.5 MVA de sub-estación N°1.**

**b) Taller de mantenimiento**

El taller para equipos trackless proyectado permitirá dar respuestas más rápidas al mantenimiento de los equipos y así el cumplimiento de los objetivos de producción, avances y seguridad. El taller de mantenimiento de equipos se encuentra en la zona de cuerpos y políticamente en el paraje Piedra Parada, distrito Chicla, provincia Huarochirí, departamento y región Lima. El objetivo de esta infraestructura es la de aumentar la disponibilidad y utilización de los equipos, mejorar la gestión logística, reducir los tiempos de los ciclos por actividad y mejorar las condiciones de seguridad de los colaboradores.

**c) Planta shotcrete**

La planta de shotcrete proyectada permitirá garantizar el suministro de concreto para el sostenimiento de las labores subterráneas, de manera eficiente y oportuna, permitiendo mejorar el ciclo de



minado. Esta planta de shotcrete fija se encuentra en la zona de Cuerpos nivel 14, la planta móvil se proyecta en la zona la zona Oroya - Vetas y ambas políticamente ubicadas en el paraje Piedra Parada, distrito Chicla, provincia Huarochirí, departamento y región Lima.

### 3.1.5 Ventilación

La unidad minera Alpayana S.A. tiene un sistema de “Ventilación mecanizada” para forzar el ingreso de aire limpio desde superficie, por la depresión ejercida por los ventiladores extractores principales, logrando así el ingreso de aire fresco de 99,882 CFM, para cubrir la demanda de aire según la proyección en la operación por incremento de equipos sería de 123,262 CFM, en condiciones actuales solo tendría una cobertura de 81 %, siendo afectado en mayor proporción de nivel 21A hasta el nivel 23, ya que corresponde a la zona de profundización. En cuanto a las evaluaciones permanentes de ventilación se identificaron deficiencias de las condiciones termo ambiental en las siguientes zonas:

- **Cuerpos:** Incremento de la temperatura hasta 30 °C y velocidades de aire por debajo de 25 m/min los niveles que comprenden desde el nivel 19A al nivel 23 y recirculación de aire viciado a la rampa principal mínimo.
- **Esperanza:** Proyecto veta Esperanza, se tiene gran expectativa en desarrollar los niveles del 18 al nivel 23. por lo que se tiene que realizar chimeneas para ingreso de aire fresco y escape de los gases.

Lo que amerita realizar un plan de trabajo para mantener la calidad y cantidad de aire dentro de los parámetros que exige el presente reglamento y no poner en riesgo la salud e integridad física de los trabajadores para el cumplimiento del programa anual de exploración, desarrollo y preparación con una producción total de 1 890 000 TM.



## 3.2 Marco teórico

### 3.2.1 Atmósfera de mina

Son las condiciones ambientales dentro de una mina subterránea. Estas condiciones pueden variar significativamente dependiendo del tipo de mina, su ubicación, la profundidad, la cantidad de los equipos utilizados para la operación y los procesos de extracción utilizados. La atmósfera de una mina puede caracterizarse por factores como la temperatura del aire, la calidad del aire, la humedad, la presión y la concentración de gases y partículas de polvo, los ambientes de una mina son de suma importancia para la seguridad y salud de los mineros que trabajan en ella. Por ejemplo, la presencia de gases tóxicos como el gas metano, dióxido de carbono o el monóxido de carbono puede representar un riesgo grave para la salud de los trabajadores. Del mismo modo, la falta de oxígeno o la acumulación de polvo pueden generar condiciones peligrosas. (Hartman, 2002).

### 3.2.2 Aire atmosférico

Para Ahrens (2018) "El aire atmosférico es la mezcla gaseosa que compone la atmósfera terrestre, extendiéndose desde la superficie de la tierra hasta aproximadamente 100 kilómetros de altitud". Esta mezcla gaseosa está compuesta principalmente por nitrógeno y oxígeno, con pequeñas cantidades de otros gases como argón, dióxido de carbono y vapor de agua, entre otros. 78% y 21% en volumen, respectivamente.

### 3.2.3 Aire de mina

El aire de mina, es el aire que ingresa a las labores, cuya composición y calidad están influenciadas por diversos factores como la geología del yacimiento, la ventilación y las actividades mineras. La calidad del aire de la mina es crucial para la seguridad y salud de los trabajadores, ya que puede contener gases peligrosos, por ejemplo, el metano, dióxido de carbono y el monóxido de carbono, así como partículas de polvo en suspensión, que representan peligros para la salud humana y seguridad de los mineros (Hartman, 2002).



### 3.2.4 Propiedades físicas del aire

#### 3.2.4.1 Densidad del aire

La densidad del aire es una medida de la masa de aire por unidad de volumen. Se refiere a la cantidad de materia de aire que está presente en un determinado espacio. La densidad del aire puede variar según la altitud, la presión atmosférica y la temperatura. Generalmente se expresa en kilogramos por metro cúbico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) o en gramos por centímetro cúbico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) (Claverias, 2014).

$$\rho = \frac{M}{V}; \text{ kg}/\text{m}^3$$

Donde:

- P: Densidad del aire ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).
- M: Masa (kg).
- V: Volumen ( $\text{m}^3$ ).

#### 3.2.4.2 Peso específico

El peso específico del aire es el peso por una unidad de volumen de una sustancia. Para el aire, el peso específico se calcula multiplicando con la aceleración ejercida por la gravedad. En términos matemáticos, el peso específico ( $\gamma$ ) se puede expresar como  $\gamma = \rho * g$ , donde  $\rho$  representa la densidad del aire y  $g$  indica la aceleración de la gravedad' (Zikmund, 2010).

$$\gamma = \rho * g; \text{ Kg}/\text{m}^3$$

#### 3.2.4.3 Volumen específico

Se refiere al volumen ( $v$ ) en metros cúbicos ocupado por 1 kilogramo de aire a una determinada presión y temperatura (Claverias, 2014).

$$v = \frac{1}{\gamma}; \text{ m}^3/\text{kg}$$

#### 3.2.4.4 Presión

La presión de mina es un concepto que se utiliza en el ámbito de la minería y se refiere a la fuerza ejercida por la roca circundante sobre las



excavaciones subterráneas. Esta presión es influenciada por diversos factores como la profundidad de la excavación, el tipo de roca, la geometría de la excavación, entre otros (Claverias, 2014).

#### **3.2.4.5 Temperatura**

La temperatura de mina se refiere a la temperatura ambiente dentro de una mina subterránea. Esta temperatura puede variar dependiendo de muchos factores, uno de ellos es la profundidad de las labores, el tipo de roca circundante, la actividad minera, la ventilación y la ubicación geográfica. La temperatura de la mina es un factor importante a considerar en la seguridad y el bienestar de los trabajadores, así como en el diseño y la operación de la infraestructura de la mina (Vera, 2019).

#### **3.2.4.6 Humedad del aire**

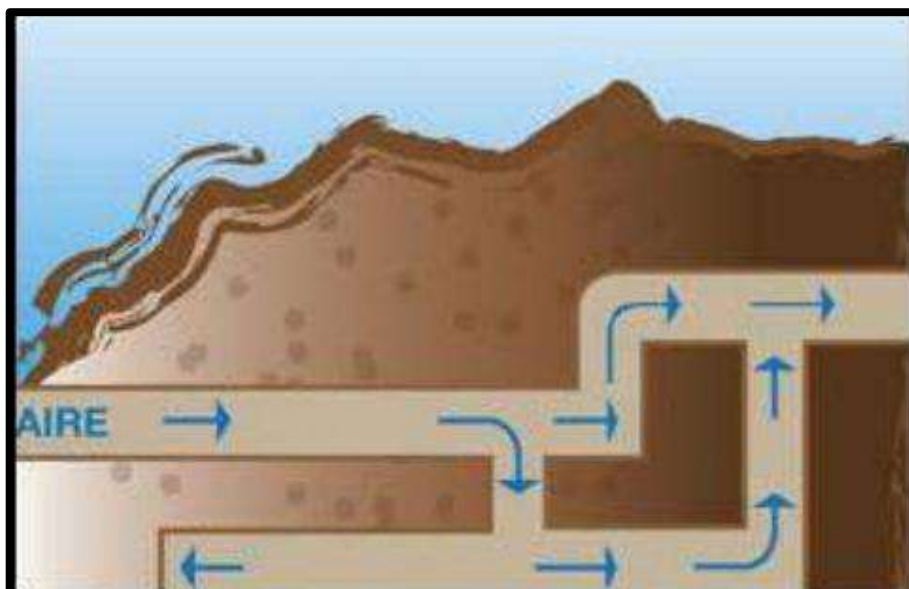
La humedad del aire se define como la cantidad de vapor de agua presente en el aire en comparación con la capacidad máxima de vapor de agua que el aire puede albergar a una temperatura y presión dada. Se suele expresar como un porcentaje, llamado humedad relativa, que representa la proporción de vapor de agua actual en el aire en comparación con la cantidad máxima que el aire podría contener a esa temperatura (Claverias, 2014).

### **3.2.5 Métodos de ventilación de minas**

#### **3.2.5.1 Ventilación natural**

Llamado también tiro natural, donde aire ingresa en forma natural sin acción de ningún equipo mecánico, se produce por varios factores; Diferencia de altitudes, diferencia de presiones entre la entrada y salida del aire, por la diferencia de temperatura y la diferencia de presiones, estos factores influyen en la ventilación natural (Novitzk 1962).



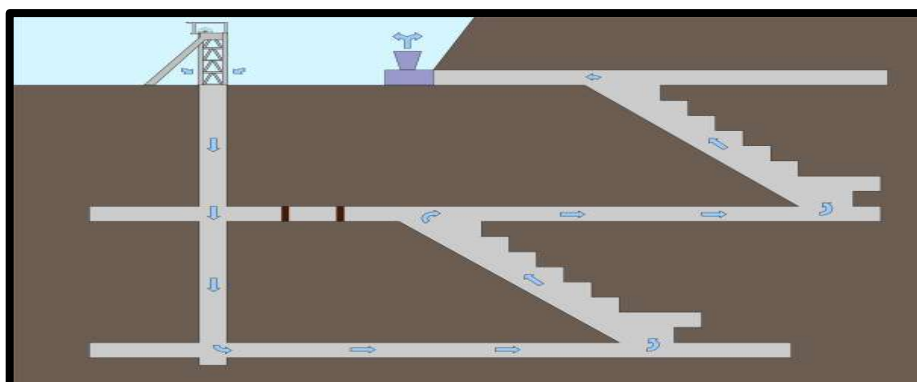


FUENTE: Claverias, 2014.

**Figura 18 — Sistema de ventilación natural.**

### 3.2.5.2 Ventilación mecánica

La ventilación mecánica es un sistema de circulación del aire controlado y gestionado mediante equipos mecánicos, como ventiladores y conductos, utilizado en entornos subterráneos, como minas, túneles y espacios confinados. Su propósito principal es proporcionar aire fresco, diluir gases nocivos, controlar la temperatura y eliminar contaminantes para mantener un ambiente seguro y saludable para los trabajadores. Este sistema puede ser fundamental para prevenir la acumulación de gases tóxicos, reducir el riesgo de explosiones y mejorar las condiciones de trabajo en ambientes subterráneos (Novitzk, 1962).



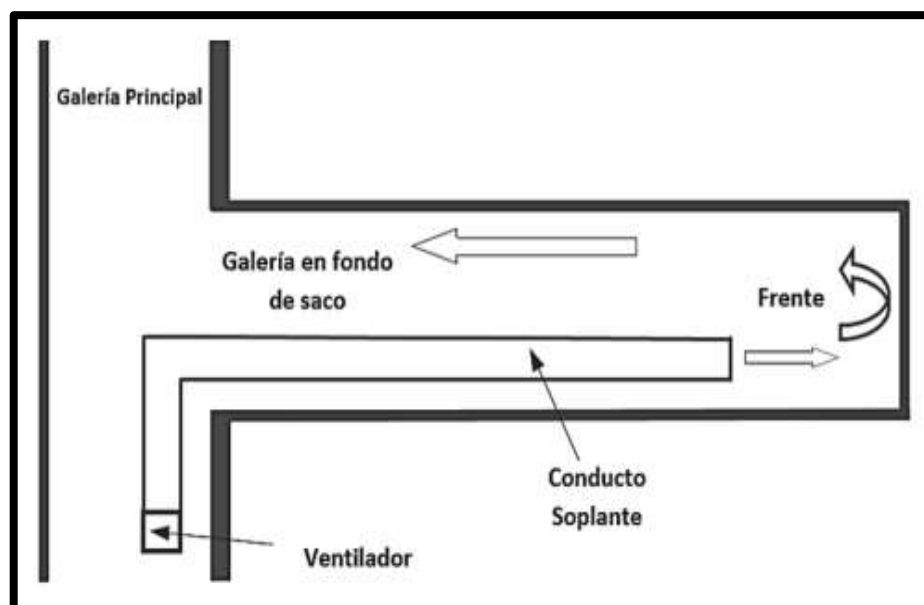
FUENTE: Claverias, 2014.

**Figura 19 — Ventilación mecánica.**

### 3.2.6 Sistema de ventilación

#### 3.2.6.1 Sistema de ventilación tipo impelente

El flujo de aire en la excavación se logra mediante un conducto de ventilación que se impulsa con ventiladores, dirigiéndolo hacia la parte superior. Este método permite que el aire contaminado se desplace a lo largo de la galería, siendo ampliamente utilizado en la gran parte de minas con labores subterráneos. Además, el sistema de ventilación favorece la utilización de mangas flexibles sin refuerzos, los cuales presentan una superficie lisa en su interior. Estos ductos son más económicos y fáciles de manejar, y también ofrecen poca resistencia al flujo de aire circulante (Raico, 2019).

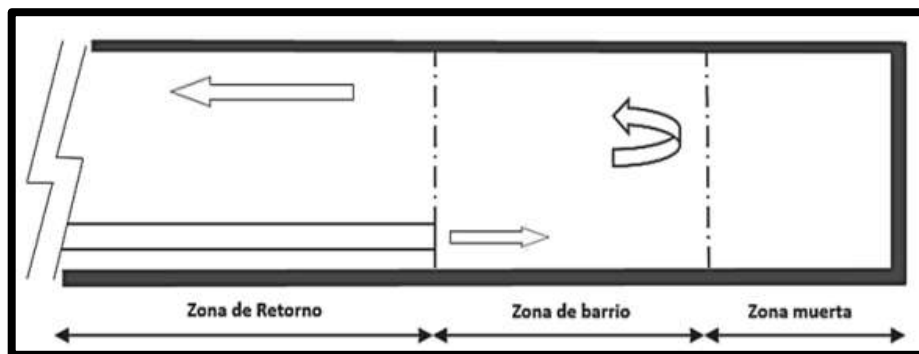


FUENTE: Raico, 2019.

**Figura 20 — Sistema de ventilación impelente.**

Cuando la corriente de aire fresco y limpio entra en unión con los gases generados en el frente de explotación de los trabajos se genera una mezcla turbulenta que dispersa la formación de gas en las zonas altas de los frentes de trabajo (Raico, 2019).



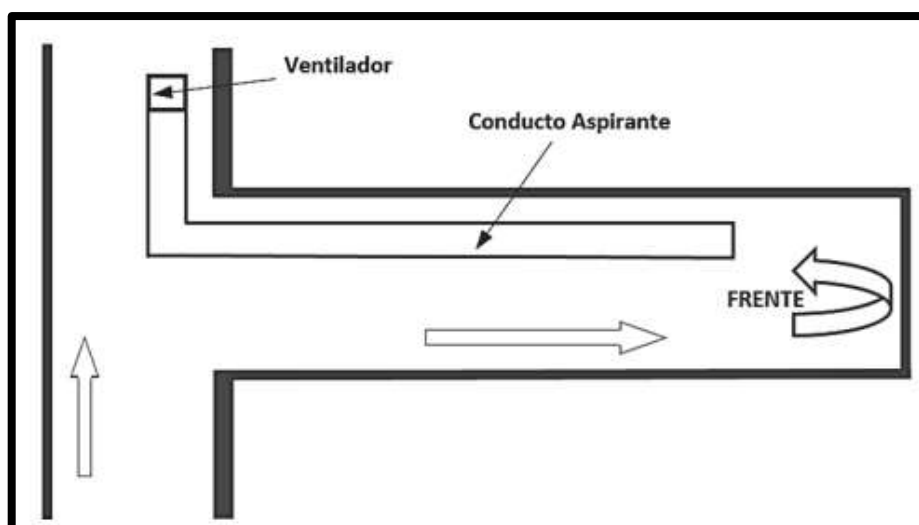


FUENTE: Raico, 2019.

**Figura 21 — Zonas del sistema de ventilación impelente.**

### 3.2.6.2 Sistema de ventilación aspirante

El sistema de ventilación aspirante en minería es un método utilizado para registrar la calidad del aire en ambientes subterráneos, como galerías o túneles en minería. Este sistema funciona mediante la generación de corriente de flujo de aire que se mueve desde la parte inferior hacia la parte superior de la excavación. Esto se logra mediante la instalación de conductos de ventilación conectados a ventiladores que extraen el aire viciado y lo expulsan al exterior, generando así una presión negativa que aspira el aire fresco desde el ingreso a la mina hacia el interior (Raico, 2019).



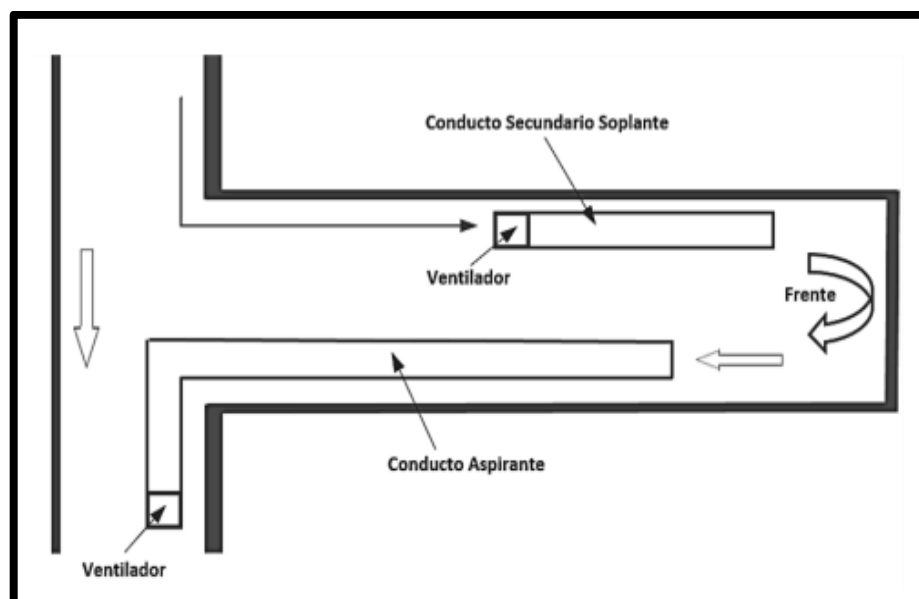
FUENTE: Raico, 2019.

**Figura 22 — Sistema de ventilación aspirante.**



### 3.2.6.3 Sistema impelente con apoyo aspirante

Este enfoque emplea un ventilador adicional ubicado frente a la zona de trabajo, junto con un tramo de conducto más corto. Su propósito principal es fusionar las ventajas de cada sistema de ventilación para alcanzar el máximo efecto en circunstancias específicas. En este sistema, se utiliza una línea principal de impulso con una disposición de superposición aspirante. Su función principal generalmente consiste en capturar y eliminar el polvo generado en el frente de trabajo, lo que contribuye a mantener una mejor calidad del aire en la zona. Este sistema superpuesto capitaliza las características positivas de ambos sistemas de ventilación, mejorando así la eficacia de la ventilación en situaciones particulares (Raico, 2019).



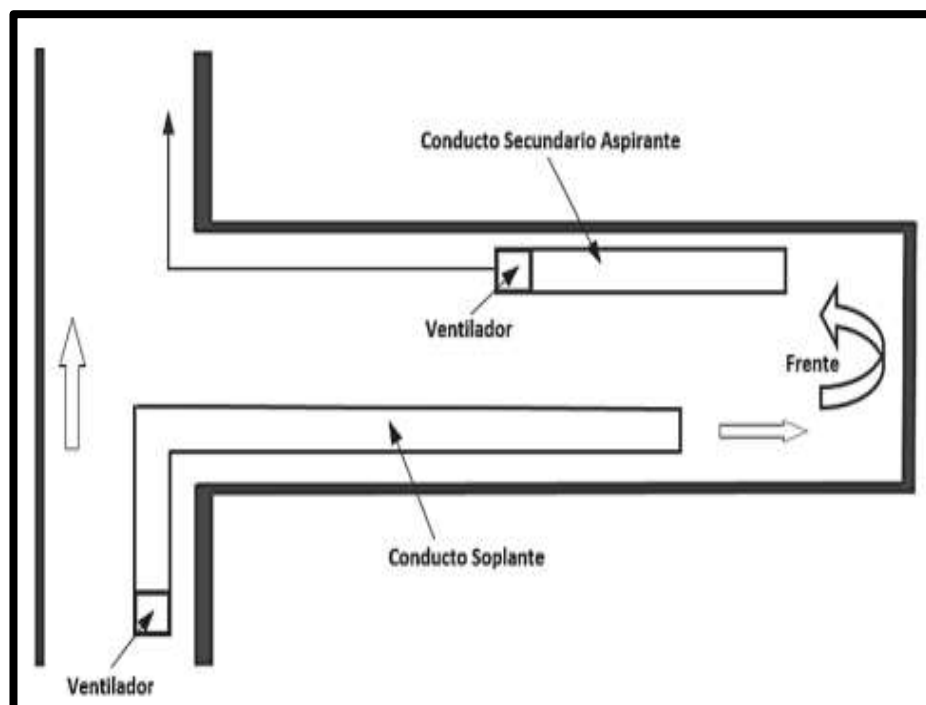
FUENTE: Raico, 2019.

**Figura 23 — Sistema de ventilación mixta o combinado.**

### 3.2.6.4 Sistema aspirante con apoyo impelente

El sistema principal de extracción de aire elimina el aire contaminado utilizando conductos de ventilación sólidos, lo que permite la entrada de aire fresco. Por otro lado, el ventilador auxiliar de refuerzo, que opera con un impulsor, se encarga de extraer el aire contaminado y dirigirlo hacia el frente de trabajo. Esta configuración asegura una limpieza eficiente y previene la formación de áreas sin movimiento de aire (Raico, 2019).





FUENTE: Raico, 2019.

**Figura 24 — Sistema aspirante con apoyo impelente.**

### 3.2.7 Ventiladores

#### 3.2.7.1 Ventilador centrífugo

Los ventiladores centrífugos constan de un rotor contenido dentro la carcasa que cubre la cubierta en forma espiral. El aire ingresa a través del centro del rotor, paralelo al eje del ventilador, es succionado por el rotor y luego arrojado contra la carcasa, siendo expulsado por la salida en un ángulo perpendicular al eje del ventilador. Estos ventiladores pueden tener una sola entrada o entrada doble y se caracterizan por su flujo radial. La dirección del flujo sigue al eje rotor de la entrada y es perpendicular al mismo en la salida (Zitrón, 2010).

Los ventiladores centrífugos Zitrón son dispositivos diseñados para aplicaciones industriales, especialmente en entornos mineros, túneles y plantas de tratamiento de aire. Sus principales características son:

#### a) Diseño robusto y duradero

- Fabricados con materiales de alta calidad para resistir entornos hostiles y garantizar una larga vida útil.

- Estructura resistente a la corrosión y al desgaste, adecuada para condiciones exigentes como minas y túneles.

**b) Alta eficiencia**

- Diseñados para ofrecer alta eficiencia en el movimiento de aire, logrando un balance óptimo entre presión y caudal de aire.
- Reducen el consumo energético gracias a un diseño aerodinámico y eficiente.

**c) Versatilidad**

- Pueden ser utilizados para diferentes aplicaciones industriales, incluyendo ventilación forzada y extracción.
- Disponibles en varios modelos y configuraciones para adaptarse a las necesidades específicas de cada proyecto.

**d) Bajo nivel de ruido**

- Equipados con sistemas de reducción de ruido, lo que los hace adecuados para entornos donde el control acústico es importante.
- Ofrecen un funcionamiento más silencioso en comparación con otros tipos de ventiladores industriales.

**e) Mantenimiento sencillo**

- Diseño que facilita las labores de mantenimiento, reduciendo el tiempo de inactividad y los costos asociados.
- Acceso sencillo a componentes críticos para su inspección y reparación.

