

**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**TESIS**

**Modelización del sistema de ventilación mediante el software Ventsim en el Pique 8261 de la AMA Pepas de Oro de Pampamarca, Apurímac - 2023**

Presentado por:

Robert Mijael Anampa Limascca

Analy Cruz Limascca

Para optar el Título de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**“MODELIZACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN MEDIANTE  
EL SOFTWARE VENTSIM EN EL PIQUE 8261 DE LA AMA PEPAS  
DE ORO DE PAMPAMARCA, APURÍMAC - 2023”**

Presentado por **Robert Mijael Anampa Limascca** y **Analy Cruz Limascca**, para optar el  
título profesional de:

**INGENIERO DE MINAS**

Sustentado y aprobado el 11 de diciembre del 2023, ante el jurado evaluador:

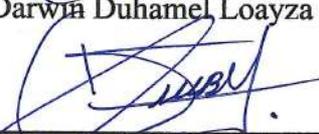
**Presidente:**

  
Mag. Dario Dante Sánchez Castillo

**Primer Miembro:**

  
Ing. Darwin Duhamel Loayza Encalada

**Segundo Miembro:**

  
Mag. Guido Bravo Mendoza

**Asesor :**

  
Dr. Walquer Huacani Calsin

## **Agradecimiento**

*En estas líneas agradecemos a Dios quien nos ha guiado y nos ha dado fortaleza para seguir adelante.*

*A nuestros padres por el apoyo incondicional e invaluable, quienes fueron nuestra fortaleza en nuestros momentos de debilidad, quienes trabajaron duro para que no nos hiciera falta nada, gracias a nuestra madre por confiar y creer en nosotros y nuestras expectativas, gracias a nuestro padre por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para nuestra vida, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que nos guiaron durante nuestra vida.*

*A la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a los docentes de la escuela profesional de Ingeniería de Minas, en especial a nuestro asesor el Dr. Ing. Walquer Huacani Calsin, por las enseñanzas de calidad que nos brindaron para desempeñarnos profesionalmente.*



## **Dedicatoria**

*Nuestra tesis es dedicada con mucho amor y cariño a nuestros padres que han sabido formarnos con buenos sentimientos, hábitos y valores lo cual nos ha ayudado a seguir adelante en los momentos más difíciles, muchos de nuestros logros se los debemos a ustedes entre los que se incluye este.*



“Modelización del sistema de ventilación mediante el software Ventsim en el Pique 8261 de la AMA Pepas de Oro de Pampamarca, Apurímac – 2023”

Línea de investigación: Minería y procesamiento de minerales

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



# ÍNDICE

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>3</b>
<b>ABSTRAC .....</b>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>5</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>5</b>
1.1. Descripción del problema .....	5
1.2. Enunciado del problema .....	7
1.2.1. Problema general.....	7
1.2.2. Problemas específicos .....	7
1.3. Justificación de la investigación .....	7
1.3.1. Justificación teórica.....	8
1.3.2. Justificación práctica.....	8
1.3.3. Justificación metodológica.....	8
1.4. Ubicación y accesibilidad .....	9
1.4.1. Ubicación .....	9
1.4.2. Accesibilidad.....	11
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>12</b>
<b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....</b>	<b>12</b>
2.1. Objetivos de la investigación .....	12
2.1.1. Objetivo general.....	12
2.1.2. Objetivos específicos .....	12
2.2. Hipótesis de la investigación .....	12
2.2.1. Hipótesis general.....	12
2.2.2. Hipótesis específicas .....	12
2.3. Operacionalización de variables .....	13
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>14</b>
<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>14</b>

3.1. Antecedentes .....	14
3.2. Aspectos generales.....	18
3.2.1. Características climáticas .....	19
3.2.2. Flora .....	22
3.2.3. Fauna.....	23
3.2.4. Características geológicas .....	24
3.2.5. Aspectos generales de la unidad minera .....	31
3.2.6. Recursos humanos.....	35
3.3. Marco teórico .....	35
3.3.1. Atmosfera de mina .....	35
3.3.2. Aire atmosférico.....	36
3.3.3. Aire de mina.....	36
3.3.4. Propiedades físicas del aire .....	37
3.3.5. Métodos de ventilación de minas.....	39
3.3.6. Sistema de ventilación .....	40
3.3.7. Tipos de ventiladores .....	44
3.3.8. Normas legales que sustentan el estudio.....	46
3.3.9. Requerimiento de aire .....	48
3.3.10. Definición de términos básicos .....	50
3.3.11. Leyes de Kirchhoff.....	52
3.3.12. Circuitos de ventilación .....	53
3.3.13. Ley básica de ventilación de minas.....	57
3.3.14. Ecuación de energía total .....	58
3.3.15. Ecuación modificada de energía .....	59
3.3.16. Perdidas de presión .....	59
3.3.17. Formula de Atkinson.....	60
3.3.18. Factor de fricción .....	61
3.3.19. Software Ventsim.....	61
3.4. Marco conceptual.....	62
3.4.1. Ventilación mecánica o forzada.....	62



3.4.2. Ventilación axial .....	63
3.4.3. Perdidas por choque .....	63
3.4.4. Planeación de ventilación de mina.....	63
3.4.5. Programa de gestión en ventilación de minas.....	63
3.4.6. Composición de aire seco .....	64
3.4.7. Leyes de Bernoulli aplicado a un sistema de ventilación .....	65
3.4.8. Ley fundamental de ventilación de minas.....	66
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>67</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>67</b>
4.1. Tipo y nivel de investigación.....	67
4.1.1. Tipo de investigación.....	67
4.1.2. Nivel de investigación.....	67
4.2. Diseño de investigación .....	67
4.3. Población y muestra.....	68
4.3.1. Población.....	68
4.3.2. Muestra.....	68
4.4. Procedimiento .....	68
4.5. Técnicas e instrumentos.....	74
4.5.1. Técnicas .....	74
4.5.2. Instrumentos.....	75
4.6. Análisis estadístico .....	75
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>77</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>77</b>
5.1. Análisis de resultados .....	77
5.1.1. Diagnóstico del sistema de ventilación actual de la mina.....	77
5.1.2. Implementación del sistema de ventilación para el Pique 8261 .....	89
5.1.3. Determinación del caudal de aire requerido para el Pique.....	89
5.1.4. Dimensionamiento y ubicación del ventilador para el caudal de aire.....	94
5.1.5. Evaluación del sistema de ventilación en el programa Ventsim.....	100
5.1.6. Evaluación de costos para la implementación del sistema de ventilación.....	106



5.2. Contrastación de hipótesis .....	108
5.3. Discusión .....	109
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>110</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>110</b>
6.1. Conclusiones .....	110
6.2. Recomendaciones .....	111
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>112</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>115</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> — Cuadro de coordenadas de la concesión Pampamarquino I .....	10
<b>Tabla 2</b> — Accesibilidad a la Unidad Operativa Pampamarquino I .....	11
<b>Tabla 3</b> — Operacionalización de variables .....	13
<b>Tabla 4</b> — Gases presentes en actividades mineras .....	47
<b>Tabla 5</b> — Límites de exposición ocupacional para agentes químicos .....	48
<b>Tabla 6</b> — Cantidad de aire mínimo requerido por persona .....	49
<b>Tabla 7</b> — Composición del aire seco .....	65
<b>Tabla 8</b> — Monitoreo de gases en el Nivel 4490 labor Pique 8261 mes de mayo 2023 .....	84
<b>Tabla 9</b> — Monitoreo de gases en el Nivel 4490 labor Pique 8261 mes de junio 2023 .....	85
<b>Tabla 10</b> — Monitoreo de gases en el Nivel 4490 labor Pique 8261 mes de julio 2023 .....	87
<b>Tabla 11</b> — Caudal de aire por uso de equipos diésel (Q2) .....	92
<b>Tabla 12</b> — Cantidad de aire requerido para la dilución de contaminantes .....	93
<b>Tabla 13</b> — Cantidad total de aire requerido para la Unidad Minera Pampamarquino .....	93
<b>Tabla 14</b> — Resumen de parámetros .....	95
<b>Tabla 15</b> — Valores de Presión atmosférica en función de la altura .....	98
<b>Tabla 16</b> — Cálculo de costos de suministro de aire al Pique 8261 .....	107
<b>Tabla 17</b> — Matriz de Consistencia .....	116
<b>Tabla 18</b> — Medida de Flujo de aire Nivel 4490 .....	120
<b>Tabla 19</b> — Medida de flujo de aire Pique 8261 .....	122
<b>Tabla 20</b> — Tabla para determinar Longitud equivalente (Le) en pies .....	128
<b>Tabla 21</b> — Tabla para determinar el factor de fricción (K) .....	129



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> —Registro de derecho minero INGEMMET N° 040009709 .....	10
<b>Figura 2</b> — Ubicación de la Unidad Operativa Pampamarquino en Google Earth.....	11
<b>Figura 3</b> — Ubicación de la Asociación de Mineros Artesanales Pepas de Oro-U.M Pampamarquino I.....	19
<b>Figura 4</b> — Procesamiento de datos en Google Earth Engine de la temperatura.....	20
<b>Figura 5</b> — Series de tiempo de la temperatura periodo 2022 .....	21
<b>Figura 6</b> — Procesamiento de datos en Google Earth Engine de la precipitación.....	22
<b>Figura 7</b> — Series de tiempo de la precipitación periodo 2022 .....	22
<b>Figura 8</b> — Thola considerado como planta medicinal .....	23
<b>Figura 9</b> — Perdiz, ave predominante de la zona del área de influencia directa .....	24
<b>Figura 10</b> — Vista de la geología formación Saycata del sector de Huachuhuillca .....	25
<b>Figura 11</b> — Columna estratigráfica esquemática del proyecto Huachohuillca .....	28
<b>Figura 12</b> — Mapa litológico y de ubicación zona Huachohuillca y Puca Orcco .....	28
<b>Figura 13</b> — Imagen de las labores del proyecto Huachohuillca.....	33
<b>Figura 14</b> — Campamento general de la Unidad Minera Pampamarquino .....	35
<b>Figura 15</b> — Sistema de ventilación natural .....	39
<b>Figura 16</b> — Ventilación forzada .....	40
<b>Figura 17</b> — Sistema de ventilación impelente.....	41
<b>Figura 18</b> — Zonas del sistema de ventilación impelente.....	41
<b>Figura 19</b> — Sistema de ventilación aspirante .....	42
<b>Figura 20</b> — Sistema de ventilación mixta o combinado.....	43
<b>Figura 21</b> — Sistema aspirante con apoyo impelente .....	44



<b>Figura 22</b> — Partes de un ventilador centrífugo .....	45
<b>Figura 23</b> — Primera ley de Kirchhoff.....	52
<b>Figura 24</b> — Segunda ley de Kirchhoff .....	53
<b>Figura 25</b> — Circuito en serie con puertas que regulan el aire conforme sus necesidades.....	55
<b>Figura 26</b> — Circuito convertido a esquema lineal.....	55
<b>Figura 27</b> — Circuito en serie .....	55
<b>Figura 28</b> — Esquema del circuito en Paralelo .....	57
<b>Figura 29</b> — Flujo de fluidos a través de un ducto .....	59
<b>Figura 30</b> — Visualización del software Ventsim .....	62
<b>Figura 31</b> — Flujo a través de los puntos 1 y 2.....	65
<b>Figura 32</b> — Inicio del Pique 8261 del nivel 4490 de la veta Carlos.....	69
<b>Figura 33</b> — Visualización en programa Ventsim las labores del nivel 4490 .....	70
<b>Figura 34</b> — Visualización en programa Mine Plan las labores del nivel 4490 .....	71
<b>Figura 35</b> — Manga de ventilación para la profundización del Pique 8261 .....	72
<b>Figura 36</b> — Visualización en programa Ventsim las labores del Nivel 4490 .....	72
<b>Figura 37</b> — Equipo para medir la velocidad de aire (Anemómetro).....	73
<b>Figura 38</b> — Reporte de monitoreo de gases nivel 4490 .....	74
<b>Figura 39</b> — Esquema de ingreso de aire al SN 4490 y al Pique 8261.....	78
<b>Figura 40</b> — Flujo de aire al SN 4490 en manga de ventilación de 25” de diámetro .....	79
<b>Figura 41</b> — Esquema de ingreso y salida de aire Nivel 4490.....	80
<b>Figura 42</b> — Extracción de aire contaminando mediante mangas de ventilación .....	81
<b>Figura 43</b> — Tomando medidas de flujo de aire nivel 4490.....	82
<b>Figura 44</b> — Gráfico estadístico de oxígeno en mes de mayo 2023 .....	82
<b>Figura 45</b> — Gráfico estadístico de oxígeno en mes de junio 2023.....	83
<b>Figura 46</b> — Gráfico estadístico de oxígeno en mes de julio 2023.....	84



<b>Figura 47</b> — Vista del Pique 8261 .....	89
<b>Figura 48</b> — Vista en frente del SN 4490 y el Pique proyectado 8261 en MinePlane .....	101
<b>Figura 49</b> — Modelado del Sub Nivel en 3D en el programa Deswik.....	102
<b>Figura 50</b> — Extracción del eje central unifilar en programa Deswik.....	102
<b>Figura 51</b> — Configuración del sistema para la importación de datos .....	104
<b>Figura 52</b> — Visualización de datos en 3D en el programa Ventsim de las labores del SN 4490 .....	104
<b>Figura 53</b> — Visualización de la simulación del sistema en Ventsim .....	105
<b>Figura 54</b> — Medidor de gases Drager que se utiliza en la Unidad Minera .....	123
<b>Figura 55</b> — Tomada velocidad del aire en el Nivel 4490.....	123
<b>Figura 56</b> — Verificando fuga de gases en la manga de ventilación .....	124
<b>Figura 57</b> — Tomando medida de gases presentes en la labor .....	125
<b>Figura 58</b> — Vista de las labores de la veta Carlos.....	125
<b>Figura 59</b> — Vista de la manga de ventilación y servicios de agua.....	126
<b>Figura 60</b> — Supervisando equipos de monitoreo de aire .....	126
<b>Figura 61</b> — Vista de ingreso a la Unidad Minera Pampamarquino .....	127
<b>Figura 62</b> — Vista en perfil del Nivel 4490 y Pique 8261 en el software Mine Sighth (color verde).....	130
<b>Figura 63</b> — Vista en planta del Nivel 4490 y Pique 8261 modelado en el software Mine Sighth para la visualización de las labores en el Nivel 4490 .....	130
<b>Figura 64</b> — Vista en perfil del Nivel 4490 y Pique 8261 para la modelización tomado como referencia el Nivel 4490 y el Pique 8261 .....	131
<b>Figura 65</b> — Vista en planta del Nivel 4490 y Pique 8261 en la modelización en el software Mine Sighth donde se debe exportar en formato DXF para su simulación en el programa Ventsim .....	131



## INTRODUCCIÓN

El principal desafío en las minas subterráneas para extraer minerales es la deficiencia en el sistema de ventilación, lo cual impide que el aire fresco llegue adecuadamente a las áreas de trabajo, debido a la profundidad y complejidad de las operaciones mineras. Se ha llevado a cabo una investigación titulada " MODELIZACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN MEDIANTE EL SOFTWARE VENTSIM EN EL PIQUE 8261 DE LA AMA PEPAS DE ORO DE PAMPAMARCA, APURÍMAC - 2023". El problema principal abordado en esta investigación es la deficiencia en el suministro de aire fresco para los trabajadores, con la presente investigación se pretende mejorar las condiciones ambientales de trabajo, de tal forma, que el aire fresco llegue en cantidades apropiadas para mejorar el caudal de aire, de acuerdo al requerimiento de aire y que esté dentro de los límites máximos permisibles, a todas las labores donde el personal se encuentre trabajando, para ello se pretende modelizar un sistema automático de flujos de aire con la aplicación del programa Ventsim para el modelamiento adecuado del circuito de flujo de aire, para la implementación y ubicación de los ventiladores. Se espera que esta iniciativa a largo plazo mejore tanto la calidad de vida de los trabajadores, como la cantidad del flujo de aire requerido.

En Perú, es común que ocurran accidentes relacionados a la inhalación de gases tóxicos y polvos en suspensión en labores subterráneas, debido a la mala distribución de flujos de aire en labores de trabajo. Estos accidentes causan pérdidas de vidas humanas cada año, según la Estadística de Accidentes Mortales en el Sector Minero elaborada por el Ministerio de Energía y Minas. En los últimos años, el suministro de aire necesario para la extracción de minerales en las minas subterráneas se ha convertido en un parámetro crítico para garantizar la salud de los trabajadores (Vera, 2019).

El sistema de ventilación de minas es uno de los módulos más críticos en un proyecto de minería subterránea Karagianni y Benardos (2021), debido a que asegura el aporte de oxígeno requerido en la operación de equipos en la minería subterránea (Wang, et al., 2022). Además, permite la eliminación y dilución de los agentes químicos generados en las operaciones de explotación, los cuales se encuentran representados principalmente por los gases tóxicos y dañinos productos de la voladura con explosivos encartuchados o emulsiones y polvos de material estéril y mineral generados por el proceso de perforación, carguío y acarreo, sostenimiento, entre otros.

Este trabajo se realizará para brindar conocimiento a futuras necesidades de aire de las unidades mineras que trabajan en el interior de mina, para una implementación adecuada del sistema de ventilación, tanto para estudios de tipo experimental y no experimental, o cualquier otro tipo de



trabajo de investigación. Por otro lado, esta información puede servir como información básica para las empresas mineras que extraen minerales de ambientes subterráneos, ya que este trabajo contara con bases teóricas de un sistema de ventilación y una ejemplificación de datos técnicos aplicados a un modelo automatizado de simulación de aire que buscan la mejora el sistema de ventilación del Pique 8261 en el Sub Nivel 4490.

El presente trabajo, contiene 5 capítulos donde, el primer capítulo abordara los temas relacionados al planteamiento el problema, donde daremos un breve descripción y justificación de este mismo, para poder determinar el caudal minero de la minera “Pepas de Oro” a través de cálculos matemáticos, en el segundo capítulo determinamos los objetivos e hipótesis de investigación, en el tercer capítulo se plasma el marco teórico referencial , donde podremos fundamentar el marco teórico y legal a partir de referencias bibliográficas, el cuarto capítulo se muestra la metodología que se plantea para resolver los objetivos y obtener un resultado óptimo con respecto a la implementación del nuevo sistema de ventilación y la adecuación del equipo de ventilación y por último, el quinto capítulo se presenta los resultados y conclusiones del trabajo de investigación de acuerdo a los objetivos planteados.

## RESUMEN

Uno de los problemas que se presenta en los trabajos subterráneos, es la deficiencia de flujo de aire en las labores, esto lleva a la acumulación de gases tóxicos, presencia de polvo, disminución en la productividad. aumenta el riesgo de incendios y explosiones. El objetivo del presente trabajo de investigación es modelizar el sistema de ventilación mediante el software Ventsim para optimizar el caudal de flujo de aire para el Pique 8261 de la minera Asociación de Mineros Artesanales Pepas de Oro de Pampamarca de acuerdo a los requerimientos de aire, inicialmente se ha realizado los cálculos teóricos para determinar el caudal de flujo, la modelización y ubicación del ventilador auxiliar para abastecer el elemento vital para la respiración del ser humano, actualmente la Unidad Minera no tiene un sistema adecuado de flujos de aire debido al incremento de producción y labores subterráneos. La metodología de la investigación está relacionada al tipo cuantitativo, porque se ha recopilado datos de campo para medir las variables propuestos y evaluarlos, para determinar un sistema de ventilación adecuada para continuar con la profundización de los trabajos. Los resultados de la evaluación determinan un flujo de caudal de aire de 18000 cfm, que circulará con una velocidad de 140,04 m/min, que será suministrado con una manga de ventilación de 20” de diámetro a través de un ventilador auxiliar de 16 hp de potencia que trabajará con una eficiencia del 75%, el sistema de ventilación será combinado impelente y aspirante, para la implementación del sistema de ventilación los costos ascienden a 0,69 dólares/m<sup>3</sup> de aire repulsado hacia el pique. En conclusión, el uso del software Ventsim permitió modelizar el sistema de ventilación para el Pique 8261 de la AMA Pepas de Oro de Pampamarca, Apurímac – 2023.