**f) Alta capacidad de caudal y presión**

- Capaces de mover grandes volúmenes de aire y generar altas presiones, adaptándose a las demandas de ventilación de espacios extensos.



- Diseñados para mantener un rendimiento constante incluso bajo condiciones variables de operación.

**g) Seguridad y confiabilidad**

- Cumplen con normativas de seguridad industrial, incluyendo resistencia a explosiones y ambientes potencialmente peligrosos.
- Certificaciones que garantizan su fiabilidad y cumplimiento de estándares internacionales.



FUENTE: Zitrón, 2010.

**Figura 25 — Ventilador centrífugo.**

**3.2.7.2 Ventilador axial**

El ventilador axial tiene un diseño aerodinámico y se compone principalmente de un rotor alojado dentro de una carcasa cilíndrica. Cuando se agregan álabes que sirven como guías detrás del rotor, este asume la función de un ventilador axial con aletas guía. Este tipo de ventilador puede operar en una amplia gama de volúmenes de aire y presiones estáticas, desde bajas hasta moderadamente altas, y puede generar presiones estáticas más altas que un ventilador centrífugo, al mismo tiempo es más seguro y eficiente. Los álabes guía, ubicados en la entrada, y en la salida o pueden ser en ambas, se han complementado para ordenar el flujo de aire fuera de la unidad y también para brindar soporte en el diseño (Zitrón, 2010).

Los ventiladores axiales Zittrón están diseñados para ofrecer soluciones de ventilación en entornos industriales, especialmente en aplicaciones de minería, túneles y sistemas de ventilación forzada. A continuación, se presentan sus principales características:

**a) Diseño robusto y eficiente**

- Fabricados con materiales duraderos que garantizan resistencia y fiabilidad en entornos hostiles, como minas y túneles.
- Estructura diseñada para soportar condiciones extremas, incluyendo alta humedad, polvo y temperaturas elevadas.

**b) Alto rendimiento y eficiencia energética**

- Capaces de mover grandes volúmenes de aire a alta velocidad con bajo consumo de energía, gracias a su diseño aerodinámico y optimizado.
- Ofrecen una alta eficiencia en la relación caudal-presión, ideal para aplicaciones que requieren ventilación continua.

**c) Versatilidad y adaptabilidad**

- Disponibles en diferentes tamaños, configuraciones y versiones para adaptarse a diversas necesidades de ventilación.
- Pueden instalarse en configuraciones en serie o en paralelo para aumentar el caudal o la presión según los requerimientos específicos del proyecto.

**d) Funcionamiento silencioso**

- Diseñados para reducir los niveles de ruido durante su operación, gracias a palas y componentes optimizados aerodinámicamente.
- Equipados con silenciadores opcionales que permiten un funcionamiento más silencioso, ideal para entornos sensibles al ruido.



**e) Fácil mantenimiento**

- Diseño modular que facilita el acceso a los componentes internos, reduciendo el tiempo y los costos de mantenimiento.
- Los ventiladores pueden desmontarse parcialmente para inspección y limpieza, lo que asegura un mantenimiento sencillo y eficiente.

**f) Alto caudal de aire y presión estable**

- Capaces de generar un flujo de aire constante y homogéneo a lo largo de extensas distancias, proporcionando una ventilación efectiva en túneles y minas.
- Mantienen una presión estable incluso en aplicaciones que requieren la extracción o el suministro de aire a grandes distancias.

**g) Seguridad y certificaciones**

- Diseñados para operar de manera segura en entornos peligrosos, incluyendo áreas con riesgo de explosión.
- Cumplen con los estándares internacionales de seguridad y calidad, asegurando una operación fiable y segura.



FUENTE: Zitrón, 2010.

**Figura 26 — Ventilador axial.**

### **3.2.8 Normas legales que sustentan el estudio**

#### **3.2.8.1 Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional**

Este Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional Minera, fue aprobada con el DS-024-2016-EM y su modificatoria DS-026-2017-EM. El responsable de la operación minera debe garantizar un suministro adecuado de aire fresco a las áreas de trabajo, adaptado a las necesidades de los trabajadores y equipos, con el fin de suprimir los gases, polvo y humos que puedan ser perjudiciales para la salud de los empleados, y para mantener condiciones ambientales confortables en términos térmicos.

Cualquier sistema de ventilación utilizado en la actividad minera debe cumplir con los estándares de calidad del aire establecidos en los límites de exposición ocupacional para agentes químicos, según lo especificado en el anexo N° 15 y en el Reglamento que menciona sobre los valores de límite permisibles para agentes químicos para ambiente de trabajo, admitido por el Decreto Supremo N° 015-2005-SA.

#### **3.2.8.2 Consideraciones de seguridad y salud ocupacional**

Según Raico, (2019) indican que los principalmente gases generados por las voladuras. Estos gases pueden representar riesgos significativos para la salud de los trabajadores si no se gestionan adecuadamente.

Es importante implementar sistemas de ventilación efectivos para eliminar los gases y el polvo de las áreas de trabajo, proporcionar un suministro adecuado de aire limpio para mantener condiciones seguras y saludables para los trabajadores subterráneos.

Además, se deben seguir estrictamente los procedimientos de seguridad y utilizar equipos de protección personal apropiados para minimizar y reducir para exponerse a estos gases y proteger la salud del personal que labora en las minas.



Tabla 4 — Gases presentes en actividades mineras.

Compuesto	Fórmula	Densidad relativa	Observaciones
Monóxido de carbono	CO	0,97	Gas, inodoro incoloro e insípido, se ubica en las partes elevadas de la labor
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	1,53	Se trata de un gas que no tiene color y tiene un ligero sabor ácido. Su ubicación se encuentra en la parte media y hacia abajo del laboratorio.
Gases nitrosos	NO <sub>2</sub> y NO	1,78	Este gas, cuando se encuentra en concentraciones bajas, carece de color, pero adquiere un tono pardo rojizo en concentraciones altas. También tiene propiedades irritantes. Se localiza principalmente en las áreas inferiores del laboratorio.
Gases sulfurosos	SO <sub>2</sub>	2	Este gas, que no tiene color, es sofocante y tiene un olor desagradable a huevos podridos. Es irritante y se encuentra en menor cantidad. Está asociado principalmente a los cargadores de baterías.

FUENTE: Raico, 2019.

### 3.2.8.3 Calidad de aire

La calidad del aire en la minería subterránea está relacionada con el contenido de oxígeno, este elemento es de suma importancia debido a la presencia de diversos contaminantes que pueden afectar la salud de los trabajadores, se requiere conservar las cantidades de gases dentro de los límites máximos permitidos LMP (Raico, 2019).

Tabla 5 — Límites de exposición ocupacional para agentes químicos.

Límites de Exposición Ocupacional				
Nº	Agentes Químicos (en el aire)	TWA	STEL	Techo (C)
1	Anhidrido sulfuroso (SO <sub>2</sub> )	2	5	Ppm
2	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	5000	30000	Ppm
3	Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	3	5	Ppm
4	Monóxido de carbono (CO)	25	400	Ppm
5	Oxígeno (O <sub>2</sub> )	19.5	22.5	%

FUENTE: Raico, 2019.

### 3.2.9 Requerimiento de aire

Con el fin de establecer la cantidad adecuada de ventilación para una mina o una sección específica dentro de ella, ya sea un tajo, una chimenea o un frente de trabajo, se lleva a cabo un cálculo que considera diversas necesidades y parámetros predefinidos. Estas necesidades de ventilación se determinan en función del número de personas presentes, la potencia en caballos de fuerza (HP) de los equipos diésel en operación, el consumo de explosivos y el método de explotación empleado (Vera, 2019).

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Donde:

- $Q_T$  = Sumatoria de caudal total para la operación.
- $Q_1$  = Caudal requerido por el número de personas.
- $Q_2$  = Caudal requerido por los equipos diésel.
- $Q_3$  = Caudal requerido por consumo de madera.

#### 3.2.9.1 Caudal requerido por el número de trabajadores

Para poder satisfacer las necesidades de aire con respecto para el consumo del personal es proporcionar 6 m<sup>3</sup>/min a más de 4000 m.s.n.m. por cada persona, debido a la corrección por altura (Ver tabla 6).

**Tabla 6 — Cantidad de aire mínimo requerido por persona.**

Nivel del mar (m.s.n.m)	Variación (%)	Volumen (m <sup>3</sup> /min)
0-1500	--	3
1500- 3000	+ (40%)	4
3000 - 4000	+ (70%)	5
4000 - mas	+ (100%)	6

FUENTE: Decreto Supremo N° 055-2010-EM, 2010.

$$Q_1 = q * n$$

Dónde:

- $Q_1$  = Cantidad de aire necesario para el personal (m<sup>3</sup>/min).
- $Q$  = Cantidad de aire mínimo por persona (m<sup>3</sup>/min).
- $N$  = Número de personas presentes en la mina por guardia.

### 3.2.9.2 Caudal requerido por los motores diésel

Cuando se utiliza equipo diésel, la cantidad de aire presente no será menor de 3 m<sup>3</sup>/min por cada HP que desarrollen los equipos. (Según Decreto Supremo N° 055-2010-EM, 2010).

$$Q_2 = K * N$$

Donde:

- Q<sub>2</sub>= Cantidad de aire para uso de equipos diésel (m<sup>3</sup>/min).
- K= Cantidad de aire necesario por cada HP (m<sup>3</sup>/min).
- N= Número total de HP de los equipos que trabajan en la mina.

### 3.2.9.3 Caudal de aire para niveles con temperaturas > a 24°C

$$Q_3 = V * n_i * A$$

Donde:

- Q<sub>3</sub>= Cantidad de aire para niveles con temperaturas elevadas (m<sup>3</sup>/min).
- V=Velocidad Mínima de aire RSSOM de 30 m/min.
- N<sub>i</sub>= Número de niveles de la mina en trabajo.
- A= Área promedio de la sección de labores niveles en trabajo (m<sup>2</sup>).

### 3.2.9.4 Caudal de aire para consumo de madera

$$Q_4 = T * U$$

Donde:

- Q<sub>4</sub>= Cantidad de aire para niveles con temperatura elevadas (m<sup>3</sup>/min).
- T= Producción TMH/gdia.
- U= Factor de producción (D.S 023 EM 2017).

## 3.2.10 Definición sobre ventilación de minas

### 3.2.10.1 Ventilación de minas

La ventilación de minas reside en administrar flujo de aire en cantidad y calidad adecuada y controlar el flujo de aire de manera eficiente, ya sea utilizando métodos naturales o sistemas mecánicos, con el objetivo de lograr una circulación óptima y segura (Vera, 2019).



### **3.2.10.2 Volumen de aire**

Es la cantidad de aire que circula a través en una sección o una labor minera, generalmente se mide en pies cúbicos por minuto. (Raico, 2019).

### **3.2.10.3 Velocidad del aire**

La velocidad de flujo de aire se describe a la velocidad a la cual el aire se mueve a través de un conducto, una tubería o un espacio determinado. Se expresa típicamente en unidades de longitud por unidad de tiempo, como metros por segundo (m/s) o pies por minuto (ft/min). En el contexto de la ventilación en una mina u otro entorno industrial, la velocidad de flujo de aire es una medida crucial para asegurar una adecuada circulación y renovación del aire, lo que contribuye a mantener condiciones de trabajo seguras y saludables para el personal, así como para controlar la concentración de contaminantes y gases peligrosos. La velocidad de flujo de aire puede variar dependiendo de factores como el diseño del sistema de ventilación, la potencia de los ventiladores utilizados y las características específicas del entorno (Andia, 2019).

### **3.2.10.4 Área de la sección**

Este término se emplea para describir la sección transversal del conducto de ventilación o cualquier otra apertura por la cual el aire entra al sistema de ventilación de la mina. Es fundamental calcular con precisión esta área para poder determinar el flujo de aire y garantizar una circulación y distribución adecuadas del aire dentro de la mina (Raico, 2019).

### **3.2.10.5 Presión estática**

La presión estática es un parámetro importante a considerar en el diseño y operación del sistema de ventilación, ya que afecta la distribución del aire dentro de la mina y puede influir en la seguridad y el confort de los trabajadores, así como en la eficiencia de la ventilación para controlar la concentración de gases y polvo (Yucas, 2015).

### **3.2.10.6 Presión dinámica**

La presión dinámica es un aspecto esencial en el diseño y operación del sistema de ventilación, ya que influye en la distribución del aire y en la



capacidad de transportar contaminantes, polvo y gases peligrosos fuera de la zona de trabajo. Un control adecuado de la presión dinámica es crucial para garantizar una ventilación eficiente y segura en la mina, así como para mantener unas condiciones de trabajo saludables para el personal (Yucas, 2015).

### 3.2.10.7 Presión total

La presión total se obtiene al sumar las presiones estática y dinámica de forma algebraica. Representa la energía total que ingresa un flujo de aire al sistema de ventilación y se mide en unidades de presión, como pascales (Pa) o pulgadas de agua (pulg.H<sub>2</sub>O) (Raico, 2019).

### 3.2.11 Leyes de Kirchhoff

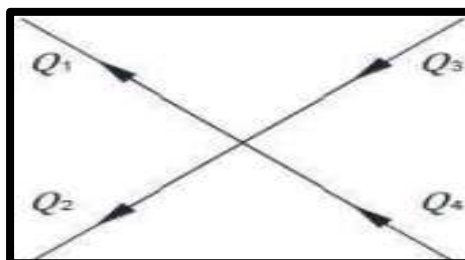
Las leyes propuestas por Kirchhoff (1824 - 1887) son aplicados para formular las leyes de Kirchhoff, inicialmente aplicados a circuitos eléctricos y hoy en día se aplica también a las redes subterráneas de flujos de aire (Andia, 2019).

#### 3.2.11.1 Primera ley de Kirchhoff (ley de continuidad)

Primera ley de Kirchhoff, conocida como ley de Continuidad o ley de Nodos, indica que la sumatoria algebraica de los flujos de aire que entran y salen de un nodo, en un circuito cerrado es igual a cero (Claverias, 2014).

$$Q = 0$$

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4$$



FUENTE: Claverias, 2014.

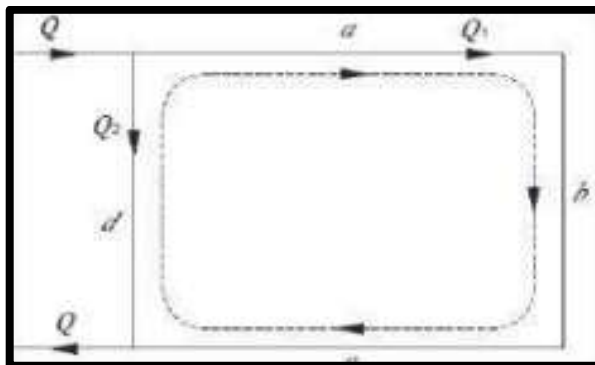
Figura 27 — Primera ley de Kirchhoff.

#### 3.2.11.2 Segunda ley de Kirchhoff (ley de circulación)

Segunda ley de Kirchhoff, llamado la ley de circulación o ley de mallas, establece la suma algebraica de caídas de presión en un circuito cerrado



es igual a la suma algebraica de caídas de presión suministrados en ese circuito cerrado (Claverias, 2014).



FUENTE: Claverias, 2014.

**Figura 28 — Segunda ley de Kirchhoff.**

### 3.2.12 Circuitos de ventilación

Se clasifica en dos tipos de flujo de aire: el flujo en serie, donde el aire circula a través de galerías alineadas, y el flujo en paralelo, el aire se desplaza a través de galerías ramificadas que posteriormente se unen para formar una red (Andia, 2019).

#### 3.2.12.1 Circuito en serie

Para Claverias, (2014), este circuito en serie cumple con la siguiente relación: El volumen de aire que ingresa a las labores es igual al volumen de aire que sale de ella a lo largo de todo el circuito.

$$QT = Q1 = Q2 = Q3 = Q4 = \dots$$

La resistencia total se calcula como la sumatoria de las pérdidas o resistencias de cada ramal por la que fluye el aire, de acuerdo con la siguiente fórmula:

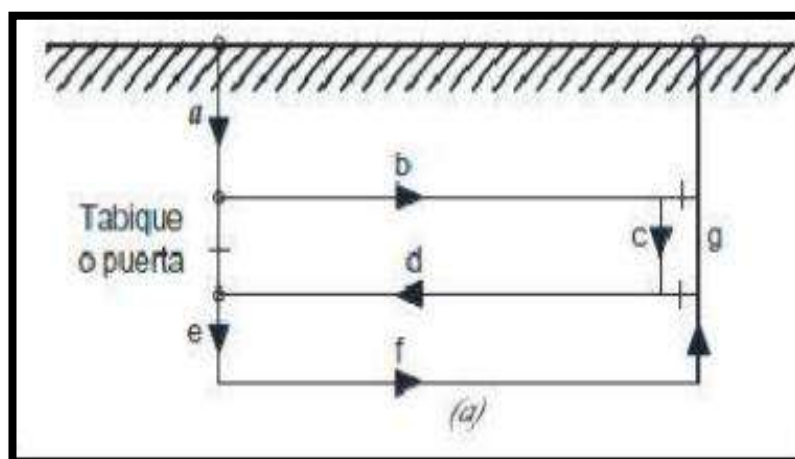
$$PT = P1 + P2 + P3 + P4$$

Donde los valores de (PT) y el volumen Qt del flujo que circula es igual a:

$$\begin{aligned} PT &= RQ^2 \\ PT &= RQ^2 = R1Q1^2 + R2Q2^2 + R3Q3^2 + R4Q4^2 \\ &= Q^2(R1 + R2 + R3 + R4 + \dots) \end{aligned}$$

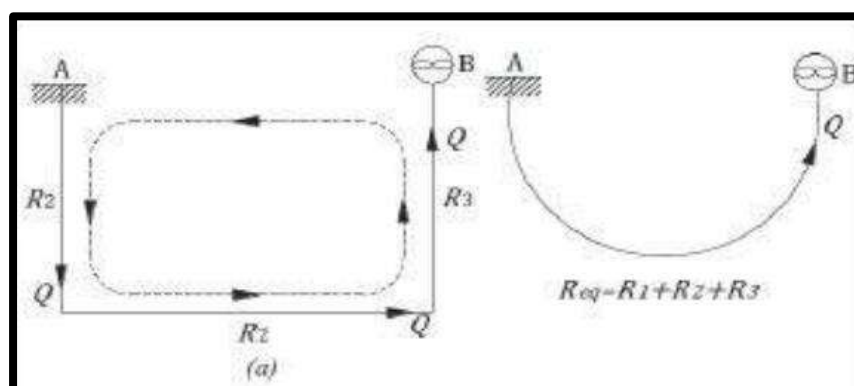
Por otra parte, cuando los volúmenes son iguales se puede escribir como:

$$RT = R1 + R2 + R3 + R4 + \dots$$



FUENTE: Claverias, 2014.

**Figura 29 — Circuito en serie.**



FUENTE: Claverias, 2014.

**Figura 30 — Circuito cerrado en serie.**

### 3.2.12.2 Circuitos en paralelo

En la ventilación de minas, los circuitos paralelos se utilizan para distribuir el flujo de aire en forma racional a través de las diferentes galerías y áreas de trabajo subterráneas. En este tipo de configuración, el aire se divide en múltiples corrientes que recorren caminos separados, lo que permite una distribución más uniforme del aire fresco y la extracción de aire viciado (Claverias, 2014).

$$QT = Q1 + Q2 + Q3 + Q4 + \dots$$

Las pérdidas de resistencias son igual a través de cualquier ramal o conducto:

$$PT = P1 + P2 + P3 + P4 + \dots$$



Por otro lado, sabemos que  $P = RQ^2$ ; P se halla conociendo R:

$$QT = \sqrt{\frac{P1}{R1}} + \sqrt{\frac{P2}{R2}} + \sqrt{\frac{P3}{R3}} + \sqrt{\frac{P4}{R4}}$$

Pero como:

$$PT = P1 = P2 = P3 = P4 = \dots$$

Tendremos que:

$$\frac{1}{\sqrt{R}} = \frac{1}{\sqrt{R1}} + \frac{1}{\sqrt{R2}} + \frac{1}{\sqrt{R3}} + \frac{1}{\sqrt{R4}} + \dots$$

Muestra que cada resistencia equivalente (R) es a la inversa, está relacionada con las características que presenta una galería o ducto de los que deseamos determinar sus resistencias. Estas resistencias se calculan utilizando valores obtenidos en la toma de datos de campo (Claverias, 2014).



FUENTE: Claverias, 2014.

**Figura 31 — Circuito en paralelo.**

### 3.2.13 Ley básica de ventilación de minas

De acuerdo con los principios del flujo de aire, el desplazamiento de aire entre dos puntos está determinado por la existencia de una diferencia de presión (Claverias, 2014).

$$P = RQ^2$$

- P = Pérdidas de presión (Pa).
- R = Resistencias ( $\text{Ns}^2/\text{m}^8$ ).
- Q = Flujos del volumen ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

### 3.2.14 Pérdidas de presión

Las pérdidas de presión pueden ocurrir en varias etapas del proceso de ventilación y transporte de aire. Algunas de las principales causas de pérdida de presión son: reducción del área, cambios de dirección, por fricción con las paredes de la labor y otros factores.

$$P = Pf + Px$$

Donde:

- P = Pérdidas de presión.
- Pf = Pérdidas por la fricción.
- Px = Pérdidas por el choque.

#### 3.2.14.1 Pérdidas de la presión por fricción

En el ámbito de la ventilación en minas, la mayor parte de la pérdida de presión se debe a la fricción y se manifiesta entre 70% - 90% de la presión total del sistema. Por consiguiente, resulta de gran utilidad determinar con exactitud estos coeficientes en forma adecuada (Vera, 2019).

$$Hf = \frac{KPLQ^2}{A^3}$$

Dónde:

- Hf = Pérdida de presión por fricción (Pa).
- P = Perímetro (m).
- L = Longitud (m).
- A = Área (m<sup>2</sup>).
- K = Factor de fricción corregida (Ns<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>).
- Q = Flujo de cantidad (m<sup>3</sup>/s).

#### 3.2.14.2 Perdidas de la presión por choque

La pérdida de presión por choque en la ventilación de minas ocurre cuando el flujo de aire se encuentra con una obstrucción o cambio abrupto en la geometría del conducto, lo que provoca una disminución repentina en la presión del aire. Este fenómeno puede ocurrir en diferentes situaciones como cambios de dirección, entrada y salida de aire, reducción del área, entre otros (Vera, 2019).



$$H_x = \frac{KPLeQ^2}{A^3}$$

Dónde:

- $H_x$  = Pérdida de presión por choque (Pa).
- $P$  = Perímetro (m).
- $Le$  = Longitud equivalente (m), se obtiene de tablas.
- $A$  = Área ( $m^2$ ).
- $K$  = Factor de fricción corregida ( $Ns^2/m^4$ ).
- $Q$  = Flujo de cantidad ( $m^3/s$ ).

### 3.2.15 Fórmula de Atkinson

En 1850, el ingeniero de minas inglés John Atkinson desarrolló una fórmula que establece la relación entre la resistencia que ofrecen los ductos y ciertas características del conducto de ventilación o mangas. Donde, uno de los conductos posee mayor que el otro, pero todos los demás factores permanecen constantes, el aire fluirá con mayor facilidad a través del conducto de mayor diámetro, lo que resultará en una menor resistencia ( $R$ ).

Esta fórmula de Atkinson engloba varios factores, como la fricción generada por el flujo de aire en los conductos, sección transversal que poseen, la longitud del recorrido del aire y el caudal de aire. Además, la densidad del aire de mina también influye en el flujo.

Finalmente, si un conducto tiene paredes lisas y otro tiene paredes ásperas, pero todos los demás factores son iguales, esta resistencia será inferior en el conducto con superficies lisas debido a que este factor de fricción, en muchos casos depende de la presentación de la superficie del ducto de ventilación.

La fórmula de Atkinson aborda estos factores y proporciona una expresión matemática para calcular la resistencia en un sistema de ventilación (Vera, 2019).

$$P = \frac{KCLQ^2}{A^3} * \frac{w}{1.2}$$

$$P = \frac{KCLV^2}{A} * \frac{w}{1.2}$$



Donde:

- P = Pérdida de presión (Pa).
- K = Factor de fricción (Ns<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>).
- L = Longitud (m) A = área (m<sup>2</sup>).
- C = Perímetro (m).
- Q = Flujo de cantidad (m<sup>3</sup>/s).
- W = Densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>).
- V = Velocidad (m/s).