**Palabras clave:** *Aire, flujo, modelización, software y ventilación.*



## ABSTRAC

One of the problems that occurs in subway works, is the deficiency of air flow in the workings, this leads to the accumulation of toxic gases, presence of dust, decrease in productivity, increases the risk of fires and explosions. The objective of this research work is to model the ventilation system using Ventsim software to optimize the air flow rate for the Pique 8261 of the Asociación de Mineros Artesanales Pepas de Oro de Pampamarca according to the air requirements, initially the theoretical calculations have been made to determine the flow rate, modeling and location of the auxiliary fan to supply the vital element for human breathing, currently the mining unit does not have an adequate air flow system due to increased production and subway workings. The research methodology is related to the quantitative type, because field data has been collected to measure the proposed variables and evaluate them, to determine an adequate ventilation system to continue with the deepening of the work. The results of the evaluation determine an air flow rate of 18000 cfm, which will circulate with a speed of 140.04 m/min, which will be supplied with a ventilation sleeve of 20" diameter through an auxiliary fan of 16 hp of power that will work with an efficiency of 75%, the ventilation system will be combined impeller and aspirant, for the implementation of the ventilation system the costs amount to 0.69 dollars/m<sup>3</sup> of air repelled to the pit. In conclusion, the use of Ventsim software allowed modeling the ventilation system for the 8261 Pit of the AMA Pepas de Oro de Pampamarca, Apurimac – 2023.

**Keywords:** *Air, flow, modeling, software and ventilation.*



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Descripción del problema

Para la extracción de mineral se requiere construir labores subterráneas como galerías, piques, cortadas, en otros, a medida que se profundiza para la extracción del mineral, se presenta varios problemas; como insuficiencia de aire fresco para la respiración de los trabajadores, para la combustión completa de los equipos diésel, para disolver los gases que se generan con el uso de explosivos, las temperaturas elevadas que se presentan cuando se profundiza las labores, la presencia de polvo en suspensión, entre otros, para satisfacer estos requerimientos se necesita un sistema de ventilación adecuada donde el flujo del aire llegue a todos los espacios subterráneos, como galerías, piques, bodegas subterráneas o estacionamientos subterráneos. Este tipo de entornos cerrados y confinados requieren de un sistema de ventilación adecuado para garantizar la calidad del aire, la temperatura y la seguridad de las personas que trabajan o transitan por ellos.

En los trabajos subterráneos es necesario crear ambientes saludables y adecuadas para los trabajadores, con una deficiencia en el suministro de flujo de aire, el rendimiento de los trabajadores e equipos es deficiente por falta de oxígeno para la respiración, para una combustión completa de los equipos Diesel.

Los contaminantes como son los gases tóxicos que se generan con el uso de explosivos, los vapores químicos que están presentes por el funcionamiento de los equipos, las partículas de polvo que se producen con las operaciones unitarias, la inadecuada instalación del sistema de ventilación, puede producir el riesgo de enfermedades respiratorias o gaseamiento de las personas con la inhalación de gases tóxicos.

Asimismo, la temperatura inadecuada de los espacios subterráneos puede generar incomodidad y afectar el rendimiento y bienestar de los trabajadores, la humedad que se presenta por la falta de ventilación que puede provocar la acumulación de agua, olores desagradables y una sensación de falta de frescura en el ambiente. Además, la falta de



circulación del aire puede afectar la disipación de gases inflamables o explosivos, aumentando el riesgo de incendios o explosiones.

La minera Pepas de Oro queda ubicada en la comunidad de Pampamarca, distrito de Cotaruse, provincia de Aymaraes, de la región de Apurímac, es uno de los yacimientos más conocidos por la zona debido a la producción de oro y otros metales, donde las labores de extracción minera son realizadas directamente por la comunidad campesina, su sistema de extracción es a base de galerías subterráneas.

Actualmente no se ha realizado ningún estudio de esta unidad minera, en cuanto en determinar la génesis mineral y características principales, según informaciones de campo estos contienen un gran porcentaje de yacimientos auríferos con leyes muy por encima de la media normal.

Para poder explotar un yacimiento minero, es necesario realizar una estimación del recurso y reserva que posee. En el caso del yacimiento Pepas de Oro, es importante llevar a cabo una evaluación de estos aspectos, lo que requieren de información geológica que sirva como base para la investigación. Determinando la génesis del yacimiento y las características de la roca huésped, lo que permite compararlo con modelos geológicos existentes o similares, y determinar el comportamiento de la estructura mineralizada que está relacionada con el agente mineralizador. De esta forma, se pueden enfocar las zonas de exploración en aquellas áreas que el modelo geológico nos indique.

Para solucionar el problema principal que actualmente tiene la empresa minera es adecuar principalmente un sistema de ventilación subterránea que es muy necesario, requiere llevar a cabo un estudio exhaustivo del espacio y sus condiciones particulares. Esto puede implicar la realización de mediciones de calidad del aire, temperatura y flujo de aire, así como el diseño e instalación de un sistema de ventilación adecuado que cumpla con los estándares de seguridad y salud ocupacional.

Además, es importante llevar a cabo un mantenimiento regular del sistema de ventilación para garantizar su funcionamiento óptimo y prevenir la acumulación de contaminantes o la obstrucción de los conductos de aire. La formación y concientización del personal que trabaja en estos espacios sobre la importancia de la ventilación adecuada también es fundamental para prevenir problemas y garantizar un ambiente seguro y saludable.

Dicho lo anterior el presente trabajo realizara los cálculos a partir de estudios realizados y presentados por la minera, ya que se tiene la facilidad de tener datos técnicos actuales.



Por ello la finalidad es analizar y evaluar un sistema de ventilación eficiente y seguro, así mismo ubicar los equipos adecuados como son los ventiladores para poder satisfacer las necesidades de aire que se necesita de acuerdo a los requerimientos.

## **1.2. Enunciado del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿De qué manera la modelización del sistema de ventilación mediante el software Ventsim puede optimizar el caudal de aire para el Pique 8261 de la Asociación de mineros artesanales Pepas de Oro de Pampamarca, Apurímac - 2023?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo se podrá implementar el sistema de ventilación integrado mediante el software Ventsim para la modelización del caudal de aire para el Pique 8261?
- ¿De qué manera se podrá determinar el caudal de aire requerido para el Pique 8261?
- ¿Es posible dimensionar y determinar la ubicación de los ventiladores para modelizar el caudal de aire para el pique 8261?
- ¿Se podrá determinar y evaluar los costos para la implementación del sistema de ventilación para el pique 8261?

## **1.3. Justificación de la investigación**

Para realizar este trabajo de investigación se ha visto la necesidad de aire para la ventilación de las labores y establecer una circulación constante de aire para asegurar la salud de los trabajadores y mantener un contenido mínimo de oxígeno en las labores de la mina para que puedan inhalar y exhalar el aire.

Por otro lado, dentro de la Asociación de Mineros Artesanales Pepas de Oro-U.M Pampamarquino I de Pampamarca, se observó que una gran cantidad de trabajadores del rubro minero y también pobladores que se dedicaban a la ganadería, agricultura y textilera y que gracias a este proyecto la mayoría de la población se encuentran laborando en la unidad minera para poder mejorar sus ingresos económicos; sin embargo se han

observado riesgos en el trabajo relacionados a la deficiente ventilación dentro de sus labores mineras, una de las labores con deficiencia crítica en cuanto caudal suministrado es el Pique 8261.

Es por ello que, el presente trabajo de investigación permitirá generar zonas laborables con una ventilación en condiciones adecuadas, en donde se proveerá del caudal de aire requerido por las labores más críticas, de esta forma se cuidará la salud de los trabajadores y se optimizará la producción en las operaciones mineras de la U.M. Pampamarquino I.

Por otra parte, a través de un análisis técnico económico, se logrará una reducción de costos operativos de la U.M. Pampamarquino I a mediano plazo, debido a la reducción de tiempos de espera por el sistema de ventilación, de tal forma el incremento del rendimiento en las operaciones de explotación será eficiente por la calidad de aire de mina que ofrezca las labores; asimismo, la presente investigación posibilitará ser fuente de consulta para estudios posteriores relacionados al sistema de ventilación.

### **1.3.1. Justificación teórica**

Los estudios realizados nos muestran que la contaminación del aire atmosférico es un problema que se manifiesta en las labores subterráneas, estas sustancias tóxicas están dispersas en el aire como gases y material particulado en suspensión. Esta contaminación ambiental afecta a las personas e equipos que se encuentran operando y puede poner en riesgo la salud de las personas.

### **1.3.2. Justificación práctica**

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación tienen una aplicación práctica y los resultados de la investigación ayudará a resolver problemas que se presentan en las explotaciones subterráneas dando una respuesta o solución a problemas ambientales, económicos, seguridad, que al aplicarla permita mejorar la calidad de vida de los trabajadores anteriormente señalado.

### **1.3.3. Justificación metodológica**

Este estudio de simulación del sistema de ventilación, nos permite realizar un planeamiento a corto, mediano y largo plazo planificar a lo largo de la explotación un sistema de ventilación adecuada que cumpla con las normas estipuladas en el Reglamento de Seguridad e Higiene Minera, haciendo cumplir con los Límites Máximo Permisibles. Por otra parte, con la aplicación del software Ventsim se



simula con diferentes caudales de flujo de aire, donde nos indican las caídas y pérdidas de presión de aire en diferentes tramos, con la finalidad de poder instalar equipos mecánicos (Ventilador) según las necesidades.

#### **1.4. Ubicación y accesibilidad**

##### **1.4.1. Ubicación**

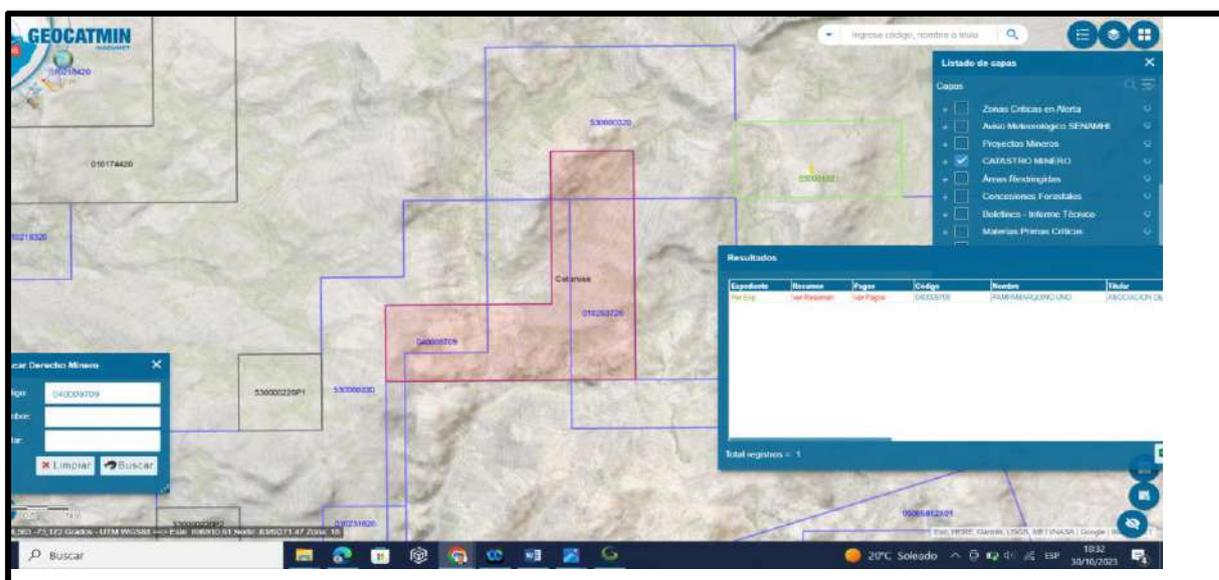
La Asociación de Mineros Artesanales Pepas de Oro-U.M Pampamarquino I de Pampamarca, es una empresa con sede en Aymaraes, Perú, que se dedica a la venta y producción de metales. La asociación está conformada por 500 trabajadores de la zona, asimismo la empresa presentó en septiembre de 2022 un sistema de extracción articulada con la comunidad en la feria “Expo Perú Los Andes 2022”.

Además, en el mismo año, más de 200 mineros recibieron orientación legal en un taller previo a la formalización minera de la asociación, impulsando su formación en gestión de recursos mineros, creando sujetos de crédito con capacidad de inversión en tecnologías limpias y abriendo la oportunidad de comercializar su producción a mercados internacionales.

La formalización minera también facilita el desarrollo económico de la comunidad minera. En octubre de 2022, se realizó una encuesta para conocer los hábitos informativos de la comunidad minera, destacando su interés en temas como la formalización minera, seguridad minera, compra y venta de minerales, administración minera, incremento de producción, tecnologías limpias y contaminación ambiental, precio del oro y mujeres en minería artesanal.

La U.M. Pampamarquino está ubicado en el anexo de Pampamarca, distrito de Cotaruse, provincia de Aymaraes en el departamento de Apurímac, está a altitud de 4560 m.s.n.m. con registro de derecho minero por INGEMMET N° 040009709.





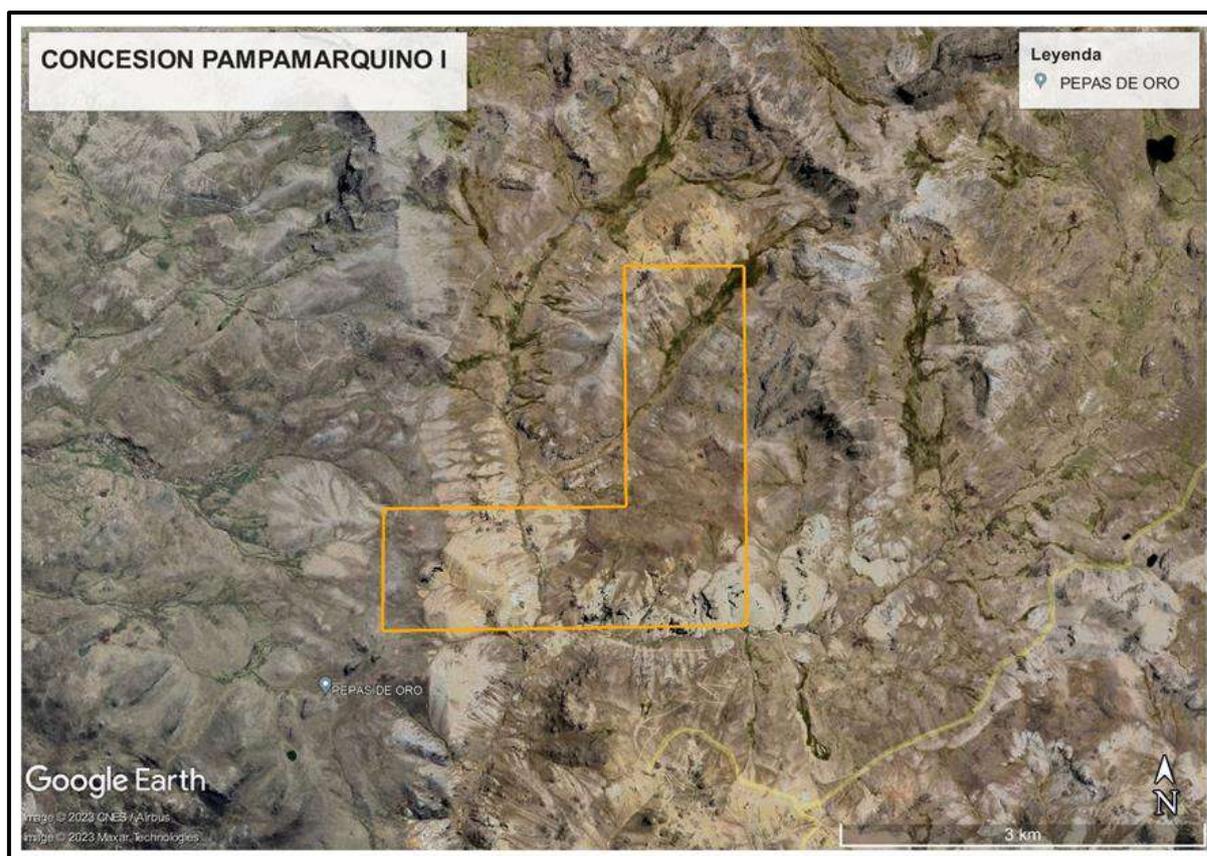
**Figura 1**—Registro de derecho minero INGEMMET N° 040009709

Extraído de: GEOCATMIN

**Tabla 1** — Cuadro de coordenadas de la concesión Pampamarquino I

<b>CUADRO DE COORDENADAS CONCESIÓN PAMPAMARQUINO I</b>		
<b>DATUM WGS - 84 ZONA 18 SUR</b>		
<b>VÉRTICES</b>	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>
V-1	698773.23	8390629.77
V-2	698773.26	8387629.74
V-3	695773.32	8387629.75
V-4	695773.31	8388629.76
V-5	697773.27	8388629.75
V-6	697773.25	8390629.77

Extraído de: GEOCATMIN



**Figura 2** — Ubicación de la Unidad Operativa Pampamarquino en Google Earth

Extraído de: Google Earth Engine (accedido 06-07-2023)

#### 1.4.2. Accesibilidad

El acceso a la Unidad Operativa Pampamarquino I, desde la ciudad de Abancay, se realiza a través de vía asfaltada hasta la comunidad de Promesa, Para posteriormente tomar un desvío de la carretera principal y continuar hacia la Unidad Operativa Pampamarquino; haciendo un total de 194.5 Km, que duran aproximadamente un total de 4 a 5 horas en vehículo.

**Tabla 2** — Accesibilidad a la Unidad Operativa Pampamarquino I

TRAMO	DISTANCIA (KM)	TIPO DE VÍA
Abancay - Promesa	152	Asfaltada
Promesa – U.O. Pampamarquino	42.5	Trocha carrozable
<b>TOTAL</b>	194.5	

## CAPÍTULO II

### OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### 2.1. Objetivos de la investigación

##### 2.1.1. Objetivo general

Modelización del sistema de ventilación mediante el software Ventsim para la optimización del caudal de aire para el Pique 8261 de la minera Asociación de Mineros Artesanales Pepas de Oro de Pampamarca, Apurímac - 2023.

##### 2.1.2. Objetivos específicos

- Implementar el sistema de ventilación integrado mediante el software Ventsim para la modelización del caudal de aire para el Pique 8261.
- Determinar el caudal de aire necesario para el Pique 8261.
- Dimensionar y determinar la ubicación de los ventiladores para modelizar el caudal de aire para el Pique 8261.
- Determinar y evaluar los costos en la implementación del sistema de ventilación para el pique 8261.

#### 2.2. Hipótesis de la investigación

##### 2.2.1. Hipótesis general

Modelizando el sistema de ventilación, mediante el software Ventsim, se podrá optimizar el caudal de aire para el Pique 8261 de la minera Asociación de Mineros Artesanales Pepas de Oro de Pampamarca -Apurímac 2023.

##### 2.2.2. Hipótesis específicas

- Con la implementación del sistema de ventilación integrado mediante el software Ventsim permitirá la modelización del caudal de aire para el Pique 8261.



- Determinando el caudal de aire necesario para el Pique 8261 facultará el diseño del circuito de caudal de aire.
- Con el dimensionamiento y la ubicación de los ventiladores para modelizar el caudal de aire para el Pique 8261 asegurará las condiciones ambientales.
- Con la evaluación de los costos en la implementación del sistema de ventilación para el Pique 8261, reducirá los costos de operación.

### 2.3. Operacionalización de variables

**Tabla 3** — Operacionalización de variables

Variables	Concepto	Indicadores	Índice
Variable independiente: Modelización del sistema de ventilación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distribución del aire según requerimiento</li> <li>- Ubicación y características técnicas de los ventiladores</li> <li>- Costos de implementación del sistema de ventilación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sección de labor</li> <li>- Caudal</li> <li>- Presión</li> <li>- Condiciones de trabajo</li> <li>- Concentración de Gases</li> <li>- Potencia</li> <li>- Costos fijos</li> <li>- Costos variables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>m<sup>2</sup></li> <li>cfm</li> <li>Pa</li> <li>riesgo</li> <li>ppm</li> <li>Kw</li> <li>US/CFM</li> </ul>
Variable dependiente: Software Ventsim	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caudal de aire requerido, control de gases nocivos permitidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aire limpio en calidad y cantidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>cfm</li> </ul>

## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 3.1. Antecedentes

##### a) Antecedentes internacionales

Según Campillos (2015), en la tesis: “Optimización y modelización del circuito de ventilación de una mina subterránea”, esta optimización se enfoca en la eficiencia económica, llegando a concluir que un ventilador de 2 kPa, al incrementar su resistencia, se logra un considerable aumento en el caudal. No obstante, las condiciones requeridas para eliminar adecuadamente los posibles gases presentes en el nivel 4 solo se cumplen en una parte de la galería, por lo que esta solución no debe considerarse. Si en lugar del ventilador de 2 kPa se utiliza uno de 4 kPa, el caudal obtenido en el nivel 4 es aceptable, pero no cumple con las condiciones establecidas, por lo que tampoco debe considerarse como una solución viable. La incorporación de un ventilador secundario junto con el principal aumentaría los costos innecesariamente, por lo tanto, los tres métodos son completamente válidos, y se debe evaluar los aspectos económicos para determinar cuál de ellos es más eficiente.

Según Gutiérrez (2010), en su trabajo: “Recirculación controlada en minería subterránea”, se examina como utilizar una parte del aire estancado, eliminar algunos de los contaminantes primarios, como el polvo, y reintroducirlo en el sistema de ventilación. Manteniendo concentraciones de contaminantes dentro de los límites legales y respetar los límites de producción permitidos. Se identificaron tres variables que el planificador debía tener en cuenta: la fracción de flujo de entrada recirculado y su eficacia de filtrado. Para ilustrar este concepto, se realizó un estudio de caso hipotético en el que se evaluaron los caudales, y sus costes para ventilar un bloque de una mina 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 segundo 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 dio lugar a una reducción del 51,2% en los costes 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.

Según Castillo (2017), en: “Evaluación del sistema de ventilación de la mina el roble”, se realiza una evaluación del tipo de explotación y sus características particulares. Después, se lleva 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 determinan las necesidades de aire y se detectan los inconvenientes asociados con la temperatura y la presencia de gases contaminantes producidos durante las actividades de explosión, carga y transporte de materiales. Estas interrupciones se deben a fallas y errores que, en lugar de ser considerados como gastos, se interpretan como inversiones que proporcionan mejoras evidentes en la producción de la compañía. Así, con la introducción de la nueva sección de entrada NV 2000, se generará un mayor caudal de aire para facilitar la extracción eficaz del aire estancado, lo cual permitirá una cobertura mejorada y generará resultados óptimos para las actividades mineras. Se llevó a cabo una evaluación de costos que comparó el consumo de energía que



involucra un incremento del 60% en el consumo de energía. No obstante, teniendo en cuenta las frecuentes interrupciones del funcionamiento de la mina, se incurre en una pérdida económica media de 1 200,000 COP al día.

Según, la investigación de Carabajo (2015) “Diseño del circuito de ventilación de la zona norte de la mina cabo de hornos, ubicada en el distrito aurífero - polimetálico portovelo – Zaruma.”, la investigación consiste en recopilar información teórica e histórica sobre los indicadores de ventilación en minería subterránea. En síntesis, se indica que hay una escasez considerable del 75% en el circuito de ventilación en relación con el caudal de entrada requerido. Este déficit se ve afectado en función del desarrollo de la mina, sobre todo en las zonas más profundas, donde no hay chimeneas de inyección ni de extracción. Una solución recomendada es ampliar el pozo Alimak Norte de su nivel actual de 367 a 492. Esta ampliación permitirá inyectar aire limpio en los niveles inferiores y conectar el nivel 492 con el pozo Alimak Norte en los niveles superiores, mejorando así la ventilación en toda la mina.

#### **b) Antecedentes nacionales**

En la tesis de Suty (2016): “Influencia de la ventilación mecánica, en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 mina URANO SAC – Puno”, el estudio realizado utiliza una metodología experimental de tipo básico y se enfoca en una investigación totalmente descriptiva. En conclusión, se encontró que la ventilación mecánica tiene un impacto significativo en la operación, y se instalaron dos ventiladores para cubrir la demanda de aire.

Según, 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 evalúan las pérdidas de flujo debido a la fricción y los obstáculos. Según las mediciones realizadas, la entrada total de aire fresco al sistema de ventilación es de 571,236 CFM, mientras que la salida de aire viciado es de 693.777 CFM. Esto resulta en un desequilibrio del 17,66%, lo que indica una necesidad de aire de 1.084.936 CFM. Como resultado, se cubre el 64% de las necesidades de aire fresco, y se requieren de manera inmediata 391,159 CFM adicionales para cubrir la demanda. La implementación del plan propuesto, que consiste en reemplazar dos ventiladores con un caudal de entrada combinado de 500,000 CFM, permitiría alcanzar una cobertura del 102%, satisfaciendo adecuadamente los requisitos de la Unidad Minera.



Para Tejeda y Mucha (2022), en su trabajo: “Evaluación de las condiciones de ventilación para la actualización del sistema integral de ventilación Unidad Minera Yauricocha”, se logró examinar las condiciones de ventilación con el fin de modernizar su sistema integrado. Según los hallazgos de la investigación, se puede deducir que se estudia un sistema integral forzado que utiliza rampas de acceso, chimeneas de ventilación y chimeneas escalonadas para extraer el aire contaminado. Este sistema integrado combina métodos convencionales y mecanizados, generando un sistema de ventilación altamente eficiente.

Por otro lado, Agüero y Álvarez (2012), en su trabajo: “Influencia de la ventilación natural y mecánica en el diseño del sistema de ventilación de las galerías del nivel 1950 Mina Calpa”, el objetivo primordial de este estudio fue llevar a cabo una evaluación mecánica de la Galería 635W en el Nivel 1950, el propósito de la ventilación minera ha sido suministrar aire fresco para respirar y diluir y extraer el polvo y los gases generados por operaciones subterráneas como voladuras, extracción, carga y transporte. Cabe señalar que estos requisitos no eran tan exigentes en el pasado, ya que los ritmos de extracción eran diferentes, y las normas actuales de comodidad y seguridad se han vuelto más rigurosas.

Según Capchi y Melgar (2019) en su trabajo: “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”. Se instalaron cinco ventiladores en la primera galería y solo dos en la segunda. Tras el análisis realizado, se llega a la siguiente conclusión: la ventilación ejerce un impacto significativo en el desempeño del trabajador. Esto implica que una ventilación mejorada resulta en un incremento de 0.24 toneladas por hora en el rendimiento. Se concluye que una ventilación adecuada reduce el índice en un factor de 7.19 y disminuye el número promedio de incidentes de 14 a 7.

### c) **Antecedentes locales**

En el estudio de Vera (2019): "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 es mejorar el sistema de ventilación evaluando la distribución del aire en las operaciones mineras mediante la utilización del software VentSim Visual. Se realizó una simulación de los circuitos existentes instalando un ventilador auxiliar para



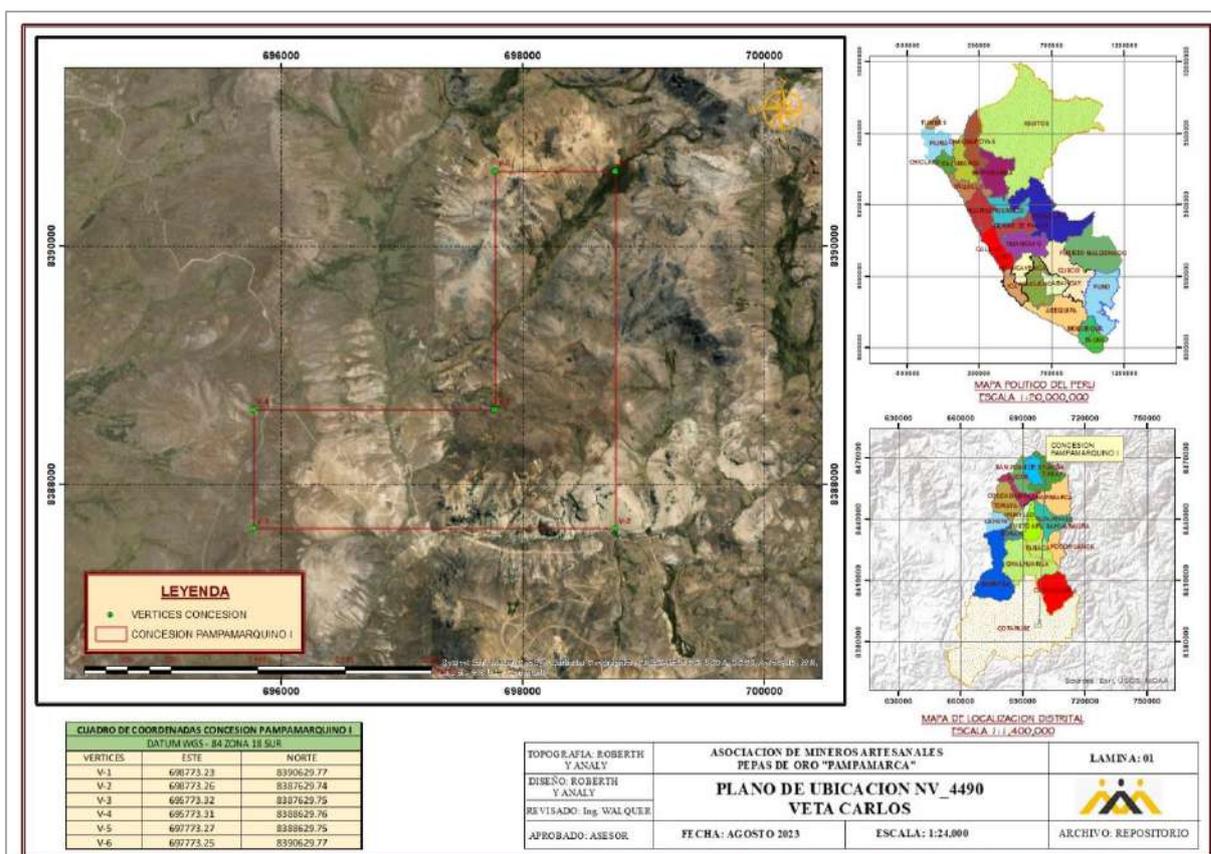
proporcionar el caudal de aire necesario a las zonas de trabajo. Los resultados indicaron un caudal de aire natural de 4237.760 pies cúbicos por minuto (cfm), que no llega a cumplir las normas establecidas. Según los cálculos realizados en esta investigación, es necesario un caudal de 21000 cfm.

En su tesis titulada "Estudio del sistema de ventilación para el control de agentes químicos y físicos, U.O. Pallancata - veta Pablo - 2018", Llacho y Vargas (2018), el objetivo principal de este estudio fue evaluar la eficiencia de la circulación del aire en la eliminación de agentes producidos durante actividades como voladura, acarreo y transporte. Los resultados indican que el actual sistema de ventilación del filón Pablo no cumple los requisitos de aire necesarios para eliminar y controlar eficazmente los agentes generados por las operaciones mineras. El estudio también propone una modificación del circuito de ventilación, concretamente mediante la implantación del RC 04 Pablo, que daría lugar a una cobertura del 102%.

### **3.2. Aspectos generales**

La Asociación de Mineros Artesanales Pepas de Oro-U.M Pampamarquino I de Pampamarca, es una empresa formalizada, se dedica a la extracción de mineral, actualmente su situación está vigente, abarca 500 ha de extensión, es una empresa comunal conformado aproximadamente por 500 socios que se dedican a la actividad minera, actualmente se dedican a la extracción del mineral precioso que es el oro, la unidad es una empresa convencional que trabaja con equipos de perforación, de extracción semi mecanizada.





**Figura 3** — Ubicación de la Asociación de Mineros Artesanales Pepas de Oro-U.M Pampamarquino I

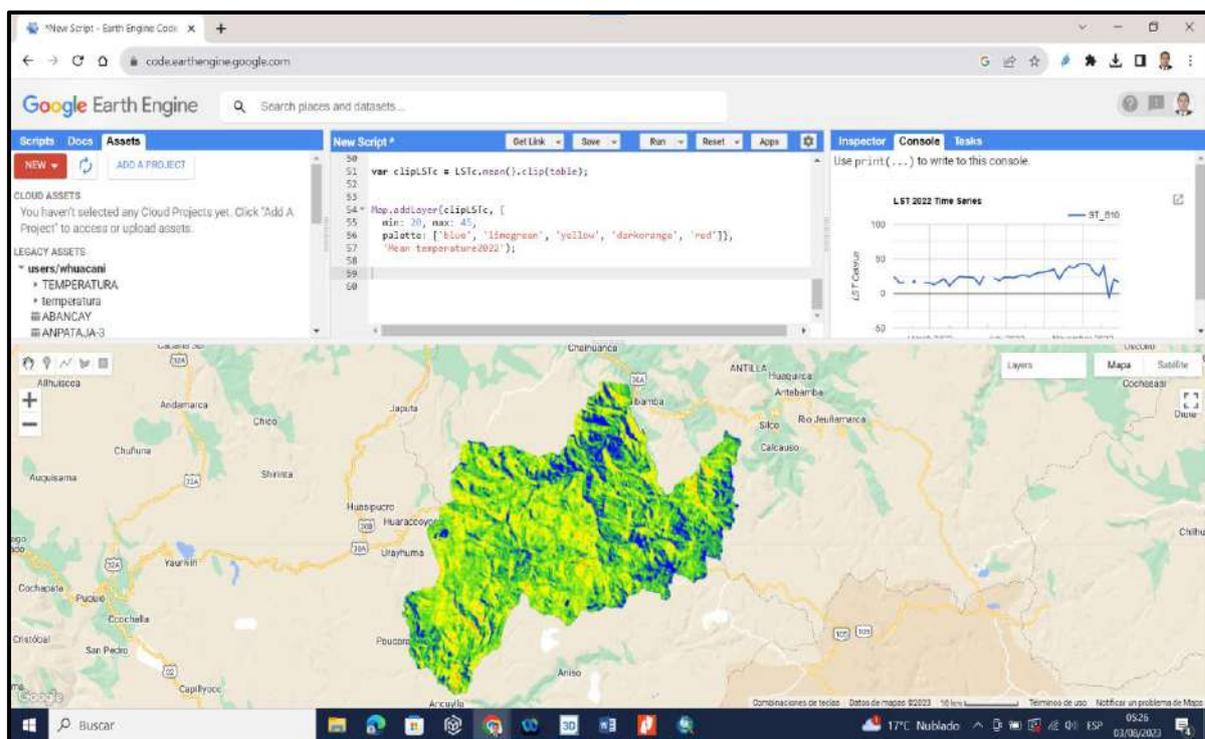
### 3.2.1. Características climáticas

La unidad minera Pampamarquino, está ubicado en el distrito de Cotaruse, provincia de Aymaraes, la unidad está ubicado a una altitud de 4000 a 4600 msnm como en toda la zona Sierra del Perú, las estaciones no son fáciles de diferenciar, por lo que, en base a la información recabada, se pueden evidenciar 2 tipos de climas, el invierno y el verano.

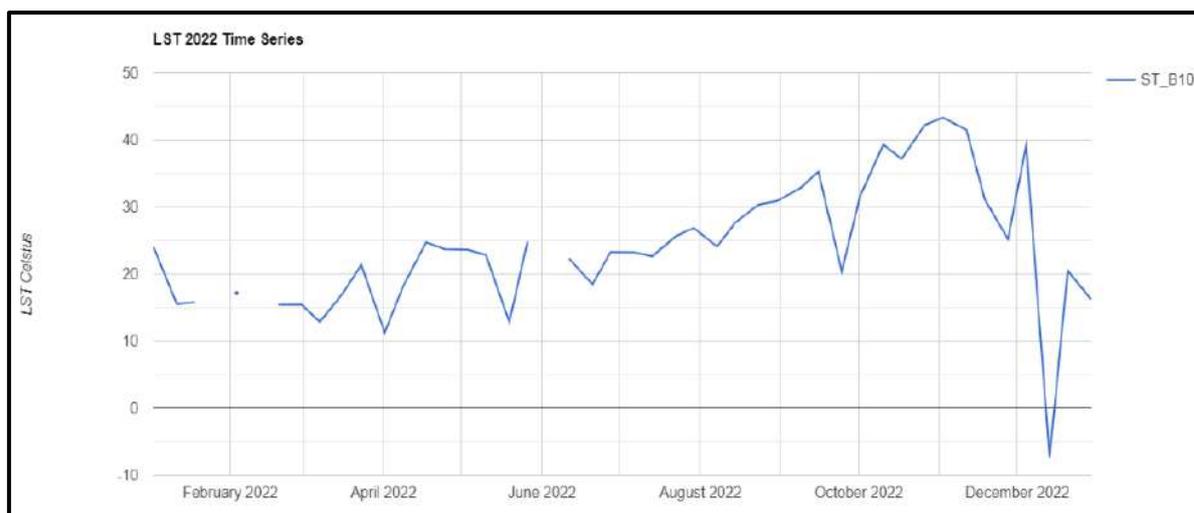
Las temperaturas durante esta estación se mantienen a una media de 16°C en el día y por las noches desciende hasta los 4°C.

El inicio de la temporada de verano se puede apreciar en el mes de mayo la cual se prolonga hasta el mes de septiembre. Durante esta temporada podemos observar que los meses más calurosos y de fuertes “heladas” se sienten de mayo a julio, la temperatura media en el día puede alcanzar hasta los 30°C y por las noches descender hasta los - 6°C.

Para determinar la temperatura del distrito de Cotaruse, se ha utilizado el conjunto de datos que contiene la reflectancia de la superficie corregida atmosféricamente y la temperatura de la superficie terrestre. Estos datos provienen de sensores Landsat 8 OLI/TIRS, estas han sido validadas y comparadas con estaciones meteorológicas, las imágenes contienen 5 bandas visibles e infrarrojas cercanas (VNIR) y 2 bandas infrarrojas de onda corta (SWIR), las imágenes están disponibles en: [https://developers.google.com/earthengine/datasets/catalog/LANDSAT\\_LC08\\_C02\\_T1\\_L2](https://developers.google.com/earthengine/datasets/catalog/LANDSAT_LC08_C02_T1_L2), para el procesamiento de estos datos se ha utilizado la plataforma de Google Earth Engine (GEE), donde se ha procesado con los algoritmos de JavaScript para determinar la temperatura del periodo 2022, tal como se muestra en la figura 4 y la serie de tiempos de la temperatura, como área de influencia directa se ha tomado el distrito de Cotaruse.



**Figura 4** — Procesamiento de datos en Google Earth Engine de la temperatura



**Figura 5** — Series de tiempo de la temperatura periodo 2022

Se puede apreciar en la figura 5 la serie de tiempo de la temperatura del periodo 2022, donde la temperatura mínima alcanza a valores negativos a  $-6^{\circ}\text{C}$  y temperaturas máximas que llegan a  $30^{\circ}\text{C}$  en épocas calurosas en los meses de octubre y noviembre.