### 3.2.16 Factor de fricción (K)

Los valores de K se obtienen mediante tablas, estos se realizaron determinados a partir de mediciones realizadas en diversas galerías, teniendo en cuenta diferentes tipos de rocas y sinuosidades. Obtener estos valores directamente en las galerías puede resultar un proceso laborioso, por lo que se recurre a utilizar una tabla previamente elaborada, así mismo se hace una corrección a la densidad del aire de mina y el estándar (Claverias, 2014).

$$K_{\text{corregido}} = k \left( \frac{W}{1.2} \right)$$

- K = Factor de fricción se obtiene por tablas (Ns<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>).
- W = Densidad del aire de mina (Kg/m<sup>3</sup>).

**Tabla 7 — Valores del coeficiente de fricción K**

Descripción del conducto	K* 10 <sup>-10</sup> , lb min <sup>2</sup> /p <sup>4</sup>
Galería con revestimiento de concreto	24
Galería sin revestimiento	38
Galerías con arcos metálicos	32
Galerías con marcos de madera	48
Pozos con revestimiento de concreto	35
Pozos sin revestimiento con mallas de alambre sostenidos con pernos de anclaje	60
Ductos flexibles (mangas)	15
Pozos que poseen marcos guidores	120
Galerías que presentan correas de transporte	75
Ductos flexibles con espiral	30
Ductos metálicos	20
FUENTE: Mcpherson, 1993.	

### 3.2.17 Software Ventsim

Ventsim es un software comercializado por HOWDEN que permite la simulación de ventilación en minas subterráneas. Este programa, desarrollado por Craig Stewart en 1993 (Howden, 2018), facilita la creación de redes de ventilación simuladas.

La herramienta cuenta con una interfaz intuitiva y es capaz de crear modelos 3D complejos. También permite trabajar con sistemas métricos e imperiales y facilita la implementación de bases de datos para el análisis de escenarios.

Ventsim ofrece varias funcionalidades, entre las cuales se incluyen:

- Simulación y registro de caudales y caídas de presión en una labor minera.
- Análisis financiero.
- Planificación a corto y largo plazo de los requerimientos de aire.
- Análisis económico de diferentes opciones de ventilación.
- Simulación de concentraciones de contaminantes.
- Simulación de diferentes flujos de aire.
- Detección de posibles recirculaciones de aire viciado en la mina.
- Simulaciones dinámicas en función del tiempo.
- Construcción de modelos con hasta 30,000 conductos de ventilación.
- Capacidad de almacenar hasta 1,000 tipos de ventiladores diferentes.

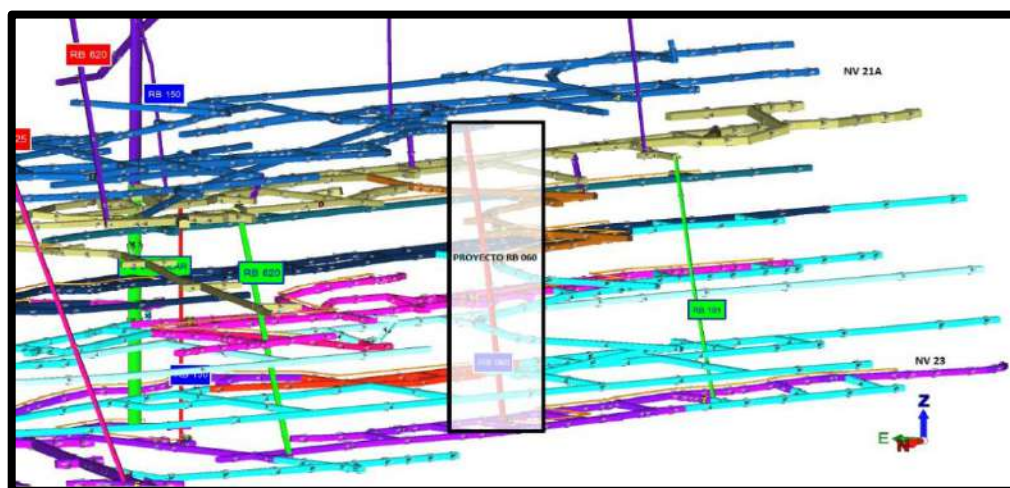


Figura 32 — Visualización en el software Ventsim el RB 060.

### 3.2.18 Composición de aire atmosférico

El aire atmosférico en su estado natural y puro posee los siguientes componentes:

**Tabla 8 — Composición del aire seco**

Composición	% en volumen	% en peso
Nitrógeno	78.09	75.53
Oxígeno	20.95	23.14
Anhídrido carbónico	0.03	0.046
Argón y otros gases	0.93	1.284
FUENTE: Tejeda y Mucha ,2022.		

#### 3.2.18.1 Nitrógeno (Dióxido de nitrógeno)

El gas inerte, que es incoloro, inodoro e insípido, tiene una densidad menor que la del aire. Su combinación con una pequeña cantidad de oxígeno puede causar asfixia en los seres humanos.

Se origina a partir de la liberación de gases provenientes de estratos de las rocas en algunas minas, también debido a la inhalación de oxígeno durante procesos de combustión de los equipos diésel, por la detonación de explosivos u otras actividades. Cuando los gases más ligeros que son menos que el aire están presentes en las galerías en partes elevadas, generalmente están compuestos principalmente de nitrógeno.

Cuando este gas se combina con el oxígeno en proporciones cercanas al 78% de nitrógeno y al 21% de oxígeno, como en la composición del aire atmosférico, tiende a diluir el oxígeno disponible. Si el porcentaje de nitrógeno supera el 88%, puede resultar letal por asfixia.

Las características de este gas:

- La fórmula que posee: NO<sub>2</sub> ó N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> .
- Peso específico: 1.54
- El límite permisible: 2.4 ppm – 4.8 mg/m<sup>3</sup>.

- Generalmente no presenta riesgo para generar incendios, se hace inflamable con la combinación de oxígeno puro.

### 3.2.18.2 Hidrógeno sulfurado

Sus componentes:

- Su fórmula que posee:  $H_2S$  Peso específico: 1.19
- Los límites de explosivo: 4.3 a 45 %
- El límite permisible: De 8 ppm – 11.2 mg/m<sup>3</sup>

### 3.2.18.3 Oxígeno

En condiciones normales de temperatura y presión el oxígeno ( $O_2$ ), es un gas incoloro, insípido e inodoro es fundamental para la vida.

Características:

- Fórmula:  $O_2$  peso específico: 1.11
- Límite permisible: 19.5 %

### 3.2.18.4 Anhídrido carbónico

El Anhídrido carbónico es un gas sin olor ni color, posee un sabor a ácido, su densidad es aproximadamente más denso que el aire. Aunque es soluble en agua, no se le considera un gas inerte debido a su capacidad de estimular a la respiración, lo que lo hace fisiológicamente activo, aunque no altamente tóxico. Esta propiedad de estimulación respiratoria se aprovecha en algunos dispositivos para la respiración artificial.

Incluso en pequeñas cantidades, como un 0,5% en el aire normal, el dióxido de carbono puede causar un ligero aumento en la ventilación pulmonar; las personas expuestas a esta cantidad pueden respirar más profundamente y un poco más rápido que en un entorno de aire puro. Cuando su concentración alcanza al 2% en el aire, la ventilación pulmonar puede aumentar en aproximadamente un 50%; si la concentración llega al 5%, el aumento en la ventilación pulmonar puede ser de hasta un 300%, lo que resulta en una respiración fatigosa.



Este elemento químico se genera frecuentemente en minas subterráneas durante la descomposición de cartones y maderas, por la alteración de rocas carbonatadas debido a las aguas ácidas, por el uso de explosivos y la combustión interna. En áreas con ventilación deficiente, estas concentraciones pueden ser muy peligrosas debido a su densidad que poseen, tiende a acumularse en las áreas más bajas de las minas.

Características:

- La fórmula: CO<sub>2</sub>; Peso específico: 1.976
- El límite permisible: 0.5 %

### 3.2.19 Efectos fisiológicos de los gases presentes en mina

#### 3.2.19.1 Efecto fisiológico monóxido de carbono (CO)

**Tabla 9 — Efectos fisiológicos (CO).**

Ppm	Efectos fisiológicos
40	Concentración máxima permisible de 8 horas de exposición.
200	Jaqueca después de ½ hora de exposición (leve intoxicación).
400-500	Peligro para la vida después de 2 horas.
800-1000	Muerte después de 2 horas.
1500-2000	Fatal de 1 hora de exposición.

FUENTE: Tomado de Tejada Mucha, 2022.

La energía completa de un fluido en movimiento consta de cinco componentes: energía estática, energía cinética, energía potencial, energía interna y calor (Tejada y Mucha, 2022).

#### 3.2.19.2 Efecto fisiológico del dióxido de azufre (H<sub>2</sub>S)

**Tabla 10 — Efectos fisiológicos (H<sub>2</sub>S).**

Ppm	Efectos fisiológicos
8	Concentración máxima permisible 8 horas
50 -100	Intoxicación subaguda.
200 -300	Fuerte irritación del sistema respiratorio, conjuntivitis después de 1 hora.
700	Se produce paro respiratorio y muerte.
1000 -2000	Intoxicación grave.

FUENTE: Tejada y Mucha, 2022.

### 3.2.19.3 Efecto fisiológico del dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

**Tabla 11 — Efectos fisiológicos (NO<sub>2</sub>).**

Ppm	Efectos fisiológicos
2.4	Concentración máxima permisible a 8 hr.
60	Se irrita la garganta.
100	Poca concentración produce la tos.
150	Peligroso, a exposiciones cortas.
200 - 700	Fatal en exposiciones muy cortas.

FUENTE: Tejada y Mucha, 2022.

### 3.2.19.1 Método Raise Boring

La técnica de perforación Raise Boring es la creación de un primer agujero piloto desde la superficie hacia las labores mineras. En la parte inferior de este agujero, se coloca un dispositivo llamado escariador, el cual se encarga de cortar la roca hasta alcanzar el diámetro deseado, utilizando como guía el agujero piloto. Este proceso se lleva a cabo mediante una unidad de potencia electro-hidráulica, que incluye un motor eléctrico para activar las bombas hidráulicas. Estas bombas proporcionan el flujo necesario para obtener el torque requerido en la rotación y la presión adecuada en el proceso de escariado. La operación se controla desde una consola remota acoplada a la unidad de potencia a la máquina Raise Boring mediante manguera hidráulica y cables eléctricos de 30 pies de longitud (Boring, 2013).

#### a) Componentes del equipo de perforación Raise Boring

Para el presente trabajo se tomará como referencia el equipo Robbins 43 RAC de la marca Atlas Copco, este equipo debe ser utilizado en el desarrollo de los trabajos para el proyecto en esta investigación. Estos equipos Raise Boring, constan de componente como: Torre de perforación, la unidad hidráulica, poseen unidad eléctrica, estación de control de mando y un sistema de lubricación.



FUENTE: Tumi Raise Boring, 2013.

**Figura 33 — Equipo Robbins 43 RAC de la marca Atlas Copco.**

#### **b) Características del equipo**

El Robbins 43 RAC es una perforadora Raise Boring diseñada por Atlas Copco para la construcción de chimeneas y túneles verticales en minería y otras aplicaciones subterráneas. Aquí están algunas de sus características destacadas:

- Diámetro de perforación: Permite perforar chimeneas de entre 1.0 a 4.3 metros de diámetro.

- Capacidad de profundidad: Puede perforar profundidades de hasta 600 metros, dependiendo de las condiciones del terreno y el diámetro de la perforación.
- Capacidad de empuje y tiro: Tiene una capacidad de empuje de hasta 1,100 kN (kiloNewton) y una capacidad de tiro de hasta 1,100 kN.
- Perforación ascendente: El equipo utiliza la técnica de "Raise Boring" para perforar hacia arriba, lo que permite un método más seguro y controlado en comparación con técnicas tradicionales.
- Rotación de cabeza: Cuenta con un sistema de rotación eficiente para cortar el terreno de manera precisa y rápida.
- Velocidad ajustable: La velocidad de rotación y el empuje se pueden ajustar para adaptarse a diferentes tipos de terreno.
- Diseño compacto y modular: Fácil montaje y desmontaje: Su diseño modular facilita el transporte e instalación, permitiendo que el equipo se ajuste a distintos espacios subterráneos.
- Tecnología y automatización: Sistema de control automatizado: Incluye controles electrónicos que permiten monitorear y ajustar parámetros clave como la presión de empuje, la velocidad de rotación y la posición de la perforadora.

### c) Componentes del equipo -Torre de perforación

Se trata del componente esencial del sistema Raise Boring, encargado de proporcionar tanto la rotación como el empuje necesario para llevar a cabo el proceso de perforación, que incluye las fases de piloteo y rimado. Este mecanismo se encarga de desplazar la columna de perforación mediante pistones, y está



compuesto por varios elementos, que incluyen la placa base, la estructura principal (mainframe), la estructura de cabeza (headframe), cilindros hidráulicos, columnas tensoras, cabezal de perforación (crosshead), cabezal de accionamiento (drivehead), motor principal, y caja de transmisión (gearbox). (Tejada y Mucha, 2022).

- **Pack hidráulico:** Se encarga de proveer la energía hidráulica necesaria para operar los cilindros hidráulicos, utilizando una configuración que incluye una unidad de energía hidráulica, así como una red de válvulas y mangueras que dirigen el flujo de aceite bajo presión para generar movimiento. Los packs hidráulicos se diseñan de acuerdo al tipo y tamaño del equipo Raise Boring. Por lo general, están instalados en una plataforma que conecta un depósito de aceite hidráulico e incluyen componentes como motor, bombas, válvulas, electroválvulas, filtros, manómetros y sistema de refrigeración (Boring, 2013).
- **Pack eléctrico:** La unidad eléctrica comprende tanto la fuente de alimentación como todos los cables de control, encargándose de la distribución de energía y del circuito para el sistema completo de perforación. Debido a las fluctuaciones en los suministros eléctricos en el lugar y las disparidades en los sistemas de accionamiento del motor principal y las opciones del motor de la máquina, el diseño del sistema eléctrico puede variar según las máquinas de Raise Boring.

No obstante, estos sistemas generalmente incluyen elementos como: un arrancador suave, arrancador para la unidad de lubricación, interruptores termomagnéticos de control, contactores y relés auxiliares del sistema de control, una regleta de bornes, contador de horas analógico, indicador de procesos o limitador de torque, voltímetro analógico de 0 a 500V AC, interruptor termomagnético de 400 A, contactores de vacío, relé



térmico, interruptor termomagnético de 250 A, contactores tripolares, relé térmico y transformador monofásico de 5KVA, así como un ventilador de 220V (Boring, 2013).

- **Estación de control:** Es una cabina de control que alberga los controles de mando y dispositivos de lectura requeridos para supervisar y dirigir el sistema de operación de los equipos Raise Boring. Desde este panel de control se gestionan los componentes hidráulicos (de avance, de rotación y empuje) los componentes eléctricos (del voltaje y los amperajes) del equipo de perforación Raise Boring.

### 3.3 Marco conceptual

- Ventilación de minas:** La ventilación en minas es proporcionar aire fresco limpio con el fin de garantizar condiciones saludables y térmicas óptimas tanto para las personas que trabaja en actividades subterráneas como para el funcionamiento de diferentes equipos e instalaciones en el subsuelo (Sernageomin, 2015).
- Gases de mina:** Los gases presentes en labores subterráneas son aquellos que se encuentran bajo tierra, ya sea como resultado de la actividad minera o de los estratos geológicos. Entre los gases más comunes en este entorno se incluyen el metano, dióxido de carbono, monóxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, y otros generados por la descomposición de minerales. La concentración y variedad de estos gases varían según el tipo de mineral extraído, la geología local y las condiciones específicas de la mina. Es esencial gestionar adecuadamente estos gases para asegurar la seguridad y salud de los trabajadores en entornos mineros subterráneos (Vera, 2019).
- Polvo de mina:** El polvo presente en las minas consiste en partículas sólidas finamente divididas en diferentes tamaños, están en movimiento (suben – bajan) debido a su composición y tamaño, pueden representar un riesgo para la salud del personal y la seguridad de la operación, especialmente en términos de visibilidad en entornos subterráneos.



- d) **Flujo de aire:** Es el movimiento del aire dentro de las galerías y áreas de una mina subterránea. Este flujo es esencial para garantizar la seguridad y el bienestar de los trabajadores, así como para mantener las condiciones ambientales adecuadas para la operación minera. Se tiene dos flujos de aire en forma laminar, cuando el aire fluye con una velocidad constante, y cuando el flujo circula en forma distorsionada, existe recirculación.
- e) **Velocidad de aire:** La velocidad del flujo de aire en las operaciones mineras se refiere a la rapidez con la que el aire circula a través de los conductos, galerías y otras áreas subterráneas de una mina. Esta medida es esencial para evaluar la efectividad de la ventilación y asegurar condiciones de trabajo seguras y saludables para los trabajadores. Un adecuado flujo de aire contribuye a mantener niveles óptimos de oxígeno, eliminar contaminantes como gases peligrosos o polvo, controlar la temperatura y la humedad dentro del entorno subterráneo. Además, una velocidad de flujo suficientemente alta puede disminuir el riesgo de acumulación de gases inflamables y mejorar la dispersión de contaminantes, lo que ayuda a prevenir accidentes y enfermedades relacionadas con la exposición a condiciones ambientales desfavorables en la minería subterránea (Andia, 2019).
- f) **Aire viciado o de retorno:** El término "aire viciado" o "aire de retorno" se refiere a la atmósfera de aire en lugares subterráneos como minas, túneles o espacios confinados donde la ventilación es limitada o inexistente. Este aire puede estar contaminado por diferentes gases, como dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, entre otros, así como partículas de polvo y otros contaminantes. La falta de oxígeno y la presencia de gases tóxicos hacen que este aire sea peligroso para la salud humana y puede resultar en asfixia, intoxicación o explosiones. Por lo tanto, es crucial implementar sistemas de ventilación adecuados y medidas de seguridad para garantizar condiciones de trabajo seguras en estos entornos (Vera, 2019).



**g) El método de perforación Raise Boring:** La técnica de perforación de los equipos Raise Boring es ampliamente empleado en sectores como la minería, las industrias, la construcción y otras actividades. Su desarrollo se remonta desde la época de los 50 en los Estados Unidos. Este método se aplica para crear aberturas verticales o inclinadas en el terreno, que pueden destinarse a funciones como ductos de ventilación, en transporte de minerales, de personal. Para llevar a cabo esta técnica, es necesario conectar al menos dos niveles, ya que implica inicialmente la perforación de un piloto que establece la conexión entre estos niveles, utilizando una broca tricono. Luego desde parte inferior se ensancha la abertura mediante la colocación de una cabeza rimadora/escariadora. Estos niveles pueden ubicarse tanto en el subsuelo como en la superficie, siendo el nivel superior el que se encuentra en la superficie en muchos casos (Boring, 2013).



## CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

### 4.1 Tipo y nivel de investigación

La presente investigación fue de **enfoque cuantitativo**, porque necesita la recolección de datos de campo fundamentados en la medición de las variables, además se tiene la necesidad de realizar un análisis de datos a partir de métodos estadísticos y emitir conclusiones derivadas de datos con estándares de validez y confiabilidad (Hernández et al., 2014).

El tipo de investigación fue **aplicativo**, debido a que buscó dar una solución a un problema de ventilación deficiente aplicando conocimientos teóricos y prácticos, el trabajo consistió en la implementación de una chimenea con la finalidad de mejorar el sistema de ventilación de las labores para mejorar el rendimiento de los trabajadores en esta unidad de producción minera Alpayana S.A.

El nivel de investigación tuvo un **alcance correlacional**, debido a que busca asociar las variables de la investigación, permitiendo crear predicciones y poder cuantificarlas (Hernandez et al., 2014).

### 4.2 Diseño de la investigación

Esta investigación realizada se enfocó en aplicaciones prácticas y se llevó a cabo en el campo de la ingeniería de minas, aprovechando los conocimientos adquiridos en esta disciplina, específicamente abordando temas de ventilación en proyectos mineros subterráneos. En términos de diseño, sigue un **enfoque preexperimental** que implica un pretest y un postest, donde se administra un estímulo o tratamiento a un grupo y se realizan mediciones posteriores para evaluar el cambio en el nivel del grupo. Sin embargo, es importante destacar que este tipo de estudio presenta un grado limitado de control y validez interna, y utiliza un diseño de investigación de un solo grupo, sin elementos comparativos. A pesar de estas limitaciones, este tipo de investigación sirve como una primera aproximación a la realidad y también puede funcionar como una prueba piloto, a su vez se



ha realizado varios trabajos en este aspecto, los resultados han demostrado muchas bondades.

### **4.3 Población y muestra**

La población “es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación” (Arias, 2006).

#### **4.3.1 Población**

La población para este trabajo de investigación estuvo constituida por la unidad minera americana de la Compañía minera Alpayana S.A.

#### **4.3.2 Muestra**

La muestra está determinada y constituida por las labores de producción, preparación y desarrollo del nivel 23, para este trabajo de investigación las muestras se determinaron de acuerdo al criterio profesional donde se realizó la medición de flujo de aire en la mina.

### **4.4 Procedimiento**

El proceso de diagnóstico se efectuará en las labores del sistema de ventilación implica la observación directa del comportamiento del aire dentro de una mina o estructura subterránea. Una vez identificados los problemas, se recurre a la dinámica de fluidos y otros métodos de modelado matemático para concebir una solución efectiva. Este diseño se lleva a cabo mediante programas especializados como Autocad, CIVIL 3D y otros programas relacionados con ventilación de minas que permiten la creación de modelos tridimensionales y la simulación del flujo de aire con la implementación de una chimenea Raise Boring.

Luego de la fase de diseño, se procede a la instalación del equipo de ventilador inyector, que comprende mangas extractoras de aire y otros componentes necesarios para regular el flujo de aire. Es crucial destacar que este proceso demanda mano de obra especializada y calificada para garantizar una instalación correcta y eficiente.

Posteriormente, se efectúan monitoreo de velocidad de aire, ingresos y salidas de aire y mediciones de gases para evaluar la calidad del aire antes de la implementación y después



de la implementación de y otros dispositivos de ventilación. En estas mediciones se enfocan en la detección de gases como CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>, así mismo se deberá medir la temperatura del ambiente y las velocidades de flujos de aire antes y después los cuales indican la presencia de contaminantes en el entorno. Los resultados obtenidos permiten evaluar la eficacia de las soluciones propuestas y realizar ajustes si es necesario, con el fin de asegurar un ambiente seguro y saludable tanto para los trabajadores como para el medio ambiente.



**Figura 34 — Inicio de la implementación del RB 060.**

Previamente se ha realizado un diagnóstico del sistema de ventilación del nivel 23 para el proyecto de un RB 060 en la zona de veta Esperanza, donde existe deficiencia en el sistema de ventilación, los flujos de aire, tienen temperaturas elevadas, las velocidades de aire están por debajo de las normas estipuladas en el reglamento, en ese sentido se debe diseñar un sistema de ventilación para la implementación de un RB que permitirá cubrir la demanda de aire en la mina en el corto, mediano y largo plazo. Adicionalmente, durante enero del 2024 se ha realizado nuevamente la actualización y calibración del modelo de simulación con el fin de actualizar la propuesta general del sistema.

Como se ha evidenciado se muestran que los ventiladores principales de extracción operan fuera de su curva característica (ajustada a rotación), lo que imposibilita realizar una correcta proyección del funcionamiento en el largo plazo. Es recomendable realizar un análisis exhaustivo de estos ventiladores para determinar el estado de estos.

Se han cuantificado las principales fuentes de aporte calórico al aire, esto con el fin de incorporarlas a la planificación de la ventilación. Sin perjuicio de lo anterior, dada la falta de datos geológicos y geotérmicos, algunas de las variables requeridas para el análisis fueron estimadas según datos homólogos disponibles.

Para el proyecto RB 060 previo al inicio de la ejecución se realiza la simulación en el software Ventsim sobre el sistema de ventilación instalando un ventilador impelente al pie del RB y haciendo la reubicación del ventilador que inyecta al sub nivel 035 llegando a una conclusión de mejora. para ello se proyecta que el Rb 060 tendrá una longitud de 136.90 metros, con una inclinación de 85° y un diámetro de 1.50 m que tendrá un costo de 936 U\$\$/m, con un costo total de 128,138.4 U\$\$, para este trabajo se analizará el sistema de ventilación actual de la mina, definiendo así las principales falencias de este y posibilidades de mejora, actualizando y calibrando el modelo de simulación en el proceso, proponiendo alternativas de ventilación y definiendo dentro de estas cuál de ellas se adapta mejor en el mediano y largo plazo para asegurar el cumplimiento del requerimiento de aire.