Para determinar la precipitación del área Indirecta de la Unidad Operativa Pampamarquino, se ha utilizado las imágenes de satélite de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS), que es un conjunto de datos pluviométricos casi mundiales de más de 30 años, CHIRPS incorpora imágenes de satélite de  $0,05^{\circ}$  de resolución con datos de estaciones in situ para crear series temporales de precipitaciones cuadradas para el análisis de tendencias y la vigilancia estacional de sequías están Disponible 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), para el procesamiento de datos se utilizó la plataforma de (GEE), con el lenguaje de programación de Java Script, para ello se ha tomado como referencia un punto dentro la concesión y se ha trazado una radio de 10 km de radio en la zona de estudio, las precipitaciones en verano se inicia aproximadamente en el mes de setiembre y el mes de noviembre comienza las lluvias intermitentes, las cuales van aumentando su intensidad y presencia hacia los meses de diciembre, enero, febrero y marzo; siendo estos últimos los más lluviosos, esta temporada tiene una duración hasta poco más o menos del mes de abril, en los meses más lluviosos la precipitación alcanza a niveles máximos 16 mm/hr y un promedio de 7 mm/hr de precipitación en el periodo 2022.



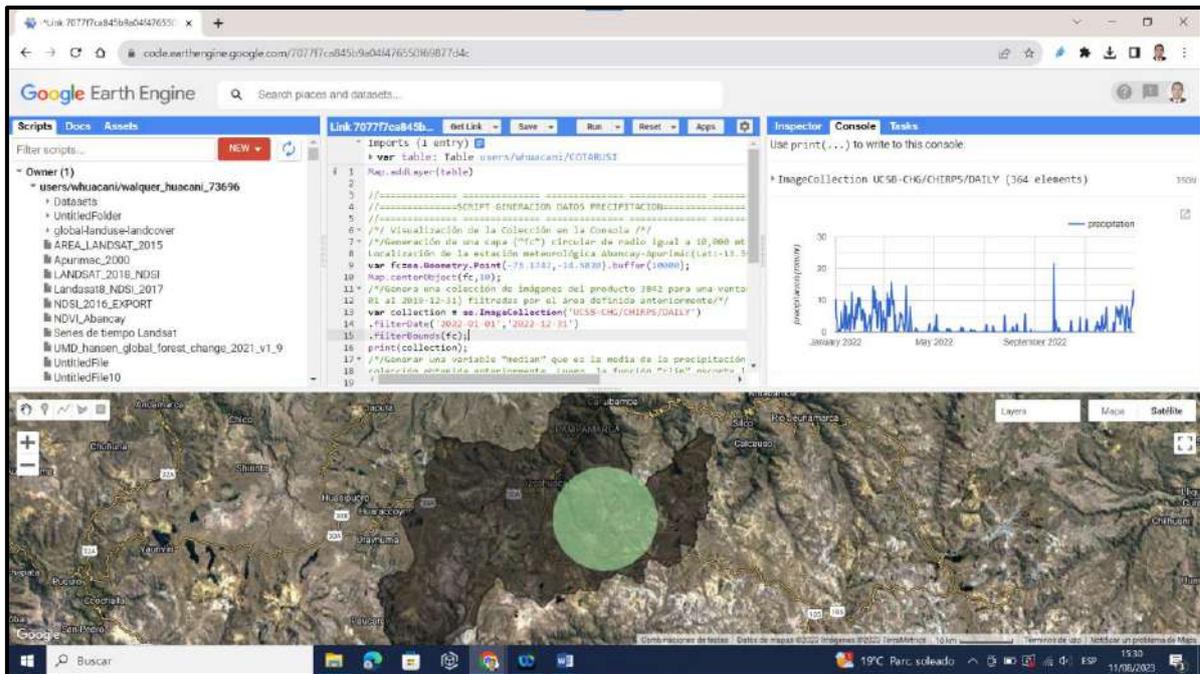


Figura 6 — Procesamiento de datos en Google Earth Engine de la precipitación

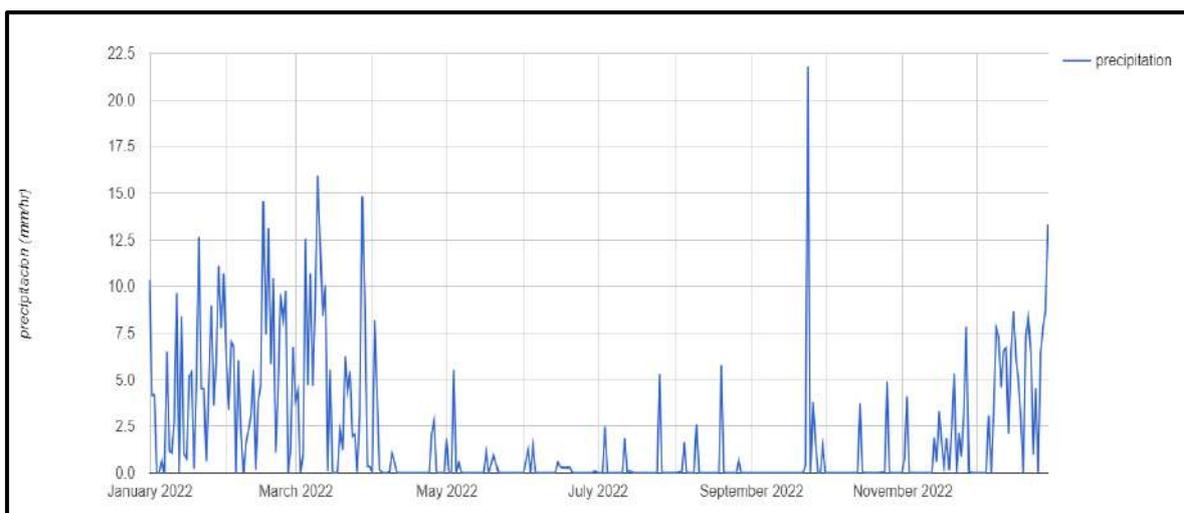


Figura 7 — Series de tiempo de la precipitación periodo 2022

### 3.2.2. Flora

La zona se caracteriza por la presencia de especies como el Ichu (pasto del altiplano andino sudamericano) el cual es la fuente de alimento de los animales que habitan este lugar, principalmente camélidos.

La Thola, cuyo nombre científico es *Parastrephia lepidophylla*, puede alcanzar hasta 1.50m de altura, como planta medicinal es usada para el tratamiento de síntomas de la tos y gripe mediante infusiones, la Taya usada para el tratamiento



de dolores estomacales; estas últimas también son usadas combustibles ecológicos. También se pueden encontrar especies de musgos y líquenes, los cuales desempeñan un rol imprescindible pues absorben y retienen el agua de las lluvias, la cual liberan lentamente en épocas estiaje.



**Figura 8** — Thola considerado como planta medicinal

### 3.2.3. Fauna

En los lugares aledaños al Proyecto Pampamarquino podemos observar diferentes especies entre animales domésticos y silvestres, algunos de los cuales son mencionados a continuación. Las especies silvestres cuya presencia es más notoria, son: (a) puma; (b) zorro; (c) vicuña; (d) perdiz; (e) cóndor y (f) vizcacha.



**Figura 9** — Perdiz, ave predominante de la zona del área de influencia directa

A su vez, dentro de las especies domésticas se pueden encontrar los siguientes: (a) alpaca; (b) llama; (c) oveja; (d) vaca y (e) caballo.

### **3.2.4. Características geológicas**

#### **3.2.4.1. Geología regional**

Regionalmente el área del proyecto está localizada en la cordillera del Huanzo, ubicado en el flanco oriental de la cordillera Occidental de los Andes Centrales y estructuralmente está dentro de un segmento de la cordillera de los Andes denominada Inflexión de Abancay.

El basamento consiste de rocas sedimentarias cretácicas (calizas y areniscas del grupo Yura), seguido por rocas volcánicas del Eoceno-Oligoceno (Tacaza inferior), secuencia volcánica del Mioceno (Tacaza superior) y del Mioceno superior (formación Aniso).

Sobre yaciendo a todas las unidades mencionadas afloran la formación Saycata. Cuerpos porfiríticos (stocks subvolcánicos) afloran parcialmente en el tope se puede ver remanentes de areniscas.

El proyecto Pampamarquino es parte del Centro Volcánico del Mioceno y se ubica en el borde noroeste de un complejo de caldera inferido (Morocco, 1975) y está cubierto parcialmente por secuencia de volcánicas más recientes.

#### 3.2.4.2. Geología local

El proyecto Pampamarquino y es un conjunto de dos zonas (Puca Orcco, Huachuhuilca), que se caracteriza por ser estructuras de brechas hidrotermales silicificadas que han sido emplazados en secuencias de roca cretácicas (formación Soraya) y secuencias volcánicas miocénicas (formación Aniso y formación Saycata).



**Figura 10** — Vista de la geología formación Saycata del sector de Huachuhuilca

#### 3.2.4.3. Litología

Son reconocidas las siguientes secuencias estratigráficas:

##### a) Formación Soraya (Areniscas)

Se localiza al oeste del Target Colcabamba y al sureste del Target Huachuhuilca. Son afloramientos pequeños y aislados de areniscas que sobreyacen a stocks de andesitas (roof pendant). Las areniscas son de cuarzós de grano medio a grueso con intersticios tapizados

por arcillas. Arenisca moderadamente estratificada y con débil alteración en contacto con el stock andesítico.

**b) Formación Aniso (Flujo Piroclástico de Toba Lítica y Ceniza)**

Está conformado por niveles intercalados con tobas líticas y tobas de ceniza andesítica. Los piroclásticos se presentan en bancos delgados y estratificados de color gris blanquecino y tobas líticas de textura eutaxítica gris a gris parduzco.

La potencia de esta unidad es variada y supera los 300 metros y aflora hacia el este del proyecto. Dentro del área de perforación no se observó el flujo piroclástico.

**c) Secuencia Volcanoclástica (Formación Saycata)**

• **Rhyolitic Flow**

Sobre yacen a la formación Aniso, son capas con estratificación sub horizontal de vidrio gris claro a verduzco, con fractura concoidea, fuertemente fracturada, en proceso de desvitrificación y frecuentemente con presencia de esferulitos de hasta 3cm de diámetro. Se ha identificado este afloramiento a 500m al este del proyecto.

• **Andesitic Lava Inferior**

Andesita inferior aflora en la zona Puca Orcco y Colcabamba a modo de paquete masivo de aproximadamente 350 metros de potencia y está cortado por domo andesítico. Se ha diferenciado del stock andesítico por ser de textura afanítica y está cubierto parcialmente por los tufos de cristales y líticos.

• **Tufo de cristales, Tufos líticos y Volcaniclástico**

El depósito de tufos de cristales y líticos yacen discordantemente al stock andesítico y cubren la parte superior del target Colcabamba y Huachuivilca. Se caracteriza en delgadas capas de tufo de cristales andesíticos intercalados con tufos líticos y capas de volcaniclástico (sedimentos volcánicos retrabajados).

Frecuentemente esta litología esta moderadamente alterada a argílica. Los tufos están cortados por las fallas de NE-SW y



cortados por cuerpos de brecha hidrotermal con dirección N-S. A escala distrital esta unidad litológica se correlaciona con basáltico, andesítico, líticos y cristal tufos.

- **Stock Andesítico (FP)**

Afloramientos de stock andesíticos que instruyen a las capas volcánicas inferiores y con textura porfirítica a granular, con fenocristales euhedrales de plagioclasas y máficos. Los afloramientos se localizan a 100m al este del área de perforación en Colcabamba y pequeños afloramientos irregularmente distribuidos al oeste de la zona Colcabamba.

- **Brecha hidrotermal**

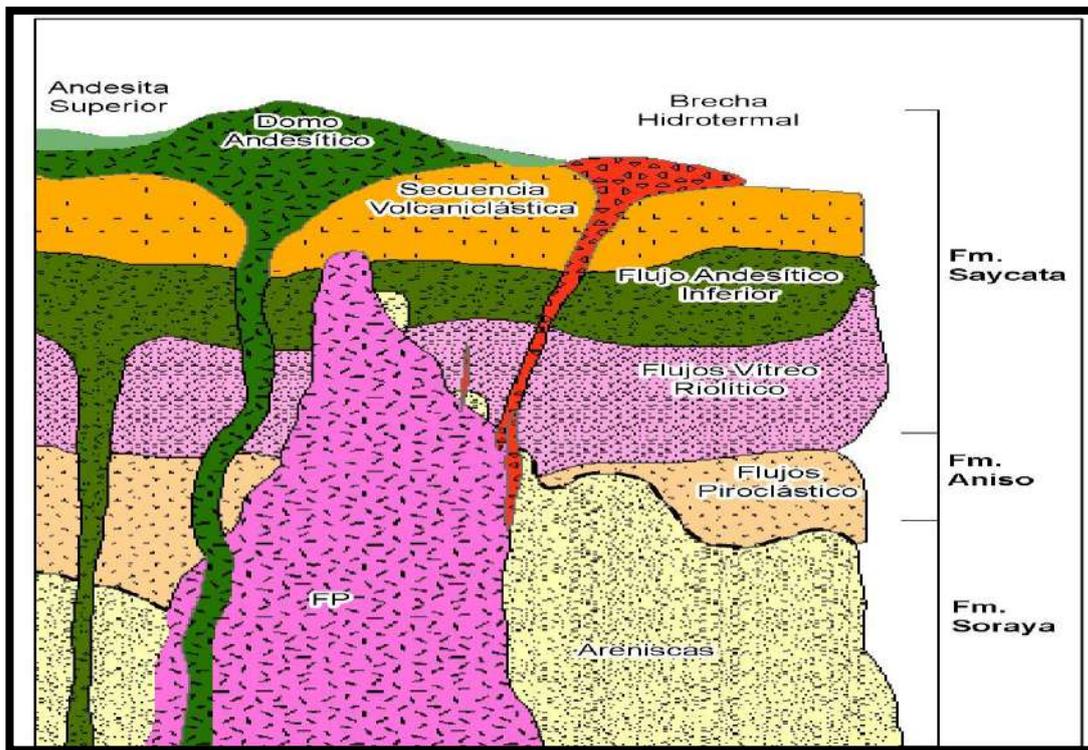
Son afloramientos discontinuos alineados en dirección N-S, de 100m de ancho por 400m de largo, está cortando a la secuencia piroclástica y al stock andesítico. Se caracteriza por tener fragmentos silicificados heterolíticos (cuarcitas y tufos), polifásica (variedades de sílice gris, pardo y crema) y en el tope del afloramiento pre domina sílice calcedónica y cortada por fracturas E-W rellena con cristales de baritina y óxido de hierro.

- **Andesitic flow dome**

Se han reconocido dos afloramientos de domos andesíticos: El primero en el lado Norte de la zona Colcabamba (cerca al desvío hacia el proyecto W de Puca Orcco) y el segundo se localiza en la ladera este de la zona Colcabamba, parcialmente cortado por el acceso. Se caracteriza por la textura porfirítica sin alteración y algunas laminaciones de flujo. Está restringida al proyecto.

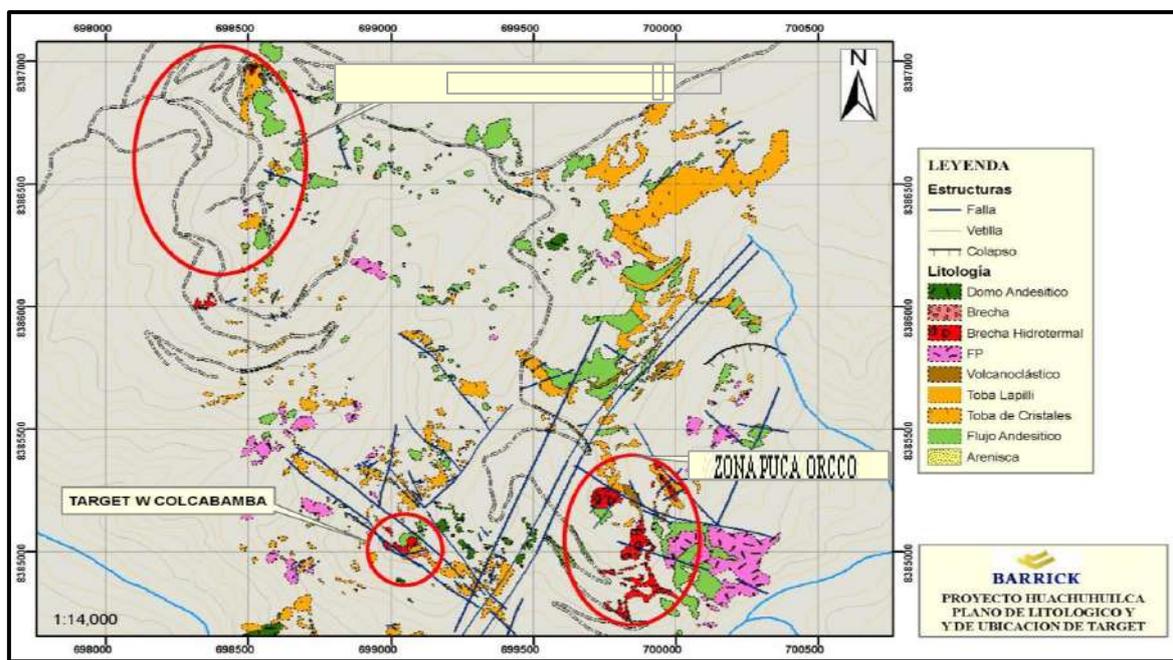
- **Flujo Andesítico Superior**

Es el último evento de la actividad volcánica en la zona. El flujo andesítico afanítico a porfirítico, con estratificación delgada y con buzamiento sub horizontal cubre parcialmente las superficies más elevadas de la zona. Esta litología está relacionada a andesítica lava NS del distrito.



**Figura 11** — Columna estratigráfica esquemática del proyecto Huachohuilca

*Nota.* Asociación de Mineros Artesanales Pepas de Oro de Pampamarca



**Figura 12** — Mapa litológico y de ubicación zona Huachohuilca y Puca Orcco

*Nota.* Asociación de Mineros Artesanales Pepas de Oro de Pampamarca.

#### 3.2.4.4. Geología estructural local

Localmente las estructuras predominantes son: NE-SO, NO-SE y N-S. Los cuerpos de brecha hidrotermal silicificados de la zona Puca orcco siguen el lineamiento N-S. Hacia el sur está intersectada por una estructura regional NE-SW que separa la zona Puca orcco con la mina Selene. La brecha hidrotermal posteriormente ha sido fracturada por fallas escalonadas normales NE-SO el cual lo ha intersectado la parte norte. Las fallas NO-SE siguen el patrón andino y han sido enmascaradas por las fallas más recientes.

#### 3.2.4.5. Alteración

La brecha hidrotermal polifásica silicificada (fragmento y matriz silicificado), en el tope con matriz calcedonica y con fracturas tapizadas con baritina, en algunos intervalos se comporta como un clavó mineralizado de Au > Ag.

Bordeado a la brecha hidrotermal con alteración silícea se observa alteración local de argilica avanzada con kaolinita, dickita, alunita, diapora (en fracturas y espacios abiertos), topacio (escaso a ausente) y pirofilita (escaso) y con una extensa alteración argillita illita, smectita y clorita en los bordes. La alteración argilica avanzada está restringida por la roca adyacente de composición andesítica.

#### 3.2.4.6. Mineralización

Dos zonas con mineralización y alteración favorables fueron identificadas.

- **Zona Huachohuilca**

Se ubica en el extremo norte del proyecto, consiste de brecha hidrotermal polifásica, con anomalías en Au con promedio de 0.8 g/t Au y valor máximo 185 g/t Au. El sulfuro predominante es la piritita gris fina con enargita y enargita dentro de cristales de baritina.

La anomalía de Au está restringida a las estructuras silificadas y no disemina la roca caja andesítica. En esta zona se encuentra la mina del mismo nombre, el cual fue explotada y agotada sus recursos.



- **Zona Puca orcco**

Afloramientos de brecha hidrotermal polifásica fuertemente silicificado y en el tope con sílice calcedonica. las anomalías de Au tienen promedio de 1.4 g/t Au, con valores de hasta 25.3 g/t Au, no se observa sulfuros. La alta ley está asociada a fracturas tapizados con baritina.

#### **3.2.4.7. Geología estructural local**

Localmente las estructuras predominantes son: NE-SO, NO-SE y N-S. Los cuerpos de brecha hidrotermal silicificados de la zona Puca orcco siguen el lineamiento N-S. Hacia el sur está intersectada por una estructura regional NE-SW que separa la zona Puca orcco con la mina Selene. La brecha hidrotermal posteriormente ha sido fracturada por fallas escalonadas normales NE-SO el cual lo ha intersectado la parte norte. Las fallas NO-SE siguen el patrón andino y han sido enmascaradas por las fallas más recientes.