Es importante recalcar que los costos en este estudio son respecto a las nuevas labores principales y nuevos ventiladores principales y secundarios propuestos, por lo que no se consideran dentro del cálculo los desarrollos auxiliares, ventiladores auxiliares, bloqueos, puertas de ventilación, u otros elementos que puedan requerirse para ejecutar el plan propuesto. Así mismo, se ha realizado el aforo de entrada y salida de aire con una cobertura del 81% lo cual implica un déficit de aire para la operación.

Para este proyecto se ha tomado como referencia los planos de mina y los planos isométrico de ventilación proporcionados por la Empresa, para el diseño existen programas de simulación como el AutoCAD 2018, el Vuma 3D, el Ventsim, entre otros los cuales nos permite simular con diferentes caudales de aire para realizar el planeamiento de distribución del aire dentro las labores subterráneas debe ser diseñado con criterio de ingeniería, teniendo como base un plano general de la mina de dicho nivel 23, y un plano isométrico del sistema de ventilación, con los cálculos realizados por el personal competente y con los valores obtenidos de las mediciones realizadas, con el fin de verificar el estado de la ventilación de la mina.

Se analizó información proporcionada por los servicios ambientales locales, a fin de obtener los parámetros característicos del aire en superficie para la caracterización del modelo Ventsim y el ajuste de las curvas de operación de ventiladores principales, obteniendo los





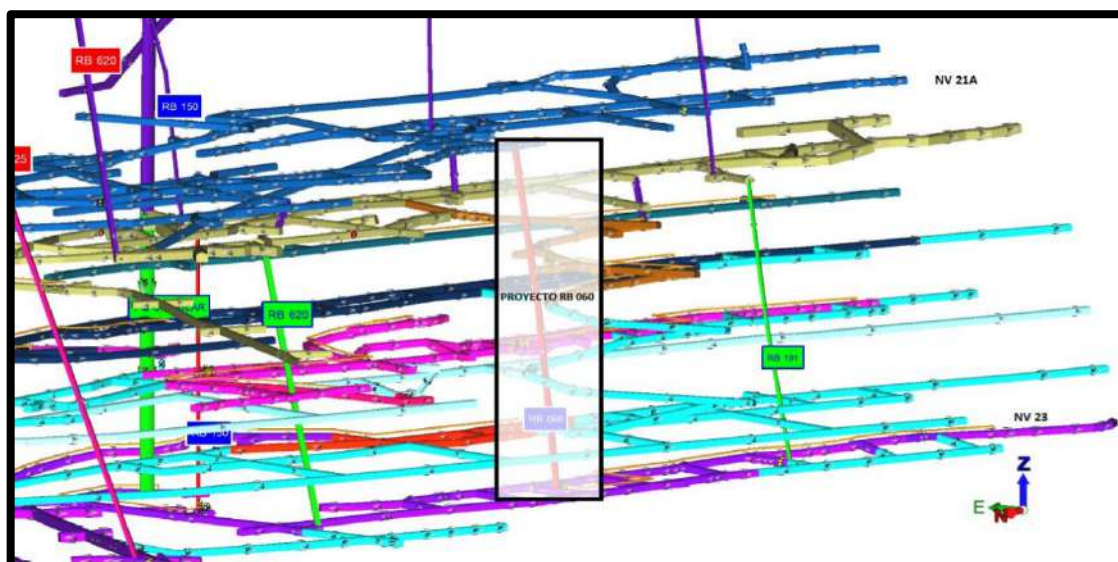
equipos diésel. para mantener el circuito de ventilación independiente de manera que no afecte las demás zonas de operación y mantener la calidad de aire dentro de los parámetros del LMP los Gases y las condiciones Termo – Ambientales.

Aumentar las velocidades de aire en las labores con la ejecución de la chimenea (Raise Boring) del nivel 21A al nivel 23 e instalación de ventilador impelente nos permitirá reducir el tiempo de ventilación y dar mayor productividad en la operación.



**Figura 36 — Equipo Raise Boring para la ejecución proyecto RB 060.**

Para la simulación del sistema de ventilación del nivel 23, luego de realizar un modelamiento en el AutoCAD, se debe exportar el archivo en formato DXF o DWG para importar al programa Ventsim para la simulación del sistema de flujo de aire.



**Figura 37 — Visualización en programa Ventsim las labores y el proyecto RB 060.**

Actualmente, el mayor desafío que enfrenta Alpayana es la mecanización de sus ciclos unitarios y el aumento en su producción en el corto y mediano plazo, lo cual conlleva un aumento del requerimiento de aire a un sistema de ventilación que no logra suplir la demanda actual. Además, se ha informado la presencia de aguas termales en algunas de sus frentes de trabajo, lo cual produce altos niveles de estrés calórico en los niveles y disminuye la productividad de las operaciones.

En este estudio se analizará el sistema de ventilación actual de la mina, definiendo así las principales falencias de este y posibilidades de mejora, actualizando y calibrando el modelo de simulación en el proceso, proponiendo alternativas de ventilación y definiendo dentro de estas cuál de ellas se adapta mejor en el mediano y largo plazo para asegurar el cumplimiento del requerimiento de aire. Es importante recalcar que para este estudio se realizaron los aforos respectivos de salida e ingreso de aire, mediciones de la presencia de gases como CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>, que son indicadores de la contaminación en el ambiente análisis de la situación actual del circuito de ventilación y los requerimientos de aire según las necesidades. Los resultados obtenidos permiten evaluar la efectividad de las soluciones propuestas y ajustarlas si es necesario para garantizar un ambiente seguro y saludable para los trabajadores y el medio ambiente.

Los costos presentados en este estudio son respecto a las nuevas labores principales y nuevos ventiladores principales y secundarios propuestos, por lo que no se consideran dentro del cálculo los desarrollos auxiliares, ventiladores auxiliares, bloqueos, puertas de ventilación, u otros elementos que puedan requerirse para ejecutar el plan propuesto.



**Figura 38 — Equipo para medir la velocidad de aire (anemómetro).**

Para realizar las mediciones de los contaminantes primeramente se debe calibrar el equipo para que emita una alarma sonora cuando el contenido de los gases tome lecturas que excedan los límites permisibles. Esta operación se realiza haciendo un bump test al equipo con un cilindro patrón, operación que se debe hacer cada vez que se vaya a hacer una medición.



**Figura 39 — Equipo para medir concentración de gases (draguer x-am 5600).**

Se ingresa a los frentes de trabajo de las labores y se miden los gases que se relacionan a continuación: O<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>. Si los valores medidos son mayores a los valores permisibles, se deja actualizado el panel informativo de la labor y realiza el bloqueo para que no se pueda ingresar a ese frente de trabajo hasta que se ventile la labor con aire fresco, éste puede ser suministrado con la instalación de un ventilador auxiliar impelente.

Se deja registro de los principales valores de los gases medidos, la fecha y hora de medición y el profesional que realizó la medición, esto puede ser materializado en un tablero de medición de gases.



Figura 40 — Reporte de monitoreo de gases nivel 23.

## 4.5 Técnica e instrumentos

### 4.5.1 Técnicas

Las técnicas que se han utilizado para el presente trabajo de investigación se indican a continuación:

#### 4.5.1.1 Revisión a investigaciones bibliográficas

La revisión bibliográfica se realizará por vía internet, trabajos relacionados al tema y libros que involucran al presente trabajo, como el análisis documental del proceso de recolectar información sobre el proyecto de ventilación, incluyendo planos detallados del sistema de ventilación, las especificaciones técnicas de los ventiladores, el diseño final de la chimenea, así como datos relevantes acerca del número de personas, equipos y sus características. Todo esto se realiza para conocer completamente el proyecto antes de realizar cualquier intervención en el sistema de ventilación.

#### 4.5.1.2 Observación directa

Esto implica determinar los puntos críticos ubicaciones, para localizar las estaciones de ventilación y analizar el estado de los conductos de ventilación utilizando herramientas especializadas en el lugar, con el propósito de aplicar la información obtenida para el presente proyecto.

#### 4.5.2 Instrumentos

- Se utilizaron una cámara digital compactas, pequeñas en tamaño y fácil de manipular, estas cada vez vienen mejor dotadas, conveniente para capturar imágenes de componentes clave como los ventiladores considerados como principales, los ventiladores de apoyo y las mangas de ventilación.
- Se utilizó un ordenador portátil DELL Core (TM) i7 para procesar los datos recogidos sobre el terreno, así como la información obtenida de las referencias bibliográficas y los diseños de planos.
- El anemómetro testo 405i que se empleará como dispositivo para recopilar datos de humedad relativa, la temperatura en las estaciones de ventilación.
- El anemómetro testo 440 DP se utilizará para tomar medidas de la velocidad del aire en cada estación de ventilación.
- Medidor de gases ALTAIR 5XR marca MSA, se utilizará como dispositivo portátil para medir los gases que se generan en la atmosféricas dentro de la mina. CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>.
- Detector multi - gases DRAGER para medir los gases CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>.

#### 4.5.2 Software

- AutoCAD 2018.
- Microsoft Office 2019.
- Excel.
- Ventsim V. 5.4.2

#### 4.6 Análisis estadístico

Para realizar los cálculos estadísticos se ha utilizado las tablas de Excel y otros programas para las gráficas de barras y correlaciones de la temperatura y los balances de aire. Los datos utilizados se muestran en los anexos del presente trabajo.



## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 5.1 Análisis de resultados

Alpayana S.A, Unidad Minera Americana, tiene un sistema de “ventilación mecanizada” para forzar el ingreso de aire limpio desde superficie, por la depresión ejercida por los ventiladores extractores principales, en cumplimiento al Art. 252. Se efectuaron las evaluaciones integrales del sistema de ventilación.

El proyecto tuvo como objetivo primordial garantizar la ventilación del nivel 23 para proteger, cuidar y evitar el riesgo por gaseamiento de nuestros colaboradores, mantener las condiciones termo-ambientales favorables y evitar multas por Osinergmin en ventilación.

Una vez concluida la implementación del Raise Boring se instalará un ventilador auxiliar impelente de 30,000 cfm en al pie del RB 060 en el nivel 23 que mejoró toda la Gal 085 aumentando el caudal y la velocidad de aire y reduciendo la temperatura, por otra parte se realiza la reubicación del ventilador de 30,000 cfm que inyectaba anteriormente desde la Rp 100 al sub nivel 035, instalando el ventilador en el RB 060, que dicho RB comunicó en el sub nivel 035, esta implementación de reubicación del ventilador mejoró la cobertura integral de aire hasta lograr el objetivo de llegar al 100%.

#### 5.1.1 Situación actual del sistema de ventilación del nivel 23 UM Alpayana S.A.

##### 5.1.1.1 Medición de estaciones principales y secundarios de ventilación

Para realizar este trabajo de mediciones principales y secundarios y obtener resultados verídicos se identificó las estaciones de ventilación para monitorear los ingresos y salidas del caudal de aire (fresco y viciado), también se realizó el monitoreo de la velocidad de aire temperatura, tanto en las labores operativos y en los accesos a labores operativos donde se realiza actividades de operación.



### 5.1.1.2 Estaciones de ingreso de aire

El ingreso de aire fresco para el nivel 23 está compuesta por 3 puntos.

- RB 150 (ESS 01 - CA 075 SW) 30%
- INCL 2000 (ESS 02 - INCL 2000) 28.6%
- RB GRATON (ESS 03 - XC 212 SW) 41.4%

Siendo el resultado total de ingreso de **99,882 cfm**.

El sistema cuenta con una inyección directa de aire limpio a través del RB 150 que inyecta aire por un ventilador de 30,000 cfm a la Gal 085 SW, así mismo, hay un ingreso de aire fresco por la inclinada 2000 con un área de sección reducida, por lo tanto, el caudal de ingreso es menor. Por otra parte, existe otro ingreso por el RB Graton el cual se juntan ambos en la Rp 100 SE a través de ahí se inyecta un ventilador de 30,000 cfm al sub nivel 035 y un ventilador de 40,000 cfm al Xc 100 y Xc 700.

**Tabla 12 — Ingreso de aire fresco nivel 23.**

UBICACIÓN				VEL. PROM	HORA	TEMP.	SECCION		AREA	CAUDAL	
NIVEL	ESTAC.	ZONA	INGRESO DE AIRE	(m/min)	(hh:mm)	(°C)	a1 (m)	h1 (m)	(m2)	(m3/min)	cfm
NV 23	ESS 01-CA 075 SW	VETAS	RB 150	32.1	8:20 a. m.	22.30	5.7	4.8	26.4	848	9,931
NV 23	ESS 02-INCL 2000	VETAS	INCL 2000	51.7	9:45 a. m.	20.10	3.9	4.2	15.6	809	8,562
NV 23	ESS 03 - XC 212 SW	VETAS	RB GRATON	69.4	10:20 a. m.	21.60	4.0	4.4	16.9	1,172	1,389
<b>Qi Total</b>										<b>2,828</b>	<b>99,882</b>

### 5.1.1.3 Estaciones de salida de aire

La salida de aire viciado del nivel 23 está compuesta por 3 puntos.

- RB 620 (ESS 04 - CAM 300 NE) 29.9%
- RB 174 (ESS 05 - CAM 500 SW) 30.8%
- CH 440 (ESS 06 - CAM 440 SW) 39.3%

Siendo el resultado total de salida de caudal de aire de **103,313 cfm**.

El sistema de extracción contempla salida de aire viciado por el Rb 620 que sale aire viciado de la Gal 085, por otro lado, hay una salida de aire viciado por el RB 174 que extrae del sub nivel 035 y por la chimenea 440 que extrae aire viciado del Xc 100, Xc 700 y estas columnas de extracción comunican al RB 131, sistema principal de extracción que a través de ventiladores



principales que se ubican en superficie realizan la salida del aire viciado de toda la mina.

**Tabla 13 — Salida de aire viciado nivel 23.**

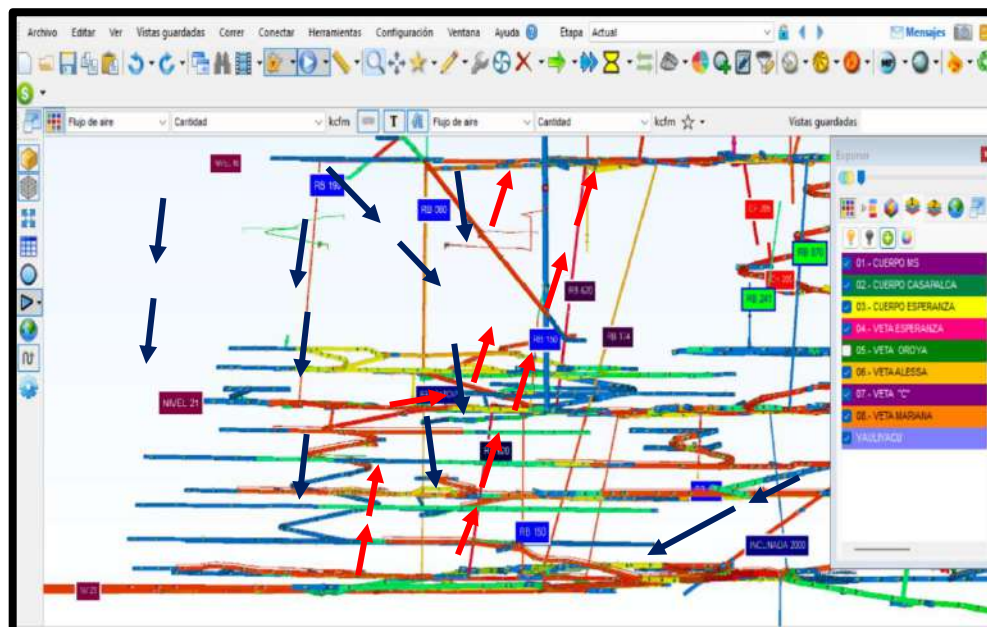
UBICACIÓN				VEL.	HORA hh:mm	TEMP. (°C)	SECCIÓN		Área (m <sup>2</sup> )	CAUDAL	
NIVEL	ESTAC.	ZONA	labor de salida de aire (m/min)	A1 (m)			H1 (m)	m <sup>3</sup> /min		cfm	
NV 23	ESS 04 - CAM 300 NE	VETAS	RB 620	48.0	3:15 p.m	32.0	4.74	4.00	18.2	874	30,853
NV 23	ESS 05 - CAM 500 SW	VETAS	RB 174	51.0	3:43 p.m	31.1	3.81	4.83	17.7	901	31,817
NV 23	ESS 06 - CAM 440 SW	VETAS	CH 440	56.8	4:21 p.m	32.1	4.68	4.51	20.3	1,151	40,643
<b>Qs Total</b>										<b>2,926</b>	<b>103,313</b>

#### 5.1.1.4 Balance de ingreso y salida de aire

El balance de ingresos y salidas de aire de la mina según el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería D.S. N° 024-2016-EM, Art.252 indica que se deben efectuar evaluaciones integrales de ventilación de la mina, así mismo se deben considerar el balance de ingreso y salidas de aire de la mina, la diferencia de caudales de aire entre el ingreso y la salida no debe exceder el 10%. Según los resultados obtenidos de nuestro estudio, la diferencia entre el ingreso y salida de caudales de aire representan el 3.3% el cual indica que está dentro de lo estipulado según el reglamento.

**Tabla 14 — Balance de ventilación nivel 23.**

1.3 Balance de ventilación	Caudal	
	(m <sup>3</sup> /min)	(CFM)
Ingreso de aire fresco	2,828	99,882
Salida de aire viciado	2,926	103,313
<b>Diferencia de aire (salida - ingreso)</b>	<b>97</b>	<b>3,432</b>
<b>Variación (%)</b>	<b>3.3%</b>	<b>3.3%</b>



FUENTE: Compañía minera Alpayana S.A. 2023.

**Figura 41 — Circuito de ventilación actual – zona Esperanza.**

### 5.1.2 Cálculo del rendimiento del caudal de aire

Para calcular el rendimiento de caudal de aire y obtener una buena ventilación de la mina debemos tener en cuenta varios parámetros y necesidades el cual las detallaremos en los siguientes párrafos.

- Proporcionar la ventilación necesaria, caudal de aire fresco necesario para los trabajadores, equipos y temperaturas tal como indica la normativa.
- Evacuar a los puntos de salida los gases nocivos, polvos humos y temperaturas altas ocasionado por las diferentes actividades que se realiza dentro de la mina.
- Brindar un ambiente confortable.
- Acondicionar un área de trabajo confortable para el óptimo rendimiento y funcionamiento de los equipos diésel.

#### 5.1.2.1 Requerimiento de aire por trabajador

En el artículo N° 247 del RSSO, nos menciona que, a más de 4000 msnm, el aire necesario por persona es de 6m<sup>3</sup>/min, en nuestro análisis de la Unidad Minera contamos con 41 trabajadores laborando en el nivel 23, optando por un requerimiento de aire de 8,687 cfm.

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

**Tabla 15 — Requerimiento de aire por trabajador.**

EMPRESA/CARGO	N° DE TRABAJADORES/GDIA	DS 023-2017 EM	CAUDAL	
			m3/min	CFM
<b>GESTION MINERA INTEGRAL S.A.C</b>				
JEFE DE GUARDIA	2	6	12	424
OPERADOR DE JUMBO	2	6	12	424
OPERADOR DE SIMBA	1	6	6	212
AYUDANTE DE SIMBA	1	6	6	212
AYUDANTE DE JUMBO	2	6	12	424
OPERADOR DE SCOOPTRAMS	2	6	12	424
MECANICOS	6	6	36	1,271
OPERADOR DE BOLTER	1	6	6	212
OPERADOR DE DUMPER	1	6	6	212
OPERADOR DE VOLQUETE	1	6	6	212
OPERADOR DE ROBOT	1	6	6	212
AYUDANTE DE ROBOT	1	6	6	212
OPERADOR DE MIXER	1	6	6	212
CARGADOR FRENTE/TALADROS LARGOS	3	6	18	636
PERSONAL DE SERVICIOS	6	6	36	1,271
ALPAYANA S.A	10	6	60	2,119
<b>TOTAL PERSONAS</b>	<b>41</b>			
QTr			246	8,687

### 5.1.2.2 Requerimiento de aire por consumo de madera

Anexo N° 38 RSSO D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM, menciona que el requerimiento de aire por consumo de madera calculado es del 10.21 % con respecto a la producción en TM/guardia, por tanto, el factor de productividad se establece en 0 según la tabla del Anexo N° 38.

### 5.1.2.3 Requerimiento de aire por temperatura

Al realizar el monitoreo de velocidades y temperatura se encontraron 13 labores con temperaturas altas mayores a 23°C y 10 labores con velocidades menor a 25 m/min, según normativa están por encima del límite máximo permisible, el cual necesita solución inmediata, estas temperaturas se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 16 — Monitoreo de velocidad y temperatura.

DATOS					MEDICION DE CAMPO	
Zona	Labor	Nivel	Fecha	Hora	Temperatura (°c)	Velocidad (M/Min)
VETAS	GL 085 SW	23	7/01/2024	8:36 a. m.	27.1	12.2
VETAS	XC 004 SE	23	7/01/2024	8:47 a. m.	27.3	12
VETAS	XC 002 SE	23	7/01/2024	8:59 a. m.	27.5	12
VETAS	XC 006 SE	23	7/01/2024	9:24 a. m.	27.2	12.1
VETAS	BP 300 SW	23	7/01/2024	9:32 a. m.	28	11.6
VETAS	XC 300 NW	23	7/01/2024	9:37 a. m.	27.8	11.4
VETAS	XC 175 SW	23	7/01/2024	9:48 a. m.	20.3	32.1
VETAS	XC 200 SW	23	7/01/2024	9:54 a. m.	27.3	8.9
VETAS	CA 300 NW	23	7/01/2024	10:11 a. m.	27.9	48
VETAS	RP 150 NW	23	8/01/2024	10:43 a. m.	27.8	11.5
VETAS	CA 092 NE	23	8/01/2024	10:48 a. m.	27.8	11.3
VETAS	CA 107 NE	23	8/01/2024	11:06 a. m.	27.9	11
VETAS	CAM 500	23	8/01/2024	11:23 a. m.	29.1	51
VETAS	INCL 2000	23	9/10/2024	9:26 a. m.	20.1	51.7
VETAS	XC 212 SW	23	9/10/2024	10:37 a. m.	21.6	69.4
VETAS	RP 100 SE	23	9/10/2024	2:54 p. m.	20.9	60.55
VETAS	XC 100 SE	23	9/10/2024	3:21 p. m.	21.6	38.3
VETAS	XC 700 SW	23	9/10/2024	3:42 p. m.	22.8	37.5
VETAS	CAM 440	23	9/10/2024	4:04 p. m.	27.4	56.8

Tabla 17 — Requerimiento de aire por temperatura.

Niveles Temperaturas 24 A 29 °C	Con DE	Velocidad (Vm)		AREA (Prom.)	m3/min	CFM
		Mín DS EM	023-2017			
1		30		17.5	525	18,540
<b>Total</b>					525	18,540



Figura 42 — Monitoreo de ventilación en el nivel 23.

#### 5.1.2.4 Requerimiento de aire por equipos

De acuerdo con los resultados obtenidos según información de la unidad minera y el Anexo 38 del RSSO, se realizó el cálculo de aire requerido por equipo diésel, sumando una totalidad de 79,957 CFM.

Tabla 18 — Requerimiento de aire por equipos.

Equipos	Und.	Marca	Modelo	Potencia Nominal (HP)	Potencia Efectiva (HP)	Disponibilidad mecánica (Dm) (%)	Factor de utilización (Fu) (%)	m <sup>3</sup> /min	CFM
JUMBO	1	ATLAS COPCO / EPIROC	S1D	77	60	85%	45%	69	2,431
JUMBO	1	ATLAS COPCO / EPIROC	T1D	70	57	86%	45%	66	2,337
SIMBA	1	EPIROC	S7D	80	61	85%	95%	148	5,218
BOLTER	1	ATLAS COPCO / EPIROC	S1D	77	61	84%	40%	61	2,171
SCOOPTRAM	1	CATERPILLAR	R1600H	350	250	89%	92%	614	21,686
SCOOPTRAM	1	CATERPILLAR	R1300G	250	200	86%	90%	464	16,400
VOLQUETE	1	SCANIA	P450 B6X4	450	380	74%	53%	447	15,789
DUMPER	2	SANDVIK	EJC-417	210	135	75%	34%	207	7,294
ROBOT	1	NORMET	ALPHA 20	150	120	80%	28%	81	2,848
MIXER	1	NORMET	TORNADO S2	174	150	85%	28%	107	3,782
Eq								2,264	79,957

### 5.1.2.5 Requerimiento de aire por fugas

De acuerdo al reglamento vigente se calcula con el 15% de la sumatoria de todos los requerimientos de aire, detallamos en la siguiente tabla el caudal de aire por fugas:

**Tabla 19 — Requerimiento de aire por fugas.**

	m3/min	Cfm
QTr	246	8,687
QMa	-	-
QTe	525	18,540
QEq	2,264	79,957
QT1	3,035	107,185
Qfu(15%)	455	16,078

### 5.1.2.6 Requerimiento total

Según los resultados obtenidos de los cálculos para los trabajadores, maderas, temperaturas, equipos, y fugas se obtuvo un total de 123,262 cfm para cubrir la operación al 100%.

**Tabla 20 — Requerimiento total de caudal de aire.**

Requerimiento de aire	
	cfm
a) Caudal requerido por el número de trabajadores ( $q_{tr}$ )	8,687
b) Caudal requerido por el consumo de madera ( $Q_{Ma}$ )	0
c) Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo ( $Q_{Te}$ )	18,540
d) Caudal requerido por equipo con motor Petrolero ( $Q_{Eq}$ )	79957
$QT1 = Q_{Tr} + Q_{Ma} + Q_{te} + Q_{eq}$	107,185
e) Caudal requerido por fugas ( $Q_{Fu}$ )	16,078
<b>Caudal total requerido para la operación <math>T_o = QT1 + Q_{fu}</math></b>	<b>123,262</b>

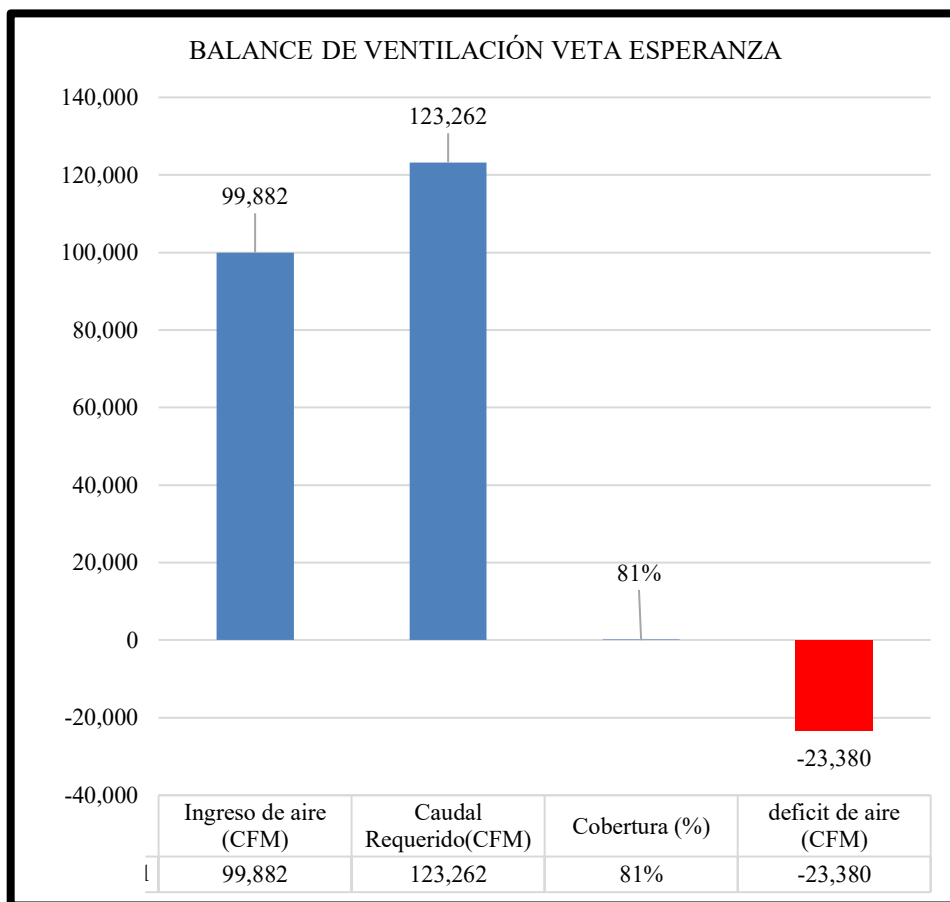
### 5.1.2.7 Balance actual de ventilación

Según los datos obtenidos de campo y la información obtenida de los cálculos se determinó que a enero del 2024 la cobertura de aire de la mina, corresponde solo al 81% del requerimiento actual de aire, el cual representa a 99,882 cfm como ingreso de aire fresco y según el requerimiento para cubrir la operación al 100% se requiere de 123,262 cfm el cual hay una deficiencia de 23,380 cfm por ello se propone realizar el RB 060 e instalar un ventilador de 30,000 cfm

luego se realizó la simulación del circuito de ventilación en software Ventsim con la implementación del RB 060 y se llega a una cobertura por encima del 100 %.

**Tabla 21 — Balance actual de ventilación.**

Balance de ventilación 2024	
Ingreso de aire (CFM)	99,882
Caudal Requerido (CFM)	123,262
Cobertura (%)	81%
déficit de aire (CFM)	-23,380



**Figura 43 — Balance de ventilación – zona Esperanza.**

## 5.2 Análisis de los resultados según objetivos propuestos

### 5.2.1 Proceso constructivo de la chimenea Raise Boring 060

El proceso constructivo de una chimenea utilizando la técnica de Raise Boring (también conocida como perforación invertida) para el sistema de ventilación del nivel 23 para incrementar el caudal de aire, el proceso se detalla a continuación:

#### 5.2.1.1 Estudio geomecánico de minado en la zona de profundización, cuerpos “Casapalca y Esperanza”, U.E.A. Americana

- a) **Aspectos litológicos.-** La explotación subterránea en la zona de Cuerpos y Vetas asociadas a cuerpos entre los niveles nivel 21A al nivel 23 de la mina Casapalca, se encuentra emplazada íntegramente en rocas sedimentarias caracterizadas por la predominancia de secuencias sedimentarias de ambiente continental representados por "areniscas calcáreas y calizas arenosas" de grano grueso a fino intercaladas con niveles finos de "margas y lutitas" afectadas por un intenso metasomatismo que nos permite definir a estas unidades litológicas en su conjunto como un “Skarn de Epídotas, Cuarzo, Calcita, Micas Blancas y esporádicamente granates" que estratigráficamente corresponden a la formación Casapalca (miembro capas rojas). Como estructuras de interés económico (mineralización) se tiene la presencia de “sulfuros masivos, sulfuros diseminados y vetillas” en menas de “Esfalerita, Bornita, Galena, Calcopirita, Tetraedrita, Galena, Tenantita” y como minerales accesorios “Cuarzo, Pirita, Calcita, Rodocrosita, Especlarita y Hematita” emplazados en forma de cuerpos Casapalca y Esperanza.
- b) **Condiciones de agua subterránea.** - En mina Alpayana, se puede inferir conceptualmente que el agua subterránea está asociada a infiltraciones de los cuerpos de agua superficial a través de la permeabilidad “natural e inducida” que expone la masa rocosa. Dadas las características estructurales que exponen las rocas (fracturadas, muy fracturadas y porosas) éstas se tipifican como medios permeables (acuíferos) por donde el agua superficial se infiltra y migra hacia niveles más profundos de la mina. El efecto negativo del agua es que influye en el deterioro de las propiedades resistentes de la masa rocosa y el deterioro de los elementos de sostenimiento instalados, siendo las unidades litológicas más afectadas



las que están en contacto o en zonas adyacentes a “fallas y zonas de corte”, la estructura mineralizada, por su condición de ligeramente fracturada, muy fracturadas, intensamente fracturadas, alteradas y zonas de corte).

c) **Estado tensional.** - El conocimiento de la “magnitud y dirección” de los esfuerzos naturales e inducidos, es una componente esencial en el diseño subterráneo. Para fines del informe sobre la base de mediciones de esfuerzos in-situ mediante técnicas de Over Coring realizados por Geomecánica Latina S.A. en Casapalca e hipótesis del comportamiento tectónico andino en el contexto regional, utilizando los criterios de “Sheorey 1994 y criterio de fallas conjugadas” se estima la constante de transmisión de esfuerzos (K) y la orientación del tensor de esfuerzos in-situ (pre-minado) que constituyen información válida para fines del informe. En el análisis de tensión cuerpo Casapalca nivel 19A, donde se manifiesta que en el nivel 18 oscila entre los valores 2.84 a 4.74 MPa como Índice de Calidad de la Roca (RQD) de acuerdo a los criterios de Bieniawski (1989), según la calidad de roca (RMR) regular A.

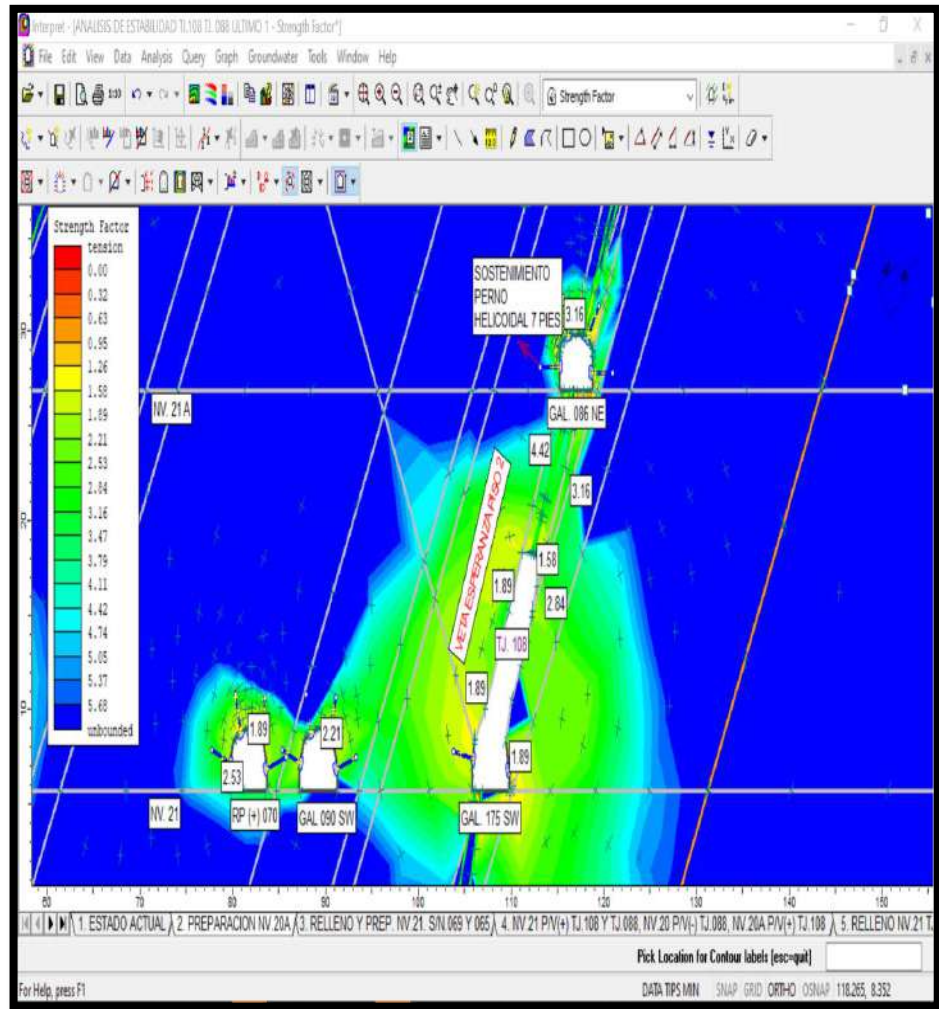
d) **Análisis de estabilidad debido a esfuerzos – AEDE.**

Identificación del modelo de inestabilidad estructuralmente controlada. - En base a información obtenida del análisis estereográfico de datos estructurales, en el área de interés se prevé que los modelos de inestabilidad asociados al control estructural en las excavaciones subterráneas de mina Casapalca serán desprendimientos del tipo “Cuñas y Lajamientos”.

e) **Análisis de estabilidad.-** Los resultados del análisis de estabilidad (debido a esfuerzos y estabilidad estructuralmente controlada) advierten que los procesos de inestabilización expresados a modo de “desprendimiento de cuñas, strainburst, spalling, swelling, squeezing, dissking” están asociados a factores naturales (influencia del agua, control estructural, grado de meteorización y alteraciones hidrotermales) y factores inducidos por la operación minera (sobredimensionamiento de excavaciones, falta de relleno, debilitamiento estructural de puentes y pilares por sobre rotura, secuenciamiento de minado desfavorable, no



confinamiento de espacios abiertos usando rellenos adecuados, aplicación incorrecta de los elementos de sostenimiento, etc.).



FUENTE: Compañía minera Alpayana S.A. 2023.

**Figura 44 — Análisis de estabilidad del nivel 21A al nivel 23.**

En la figura 44, se muestra el análisis de estabilidad del área de estudio en estado actual con análisis numérico por elementos finitos – nivel 21A al nivel 23 – veta Esperanza, los valores oscila de 1.58 a 3.16 MPa como Índice de Calidad de la Roca (RQD) de acuerdo a los criterios de Bieniawski (1989).

### 5.2.1.2 Instalación del equipo Raise Boring 060

Para la instalación del equipo Raise Boring, se ha desarrollado un Plan de Trabajo del traslado de la maquinaria y los componentes y accesorios del nivel



18 al nivel 21 A CAM 060 veta Esperanza, con una programación de 07 días, el plan de trabajo y los PETS se muestra en los anexos.

Datos del proyecto RB 060 nivel 21A: Para la ejecución del proyecto RB 060 del nivel 21A al nivel 23, se programó para la implementación de una chimenea Raise Boring con las siguientes características:

**Tabla 22 — Datos operativos del proyecto RB 060.**

Datos operativos del proyecto RB 060	
Diámetro	1,5 m
Longitud	136.60 m
Inclinación	-85°

- **Montaje del equipo en la plataforma superior**

Montar la máquina perforadora en la plataforma superior.

- **Alineación y anclaje**

Alinear y anclar la perforadora con precisión para asegurar un perforado vertical y exacto.



**Figura 45 — Ubicación del Raise Boring en el nivel 21A.**

### **5.2.1.3 Comunicación (Perforación piloto)**

Para los trabajos a efectuar, el área de planeamientos ha desarrollado el Plan: Código: MDP-PI-PETS-17, en el cual se inició con la perforación de taladro piloto con un avance diario de 15m/día ejecutándose en 9 días.

Diámetro piloto: Perforar un agujero piloto pequeño (normalmente entre 200 a 300 mm de diámetro) desde el nivel 21A hasta la cámara del nivel 23.

Detección de fallas: Durante la perforación, monitorear para identificar posibles fallas o zonas inestables.

### **5.2.1.4 Empate, perforación y ensanche de la perforación**

Una vez comunicado el taladro piloto se procede a el empate de la cabeza rimadora, Para los trabajos se ha desarrollado el Plan del área de planeamiento con el código:MDP-PI-PETS-13, ver anexos.

#### **a) Cambio de cabeza de perforación**

Cabeza de ensanche: Reemplazar la broca piloto por una cabeza de ensanche (reamer) en la plataforma inferior, este trabajo del proyecto se ejecutó con avance de 6m/día concluyendo en 23 días.

Diámetro de ensanche: La cabeza de ensanche tiene el diámetro final deseado para la chimenea (puede variar desde 1,5 m hasta más de 6 m).

#### **b) Proceso de ensanchado**

Tiro de la cabeza de ensanche: Tirar de la cabeza de ensanche hacia arriba mediante el equipo de Raise Boring, mientras se rota y se fragmenta la roca.

Retiro de material: El material fragmentado cae y se recoge en la plataforma inferior para su disposición adecuada mediante el apoyo del scooptramp.

### **5.2.1.5 Rimado, acabado y seguridad**

Para los trabajos se ha desarrollado el plan con el código: MDP-PI-PETS-21, ver anexos.



**a) Revisión de la chimenea**

Inspección: Inspeccionar la chimenea para asegurar que cumple con las especificaciones técnicas y de seguridad.

Refuerzo: Si es necesario, realizar refuerzos estructurales en las paredes de la chimenea.

**b) Instalación de sistemas de ventilación**

Conductos y ventiladores: Instalar los conductos y sistemas de ventilación para asegurar el flujo de aire adecuado según el diseño del sistema de ventilación de la mina.

**5.2.1.6 Instalación del ventilador impelente**

El requerimiento de aire para el personal que labora en los diferentes niveles no debe ser menor a 6 m<sup>3</sup>/min, para los equipos que operan con motores petroleros no debe ser menor de 3 m<sup>3</sup>/min, por la capacidad efectiva de potencia (HP), para el confort ambientales de los niveles con temperaturas > a 24°C no debe ser menor a 30 m<sup>3</sup>/min, estos cálculos se han determinado en función a su disponibilidad mecánica y utilización de acuerdo con la evaluación realizada por los tesisistas, considerando también la altitud, el calor de los motores, las emisiones de gases y partículas en suspensión.

Los cálculos determinan un requerimiento de aire de 123,262 CFM y actualmente se tiene un caudal de 99,882 CFM. Por consiguiente, se debe instalar un ventilador impelente de 30,000 CFM para suministro de aire fresco al pie del RB 060 para distribuir aire fresco hacia las labores del nivel 23 y cubrir la cobertura al 100%.

Por otra parte, también se realizó la reubicación del ventilador de 30,000 CFM que se encuentra ubicado en Rp 100 que ventila todo el subnivel, motivo de la reubicación es porque se encuentra a una longitud de más 250m, el cual ya no llega flujo de aire al frente de la labor, este ventilador se reubica en el RB 060 que a su vez este RB comunica al subnivel y al nivel 23.



**Tabla 23 — Resumen de las características del ventilador.**

Código	Marca	Modelo	Capacidad (Hp)	Potencia (CFM)	Labor
Ventilador 110	AIRTEC	VAV-32-14-3450-II-A	75	30,000	RB060



FUENTE: Compañía minera Alpayana, 2024.

**Figura 46 — Características del ventilador de 30k CFM.**

**a) Balance del sistema de ventilación para el año 2024- 2025**

Una vez ejecutado el proyecto del RB 060, se realizó la instalación y la reubicación del ventilador, por otra parte se hizo las corrección de la instalación de mangas de acuerdo al estándar como el cambio de mangas deterioraras por otras nuevas, posterior a ello se procedió a realizar un levantamiento de ventilación en campo para ver las mejoras que se tiene de acuerdo al requerimiento de aire, cabe resaltar que estos requerimientos fueron estimados previamente de acuerdo a la cantidad de personas, de acuerdo a los equipos diésel y ambientes con temperatura elevada.

Finalmente, se obtuvo los resultados del levantamiento de ventilación como ingresos y salidas de aire, en el cual la nueva cobertura de aire llega al 105% concluyendo como mejora del 81% al 105% lo cual indica que se tiene un caudal de aire suficiente para realizar los trabajos de la operación, por otra parte se obtuvo una reducción de temperatura de aire



en los frentes de trabajo, de igual manera se obtuvo el incremento de velocidades de aire en labores operativas de esta manera se da la comodidad a los trabajadores, a continuación se muestran los resultados obtenidos en campo.

#### b) Cálculo de requerimiento de flujo de aire

Tomando como referencia la información obtenida según los resultados, el caudal de ingreso de aire llega a 99,882 CFM, tomando en consideración estos aspectos se realizó el cálculo de la demanda actual de aire para el nivel 23, los cálculos se presentan a continuación:

#### c) Requerimiento total de aire

**Tabla 24 — Requerimiento total de aire.**

REQUERIMIENTO DE AIRE	
	cfm
a) Caudal requerido por el número de trabajadores ( $q_{tr}$ )	8,687
b) Caudal requerido por el consumo de madera ( $Q_{Ma}$ )	0
c) Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo ( $Q_{Te}$ )	18,540
d) Caudal requerido por equipo con motor Petrolero ( $Q_{Eq}$ )	79,957
$QT1 = Q_{Tr} + Q_{Ma} + Q_{Te} + Q_{eq}$	107,85
e) Caudal requerido por fugas ( $Q_{Fu}$ )	16,078
<b>Caudal total Requerido para la operación <math>T_o = QT1 + Q_{fu}</math></b>	<b>123,262</b>

### 5.2.1.7 Pruebas y puesta en marcha

#### a) Pruebas de ventilación

- Flujo de aire: Realizar pruebas para verificar que el flujo de aire cumple con los requerimientos.
- Monitoreo de condiciones: Monitorear las condiciones de ventilación y ajustar según sea necesario.

#### b) Beneficios del método Raise Boring

- Seguridad: Reduce el riesgo para los trabajadores al minimizar la necesidad de trabajar directamente en la zona de perforación.



- Eficiencia: Es más rápido y eficiente comparado con otros métodos tradicionales de excavación de chimeneas.
- Calidad del túnel: Produce chimeneas con un diámetro constante y paredes más lisas, lo que facilita la instalación de equipos y sistemas de ventilación.

**c) Consideraciones finales**

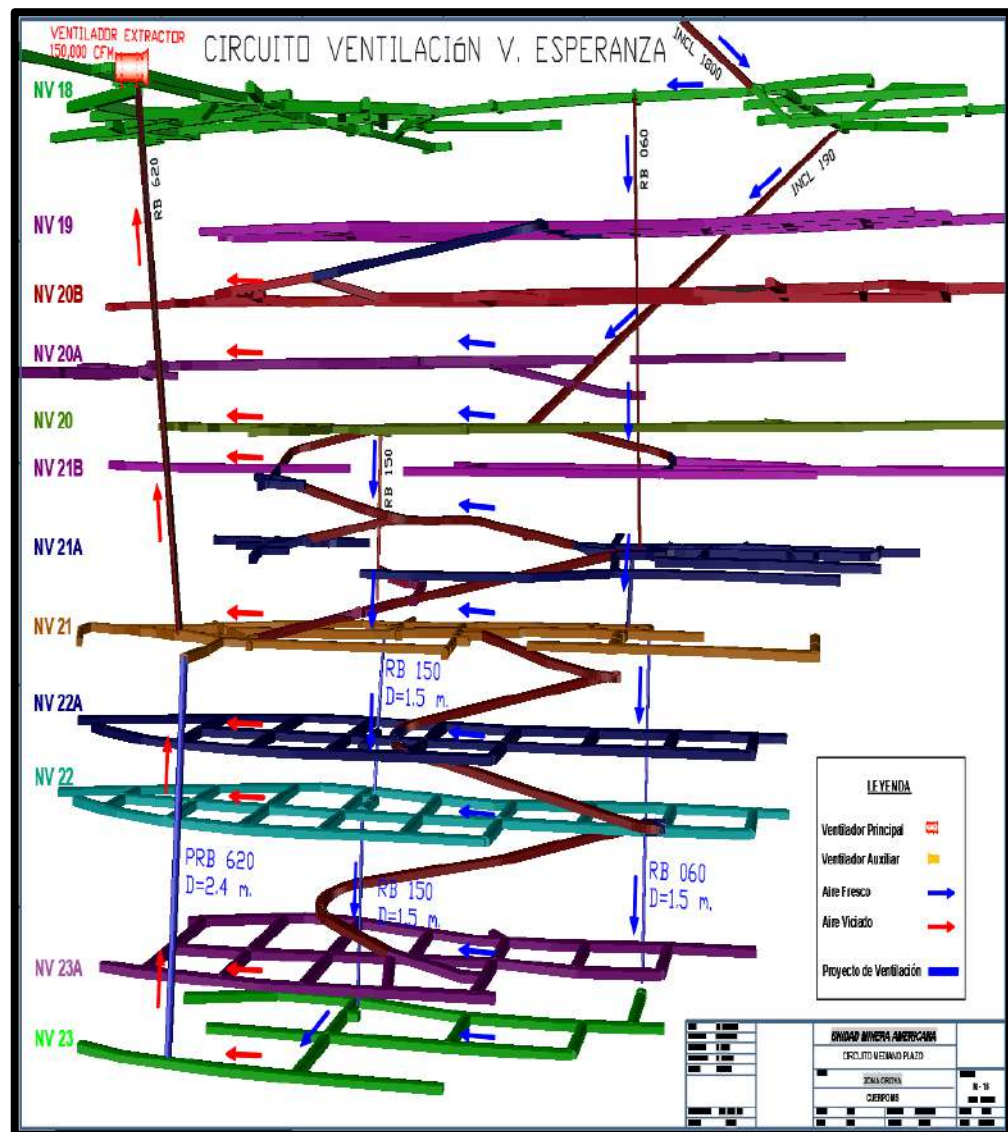
- Planificación meticulosa: La planificación y el monitoreo continuo son cruciales para el éxito del proyecto.
- Equipos especializados: Utilizar equipos y operadores especializados en Raise Boring es fundamental para asegurar la precisión y seguridad del proceso.
- Cumplimiento normativo: Asegurar que todo el proceso cumpla con las normativas y estándares de seguridad y ambientales aplicables.