#### **3.2.4.8. Alteración**

La brecha hidrotermal polifásica silicificada (fragmento y matriz silicificado), en el tope con matriz calcedonica y con fracturas tapizadas con baritina, en algunos intervalos se comporta como un clavó mineralizado de Au > Ag.

Bordeado a la brecha hidrotermal con alteración silícea se observa alteración local de argílica avanzada con kaolinita, dickita, alunita, diapora (en fracturas y espacios abiertos), topacio (escaso a ausente) y pirofilita (escaso) y con una extensa alteración argillita illita, smectita y clorita en los bordes.

La alteración argílica avanzada está restringida por la roca adyacente de composición andesítica.

#### **3.2.4.9. Mineralización**

Dos zonas con mineralización y alteración favorables fueron identificadas.



- **Zona Huachohuilla**

Se ubica en el extremo norte del proyecto, consiste de brecha hidrotermal polifásica, con anomalías en Au con promedio de 0.8 g/t Au y valor máximo 185 g/t Au. El sulfuro predominante es la pirita gris fina con enargita y enargita dentro de cristales de baritina.

La anomalía de Au está restringida a las estructuras silificadas y no disemina la roca caja andesítica. En esta zona se encuentra la mina del mismo nombre, el cual fue explotada y agotada sus recursos.

- **Zona Puca orcco**

Afloramientos de brecha hidrotermal polifásica fuertemente silificado y en el tope con sílice calcedonica. las anomalías de Au tienen promedio de 1.4 g/t Au, con valores de hasta 25.3 g/t Au, no se observa sulfuros. La alta ley está asociada a fracturas tapizados con baritina.

### **3.2.5. Aspectos generales de la unidad minera**

#### **3.2.5.1. Descripción de la mina**

Asociación de Mineros Artesanales Pepas de Oro de Pampamarca es una sociedad que está constituida por 500 socios que son de la comunidad de Pampamarca.

Esta sociedad surge e inicia sus labores en agosto del 2019, sin embargo, todas estas personas ya venían realizando labores de extracción, de manera artesanal en “Grupos” desde el año 2016, durante los trabajos este grupo humano lo cual no funciono ya que algunos sacaban mineral y en cambio otros no, entonces decidieron unirse todos en una sociedad, todos en una sola bolsa y pues el beneficio es para todos.

La empresa como actividad principal, actualmente se dedica a la extracción de mineral de Oro en sus diferentes sectores que son Huachohuilla y Puca Orcco.



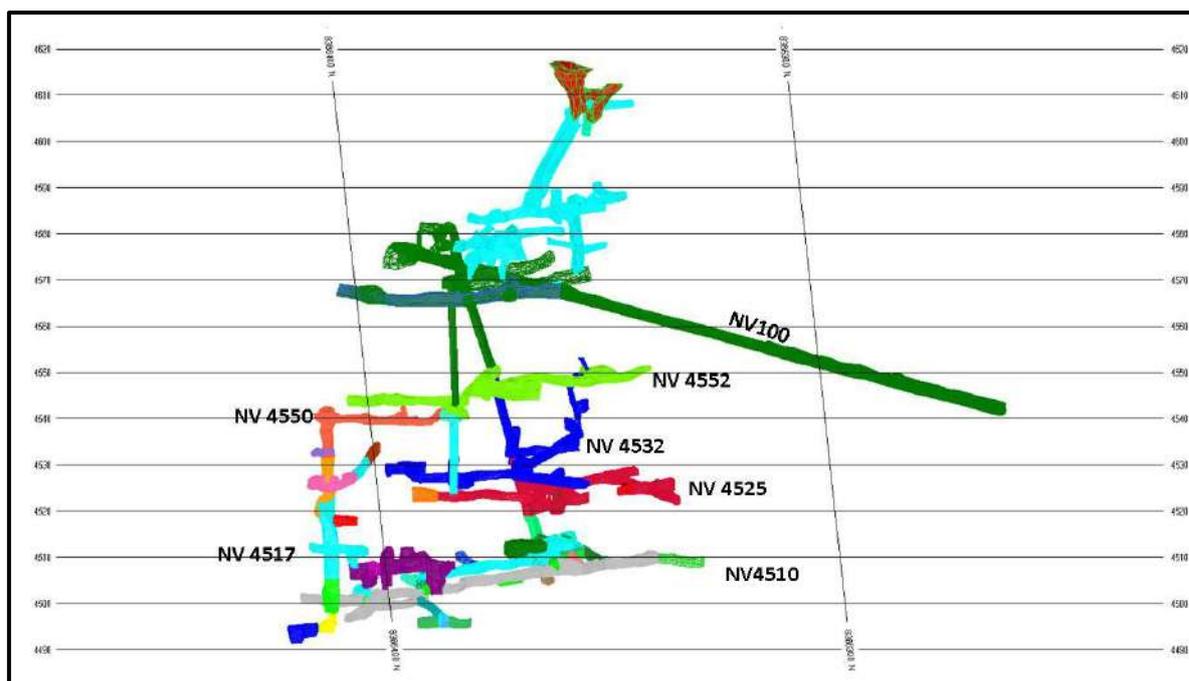
### 3.2.5.2. Datos generales de explotación

- a) Mineralogía: oro (Huachohuillca)
- b) Ley promedio de cabeza de Au:0.6 oz /tn (Huachohuillca)
- c) Producción diaria mina:10 tn (Huachohuillca))
- d) Producción mensual mina:300 (Huachohuillca)
- e) Producción anual mina:21600 tn
- f) Número de días /mes, mina:25
- g) Guardias/día: 1
- h) Horas guardia:8
- i) Horas netas trabajados 6
- j) Horas netas de perforación:2-3 hr
- k) Buzamiento promedio de veta:77°
- l) Condiciones de cajas: buena
- m) Potencia:0,2 m a 0.5 m
- n) Veta: irregular
- o) Caja techo: competente
- p) Caja piso: competente

### 3.2.5.3. Proyecto Huachohuillca

En el proyecto Huachohuillca se pueden observar diferentes labores, las cuales son clasificadas como labores de avance debido a que se encuentra, al igual que otros proyectos en la Unidad Operativa, en etapa de exploración, preparación y/o desarrollo.





**Figura 13** — Imagen de las labores del proyecto Huachohuilca

*Nota.* Asociación de Mineros Artesanales Pepas de Oro de Pampamarca.

Cabe resaltar que la mayoría de los avances se están realizando sobre estructura mineralizada. En este proyecto vemos el Nv 100 donde es el acceso principal, en el Nv 4552 se tiene la plataforma de izaje, en el Nv 4550 hay un pique inclinado de  $60^\circ$ , en el Nv 4532 no hay producción, en el Nv 4525 si se tiene producción, en el Nv 4517 se está empezando a tajar hacia arriba.

#### 3.2.5.4. Método de explotación

Los métodos de explotación utilizados en este proyecto son: El Corte y Relleno (Cut and Fill), en su variante Corte y Relleno Ascendente Convencional y el Circado.

- **Corte y relleno**

En este método de explotación el mineral es arrancado por franjas horizontales empezando desde la galería o subnivel a partir del nivel inferior, avanzando verticalmente hacia el nivel superior.

Cuando se ha extraído una franja completa (corte), se rellena el tajo con RD (Relleno Detrítico) que sirve de piso de trabajo para iniciar

el siguiente corte y al mismo tiempo permite sostener las paredes de los cortes del tajo que ya han sido explotados.

- **Corte y relleno Ascendente Convencional**

Esta variante es utilizada, específicamente en los NV 4510, NV 4505, en donde las potencias de veta son menores, la perforación se realiza con máquinas perforadoras Jack Leg y la limpieza con sacos y carretillas.

La preparación consiste en subniveles hacia ambos lados de un pique central, que es usada como camino, a partir de los cuales se realiza la explotación en forma ascendente; el tajo se limita por chimeneas de servicios a ambos extremos de los subniveles. El mineral se transporta por winches de izaje y Skip; luego por mini dumpers eléctricos hacia la tolva de gruesos en superficie.

- **El circado de mineral o ( La Circa)**

El circado de mineral se obtiene con el desbroce de desmonte de cualquier tipo de labor, y consiste en mantener el filón o manto aurífero adosado a la caja techo o piso de la labor que se ejecute. En la mina existen dos formas de realizar el circado de mineral: el circado en el piso y el circado en el techo, pero en la empresa es una norma llevar el circado en el techo de las labores.

- **Campamento**

Los servicios de vivienda están ubicados en la parte inferior de la bocamina a una distancia de 3 km. El campamento esta constituidas con capacidad para 300 personas donde están divididos en oficina, dormitorios, cocina, comedor y baño.

Las viviendas son de material pre-fabricado de dimensiones 3mx4m, teniendo un total de 14 pabellones.



**Figura 14** — Campamento general de la Unidad Minera Pampamarquino

*Nota.* Asociación de Mineros Artesanales Pepas de Oro de Pampamarca.

### **3.2.6. Recursos humanos**

La Unidad Minera Pampamarquino de la Asociación de Mineros Artesanales Pepas de Oro, actualmente cuenta con personal de mano de obra calificada y no calificada provenientes del sector, actualmente se tiene en planilla un promedio de 505 trabajadores entre profesionales, personal de mando medio y trabajadores. Así mismo se tiene personal entre varones y mujeres, existen módulos de vivienda de los trabajadores. La Asociación cuenta con una empresa contratista denominada Sercimip que hace trabajos de apoyo en la unidad minera.

## **3.3. Marco teórico**

### **3.3.1. Atmosfera de mina**

La composición del aire a nivel del mar es la siguiente: Sin embargo, a medida que uno se desplaza por las distintas zonas de una mina, la composición del aire experimenta cambios. Se observa una disminución en los niveles de oxígeno y un incremento en las concentraciones de dióxido de carbono. Además, se incorporan

a la atmósfera una variedad de gases (como CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, CO y H), así como vapores y partículas. Su composición es una mezcla de aire atmosférico y gases activos, los cuales pueden ser gases explosivos o perjudiciales para la salud generados por las operaciones mineras) y aire muerto (una mezcla de CO<sub>2</sub> que oscila entre el 5% y el 15% y de nitrógeno que oscila entre el 85% y el 95%). (Raico, 2019).

### 3.3.2. Aire atmosférico

Se utiliza para describir la envoltura gaseosa que rodea a nuestro planeta, abarcando aproximadamente un 1.5% de los aproximadamente 6,200 km de su radio. La atmósfera tiene una masa aproximada de  $5 \times 10^{21}$  gramos y está compuesta por nitrógeno (N<sub>2</sub>) y oxígeno (O<sub>2</sub>), aproximadamente 78% y 21% en volumen, respectivamente. (Matias, 2021).

### 3.3.3. Aire de mina

El propósito principal de llevar a cabo un análisis de ventilación en una mina es identificar la cantidad y las propiedades del aire requerido para su adecuada circulación en su interior. Este cálculo tiene en cuenta varios factores, entre ellos las condiciones específicas de la explotación minera y el método de extracción empleado. (Zavala, 2022).

$$Q = v * A \quad \text{Ec. (01)}$$

Donde:

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/ s) o pies cúbicos por minuto (cfm)-(ft/min)

V: Velocidad de aire (m/s)

A: Área o sección



### 3.3.4. Propiedades físicas del aire

#### 3.3.4.1. Densidad del aire

Se define como:

$$\rho = \frac{M}{V}; \text{ kg/m}^3 \quad \text{Ec. (02)}$$

Donde:

M = Masa (kg.)

V = Volumen (m<sup>3</sup>)

#### 3.3.4.2. Peso específico

Se emplea el valor estándar del peso específico ( $\gamma$ ) del aire, que es de 1,2 kg/m<sup>3</sup> (Claverias, 2014).

$$\gamma = \frac{G}{V}; \text{ kg/m}^3$$

Ec. (03)

Donde:

$\gamma$ : Peso específico (kg/ m<sup>3</sup>)

G: Peso del aire (kg)

V: Volumen del aire (m<sup>3</sup>)

#### 3.3.4.3. Calor específico

El término "calor específico" se refiere a la cantidad de calor (medido en calorías) requerido para elevar la temperatura de 1 kg de una masa de aire en 1 °C. (Claverias, 2014)



#### 3.3.4.4. Viscosidad

Es la resistencia del aire a las fuerzas tangenciales. (Claverias Quicaña, 2014)

$$v = m^2/seg \quad \text{Ec. (04)}$$

Donde:

$v$ : Viscosidad ( $m^2/seg$ )

#### 3.3.4.5. Presión

Es una propiedad física del aire, juega un papel fundamental en diversos procesos de ventilación en una mina. Bajo condiciones de temperatura de 32°F, una pulgada de mercurio tiene un peso aproximado de 0.49 libras. (Claverias, 2014).

$$P_{total}(mina) = P_s(mina) + P_v(mina) \quad \text{Ec. (05)}$$

#### 3.3.4.6. Temperatura

En el ámbito de la ventilación minera, la temperatura indica la gradiente térmica del ambiente, una temperatura promedio de referencia es de 15 °C. (Claverias, 2014).

#### 3.3.4.7. Humedad del aire

Es una medida del contenido de humedad en el aire y se define como la cantidad de vapor de agua presente en un metro cúbico de aire. Por otra parte, la ley de Dalton establece lo siguiente: (Claverias, 2014).

$$PT = Pa + Pv \quad \text{Ec. (06)}$$

$Pa$  = Presión parcial del aire seco.

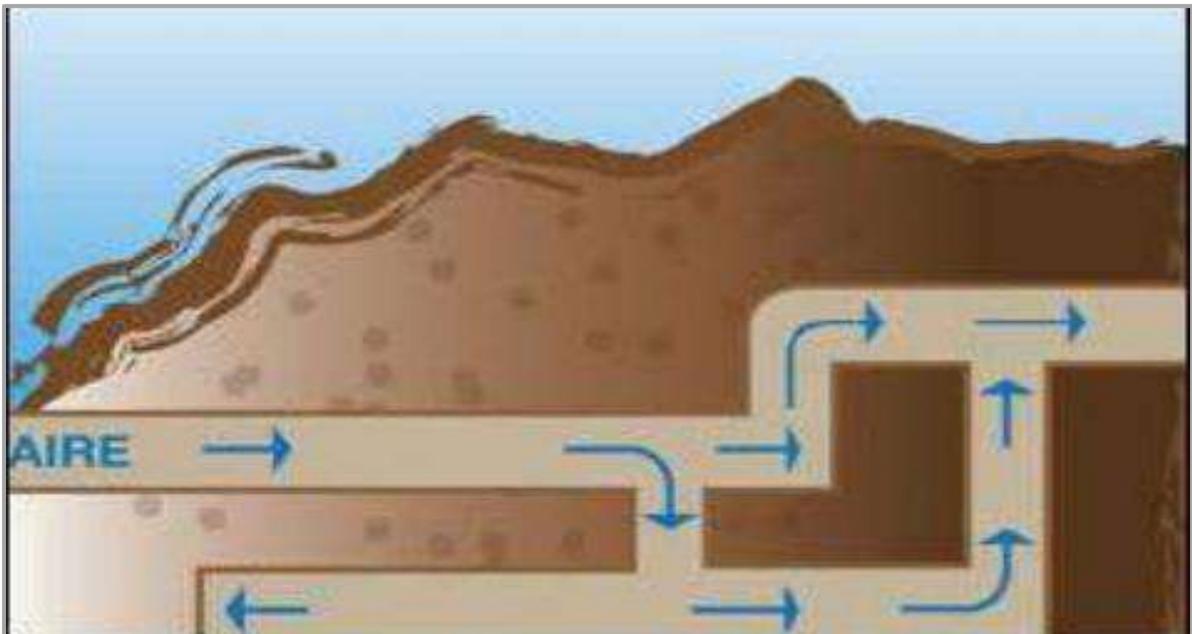
$Pv$  = Presión parcial del vapor.



### 3.3.5. Métodos de ventilación de minas

#### 3.3.5.1. Ventilación natural

Se basa principalmente en el movimiento de masas de aire causado por diferencias de temperatura, diferencia de presión, diferencia de altitud entre las labores mineras y la superficie. En los primeros tiempos, este método fue ampliamente utilizado, posteriormente, se utilizaron cascadas en los pozos para introducir aire fresco en las minas. (Claverias, 2014).

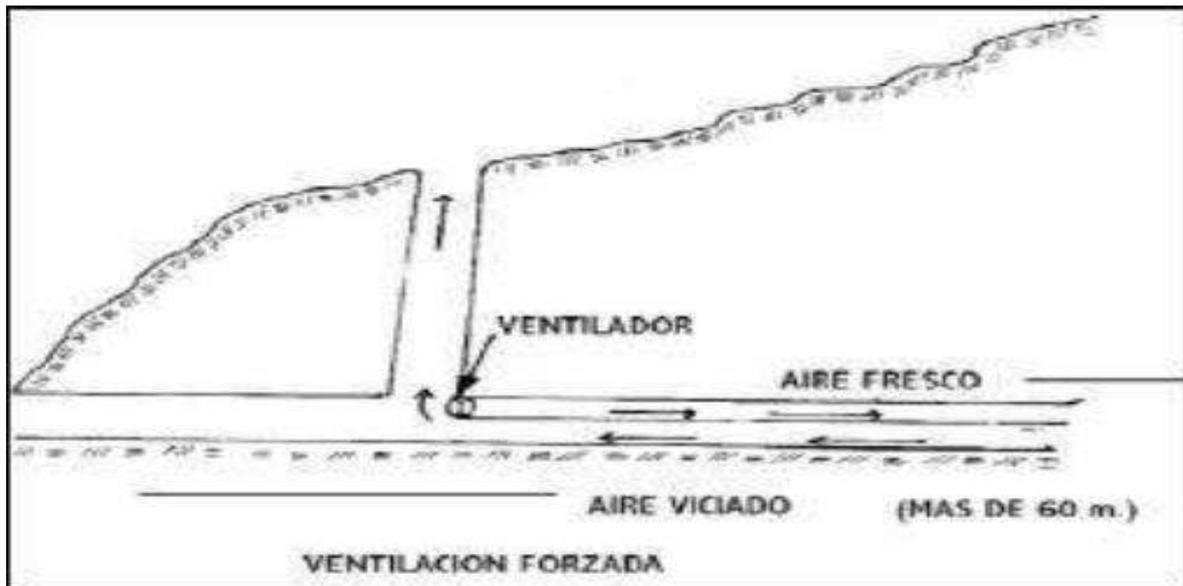


**Figura 15** — Sistema de ventilación natural

Extraído: de (Claverias, 2014)

#### 3.3.5.2. Ventilación forzada

Este sistema de ventilación consiste en el movimiento de masas de aire causado mediante accionamiento con equipos mecánicos (ventiladores), este sistema se usa en minería subterránea para hacer circulara aire fresco por las labores donde el personal está trabajando. (Claverias, 2014).