### **5.2.2 Distribución de los flujos de aire para las diferentes labores**

**a) Circuito Esperanza**

Con la implementación del Raise Boring 060 desde el nivel 21A hasta el nivel 23 de diámetro de 1.5m, donde se va a instalar un ventilador impelente en el nivel 23 de 30,000 cfm de caudal que suministrará aire fresco a los niveles intermedios como nivel 23A y nivel 23, con esta implementación de la chimenea Raise Boring RB 060 se pretende mejorar las propiedades físicas y químicas del aire.





FUENTE: Compañía minera Alpayana, 2024.

**Figura 47 — Circuito de ventilación veta Esperanza del RB 060.**

### 5.2.3 Incremento de las velocidades de aire y reducción de la temperatura

Uno de los objetivos específicos es incrementar las velocidades con la implementación de una chimenea Raise Boring 060 y la implementación del ventilador de 30,000 cfm que estará ubicado en el nivel 23A y 23, con la finalidad de suministrar aire fresco a las labores presentes en dichos tramos, y poder mejorar la cobertura de aire fresco al 100%, para las labores del nivel 23A y nivel 23, según mediciones realizadas existen 13 labores con temperaturas altas, donde presentan temperaturas mayores a 24 °C.



Los trabajos que se desarrollan en labores subterráneas es crucial para mejorar las condiciones de trabajo, aumentar la seguridad y optimizar la eficiencia operativa. Al realizar el monitoreo del nuevo sistema de ventilación después de la implementación del RB, se ha registrado un aumento en la velocidad del aire de 10 labores con velocidad menor a 25 m/min a 3 labores (tal como se muestra en la Fig. 47, en los niveles de trabajo, en comparación con las velocidades previas a la implementación del Raise Boring, Por otro lado, se reducirá la generación de contaminantes, la concentración de partículas suspendidas, gases nocivos y se vera la mejora de la calidad del aire.

DATOS					MEDICION DE CAMPO		MONITOREO DE GASES			
ZONA	LABOR	NIVEL	FECHA	HORA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (m/min)	O2 (Vol. %)	NO2 (ppm)	CO (ppm)	CO2 (Vol. ppm)
VETAS	GL 085 SW	23	7/01/2024	8:36 a. m.	22.3	30.2	20.4	0	6	1200
VETAS	XC 004 SE	23	7/01/2024	8:47 a. m.	23.1	26.1	20.8	0	9	1800
VETAS	XC 002 SE	23	7/01/2024	8:59 a. m.	23.5	25.3	20.9	0	12	1200
VETAS	XC 006 SE	23	7/01/2024	9:24 a. m.	20.2	42.1	20.9	0	8	1300
VETAS	BP 300 SW	23	7/01/2024	9:32 a. m.	26	21.3	20.9	0	24	2500
VETAS	XC 300 NW	23	7/01/2024	9:37 a. m.	27.8	11.4	20.6	0	23	2700
VETAS	XC 175 SW	23	7/01/2024	9:48 a. m.	20.3	32.1	20.9	0	0	1000
VETAS	XC 200 SW	23	7/01/2024	9:54 a. m.	23.8	22.4	20.5	0	9	1600
VETAS	CA 300 NW	23	7/01/2024	10:11 a. m.	30	95	20.8	0	19	2400
VETAS	SN 035 SW	23	8/01/2024	10:43 a. m.	21.8	35.1	20.7	0	5	500
VETAS	CA 092 NE	23	8/01/2024	10:48 a. m.	23.5	28.1	20.9	0	7	1700
VETAS	CA 107 NE	23	8/01/2024	11:06 a. m.	23.5	28	20.9	0	11	900
VETAS	CAM 500	23	8/01/2024	11:23 a. m.	31.2	49.2	20.7	0	20	2400
VETAS	INCL 2000	23	9/10/2024	9:26 a. m.	20.4	63.4	20.6	0	0	1400
VETAS	XC 212 SW	23	9/10/2024	10:37 a. m.	20.4	63.3	20.9	0	0	1000
VETAS	RP 100 SE	23	9/10/2024	2:54 p. m.	20.8	63.2	20.8	0	0	3100
VETAS	XC 100 SE	23	9/10/2024	3:21 p. m.	21.1	38.2	20.9	0	4	2500
VETAS	XC 700 SW	23	9/10/2024	3:42 p. m.	22.6	37.5	20.9	0	6	1000
VETAS	CAM 440	23	9/10/2024	4:04 p. m.	28.4	56.8	20.9	0	17	1600
					23.721	40.458	20.7	0	12	1680

Figura 48 — Incremento de las velocidades de aire en las diferentes labores.

#### a) Temperatura del ambiente

Se ha estimado el aporte calórico de la roca al ambiente con las mediciones de temperatura en labores y en el punto más cercano al RB de inyección del nivel 23 en el sector esperanza, existirá incremento de la temperatura a medida que se profundiza las labores, con el proyecto del RB 060 se disminuiría las temperaturas elevadas que se presenten.

Al aumentar el caudal de inyección de aire implementando un ventilador de 30,000 cfm en el pie del RB 060 y realizando la reubicación de un ventilador en el sub nivel 035, según los resultados obtenidos hay una reducción de

temperatura mayor a 24 °C es de 13 labores a 5 labores, bajo estas condiciones, al incrementar el caudal de aire que ingresa, se lograría mitigar la carga calórica, dicho de otra forma, bajaría de 25.8°C y 23.7°C la temperatura promedio tal como indica la fig. 59, los resultados esperados son:

- Mejora en el confort térmico: La reducción de la temperatura en las áreas de trabajo ha incrementado significativamente el confort térmico para los trabajadores, reduciendo el riesgo de estrés por calor.
- Aumento en la eficiencia operativa: Las temperaturas más bajas han permitido una mayor eficiencia en las operaciones, al reducir la fatiga y mejorar la productividad de los trabajadores.
- Disminución de fallas en equipos: Las condiciones térmicas mejoradas han reducido las fallas en los equipos y maquinaria debido a sobrecalentamiento, mejorando la continuidad de las operaciones.
- Reducción promedio de temperatura: Se ha observado una disminución de la temperatura promedio en las áreas de trabajo de aproximadamente de 2.1 grados Celsius, tal como se muestra en la Figura 59.
- Mejora en la salud laboral: Las incidencias de problemas de salud relacionados con el calor han disminuido en un porcentaje.

#### **5.2.4 Continuidad de los flujos de aire y la profundización de los niveles**

Para dar la continuidad de los flujos de aire en los niveles que cubre el Raise Boring 060, se realizó el Balance de ventilación mediante una simulación en el programa Ventsim, la demanda de aire para cada labor y la cobertura de aire para el nivel 23A y nivel 23.

Es esencial mantener un caudal de aire adecuado a lo largo de todo el sistema de ventilación para dar continuidad del flujo de aire. Esto puede ser monitoreado y ajustado mediante simulación del sistema de redes que conforman en el sector zona Esperanza.





Figura 49 — Continuidad de los flujos de aire en los niveles inferiores.

En la figura 49 se puede visualizar la continuidad de los flujos de aire en los niveles inferiores al nivel 23A y nivel 23 donde se visualiza una velocidad de flujo de aire de 1,2 m/seg. A continuación, se presenta el balance de ventilación del nivel 23.

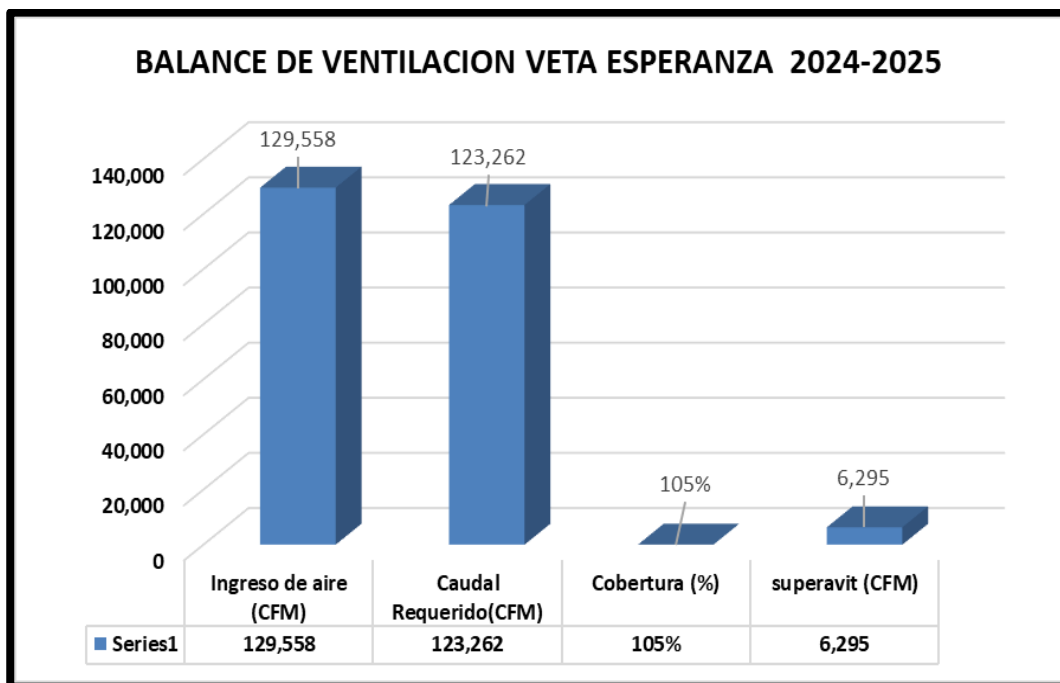
Tabla 25 — Resumen de aforo de ingreso y salida de aire.

Entrada de aire											
Ubicación			Vel.	Hora (hh:mm)	Temp. (°C)	Seccion		Area (m2) (FC=0.96)	Caudal		
Nivel	Estac.	Ingreso de aire	(m/min)			a1 (m)	h1 (m)		(m3/min)	cfm	
NV 23	ESS 01-CA 075 SW	RB 150	32.1	8:30 a. m.	20.30	5.7	4.8	26.4	848	29,931	
NV 23	ESS 02-INCL 2000 RB GRATON	INCL 2000, RB GRATON	63.4	9:55 a. m.	20.40	4.1	4.5	17.8	1,128	39,849	
NV 23	ESS 04-XC 006 SE	RB 060	42.1	11:20 a. m.	20.30	4.7	4.5	20.1	846	29,865	
NV 23 A	ESS 05- XC 006 SE	RB 060	80.8	12:10 p. m.	20.20	2.6	4.2	10.5	847	29,912	
						<b>Qi Total</b>			<b>3,669</b>	<b>129,558</b>	



**Tabla 26 — Resultados de balance de ventilación.**

<b>Balance de ventilación 2024-2025</b>	
Ingreso de aire (CFM)	129,558
Caudal Requerido (CFM)	123,262
Cobertura (%)	105%
Superávit (CFM)	6,295



**Figura 50 — Balance de ventilación 2024- 2025.**

Finalmente se obtuvo la medición de los ingresos y salidas de aire, destacándose que la nueva cobertura de aire alcanza un 105% en comparación con los valores previos, lo que representa una mejora significativa del 81% al 105%. Este aumento indica que el caudal de aire es adecuado para realizar las labores operativas de manera eficiente. Además, se logró una reducción en la temperatura del aire en los frentes de trabajo, lo cual contribuye al confort térmico de los operarios. Asimismo, se observó un incremento en las velocidades del aire en las áreas de trabajo, lo que mejora las condiciones laborales y asegura un ambiente más cómodo para los trabajadores.



Alpayana		ANEXO 07 PROGRAMA ANUAL DE ACTIVIDADES DE VENTILACIÓN - 2024											PROGRAMADO	P	
													EJECUTADO	E	
													FRECUENCIA	F	
ITEMS	ACTIVIDADES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE		
1	EVALUACIÓN INTEGRAL DE VENTILACIÓN	P	P												
		E													
		F	SEMESTRAL												
2	EVALUACIONES LOCALES PERMANENTE DE LABORES OPERATIVAS EN INTERIOR MINA	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
		E													
		F	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL
3	EVALUACIÓN POR COMUNICACIÓN DE LABORES	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
		E													
		F	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL
4	ELABORACIÓN DE PLANOS DE VENTILACIÓN	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
		E													
		F	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL
5	EVALUACION DE VENTILACIÓN EN INFRAESTRUCTURAS MINA	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
		E													
		F	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL	MENSUAL
6	MONITOREOS DE GASES EN LABORES (CO, CO2, NO2, O2)	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
		E													
		F	DIARIO	DIARIO	DIARIO	DIARIO	DIARIO	DIARIO	DIARIO	DIARIO	DIARIO	DIARIO	DIARIO	DIARIO	DIARIO
7	MONITOREOS DE EMISIONES DE GASES EN EQUIPOS DIESEL (CO Y NO2)	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
		E													
		F	SEMANAL	SEMANAL	SEMANAL	SEMANAL	SEMANAL	SEMANAL	SEMANAL	SEMANAL	SEMANAL	SEMANAL	SEMANAL	SEMANAL	SEMANAL

Figura 51 — Programa anual de actividades de ventilación.

Tabla 27 — Programa de mantenimiento de ventiladores año 2025.

Ventilador N°	Ventilador	Cfm	Potencia	HP	2025											
					En	Fe	Ma	Ab	Ma	Ju	Ju	Ag	Se	O	No	Di
110	Principal	150,000	400	Prog	X							X				
				Ejec.	X											
110	Principal	150,000	400	Prog		X							X			
				Ejec.												
110	Principal	150,000	400	Prog			X							X		
				Ejec.												

### 5.3 Contratación de hipótesis

Para la contratación de hipótesis de los objetivos relacionados con la implementación de chimeneas mediante Raise Boring, el incremento de las velocidades de aire, la reducción de la temperatura y la continuidad de los flujos de aire es fundamental definir claramente las hipótesis a verificar, los métodos de evaluación y los criterios de éxito. A continuación, se presentan las hipótesis y un marco para su evaluación:

**Hipótesis 1:** La implementación de chimeneas mediante Raise Boring 060 facilitará la inyección de aire limpio y distribuir a las diferentes labores, a su vez con la instalación de un ventilador incrementa las velocidades de aire en las áreas de trabajo subterráneas, para



ello se realizado en balance de ingreso de aire y el caudal requerido para todos los niveles, donde se muestra en la Tabla 14 que no cubre en su totalidad, solo cubre en un 81%.

En el análisis de recirculación de aire es crítico por la diversidad de labores que se manifiesta más por los niveles superiores y labores abandonadas. Al instalar un ventilador Airtec en la labor RB 060, esta generará un caudal de 30,000 cfm, que mejorará el sistema de ventilación, reduciendo la caída de presión a 11 pulg. de H<sub>2</sub>O.

**Hipótesis 2: Se distribuirá el aire a las diferentes labores con la ejecución de la chimenea RB 060 en la unidad minera Alpayana S.A.**

En el análisis del estado actual de las labores, las temperaturas llegan hasta más de 30°C y las velocidades de aire están por debajo de los límites máximos permisibles, asimismo existe recirculación del aire por la diversidad de labores en diferentes, mediante la implementación del RB 060, habrá mejor circulación del aire en los niveles intermedios como nivel 23A y nivel 23, con este proyecto se mejorará las propiedades físicas y químicas del aire.

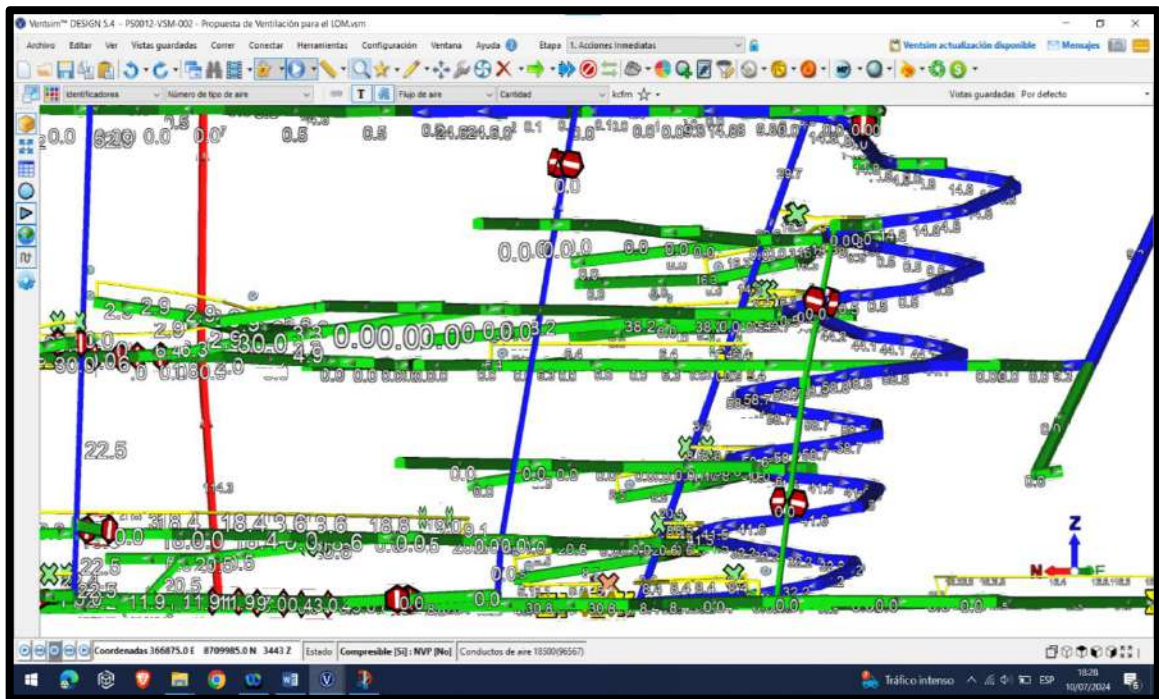
**Hipótesis 3: Se aumentará las velocidades de aire y reducir la temperatura en las labores con la ejecución de chimenea RB 060 del nivel 21A al nivel 23 en la unidad minera Alpayana S.A.**

Uno de los objetivos es mantener un flujo de aire constante y adecuado para asegurar la salud y seguridad de los trabajadores y optimizar las condiciones operativas de los trabajos, por otro lado existen labores con temperaturas muy elevadas en el nivel 23 y 23A, donde presentan temperaturas mayores a 24 °C, este proyecto está mejorando el confort ambiental, reduciendo las temperaturas promedio de 25.8°C a 23.7°C °C, al realizar el nuevo levantamiento del sistema de ventilación se visualiza el incremento de la velocidad del aire de 12.2 m/min a 30.2 m/min en la Gal 085.

**Hipótesis 4: Se dará continuidad de flujo de aire en los niveles inferiores y la profundización en las zonas de operación en la unidad minera Alpayana S.A.**

En la figura 51, se puede visualizar la continuidad del flujo de are en los niveles inferiores y en las zonas de profundización, las velocidades del aire en las áreas de trabajo subterráneas comparado con los niveles previos a la implementación del Raise Boring.





**Figura 52 — Continuidad de los flujos de aire en niveles inferiores**

La validación de las hipótesis sobre la implementación de chimeneas mediante Raise Boring, el incremento de las velocidades de aire, la reducción de la temperatura y la continuidad de los flujos de aire se puede lograr mediante una combinación de recolección de datos empíricos, análisis comparativo, modelado y simulación. Los resultados deben ser evaluados contra criterios de éxito predefinidos para asegurar que los objetivos se han cumplido de manera efectiva.

#### 5.4 Discusión

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal mejorar el sistema de ventilación en el nivel 23 mediante la implementación de una chimenea Raise Boring 060, destinada a distribuir aire adecuadamente en diversas zonas conforme a los requerimientos determinados. La evaluación inicial del flujo de entrada y salida de aire permitió determinar los caudales necesarios, lo cual consta de levantamiento de datos de ventilación en campo a base monitoreos. En dichos trabajos, se instaló un ventilador en el nivel 23 un ventilador de 30,000 cfm y la reubicación de un ventilador para garantizar la continuidad del flujo de aire, esencial para la respiración humana.

La investigación reveló deficiencias significativas en el sistema de ventilación actual de la unidad minera, particularmente en áreas con temperaturas elevadas debido a la

profundización subterránea. El enfoque cuantitativo de la metodología permitió la recopilación de datos de campo para medir y evaluar las variables planteadas. Se analizó información proporcionada por los servicios ambientales de la unidad, lo cual facilitó la caracterización precisa del modelo de ventilación.

Los resultados obtenidos indican un requerimiento de aire de 123,262 cfm para los niveles 23 A al 23. Para cumplir con este requerimiento, se propone la implementación de la chimenea Raise Boring 060, con una longitud de 136.60 m y un diámetro de 1.50 m. Además, se sugiere la instalación de un ventilador con un flujo de 30,000 cfm en el nivel 23, el cual distribuirá aire a las diversas zonas de trabajo, incrementando las velocidades de aire hasta 30.2 m/min. Esta medida también contribuirá a reducir la temperatura promedio en las zonas afectadas de 25.8°C hasta 23.7°C. Con este proyecto, se logrará mantener un flujo continuo de aire en las zonas de profundización, con velocidades de 12.2 m/min a 30.2 m/min.



## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

El trabajo de investigación que se presenta, se pudo evaluar la consecución de los objetivos planteados, en la implementación de la chimenea Raise Boring para mejorar el sistema de ventilación en la compañía minera Alpayana S.A. unidad Americana.

Los resultados de la evaluación determinan un requerimiento de aire de 123,262 cfm, para las labores del nivel 23, para ello se debe implementar Raise Boring 060 de una longitud de 136.60 m, diámetro de 1.50 m e instalar un ventilador con un flujo de 30,000 cfm, ubicado en el nivel 23, que es un método seguro y eficiente para crear aberturas subterráneas, no utiliza explosivos y no genera vibraciones ni gases tóxicos.

En la simulación del sistema de ventilación con el programa Ventsim de los niveles de trabajo, se muestra la distribución del flujo de aire que circulan a diferentes zonas, estas se mantienen por encima de los niveles máximos permisibles según el Art. 248 del D.S 024 y su modificatoria ( $>$  de 20 m/min).

Por otro lado, los flujos de aire se distribuyen a diferentes zonas de trabajo, se muestra un incremento de velocidades de aire hasta 30.2m/min, asimismo después de ejecutar el proyecto reduce la temperatura de 25.8°C hasta 23.7°C en labores operativos.

Con este proyecto de mejoramiento del sistema de ventilación con la implementación del RB 060, se dará continuidad de flujo de aire a zonas de profundización que se encuentran por debajo del nivel 23, las velocidades alcanzan a 30.2 m/min, llegando a cubrir hasta 105% del requerimiento de aire.



## 6.2 Recomendaciones

Se propone que el área de ventilación de la compañía minera Alpayana S.A. unidad Americana realice de manera constante modelizaciones y simulaciones del sistema de ventilación utilizando el software Ventsim, ya que nos permite simular, optimizar y dar presiones del circuito de ventilación.

Se recomienda colocar los ventiladores en ubicaciones estratégicas y mantener un programa de mantenimiento regular para asegurar el suministro de aire fresco y la extracción de aire contaminado a través de las chimeneas Raise Boring.

Se sugiere llevar a cabo un monitoreo constante del flujo de aire, la presencia de polvo en suspensión y la presencia continua de gases en todos los niveles de trabajo, para mejorar el confort ambiental y proteger la salud de los trabajadores utilizando los equipos draguer X-am 5600, testo 440 dp, termohigrómetro, bomba de succión Sks.