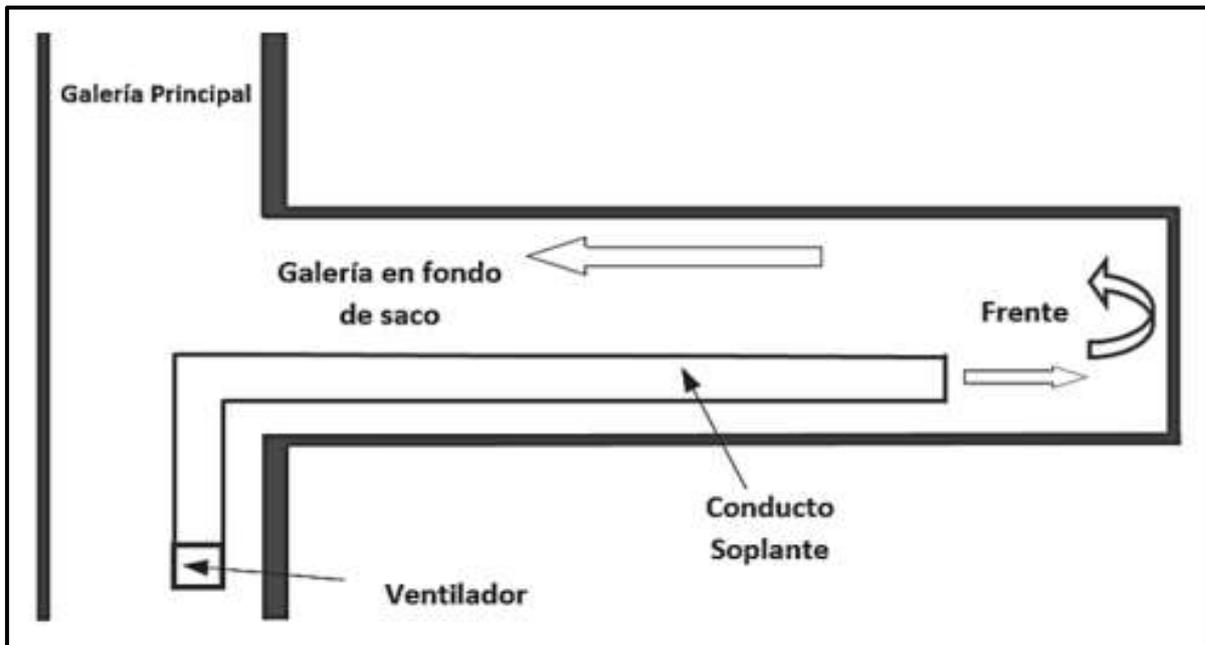
**Figura 16** — Ventilación forzada

Extraído de Claverias (2014).

### 3.3.6. Sistema de ventilación

#### 3.3.6.1. Sistema de ventilación impelente

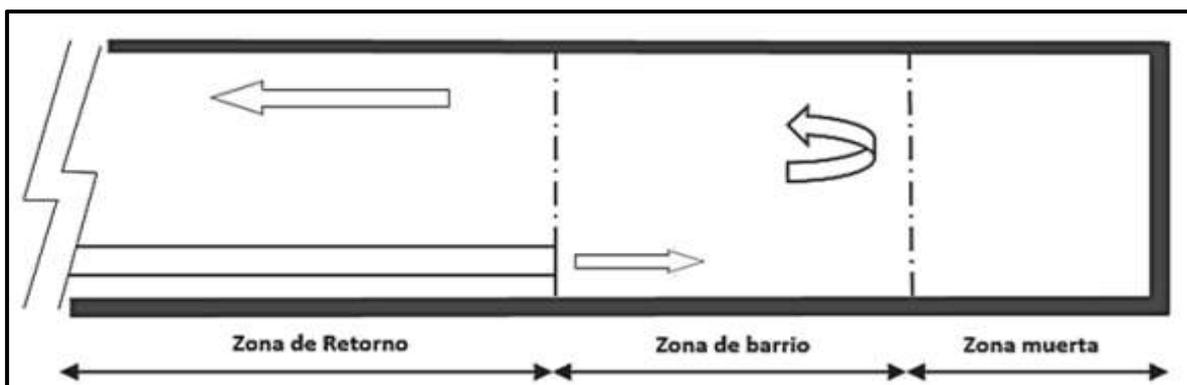
El aire es dirigido hacia la parte superior de la excavación mediante un conducto de ventilación que se impulsa mediante la acción de los ventiladores. Esto posibilita el desplazamiento del aire contaminado a lo largo de la galería. Este sistema es ampliamente empleado en la mayoría de las minas subterráneas. Además, facilita el uso de conductos flexibles sin refuerzos, los cuales poseen una superficie interna suave. Estos conductos son más económicos y fáciles de manejar, y también ofrecen una menor resistencia al flujo de aire (Raico, 2019).



**Figura 17** — Sistema de ventilación impelente

Extraído de Raico (2019)

Cuando la corriente de aire limpio entra en contacto con los gases presentes en el frente de explotación minera, crea una mezcla turbulenta que dispersa eficazmente cualquier estratificación de gas en las zonas superiores del espacio de trabajo. (Raico, 2019).



**Figura 18** — Zonas del sistema de ventilación impelente

Extraído de Raico (2019)

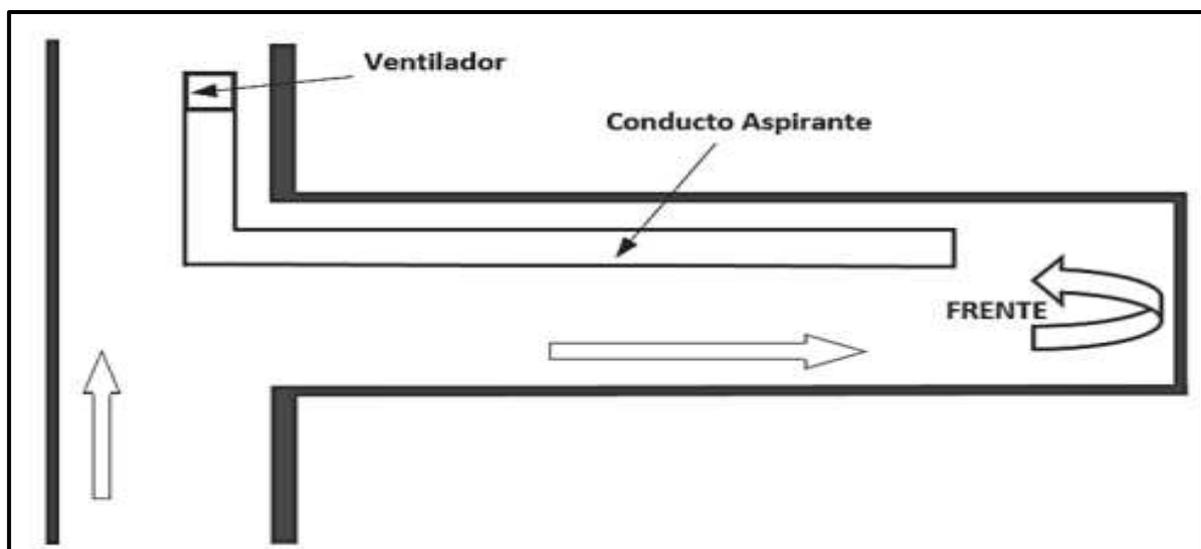
### 3.3.6.2. Sistema de ventilación aspirante

Debido a la disparidad de la sección transversal entre la galería y el conducto de ventilación y la turbulencia del aire fresco entrante serán



considerablemente menores. En consecuencia, confiar únicamente en el sistema de aspiración puede no garantizar un barrido completo de las zonas superiores, sobre todo cuando se trata de una sección transversal grande o cuando el conducto de aspiración no está situado justo enfrente de la galería. (Raico, 2019).

Por esta razón, es recomendable utilizar una solución mixta que incluya un ventilador impulsor adicional, el cual generará la turbulencia requerida para asegurar la dispersión de los gases (Raico, 2019).



**Figura 19** — Sistema de ventilación aspirante

Extraído de Raico (2019)

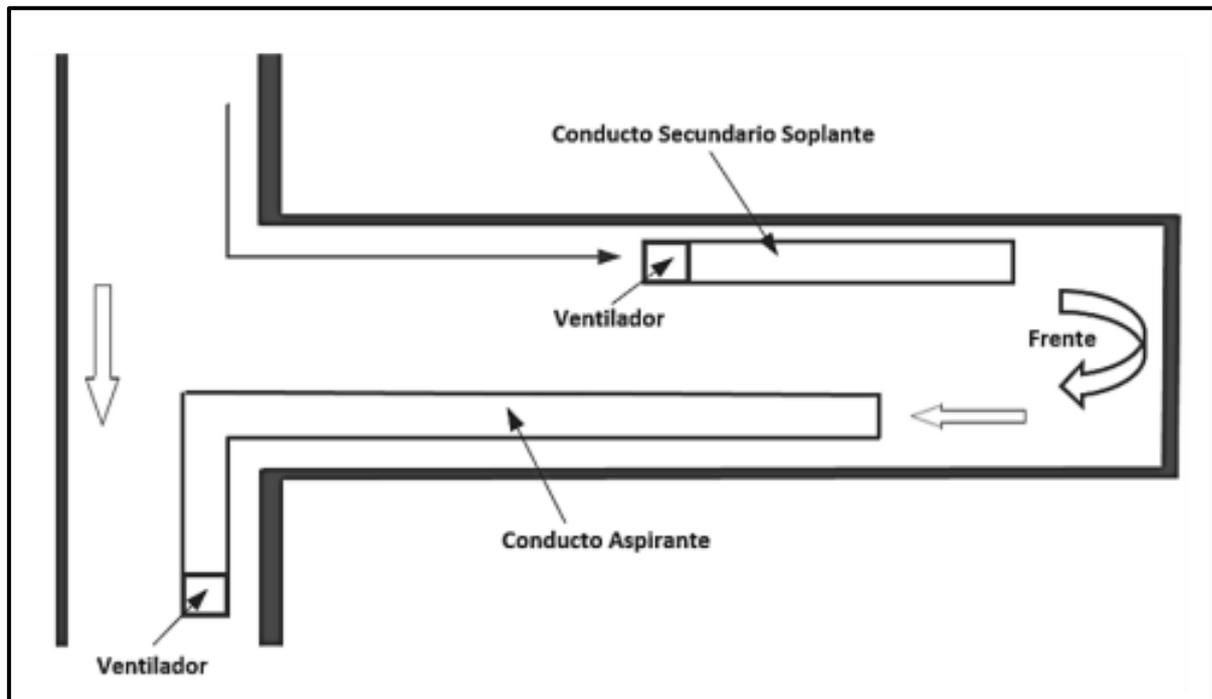
### 3.3.6.3. Sistema impelente con apoyo aspirante

Este método, emplea un ventilador suplementario adicional colocado frente a la zona de trabajo, en conjunto con un tramo de conducto de longitud reducida. Su objetivo principal es combinar las ventajas de cada sistema de ventilación para lograr el mejor efecto en situaciones específicas. En este sistema, se utiliza una línea principal impulsora con una configuración de solapamiento aspirante. (Raico, 2019)

La función principal de esta configuración suele ser recoger y evacuar el polvo generado en el frente de trabajo, permitiendo así mantener una



mejor calidad del aire en el área. Este sistema solapado aprovecha las características positivas de ambos sistemas de ventilación, optimizando así la eficiencia de la ventilación en situaciones particulares. (Raico, 2019)



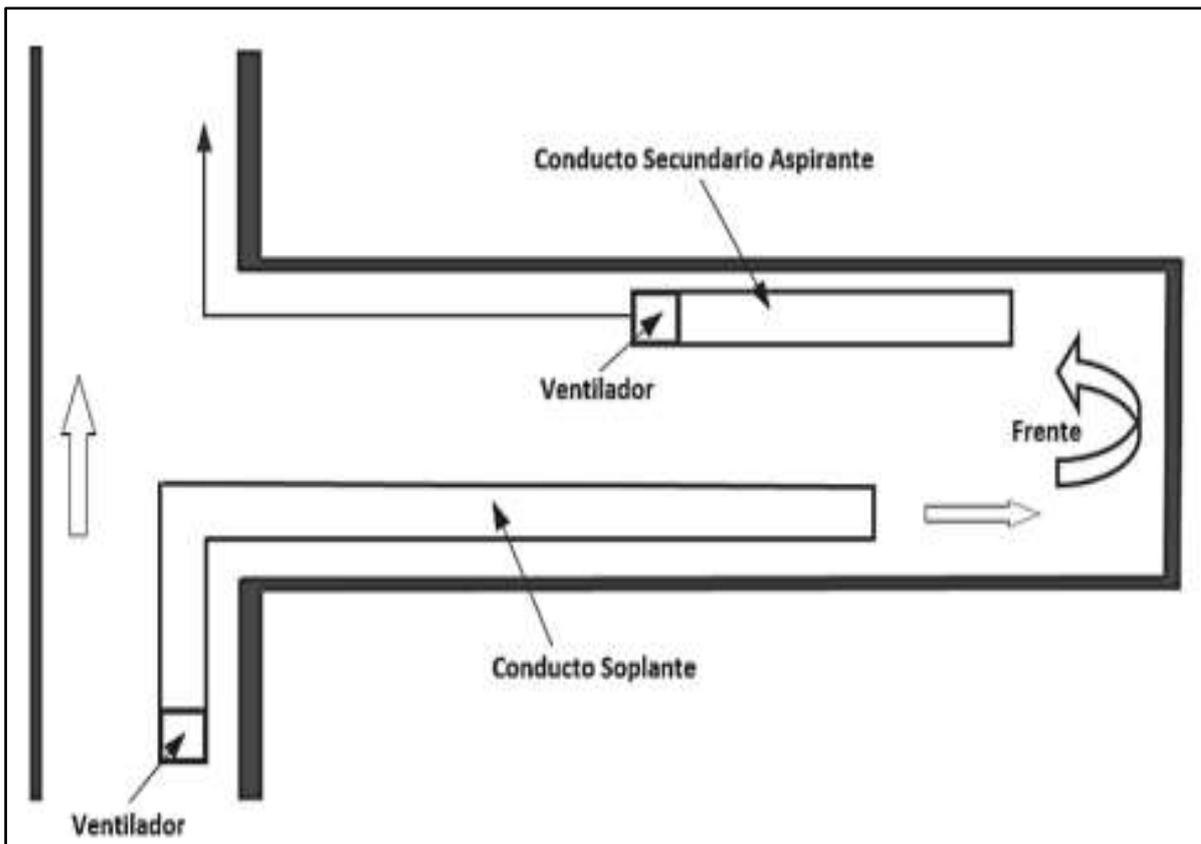
**Figura 20** — Sistema de ventilación mixta o combinado

Extraído de Raico (2019)

#### 3.3.6.4. Sistema aspirante con apoyo impelente

El sistema de aspiración primario elimina el aire contaminado mediante conductos de ventilación rígidos, facilitando la entrada de aire. En cambio, el ventilador auxiliar de refuerzo, que funciona con un impulsor, se encarga de extraerlo y dirigirlo hacia el frente de trabajo. Esta disposición garantiza un barrido eficaz y evita la formación de zonas estancadas (Raico, 2019).





**Figura 21** — Sistema aspirante con apoyo impelente

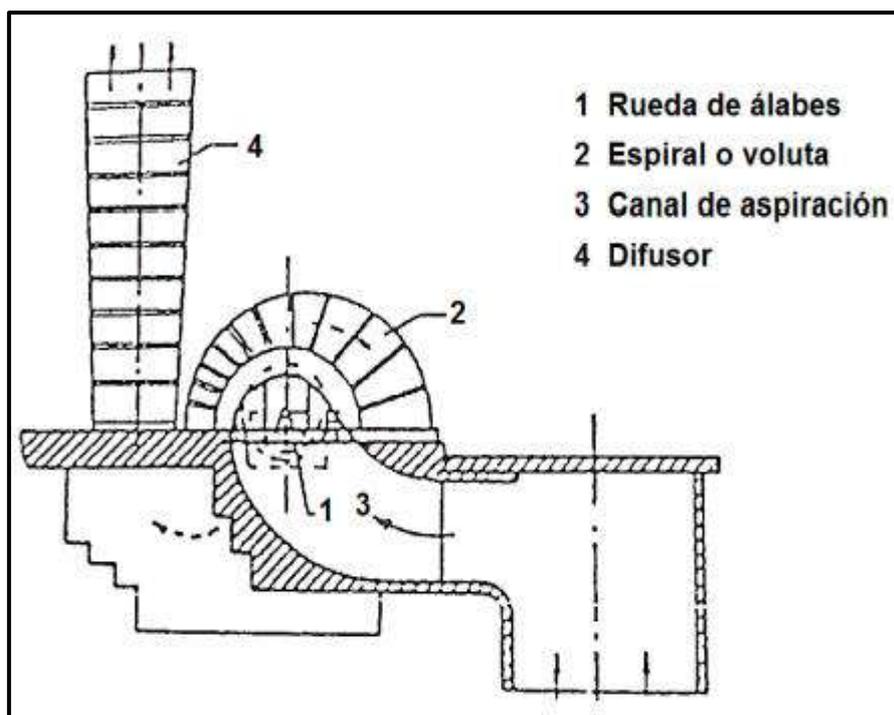
Extraído de Raico (2019)

### 3.3.7. Tipos de ventiladores

#### 3.3.7.1. Ventilador centrífugo

En este sistema, el aire entra a través de una entrada central y es aspirado por la fuerza centrífuga generada por una rueda con aspas. Posteriormente, el flujo de aire se dirige hacia un dispositivo en forma de espiral, que presenta una sección que se va ensanchando de manera gradual hasta llegar a la salida. (Raico, 2019).





**Figura 22** — Partes de un ventilador centrífugo

Extraído de Raico (2019)

### 3.3.7.2. Ventilador axial

Se componen de un conducto cilíndrico y una hélice con palas que están fijadas al cubo o son parte integrante del mismo. Raico Tasilla (2019).

El diseño de un ventilador axial se basa en principios de aerodinámica. Consiste en un rotor alojado dentro de una carcasa cilíndrica. Mediante la inclusión de álabes guía en la parte posterior del rotor, se transforma el ventilador en un ventilador turbo axial equipado con álabes guía (Raico, 2019).

### 3.3.7.3. Comparativo de ventilador axial frente a los ventiladores centrífugos

Un ventilador axial ofrece mayores posibilidades de ajuste en comparación con un ventilador centrífugo, marcando la principal diferencia entre ambos. Esto se debe a que el ángulo de las aspas y la velocidad de rotación se pueden regular mediante un convertidor de frecuencia, lo que permite alcanzar una amplia variedad de puntos de operación. Por otro lado, un ventilador centrífugo se regula únicamente mediante la velocidad. (Raico, 2019).

Los ventiladores axiales ofrecen un rendimiento mecánico superior en comparación con los ventiladores centrífugos, ya que los ventiladores centrífugos requieren la transmisión de movimiento desde el motor hasta el rotor mediante correas u otros tipos de transmisiones (Raico, 2019).

Por otro lado, un ventilador axial ocupa menos espacio físico en comparación con un ventilador centrífugo, siempre y cuando tengan las mismas características de presión y caudal. Esto se debe a que el diseño del ventilador axial permite utilizar motores de mayor velocidad. Por el contrario, los ventiladores centrífugos requieren cimentaciones más grandes, lo que incrementa significativamente el costo de la instalación (Raico, 2019).

Los ventiladores centrífugos pueden experimentar problemas debido a la presencia de agua, ya que su diseño incluye espacios huecos en el rotor que pueden acumular agua durante su funcionamiento. Esto provoca un desequilibrio en el ventilador y puede generar vibraciones (Raico, 2019).

### **3.3.8. Normas legales que sustentan el estudio**

#### **3.3.8.1. Consideraciones legales**

El Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional Minera, aprobado mediante DS-024-2016-EM. La ventilación es un área específica cubierta por los artículos 246 a 259 de este reglamento, que esbozan reglamentos y normas para diversos aspectos. Entre ellos se incluyen los caudales de aire necesarios para las personas y los equipos diésel, las velocidades de aire adecuadas dentro de los trabajos subterráneos en función del tipo de explosivo utilizado.

#### **3.3.8.2. Consideraciones de seguridad y salud ocupacional**

Se enfocan principalmente en los gases generados por las voladuras. No se consideran los gases provenientes de emanaciones del subsuelo (gases dormidos) (Raico, 2019).



**Tabla 4** — Gases presentes en actividades mineras

Compuesto	Fórmula	Densidad relativa	Observaciones
Monóxido de carbono	CO	0,97	Gas incoloro, inodoro e insípido, se le ubica en las partes altas 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.

Extraído de Raico (2019).

### 3.3.8.3. Calidad de aire

Se requiere mantener las cantidades de gases dentro de los límites máximos permitidos (LMP) (Raico, 2019).

**Tabla 5** — Límites de exposición ocupacional para agentes químicos

N°	Agentes Químicos (en el aire)	Límites de Exposición Ocupacional					
		TWA		STEL		Techo (C)	
7	Anhídrido Sulfuroso (SO <sub>2</sub> )	2	ppm	5	ppm		
20	Dióxido de carbono	5000	ppm	30000	ppm		
21	Dióxido de Nitrógeno	3	ppm	5	ppm		
33		25	ppm				
36		19.5	%			22.5	%

*Nota.* Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional Minero D.S.-024-2026-EM.

### 3.3.9. Requerimiento de aire

En la unidad minera Pepas de Oro, las labores mineras están con una temperatura promedio de 15,50°C, para los cálculos no se ha considerado el requerimiento de aire para ambientes de temperatura elevada. Para determinar la cantidad de aire que se requiere por frente de trabajo, el cálculo del caudal de aire se realiza empleando la siguiente fórmula: (Raico, 2019)

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad \text{Ec. (07)}$$

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 el uso de explosivos

### 3.3.9.1. 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 5).

**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

*Nota.* Decreto Supremo N° 055-2010-EM, 2010.

$$Q_1 = q * n$$

Ec. (08)

Dónde:

Q<sub>1</sub>: 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.

### 3.3.9.2. 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)

$$Q_2 = K * N$$

Ec. (09)

Dónde:

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



### 3.3.9.3. Caudal de aire para uso de explosivos

$$Q_3 = V * n_i * A$$

Ec. (10)

Dónde:

$Q_3$ : Cantidad de aire para diluir contaminantes por el uso de explosivos (m<sup>3</sup>/min)

V: Velocidad del aire 20 m/min. (Dinamita) y 25 m/min (Anfo)

$n_i$ : Numero de niveles de la mina en trabajo

A: Área promedio de la sección de las labores niveles en trabajo (m<sup>2</sup>)

## 3.3.10. Definición de términos básicos

### 3.3.10.1. Ventilación de minas

Se enfoca en dirigir 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 económica. (Raico, 2019).

### 3.3.10.2. Volumen de aire

Es la cantidad de aire que circula en una sección específica de la misma, generalmente medida en pies cúbicos por minuto (Raico, 2019).

### 3.3.10.3. Velocidad del aire

La velocidad del flujo de aire, representada por V, es la ratio de la cantidad de aire que se desplaza por unidad de tiempo (Raico, 2019).

### 3.3.10.4. Área de la sección

Esta área se refiere a la sección transversal del conducto de ventilación o cualquier otra abertura por donde el aire ingresa al sistema de ventilación minera. La determinación precisa del área es crucial para



calcular el caudal de aire y asegurar una adecuada circulación y distribución del aire en la mina (Raico, 2019).

#### **3.3.10.5. Presión estática**

Es la presión estática que se genera en todas las direcciones cuando el flujo de aire está en reposo (Raico, 2019).

#### **3.3.10.6. Presión dinámica**

Es la fuerza ejercida en la dirección del flujo que se necesita para que un fluido en reposo empiece a moverse a una velocidad determinada. Esta presión cinética se suele medir en unidades de pulgadas de agua (pulg.H<sub>2</sub>O) (Raico, 2019).

#### **3.3.10.7. Presión total**

La presión total se obtiene al sumar las presiones estática y dinámica de forma algebraica. Los valores utilizados en el modelo del ventilador se expresarán en unidades de pulgadas de agua (pulg.H<sub>2</sub>O) (Raico, 2019).

#### **3.3.10.8. Potencia en el eje**

Es la potencia requerida para que un ventilador funcione, sin considerar las pérdidas de energía en la transmisión entre el motor y el rotor.(Raico, 2019).

#### **3.3.10.9. Temperatura del ambiente**

Estos son elementos que favorecen la mejora del entorno laboral en el interior de una mina (comodidad) (Raico, 2019).

#### **3.3.10.10. Distribución de volumen de aire**

En las operaciones mineras, es común dividir el flujo de aire primario que circula a través de una galería hacia otras galerías o chimeneas. Este principio, denominado ley del equilibrio o de la distribución, puede conseguirse por medios naturales o controlados (Raico, 2019).



### 3.3.11. Leyes de Kirchhoff

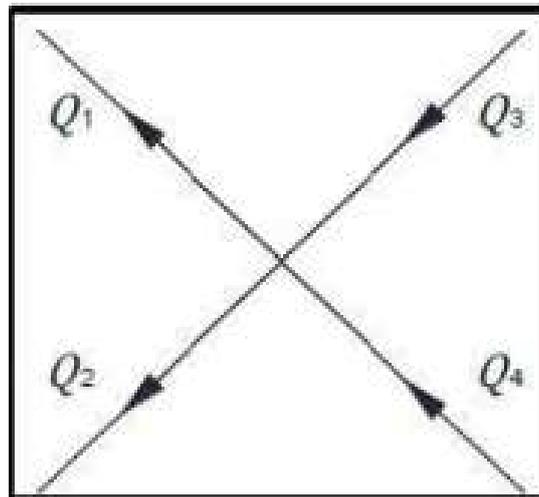
Gustavo Robert Kirchhoff (1824 - 1887) es conocido por formular las leyes de Kirchhoff, inicialmente aplicadas en circuitos eléctricos (Claverias, 2014).

#### 3.3.11.1. Primera ley de Kirchhoff

Las leyes de Kirchhoff, originalmente desarrolladas para circuitos eléctricos, también tienen utilidad en los circuitos de ventilación en entornos mineros, donde indica que los caudales que entran son iguales a los caudales que salen (Claverias, 2014).

$$Q = 0$$

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 \quad \text{Ec. (11)}$$



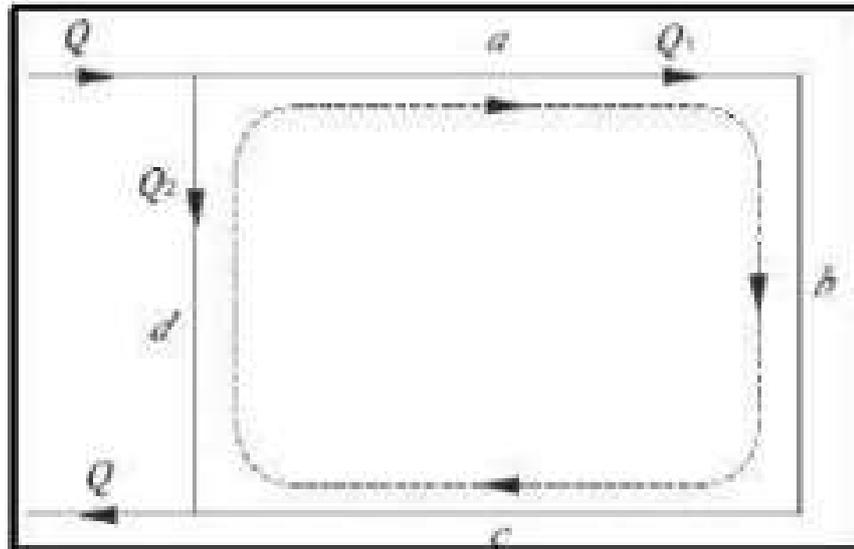
**Figura 23** — *Primera ley de Kirchhoff*

Extraído de Claverias (2014)

#### 3.3.11.2. Segunda ley de Kirchhoff (Ley de circulación)

Dentro del ámbito de la ventilación minera, es posible emplear la segunda ley de Kirchhoff, la cual establece que la suma total de las caídas de presión en todas las ramificaciones de una red, incluyendo aquellas generadas por los ventiladores ( $P_f$ ) y la ventilación natural ( $p_{vn}$ ), es igual a cero. Al analizar el sistema de ventilación, resulta fundamental considerar estos factores con el fin de aplicar la ley de Kirchhoff de manera efectiva. (Claverias, 2014).





**Figura 24** — Segunda ley de Kirchhoff

Extraído de Claverias (2014)

### 3.3.11.3. Método de Hardy Cross

El método desarrollado por Hardy Cross es ampliamente utilizado y considerado como una técnica iterativa. (Claverias, 2014)

$$P = RQ^2 \quad \text{Ec. (12)}$$

El propósito es establecer el valor apropiado para la cantidad estimada  $Q_a$ . En el contexto de los conductos de aire en una mina, estos conductos no existen de manera aislada, sino que forman una red de conductos interconectados, y su magnitud general está influenciada por el tamaño y la complejidad de dicha red.

$$Q = Q_a + \Delta Q \quad \text{Ec. (13)}$$

### 3.3.12. Circuitos de ventilación

Se clasifica en dos configuraciones de flujo de aire: flujo en serie, en el que el aire se desplaza por galerías alineadas, y flujo en paralelo, en el que el aire viaja por galerías ramificadas que más tarde se fusionan para formar una red. Para elegir el ventilador adecuado para el sistema, es decisivo calcular los volúmenes y resistencias de esta red. Estos cálculos ayudan a determinar la resistencia total y los volúmenes de aire, lo que permite seleccionar un ventilador adecuado para el sistema de ventilación. (Claverias, 2014)



### 3.3.12.1. Ley de continuidad

En este circuito, se cumple la siguiente relación: El volumen de aire que ingresa a la mina es igual al volumen de aire que sale de ella a lo largo de todo el circuito. (Claverias, 2014)

$$QT = Q1 = Q2 = Q3 = Q4 = \text{Ec. (14)}$$

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

$$PT = P1 + P2 + P3 + P4 \text{ Ec. (15)}$$

La relación que hay entre (PT) y el volumen Qt del flujo que viaja es igual

$$PT = RQ^2 \text{ Ec. (16)}$$

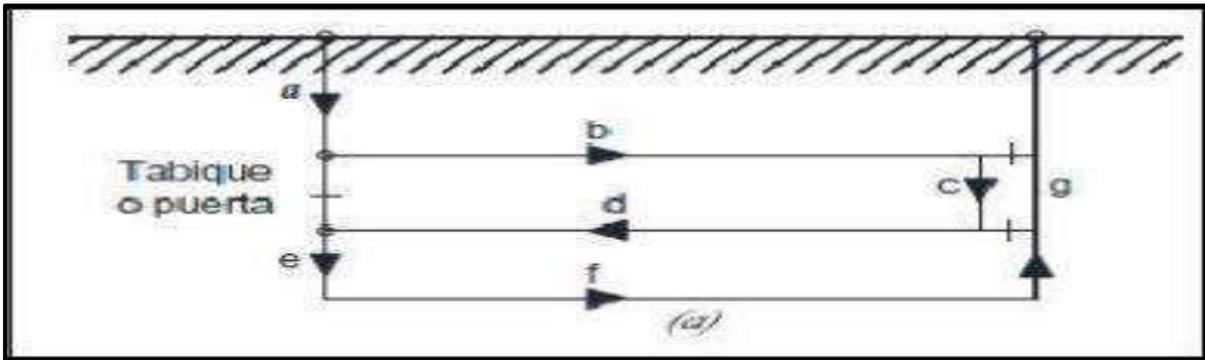
$$PT = RQ^2 = R1Q1^2 + R2Q2^2 + R3Q3^2 + R4Q4^2 = Q^2(R1 + R2 + R3 + R4 + \dots)$$

Pero como todos los volúmenes son iguales podemos escribir que:

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

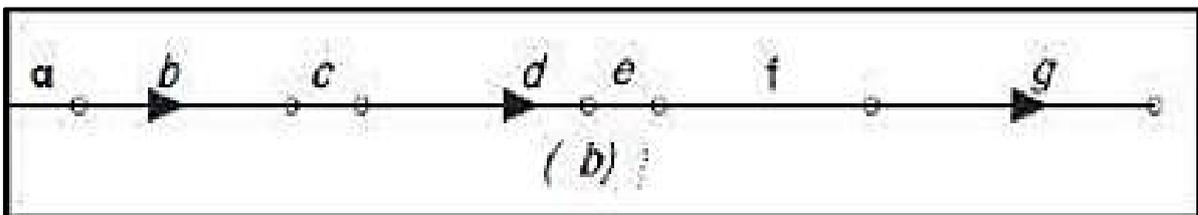
En circuitos en serie, los requisitos de potencia o energía son altos para un volumen determinado, ya que los caballos de fuerza (HP) necesarios para mover el peso del aire se acumulan (Claverias, 2014).





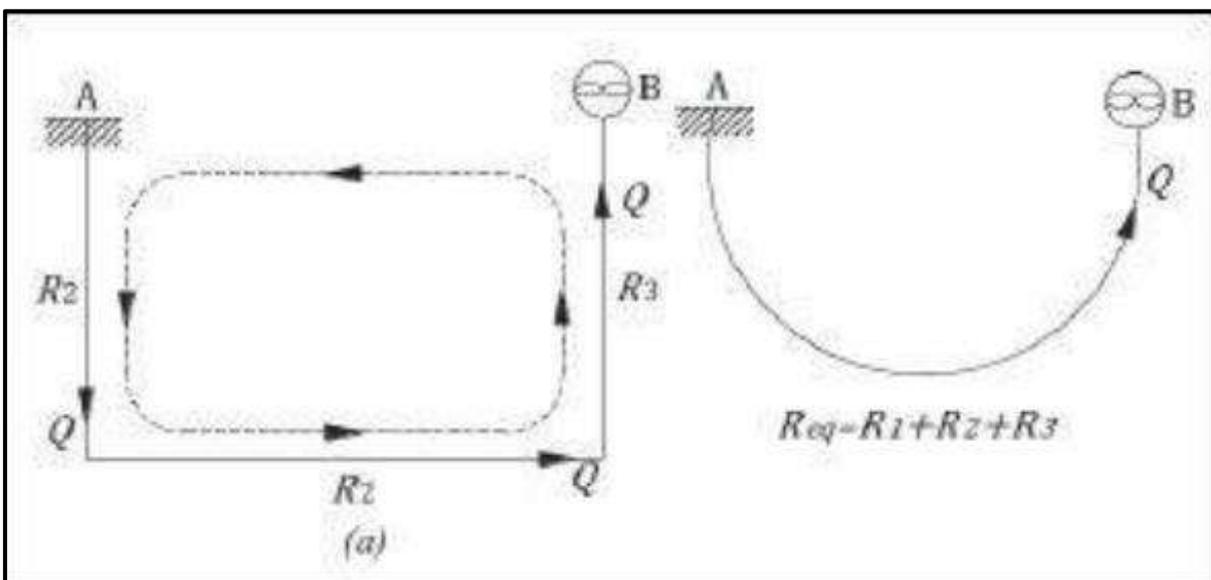
**Figura 25** — Circuito en serie con puertas que regulan el aire conforme sus necesidades  
Extraído de Claverias (2014)

A su vez, el esquema lineal para cálculo de cada una de las PL o resistencia es la siguiente:



**Figura 26** — Circuito convertido a esquema lineal  
Extraído de Claverias (2014)

### 3.3.12.2. Circuito en serie



**Figura 27** — Circuito en serie  
Extraído de Claverias (2014)

### 3.3.12.3. Circuitos en paralelo

Cuando el flujo de aire se distribuye entre varias galerías en la ventilación de minas, se denomina "división". Cada rama del circuito paralelo se denomina "split". En esta configuración en paralelo, el volumen total de flujo de aire se determina sumando los volúmenes que pasan por cada rama o división individual. (Claverias, 2014)

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

La pérdida de resistencia es la misma a través de cualquier ramal o galería:

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

Pero sabiendo 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:

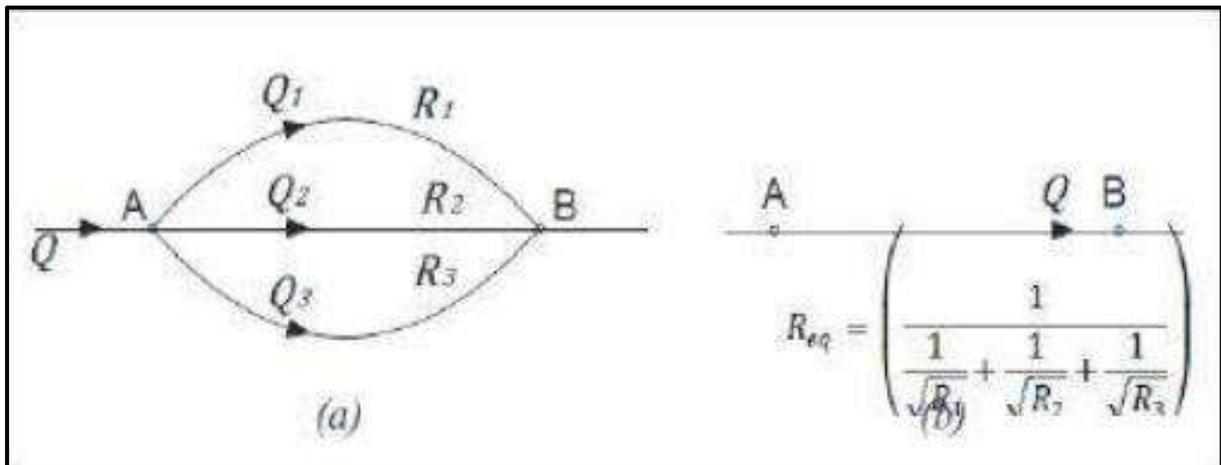
$$PT = P1 = P2 = P3 = P4 = \dots$$

Tendremos que:

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

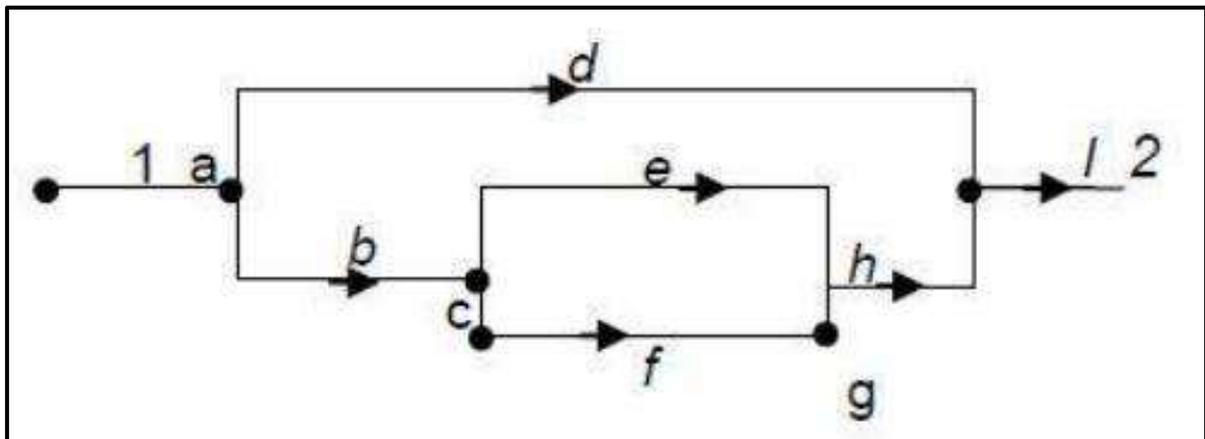
Indica que cada resistencia (R) está relacionada con las características de cada galería o conducto de los cuales deseamos conocer sus resistencias. Estas resistencias se calculan utilizando datos obtenidos en el mapeo de campo. Si la estática es constante o uniforme (Claverias, 2014).





**Figura 28** — Circuito en Paralelo

Extraído de Claverias (2014)



**Figura 28** — Esquema del circuito en Paralelo

Extraído de (Claverias, 2014)

Para determinar las resistencias en un sistema de ventilación, el primer paso es calcular la resistencia equivalente de las secciones individuales, como "che" y "cfgh". Este cálculo tiene en cuenta la resistencia "d" y da como resultado otra resistencia equivalente. (Claverias, 2014).