Se recomienda que la Compañía Minera capacite al personal encargado de la ventilación en las tareas correspondientes e implemente el uso de instrumentos completos para el control continuo del flujo de aire en áreas ciegas y confinadas.

Además, se aconseja llevar un registro preciso del horario de control del flujo de aire, el cual debe estar en un lugar visible para que el personal pueda acceder con confianza y de manera segura.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**AHRENS HENSON, Donal.** *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment.* s.l., 2018, Editorial: Cengage Learning. Edición: 12ª edición.

**ANDIA GRANADA, Franco Fernando.** *Diseño de chimeneas gemelas para mejorar la ventilación en los niveles 1790 - 2050 veta Paula CIA Minera Yanaquihua.* s.l, 2019, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10842>

**GERARDO ARIAS, Fidias.** *El proyecto de investigación: Introducción a la investigación científica,* 2006, Caracas, Venezuela, Editorial Episteme, C.A. Obtenido de <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>

**BALDEON MONTORO, Oscar Rafael.** *Diagnóstico comunicacional para la Asociación Pepas de Oro de Pampamarca (AMAPOP),* 2021, Universidad de Lima. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12724/15611>

**CAMARGO DIAS, Gresli., & SEGURA GALINDO, Danner Edins.** *Desarrollo de una chinenea de ventilación en una mina ubicada al Centro del Perú aplicando el Sistema Raise Boring.* s.l., 2023, Pontificia Tesis Universidad Católica de Perú, Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/25303>

**CAMPILLOS PRIETO, Alberto.** *Optimización y modelización del circuito de ventilación de una mina subterránea,* 2015, Obtenido de <https://oa.upm.es/36496/>

**CAPCHI CASTILLA, Edgard Whashington., & MELGAR MENDOZA, Giovani Yeison.** *Influencia de la Ventilación Mecánica en el Rendimiento de los Trabajadores y en la Disminución del Índice de Accidentabilidad en la Unidad Minera Peyols: Contratistas – La Rinconada, Puno (2019),* 2019, Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/3039>

**CARABAJO NAULA, Carla Sofía.** *Diseño del circuito de ventilación de la zona norte de la mina cabo de hornos, ubicada en el distrito aurífero - polimetálico portovelo – Zaruma,* 2015, Carrera de Ingeniería en Minas. Quito: UCE. 203 p.

**CASTILLO ARANGUREN, Daniel Ricardo.** *Evaluación del sistema de ventilación de la mina el roble,* 2017, Trabajo de grado Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Sogamoso, Obtenido de <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/1886>



**AGÜERO ZARATE, Henry Oscar., & ALVARES TICLLASUCA, Helsias.** *Influencia de la ventilación natural y mecánica en el diseño del sistema de ventilación de las galerías del nivel 1950 Mina Calpa – Arequipa 2012, 2012*, [Tesis de pregrado no publicada]. Universidad Nacional de Huancavelica.

**CASTILLO TURPO, Nelson Rony., & SOTO SAMOS, Josué Gabriel.** *Análisis del Sistema de Ventilación y propuesta de mejora para optimizar el Caudal de aire de la minera Aurífera Retamas S.A. Marsa – 2020, 2022*, Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12867/6110>

**CLAVERIAS QUICANA, Jorge Smith.** *Evaluación y optimización del sistema de ventilación de la Compañía Minera Caraveli S.A.C aplicando el Software Ventsim Visual 3*, 2014, Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3857>

**FERNANDEZ COLLADO, Carlos., & BAPTISTA PILAR, Lucio. y HERNANDEZ SAPIERI, Roberto.** *Metodología de la investigación*. México D.F,2014, McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. Edición: 6ª edición.

**GUTIÉRREZ ARAVENA, Claudio Alejandro.** *Recirculación controlada en minería subterránea*, 2010, Tesis pregrado Universidad de Chile departamento de Ingeniería. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103701>

**HARTMAN HOWARD, Jan.** *Introductory Mining Engineering. s.l.,2002, Editorial: Wiley.*  
**HOWDEN.** *VentSim DESIGN™ User Guide. Queensland, Australia: Autor. ventsim@howden.com . [En línea] 2018.* <https://ventsim.com/files/VentsimManual.pdf>.

**KARAGIANNI VASILIKI, María., & BENARDOS DIMITRIS, Andreas.**

*Modelado y optimización del diseño de ventilación para una mina subterránea de bauxita*, :2021. Mater. Proc. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/materproc2021005029>

**LLACHO ALHURCA, Ubaldo Cesar., & VARGAS CASTRO CUBA, Armando David.** *Estudio del sistema de ventilación para el control de agentes químicos y físicos, U.O. Pallancata – veta Pablo – 2018, 2018*, Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12867/3417>

**MATIAS FALCON, Marta.** *Modelamiento de dispersión de contaminantes atmosféricos influenciado por la actividad minera a través del software de AERMOD en el distrito de Tinyahuarco*, :2021, Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2145>

**NOVITZK, Alejandro., 1962.** *Ventilaciones de minas. s.l., Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 1962.* En línea

**RAICO TASILLA, Alexander.** *Evaluación y optimización del sistema de ventilación del túnel de exploración Chaquicocha nivel 3750 - minera Yanacocha 2018*, :2019. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3206>



**RAMIREZ TARRILLO, Deysi Margorieth., & MACALUPO RICO, Francisco Alfonso.** *Proyecto de diseño de chimeneas para mejorar la ventilación en la Unidad Minera Pallasca.* s.l. :2021. [Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas], 2021. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/96145>

**SANCHEZ, C.** *Construcción de chimeneas mediante el uso del método Drop Raising, Sector.* s.l. :2017. [Tesis de grado, Universidad de Santiago de Chile].

**VARGAS ALEGRIA, Erick.** *Ventilación de minas. Recuperado el 12 de marzo del 2024.* s.l., Chile : 2015. pag. 36 p. Obtenido de <http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/presentaciones>

**SUTTY VILCA, Jesús Alberto.** *Influencia de la ventilación mecánica, en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 mina Urano SAC – Puno.* 2016,. :2016. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/3539>

**TEJADA ROMERO, Ronald Cesar., & MUCHA GOMEZ, Fredy.** *Evaluación de las condiciones de ventilación para la actualización del sistema integral de ventilación Unidad Minera Yauricocha.* 2022,. :2022. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11374>

**THOMPSON, Rout Rj.** *Mine haul road design and management best practices for safe and costefficient truck haulage.* s.l. :2010. SME Annual Meeting and Exhibit 2010, 140–146, 2010.

**VERA WARTHON, Enslin Rene.** *Implementación y simulación del sistema de ventilación con el software ventsim visual en la Mina San Valentín s.a. – Curahuasi – Apurímac -* 2019, :2019. Obtenido de <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1041>

**WANG JINMIAU, Jia.** *Regulation and Optimization of Air Quantity in a Mine Ventilation Network with Multiple Fans.* 2022, :2022. Obtenido de <https://doi.org/10.24425/ams.2022.140709>

**YUCAS MEJÍA, Víctor Hugo.** *Análisis geomecánico del macizo rocoso para la construcción de la himenea Glory hole mediante el sistema Alimak.* Quito, Ecuador. s.l. :2015. Universidad Central del Ecuador, Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6783>

**ZAVALA ALMERCOC, Luis Enrique.** *Evaluación del sistema de ventilación para mejorar deficiencia de aire en mina Antapite de Empresa Sierra Antapite S.A.C.* 2022, :2022. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/8298>

**ZIKMUND CARR, William.** *Business Research Methods.* s.l. :2010. Edición: 8ª edición. Editorial: South-Western Cengage Learning, 2010.

**ZITRON.** *Conferencia de Ventilación de Minas.* 2010.



## ANEXOS








## Anexo A

Tabla 28 — Matriz de consistencia

Planteamiento del problema	Objetivo	Hipótesis	VARIABLES INDICADORAS	Indicador	Resultados
<p><b>Problema general</b></p> <p>¿Cómo se mejorará el sistema de ventilación en el nivel 23, con la implementación de una chimenea Raise Boring 060 en la Unidad Minera Alpayana S.A. Huarochiri – 2024?</p>	<p><b>Objetivo general</b></p> <p>Mejorar el sistema de ventilación en el nivel 23, con la implementación de chimenea Raise Boring 060 en la Unidad Minera Alpayana S.A. Huarochiri – 2024.</p>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <p>El mejoramiento del sistema de ventilación en el nivel 23, será eficiente con la implementación de chimenea Raise Boring 060 en la Unidad Minera Alpayana S.A. Huarochiri – 2024.</p>	<p><b>Variable independiente</b></p> <p>Mejoramiento del sistema de ventilación.</p>	<p>Sección de la labor Flujo de aire Presión Condiciones de trabajo Concentración de gases Potencia</p>	<p>Análisis del sistema de ventilación.</p>
<p><b>Problema específico</b></p> <p>¿De qué manera se implementará chimenea RB 060 de ventilación del nivel 21A al nivel 23A e instalar ventilador impelente en la Unidad Minera Alpayana S.A.?</p> <p>¿De qué manera se distribuirá el aire a las diferentes labores, con la ejecución de la chimenea RB 060 en la Unidad Minera Alpayana S.A.?</p> <p>¿En qué medida se aumentará las velocidades de aire y reducir la temperatura en las labores, con la ejecución de RB 060 del nivel 21A al nivel 23 en la Unidad Minera Alpayana S.A.?</p>	<p><b>Objetivo específico</b></p> <p>Implementar la Chimenea RB 060 de ventilación del nivel 21A al nivel 23 e instalar ventilador impelente en la Unidad Minera Alpayana S.A.</p> <p>Distribuir el aire a las diferentes labores, con la ejecución de la chimenea RB 060 en la Unidad Minera Alpayana S.A.</p> <p>Aumentar las velocidades de aire y reducir la temperatura en las labores con la ejecución de chimenea RB 060 del nivel 21A al nivel 23 en la Unidad Minera Alpayana S.A.</p> <p>Se dará continuidad de flujo de aire en los niveles inferiores y la profundización en las zonas de operación en la Unidad Minera Alpayana S.A.</p>	<p><b>Hipótesis específicas</b></p> <p>La implementación de Chimenea RB 060 de ventilación del nivel 21A al nivel 23, facilitará la extracción del aire y el ventilador impelente suministrará flujos de aire en la Unidad Minera Alpayana S.A.</p> <p>Se distribuirá el aire a las diferentes labores con la ejecución de la chimenea RB 060 en la Unidad Minera Alpayana S.A.</p> <p>Se aumentará las velocidades de aire y reducir la temperatura en las labores con la ejecución de chimenea RB 060 del nivel 21A al nivel 23 en la Unidad Minera Alpayana S.A.</p> <p>Se dará continuidad de flujo de aire en los niveles inferiores y la profundización en las zonas de operación en la Unidad Minera Alpayana S.A.</p>	<p><b>Variable dependiente</b></p> <p>Implementación de una chimenea.</p>	<p>Aire limpio en calidad y cantidad. Velocidad del aire.</p> <p>Temperatura del aire</p>	<p>Flujo de aire en las zonas de trabajo.</p> <p>Comfort ambiental</p>

Anexo B






PROCEDIMIENTOS ESCRITOS DE TRABAJO SEGURO

	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO <b>Empate y Perforación Piloto</b>		UEA <b>AMERICANA</b>
	Área: Planeamiento	Versión: 00	
	Código: MDP-PI-PETS-13	Página 1 de 8	
<b>1. PERSONAL</b>			
Supervisor, Operador RB, Ayudante RB, Conductor ayudante			
<b>2. EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL</b>			
Uso de Epps (casco, overol con cintas reflectivas, botas metatarsal con punta de acero, lampara minera, guantes Hycron/Showa, lentes de malla, respirador media cara, filtros2097, protección auditiva tipo copa/tapon auditivo, barbiquejo.			
<b>3. EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIALES</b>			
Maquina RB, Barras de perforación, mordazas, estabilizador de piloto, anillo de empate, barra guía, tricono, llave trébol, químico polyplus, grasa multipropósito, grasa bestolife, barretas de acero, llave stilson 36, llave de golpe, barra de inicio con válvula check, tecles, comba, escobilla de acero, monorriel, cadena, cocodrillo, equipo de monitoreo de gases.			
<b>4. PROCEDIMIENTOS</b>			
PASOS SECUENCIALES	PELIGRO/ ASPECTO	RIESGO	CONTROLES
1. Coordinar los trabajos en reparto de guardia mina.	SA: SARS COV-2	Contagio de Sars-Cov-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dosis completas de vacunas</li> <li>Cumplimiento de MD-PSIG-033 Plan de vigilancia, prevención y control COVID-19 en el trabajo.</li> </ul>
	SE: Órdenes Incompletas	Pérdida en el proceso	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las órdenes de trabajo deben ser por escrito y claras para el trabajador, con recomendaciones de seguridad.</li> </ul>
	MA: Residuos no peligrosos	Generación de residuos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disposición de residuos de acuerdo con el código de colores.</li> </ul>
2. Recepción de orden: Se recibirá la orden de trabajo registrado los datos personales, las actividades a realizar y firmado	SE: Órdenes Incompletas	Pérdida en el proceso	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las órdenes de trabajo deben ser por escrito y claras para el trabajador, con recomendaciones de seguridad.</li> </ul>
	SA: Posturas no ergonómicas	Riesgo disergonómico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pausas activas</li> </ul>
	SA: Acoso laboral – agresión verbal	Riesgo Psicosocial	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacitación en riesgos psicosociales. (acoso laboral)</li> <li>Pausas Activas</li> </ul>
3. Desplazamiento hacia la labor	MA: Residuos Sólidos	Generación de Residuos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Minimizar y segregar</li> </ul>
<b>ELABORADO POR:</b>	<b>REVISADO POR:</b>	<b>REVISADO POR:</b>	<b>APROBADO POR:</b>
			
ROLANDO USURIAGA LAZARO SUPERVISOR DE OBRA	LESTER OTAZU CCAHUANA ING. SUPERVISOR DE SEGURIDAD	JOSE RISCO SALGADO INGENIERO RESIDENTE	GUILLERMO SADARRIAGA CORDOVA GERENTE DE OPERACIONES
FECHA: 05/04/2023	FECHA: 05/04/2023	FECHA: 05/04/2023	FECHA: 06/04/2023

FUENTE: ALPAYANA, 2023.

Figura 53 — PETS de empate de perforación.








		PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO <b>Comunicación Piloto</b>		UEA AMERICANA
Área: Planeamiento		Versión: 001		
Código: MDP-PI-PETS-17		Página 1 de 5		
<b>1. PERSONAL</b>				
Supervisor, Operador RB, Ayudante RB, Conductor ayudante				
<b>2. EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL</b>				
Uso de Epps (casco, overol con cintas reflectivas, botas metatarsal con punta de acero, lampara minera, guantes Hycron/Showa, lentes de malla, respirador media cara, filtros2097, protección auditiva tipo copa/tapon auditivo, barbiquejo.				
<b>3. EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIALES</b>				
Máquina RB, Tricono, Bloqueo (Malla electrosoldada, cinta roja), anillo de calibración.				
<b>4. PROCEDIMIENTOS</b>				
PASOS SECUENCIALES	PELIGRO/ ASPECTO	RIESGO	CONTROLES	
1. Coordinar los trabajos en reparto de guardia mina.	SA: SARS COV-2	Contagio de Sars-Cov-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dosis completas de vacunas</li> <li>Cumplimiento de MD-PSIG-033 Plan de vigilancia, prevención y control COVID-19 en el trabajo.</li> </ul>	
	SE: Órdenes Incompletas	Pérdida en el proceso	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las órdenes de trabajo deben ser por escrito y claras para el trabajador, con recomendaciones de seguridad.</li> </ul>	
	MA: Residuos no peligrosos	Generación de residuos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disposición de residuos de acuerdo con el código de colores.</li> </ul>	
2. Recepción de orden: Se recibirá la orden de trabajo registrado los datos personales, las actividades a realizar y firmado.	SE: Órdenes Incompletas	Pérdida en el proceso	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las órdenes de trabajo deben ser por escrito y claras para el trabajador, con recomendaciones de seguridad.</li> </ul>	
3. Desplazamiento hacia la labor	SA: Posturas no ergonómicas	Riesgo disergonómico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pausas activas</li> </ul>	
	SA: Acoso laboral – agresión verbal	Riesgo Psicosocial	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacitación en riesgos psicosociales. (acoso laboral)</li> <li>Pausas Activas</li> </ul>	
	MA: Residuos Sólidos	Generación de Residuos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Minimizar y segregar</li> </ul>	
4. Inspección de área de trabajo (Instalaciones)	SE: Atmósferas irrespirables	Gaseamiento / Inhalación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Arrancar el ventilador en 3 tiempos y ventilar mínimo 30 minutos.</li> <li>Verificar la pizarra de monitoreo de gases</li> </ul>	
<b>ELABORADO POR:</b>	<b>REVISADO POR:</b>	<b>REVISADO POR:</b>	<b>APROBADO POR:</b>	
				
ROLANDO USURIAGA LAZARO SUPERVISOR DE OBRA	LESTER OTAZU CCAHUANA ING. SUPERVISOR DE SEGURIDAD	JOSE RISCO SALGADO INGENIERO RESIDENTE	GUILLERMO SADARRIAGA CORDOVA GERENTE DE OPERACIONES	
FECHA: 05/04/2023	FECHA: 05/04/2023	FECHA: 05/04/2023	FECHA: 06/04/2023	

FUENTE: ALPAYANA, 2023.

Figura 54 — PETS de comunicación de piloto.



	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO <b>Perforación Rimado</b>		<b>UEA AMERICANA</b>
	Área: Planeamiento	Versión: 00	
	Código: MDP-PI-PETS-21	Página 1 de 7	
<b>1. PERSONAL</b>			
Operador RB, Ayudante RB, Conductor ayudante			
<b>2. EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL</b>			
Uso de Epps (casco, overol con cintas reflectivas, botas metatarsal con punta de acero, lampara minera, guantes Hycron/Showa, lentes de malla, respirador media cara, filtros2097, protección auditiva tipo copa/tapon auditivo, barbiquejo.			
<b>3. EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIALES</b>			
Maquina RB, barras de perforación, mordazas, escobilla metálica, barretas, unidades eléctrica e hidráulica, detector de gases.			
<b>4. PROCEDIMIENTOS</b>			
PASOS SECUENCIALES	PELIGRO/ ASPECTO	RIESGO	CONTROLES
1.Coordinar los trabajos en reparto de guardia mina.	SA: SARS COV-2	Contagio de Sars-Cov-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dosis completas de vacunas</li> <li>Cumplimiento de MD-PSIG-033 Plan de vigilancia, prevención y control COVID-19 en el trabajo.</li> </ul>
	SE: Órdenes Incompletas	Pérdida en el proceso	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las órdenes de trabajo deben ser por escrito y claras para el trabajador, con recomendaciones de seguridad.</li> </ul>
	MA: Residuos no peligrosos	Generación de residuos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disposición de residuos de acuerdo con el código de colores.</li> </ul>
2. Recepción de orden: Se recibirá la orden de trabajo registrado los datos personales, las actividades a realizar y firmado	SE: Órdenes Incompletas	Pérdida en el proceso	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las órdenes de trabajo deben ser por escrito y claras para el trabajador, con recomendaciones de seguridad.</li> </ul>
3. Desplazamiento hacia la labor	SA: Posturas no ergonómicas	Riesgo disergonómico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pausas activas</li> </ul>
	SA: Acoso laboral – agresión verbal	Riesgo Psicosocial	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacitación en riesgos psicosociales. (acoso laboral)</li> <li>Pausas Activas</li> </ul>
	MA: Residuos Sólidos	Generación de Residuos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Minimizar y segregar</li> </ul>
<b>ELABORADO POR:</b>	<b>REVISADO POR:</b>	<b>REVISADO POR:</b>	<b>APROBADO POR:</b>
			
ROLANDO USURIAGA LAZARO SUPERVISOR DE OBRA	LESTER OTAZU CCAHUANA ING. SUPERVISOR DE SEGURIDAD	JOSE RISCO SALGADO INGENIERO RESIDENTE	GUILLERMO SADARRIAGA CORDOVA GERENTE DE OPERACIONES
FECHA: 05/04/2023	FECHA: 05/04/2023	FECHA: 05/04/2023	FECHA: 06/04/2023

FUENTE: ALPAYANA, 2023.

Figura 55 — PETS de perforación de rimado.



	<b>PLAN DE TRABAJO</b>		CÓDIGO	Reg. 01 -EST-GE 01																		
			VERSIÓN	02																		
				FECHA DE APROBACIÓN	12/08/2022																	
NOMBRE DE LA ACTIVIDAD:	<b>PLAN DE TRABAJO PARA EL TRASLADO DE MÁQUINA, COMPONENTES Y ACCESORIOS RB DEL NIVEL 18 CUERPOS CM 450 AL NV21A CM 060 ESPERANZA</b>																					
FECHA:	<b>01 de Diciembre de 2023</b>																					
LABOR / ZONA:	<b>CM 450 NV 18 CUERPOS A LA CM 060 NV 21A ESPERANZA</b>																					
RESPONSABLE DE LA ACTIVIDAD:	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>GERENTE DE OBRA:</b> NILTON ALANYA M. / ENER PIÑAS M.</li> <li>● <b>INGENIERO DE SEGURIDAD:</b> KERLY MERA LIVAQUE</li> <li>● <b>SUPERVISOR DE OPERACIONES:</b> ENER PIÑAS M. – PEDRO SOLANO Q.</li> </ul>																					
<p><b>1.0 Antecedentes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Se ha culminado con la ejecución de la chimenea RB 450 en el NV 18 Cuerpos, por lo cual se inicia con el proceso de desinstalación de la máquina, componentes y accesorios RB, para poder trasladarlos al siguiente proyecto; RB 060 que está en el NV 21A Esperanza.</li> </ul> <p><b>2.0 Objetivos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Objetivo principal asegurar que el traslado de la máquina, componentes y equipos RB se ejecute sin la ocurrencia de ningún incidente ni accidente, garantizando en todo momento la integridad del personal y de la maquina con sus accesorios.</li> <li>● Describir la secuencia del proceso de traslado de forma clara y concisa con la finalidad de que todos los involucrados en esta actividad tengan claro cuál es la secuencia y los controles que se deben cumplir en cada etapa del proceso de traslado.</li> <li>● Garantizar que el proceso de traslado se desarrolle de forma que no interrumpa al cliente en sus labores de extracción.</li> </ul> <p><b>3.0 Trabajos Preliminares</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Preparación de acuerdo al estándar de la CA RB 060 del NV 21A Esperanza.</li> <li>● Realizar el anclaje de las vigas en la CA RB 060 del NV 21A Esperanza.</li> <li>● Colocar iluminación en la CA RB 060 del NV 21A Esperanza.</li> <li>● Instalar el tecele de 10 ton. en la CORONA de la CA RB 060 del NV 21A Esperanza.</li> </ul> <p><b>4.0 Participantes</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">OCUPACIÓN</th> <th style="text-align: left;">APELLIDOS Y NOMBRES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gerente de Obra</td> <td>Nilton Alanya Mari</td> </tr> <tr> <td>Ingeniero de Seguridad</td> <td>Kerly Mera Livaque</td> </tr> <tr> <td>Supervisor de Operaciones TD</td> <td>Ener Piñas M.</td> </tr> <tr> <td>Supervisor de Operaciones TN</td> <td>Pedro Solano Q.</td> </tr> <tr> <td>Operador TD</td> <td>Over Marcañaupa T.</td> </tr> <tr> <td>Operador TN</td> <td>Jose Pari H.</td> </tr> <tr> <td>Ayudantes TD</td> <td>Lenin Davila H.</td> </tr> <tr> <td>Ayudantes TN</td> <td>Jefferson Vilcapoma B.</td> </tr> </tbody> </table>					OCUPACIÓN	APELLIDOS Y NOMBRES	Gerente de Obra	Nilton Alanya Mari	Ingeniero de Seguridad	Kerly Mera Livaque	Supervisor de Operaciones TD	Ener Piñas M.	Supervisor de Operaciones TN	Pedro Solano Q.	Operador TD	Over Marcañaupa T.	Operador TN	Jose Pari H.	Ayudantes TD	Lenin Davila H.	Ayudantes TN	Jefferson Vilcapoma B.
OCUPACIÓN	APELLIDOS Y NOMBRES																					
Gerente de Obra	Nilton Alanya Mari																					
Ingeniero de Seguridad	Kerly Mera Livaque																					
Supervisor de Operaciones TD	Ener Piñas M.																					
Supervisor de Operaciones TN	Pedro Solano Q.																					
Operador TD	Over Marcañaupa T.																					
Operador TN	Jose Pari H.																					
Ayudantes TD	Lenin Davila H.																					
Ayudantes TN	Jefferson Vilcapoma B.																					

FUENTE: ALPAYANA, 2023.

**Figura 56 — Plan de trabajo.**

### Anexo C

#### EVIDENCIAS FOTOGRAFICAS DE MONITOREO DE LABORES



Figura 57 — Monitoreo de labor.



Figura 58 — Recolección de datos en campo nivel 23.



Figura 59 — Equipos de monitoreo del área de ventilación.



Figura 60 — Equipo Raise Boring Apayana.




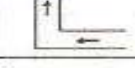





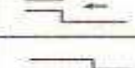
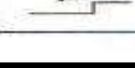



Figura 61 — Monitoreo de labores nivel 21A.



Figura 62 — Instalación del equipo RB nivel 21A.

COEFICIENTES DE FACTOR DE FRICCIÓN

FORMA		Le	FORMA		Le
	CURVA OBTUSA REDONDEADA	0.5		BIFURCACION	230
	ANGULO RECTO REDONDEADO	1		JUNTURA	90
	CURVA AGUDA REDONDEADA	3		ENTRADA	3
	CURVA OBTUSA QUEBRADA	15		DESCARGA	65
	ANGULO RECTO QUEBRADO	70		PASO SOBRE NIVEL (OPTIMO)	1
	CURVA AGUDA QUEBRADA	150		PASO SOBRE NIVEL (BUENO)	85
	CONTRACCION GRADUAL	1		PASO SOBRE NIVEL (MALO)	280
	EXPANSION GRADUAL	1		HILECO PARA PUERTA	70
	CONTRACCION ABRUPTA	10		CARRO O JALISA 20 % AREA DEL CONDUCTO	100
	EXPANSION ABRUPTA	20		CARRO O JALISA 40 % AREA DEL CONDUCTO	500

FUENTE: Hatman, 1991.

Figura 63 — Coeficiente del factor de fricción K.

TIPO DE LABOR	IRREGULARIDADES DE LAS SUPERFICIES DE ALIMENTACION	SINUOSIDAD O CURVATURA											
		RECTA			LEVE				MODERADA			EN A. TO-GRADO	
		LIMPIA	OBSTRUCCION PEQUEÑA	OBSTRUCCION MODERADA	LIMPIA	OBSTRUCCION PEQUEÑA	OBSTRUCCION MODERADA	LIMPIA	OBSTRUCCION PEQUEÑA	OBSTRUCCION MODERADA	LIMPIA	OBSTRUCCION PEQUEÑA	OBSTRUCCION MODERADA
Revestida Superficie suave	Mínimo	10	15	25	20	25	35	25	30	40	35	40	50
	Promedio	15	20	30	25	30	40	30	35	45	45	50	60
	Máximo	20	25	35	30	35	45	45	40	50	55	60	70
Roca Sedimentaria (o Carbón)	Mínimo	30	35	45	40	45	55	45	50	60	55	60	70
	Promedio	55	60	70	65	70	80	70	75	85	80	85	95
	Máximo	70	75	85	80	85	95	85	95	100	95	100	110
Entramada Cuadros de 5 pies	Mínimo	80	85	95	90	95	105	95	100	110	105	110	120
	Promedio	95	100	110	105	110	120	110	115	125	120	125	135
	Máximo	105	110	120	115	120	130	120	125	135	130	135	145
Roca Ignea	Mínimo	90	95	105	100	105	115	105	110	120	115	120	130
	Promedio	145	150	160	155	160	165	160	165	175	170	175	185
	Máximo	195	200	210	205	210	220	210	215	225	220	225	235

Para Tuberias de Ventilación:		NUEVA	USADA	Factor de Fricción:
Aceru		15	20	K * 10 <sup>-10</sup>
Yute, lana, PVC		20	25	
Lana revestida de jete		25	28	

FUENTE: Howard L. Harman, 1991.

Figura 64 — Factor de fricción K para labores mineras.



## CIRCUITOS DE VENTILACIÓN EN EL SOFTWARE VENTSIM

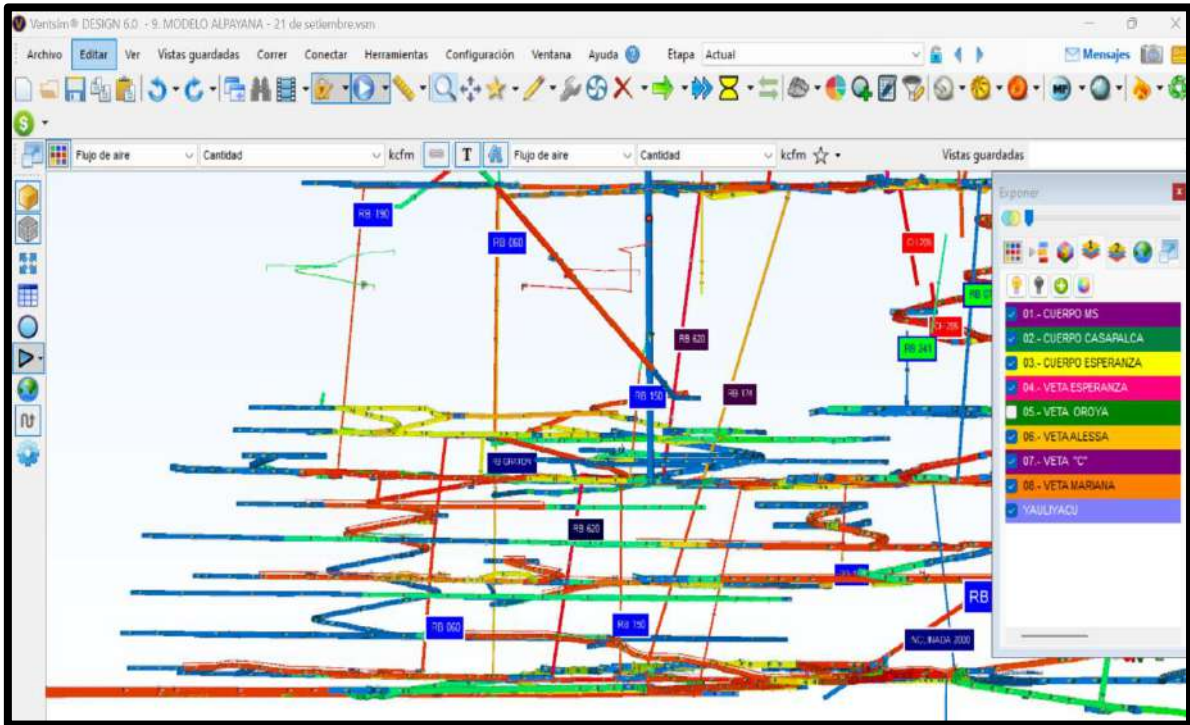


Figura 65 — Circuito de ventilación en el software ventsim.

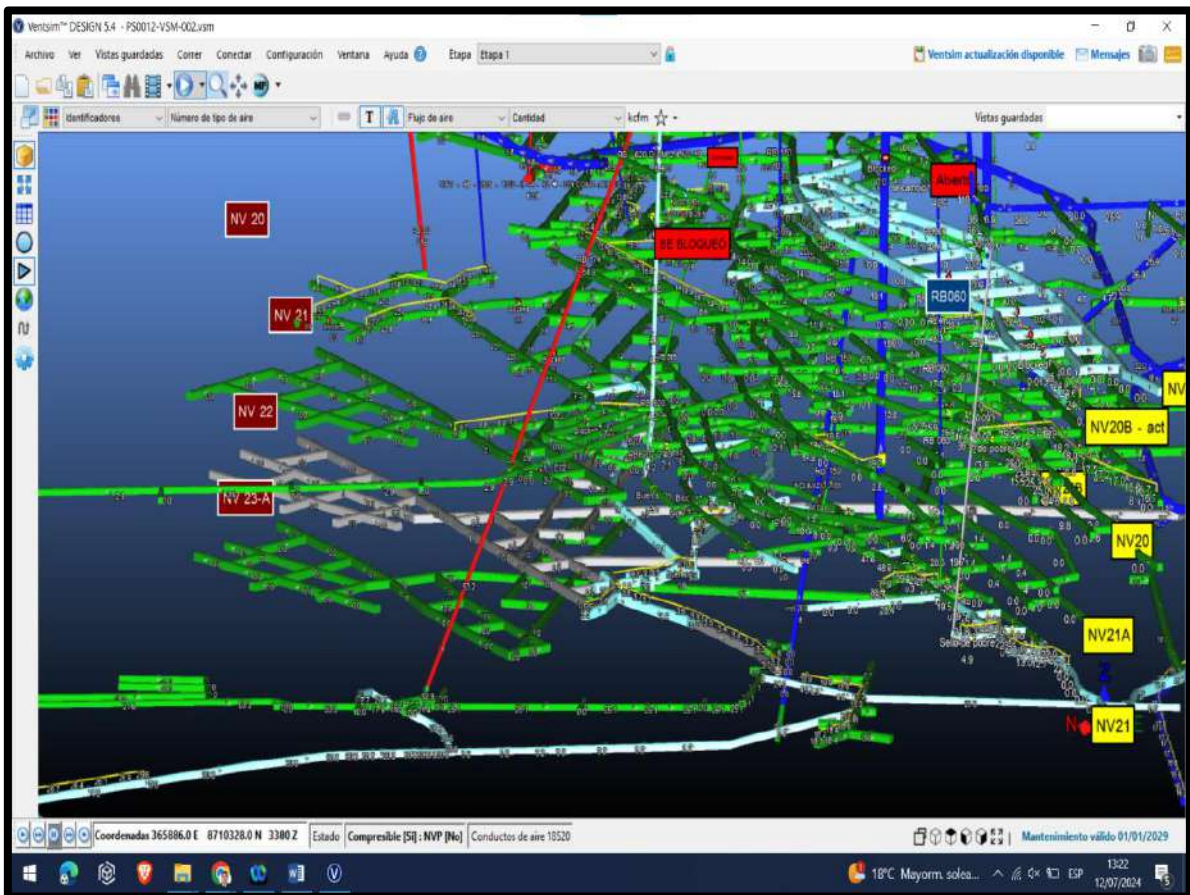


Figura 66 — Visualización del flujo del aire del nivel 20 al nivel 23A.



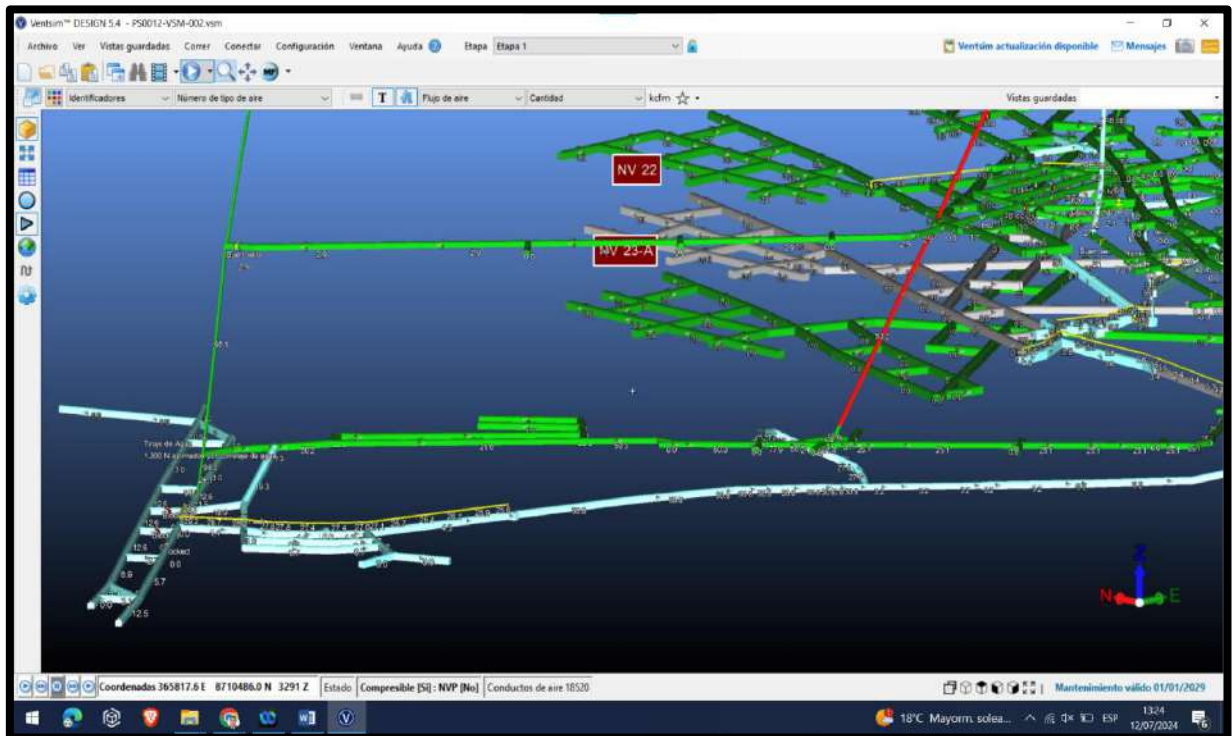


Figura 67 — Vista de la profundización de los niveles inferiores.

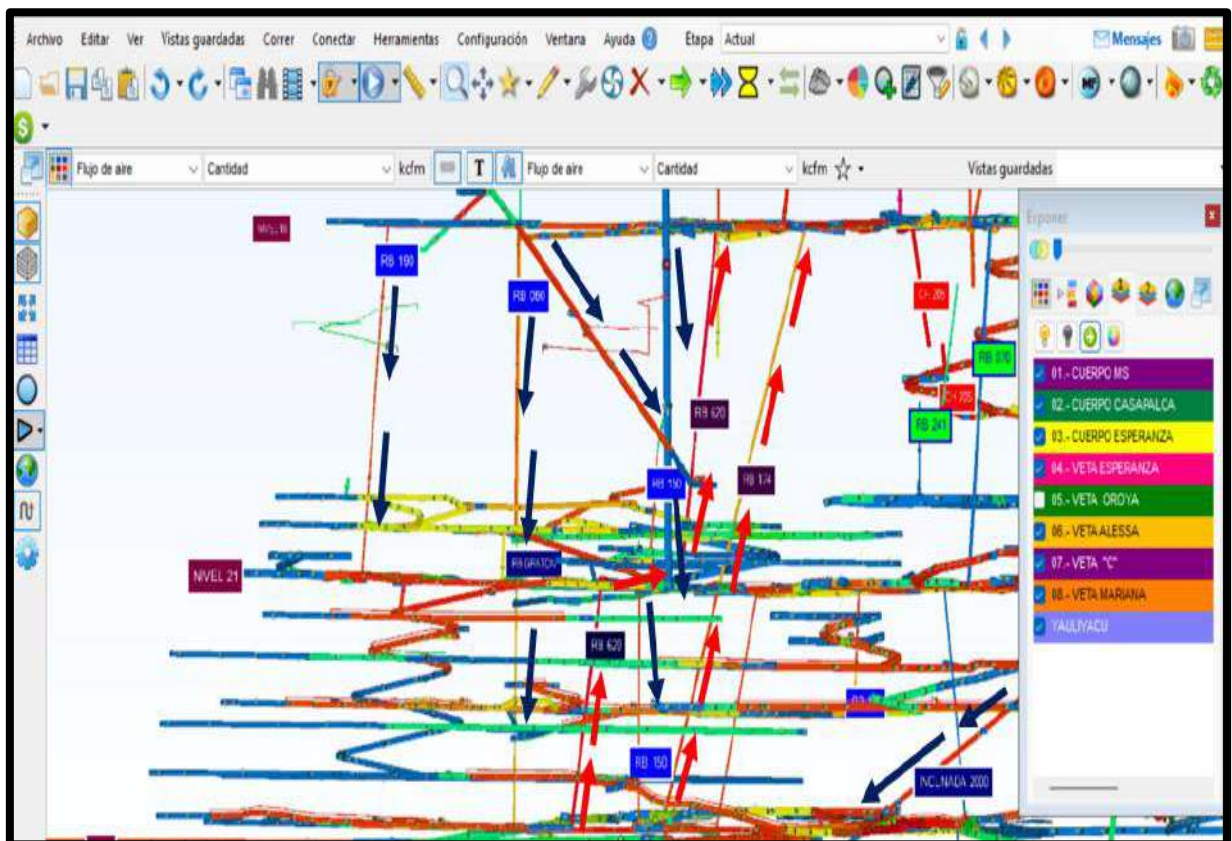
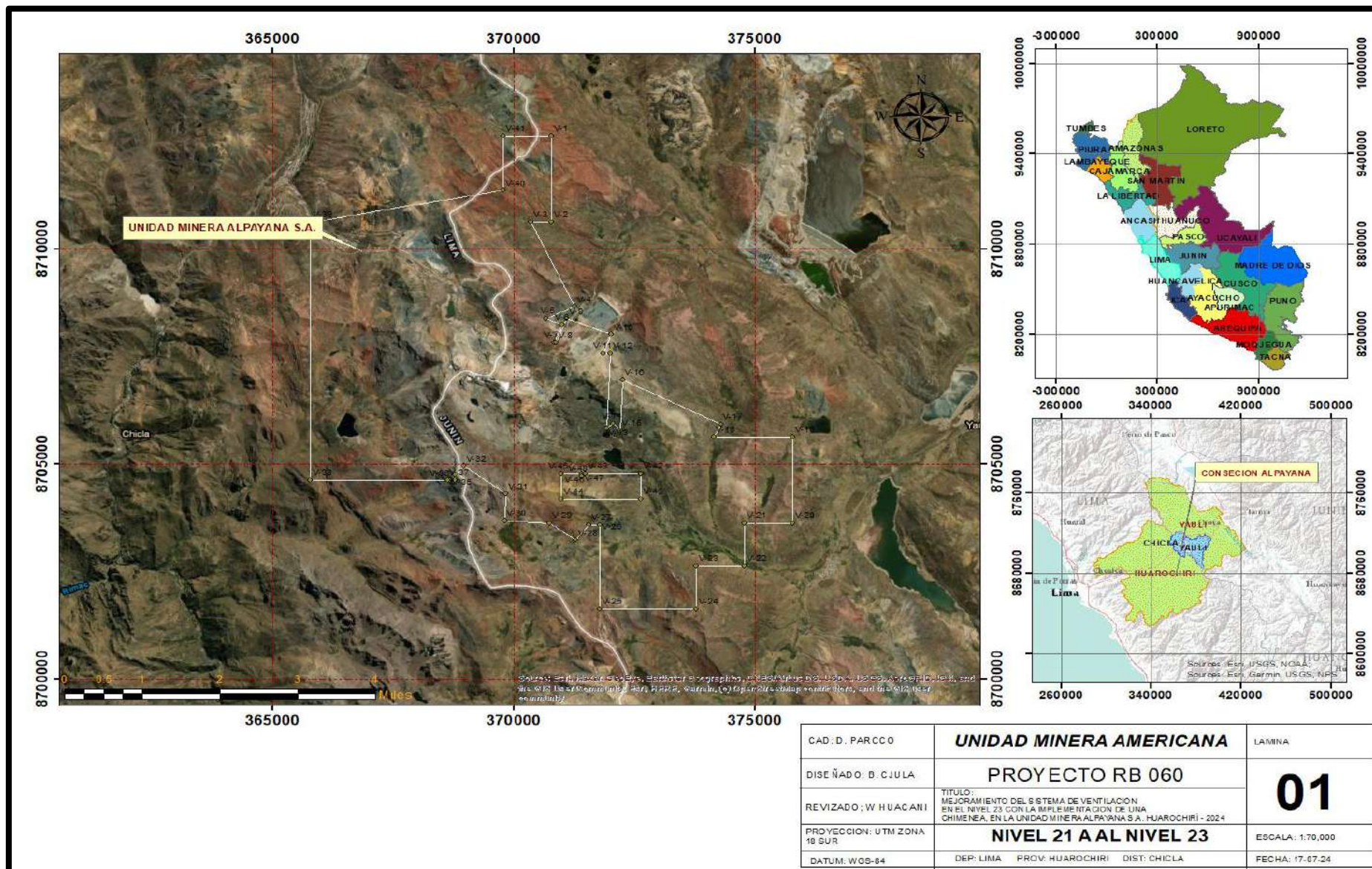


Figura 68 — Vista de la veta Esperanza.

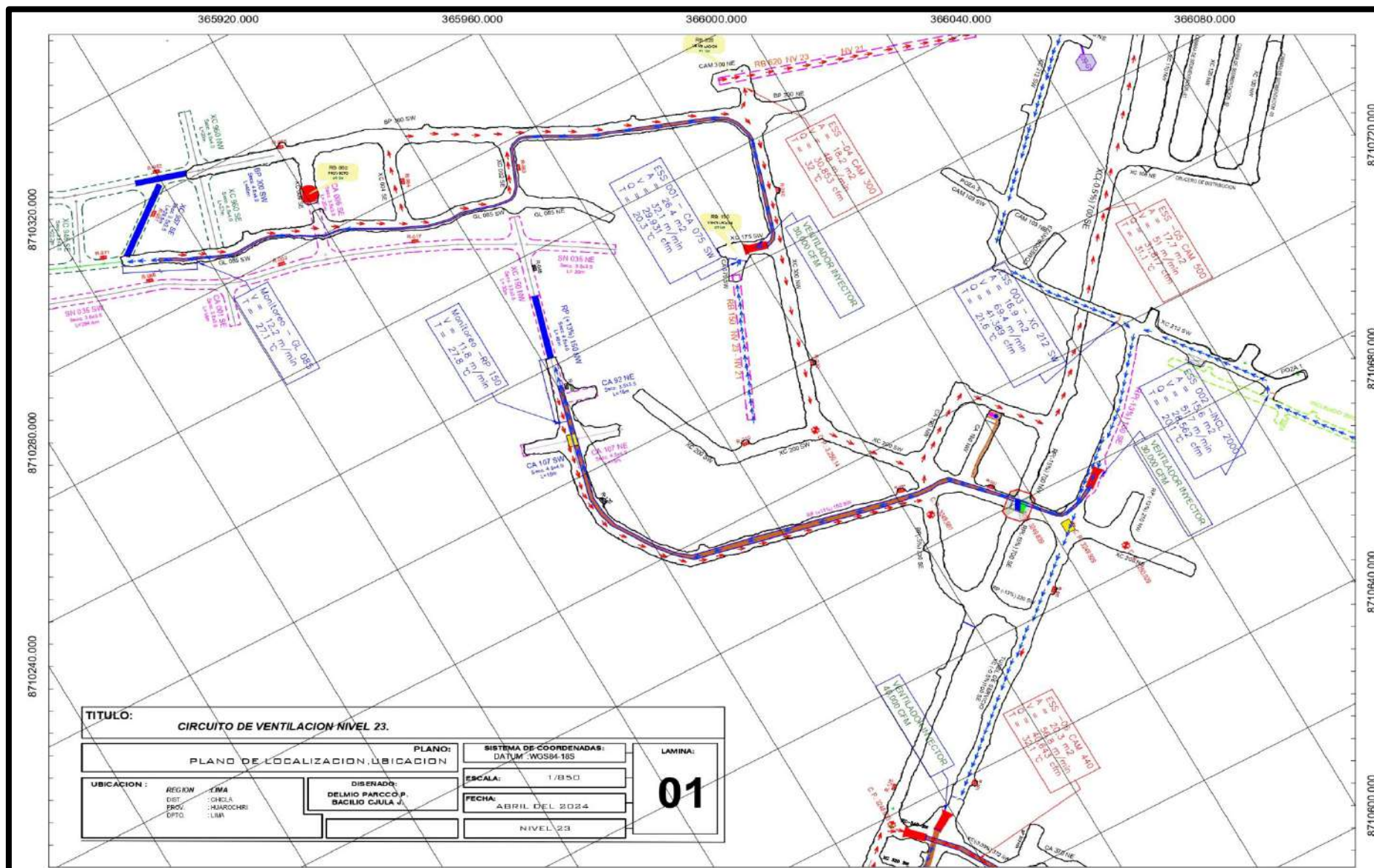
### Anexo D

## PLANO DE UBICACIÓN DE LA UNIDAD ALPAYANA





PLANO DEL CIRCUITO DE VENTILACION DEL NIVEL 23 ANTES DE EJECUTAR EL RB 060



PLANO DEL CIRCUITO DE VENTILACION DEL NIVEL 23 DESPUES DE EJECUTAR EL RB 060