### 3.3.13. 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)



$$P = RQ^2 \quad \text{Ec. (17)}$$

P : Pérdida de presión (Pa)

R : Resistencia (Ns<sup>2</sup>/m<sup>8</sup>)

Q : Flujo del volumen (m<sup>3</sup>/s)

### 3.3.14. Ecuación de energía total

El término "R" en la ecuación representa la resistencia del conducto de ventilación o ducto en consideración. Por lo tanto, para dos puntos en un conducto (1 y 2), la ecuación que describe la energía total es la siguiente:

$$\text{Energía Total}_1 = \text{Energía Total}_2 + \text{Pérdida de Energía}_{1-2} \quad \text{Ec. (18)}$$

La Ecuación de Bernoulli será:

$$\frac{P_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{w} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + P_p$$

Donde:

$$\frac{P}{w} = \text{Energía Estática}$$

$\frac{V^2}{2g}$  = Energía de Velocidad.

Z = Energía Potencial.

P<sub>p</sub> = Pérdida de energía debido al flujo.

P = Presión absoluta (kPa o Pa)

w = Densidad (kg/m<sup>3</sup>)

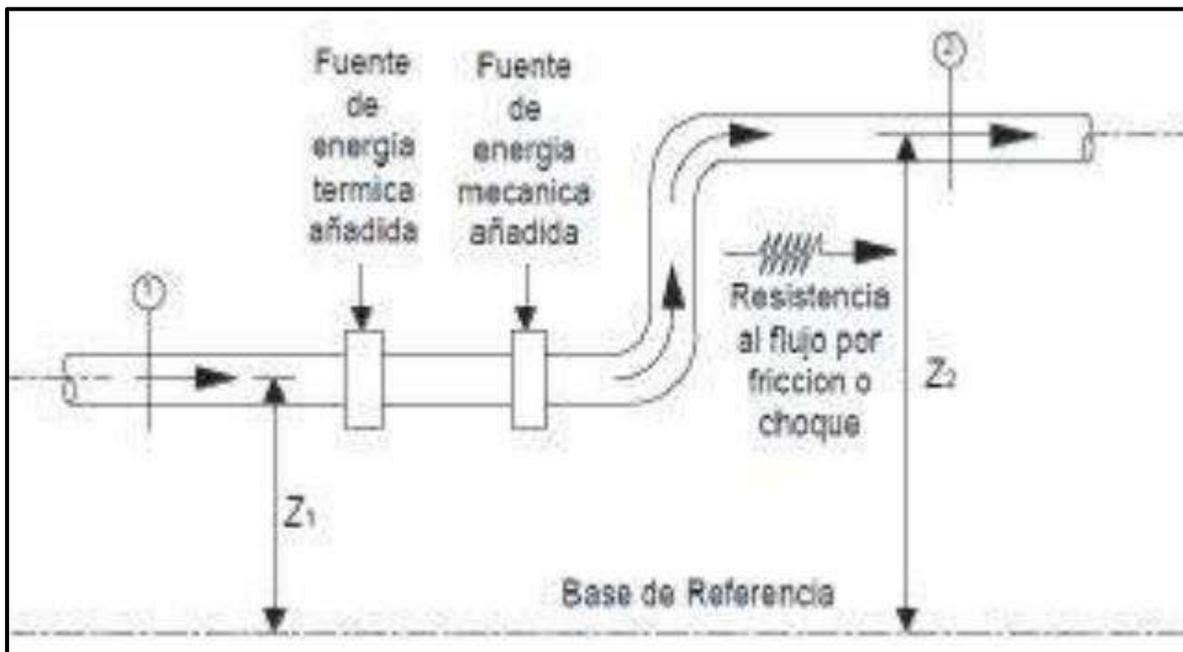
V = Velocidad (m/s)

g = Aceleración gravitacional (m/s<sup>2</sup>)

$P_{t1} = P_{t2} + P_p$  En términos de presiones:



$$Ps1 + Pv1 + Pz1 = Ps2 + Pv2 + Pz2$$



**Figura 29** — Flujo de fluidos a través de un ducto

Extraído de Claverias (2014)

### 3.3.15. Ecuación modificada de energía

Al aplicar las ecuaciones mencionadas, los cálculos pueden volverse complejos, especialmente debido a las dificultades para determinar las alturas de los diferentes puntos de trabajo ( $P_p$ ). Para simplificar estos cálculos, se puede utilizar un procedimiento estandarizado en el que se omita el término de elevación. No obstante, al realizar esta omisión, es necesario ajustar la ecuación energética general: (Claverias, 2014)

$$P_t = P_{t2} + P_p \quad \text{Ec. (19)}$$

### 3.3.16. Pérdidas de presión

La energía proporcionada a un fluido en movimiento, ya sea a través de medios naturales o mecánicos, se utiliza por completo para superar las pérdidas de presión ( $P_p$ ):

$P_f$  = Pérdidas debido a la fricción.



$P_x$  = Pérdidas debido al choque

Y están relacionadas en la siguiente ecuación:

$$P_p = P_f + P_x \quad \text{Ec. (20)}$$

### 3.3.17. Formula de Atkinson

El valor de la resistencia (R) en los conductos de ventilación está influido por diversas características. Por ejemplo, al comparar dos conductos, uno con una sección transversal menor y otro con una mayor, suponiendo que todos los demás factores permanezcan constantes, el flujo de aire se desplaza más fácilmente a través del conducto mayor. (Claverías Quicaña, 2014).

Además, la resistencia en un conducto es mayor si el aire tiene que friccionar contra una superficie mayor en comparación con un conducto con una superficie de fricción menor. Además, si se comparan dos conductos con paredes de distinta textura, uno con paredes lisas y otro con paredes rugosas, suponiendo que todos los demás factores sean los mismos, el conducto liso tendrá menor resistencia que el conducto rugoso. (Claverías, 2014).

$$P = \frac{KCLQ^2}{A^3} * \frac{w}{1.2} \quad \text{Ec. (21)}$$

$$P = \frac{KCLV^2}{A} * \frac{w}{1.2} \quad \text{Ec. (22)}$$

Donde:

P = pérdida de presión (Pa)

C = perímetro (m)

L = longitud (m) A = área (m<sup>2</sup>)

Q = flujo de cantidad (m<sup>3</sup>/s)

V = velocidad (m/s)

K = factor de fricción (Ns<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)

w = densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>)



### 3.3.18. Factor de fricción

Los valores de K se obtienen 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, para la cual se ha realizado una corrección a ese factor obtenido de la tabla, la cual hay que corregir por la densidad del aire de la mina para obtener K corregido a nivel del mar de la mina. (Claverias, 2014)

$$K_{\text{corregido}} = k \left( \frac{w_1}{w_2} \right) \quad \text{Ec. (23)}$$

Donde:

$K_{\text{corregido}}$  = Factor K corregido (N seg/m<sup>4</sup>)

k = Factor de fricción de tabla (N s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)

w<sub>1</sub> = Densidad de aire de mina (kg/m<sup>3</sup>)

w<sub>2</sub> = Densidad de aire estándar (1.2 kg/m<sup>3</sup>)

### 3.3.19. Software Ventsim

VentSim, es un programa computacional comercializado por HOWDEN, permite a los usuarios realizar simulación de la ventilación al interior de minas subterráneas, este programa ha sido desarrollado por Craig Stewart en el año 1993 (Howden, 2018) y permite a los usuarios realizar una simulación de un sistema de redes de ventilación.

Esta herramienta informática posee una interfaz manejable y permite desarrollar modelos complejos 3D, facilitando la implementación de bases de datos para el posterior análisis de escenarios, trabajo con sistema métrico y imperial.

Ventsim presenta al usuario varias herramientas y características que se mencionan a continuación (Howden, 2018).

- Simulación y registro de caudales y caídas de presiones presentes en una labor



- Análisis financiero
- Planificación a corto y largo plazo de los requerimientos de aire
- Análisis económico de las diferentes opciones de ventilación
- Simulación de las concentraciones de contaminantes
- Permite simular diferentes flujos de aire
- Detectar las posibles recirculaciones de aire viciado en la mina
- Simulaciones dinámicas con respecto al tiempo
- Construcción de hasta 30000 conductos de ventilación en un modelo
- Capacidad de almacenamiento de hasta 1000 tipos de ventiladores diferentes

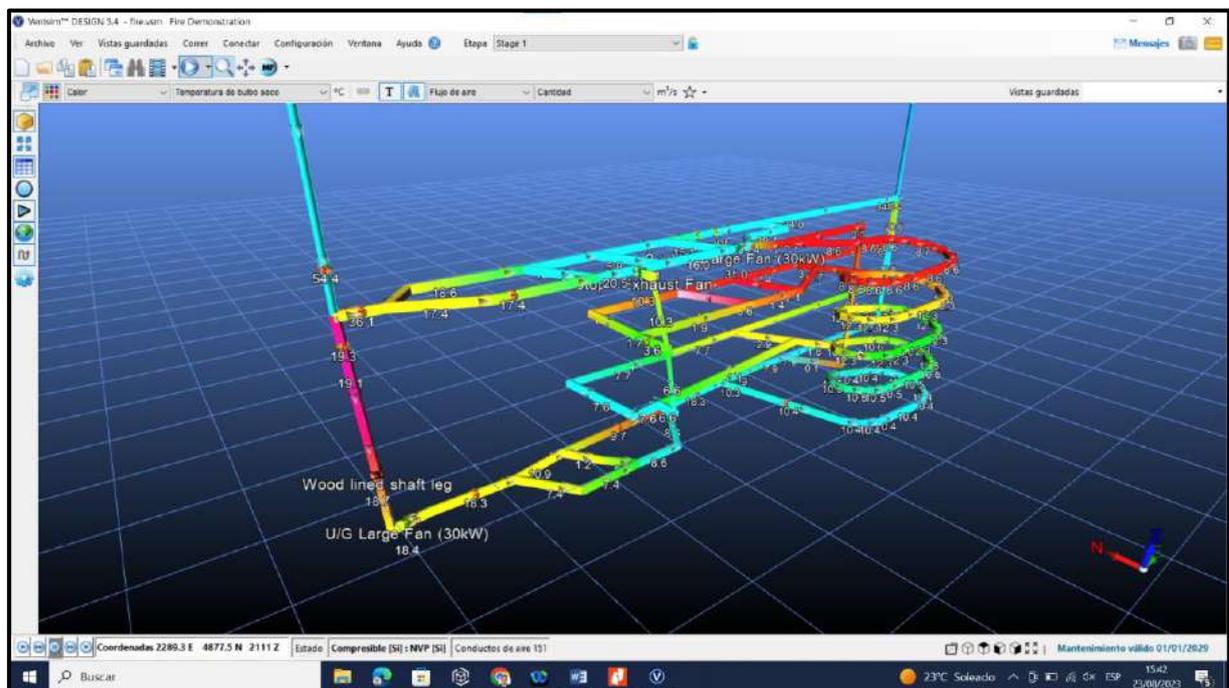


Figura 30 — Visualización del software Ventsim

Extraído de Howden (2018)

### 3.4. Marco conceptual

#### 3.4.1. Ventilación mecánica o forzada

Esto se consigue utilizando ventiladores que introducen aire fresco a través de conductos. En los casos en que un lugar de trabajo solo tenga un punto de acceso y la distancia de avance esté limitada a 60 metros, el uso de ventiladores auxiliares es obligatorio (Raico, 2019).



### **3.4.2. Ventilación axial**

Los ventiladores axiales están compuestos por un conducto cilíndrico y una hélice con palas que están fijas al cubo o integradas en él. El aire entra y sale del ventilador en paralelo a la dirección de la máquina (Raico, 2019).

El diseño de los ventiladores axiales se basa en principios aerodinámicos y consta de un rotor dentro de una carcasa cilíndrica. Además, tiene la capacidad de generar presiones estáticas más elevadas en comparación con los ventiladores centrífugos, y su eficiencia es considerablemente mayor (Raico, 2019).

### **3.4.3. Perdidas por choque**

Las pérdidas por choques son generadas localmente debido a turbulencias, remolinos y frenado del aire al encontrarse con obstáculos dentro del circuito de ventilación. Estos obstáculos incluyen cambios de dirección, entradas, constricciones, entre otros. (Claverias, 2014)

### **3.4.4. Planeación de ventilación de mina**

El diseño de ingeniería de la ventilación de minas abarca una serie de etapas y procesos que requieren la participación de un experto cualificado, como un ingeniero minero y metalúrgico o un especialista en ventilación de minas subterráneas. Estos profesionales se encargan de calcular y diseñar el circuito de ventilación de la mina. El diseño se formula a partir de los cálculos realizados por el experto competente y posteriormente se ajusta de acuerdo con el plan de ventilación establecido (Tejeda & Mucha, 2022).

### **3.4.5. Programa de gestión en ventilación de minas**

El programa implementado debe cubrir la selección del tipo de ventilación a utilizar y proporcionar capacitación y entrenamiento a los mineros asignados. (Tejeda y Mucha, 2022)

#### **3.4.5.1. Requerimientos generales de un sistema de ventilación de minas**

Se detallan los elementos esenciales que se debe incluir:

- Una persona cualificada asignada como responsable de la ventilación.



- Planos detallados del sistema de ventilación.
- Protocolos de seguridad.

Estos elementos constituyen la base esencial de un sistema de ventilación, al tiempo que permiten a cada empresa personalizarlos y adaptarlos en función de los atributos únicos de su mina (Tejeda & Mucha, 2022).

#### **3.4.5.2. Estudio técnico de ventilación de minas**

Para Tejeda y Mucha (2022), se deben considerar, los siguientes aspectos:

- Elaboración de un plano que represente el sistema de ventilación de la mina.
- Medición del caudal necesario basado en el número de personas presentes.
- Medición del caudal necesario debido al consumo de explosivos.
- Definición de los procedimientos a seguir para restablecer la ventilación.
- Estos aspectos son esenciales.

#### **3.4.5.3. Diseño de ventilación de minas**

El proceso de diseño de la ventilación en una mina implica el cálculo de los factores que intervienen en la determinación del caudal de aire para mantener un ambiente confortable, a este se incluye los factores físicos de las laboreas, y la calidad del ambiente subterráneo (Tejeda & Mucha, 2022).

#### **3.4.6. Composición de aire seco**

En la siguiente tabla, se muestra la composición química del aire fresco y seco en el medio ambiente que nos rodea.



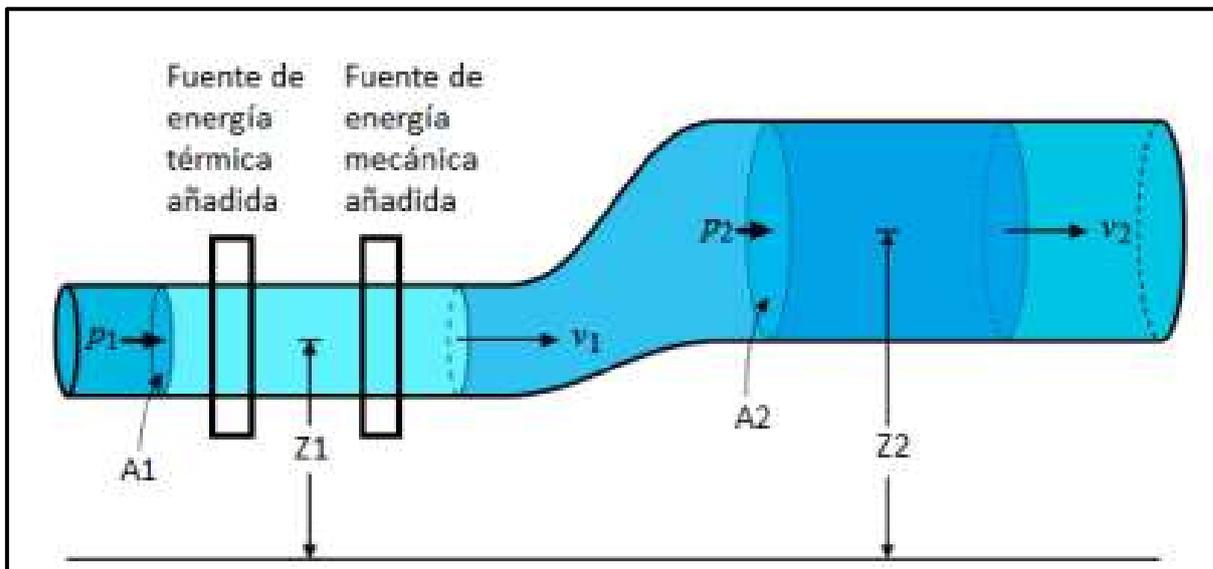
**Tabla 7** — Composición del aire seco

Componentes	% 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

Extraído de Tejeda y Mucha (2022).

### 3.4.7. Leyes de Bernoulli aplicado a un sistema de ventilación

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



**Figura 31** — Flujo a través de los puntos 1 y 2

Extraído de Tejeda y Mucha (2022)

$$\text{Energía total (1)} = \text{Energía total (2)} + \text{Perdidas de energía (1} \rightarrow \text{2)}$$

Ahora, sustituyendo las expresiones de energía por la ecuación de Bernoulli aplicable a un fluido, la ecuación queda redefinida como:



$$\frac{P_1}{w} + \frac{v^2_1}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{w} + \frac{v^2_2}{2g} + Z_2 + H_i$$

Ec. (24)

Donde:

$P/w$ : Energía estática

$v^2/2g$ : Energía cinética

$Z$ : Energía potencial

$H_i$ : Pérdidas de energía debido al flujo

$P$ : Presión absoluta en el punto

#### 3.4.8. Ley fundamental de ventilación de minas

El diseño de la ventilación en una mina implica calcular los factores mencionados anteriormente para cada zona minera específica. Además, deben realizarse mediciones continuas de gases en las zonas de trabajo activas dentro de la mina, y deben establecerse paneles de control para mantener informado al personal sobre las condiciones atmosféricas (Tejeda & Mucha, 2022).

## CAPÍTULO IV

### METODOLOGÍA

#### 4.1. Tipo y nivel de investigación

##### 4.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación corresponde al tipo cuantitativo, debido a que se requiere de 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 (Fernandez, Baptista, & Hernandez, 2014, pág. 335)

##### 4.1.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación tiene un alcance correlacional, debido a que se busca asociar las variables de la investigación, permitiendo crear predicciones y poder cuantificarlas (Fernandez, Baptista, & Hernandez, 2014, pág. 89).

#### 4.2. Diseño de investigación

De acuerdo con su propósito, la investigación en cuestión es de naturaleza aplicada y se lleva a cabo dentro del ámbito de la ingeniería de minas, ya que se utilizarán todos los conocimientos adquiridos en esta disciplina. Donde abarcaremos los temas de ventilación en un proyecto minero subterráneo. En cuanto a su diseño, esta investigación sigue un enfoque preexperimental con un pretest y un posttest, en el que se administra un estímulo o tratamiento a un grupo y se realizan mediciones posteriores para evaluar el nivel del grupo. Sin embargo, hay que señalar que este tipo de estudio tiene un grado limitado de control y validez interna, y emplea un diseño de investigación de un solo grupo, careciendo de elementos comparativos. A pesar de estas limitaciones, este tipo de investigación sirve como exploración inicial de la realidad y también puede servir como prueba piloto.



### **4.3. Población y muestra**

#### **4.3.1. Población**

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). Teniendo en consideración el enunciado anterior, la población está conformado por la Unidad Minera de la Asociación de Mineros Artesanales Pepas de Oro “Pampamarquino”

#### **4.3.2. Muestra**

La muestra de este trabajo de investigación es el Sistema de ventilación de la Unidad Minera Pepas de Oro, del Sub Nivel 4490, Pique 8261 de la veta Carlos.

### **4.4. Procedimiento**

El sistema de ventilación de mina consiste en hacer llegar y circular un flujo de aire considerable y necesario para crear las condiciones adecuadas para que los trabajadores se encuentren, se hace circular aire fresco mediante circuitos en serie y paralelo para la circulación del aire a través de todas las labores, para ello es muy indispensable que las labores tengan dos puntos de acceso independientes.

Por otra parte, existen labores que sólo tienen un acceso (por ejemplo, una galería en avance, un pique, etc.) es necesario ventilar con ayuda de una manga de ventilación, esta ventilación se conoce como secundaria o auxiliar. En este trabajo de investigación se va instalar un sistema de ventilación a partir de la cámara del SN 4490 S, donde se proyecta construir el Pique 8261 con una pendiente vertical, una distancia de 25 metros en la Veta Carlos.

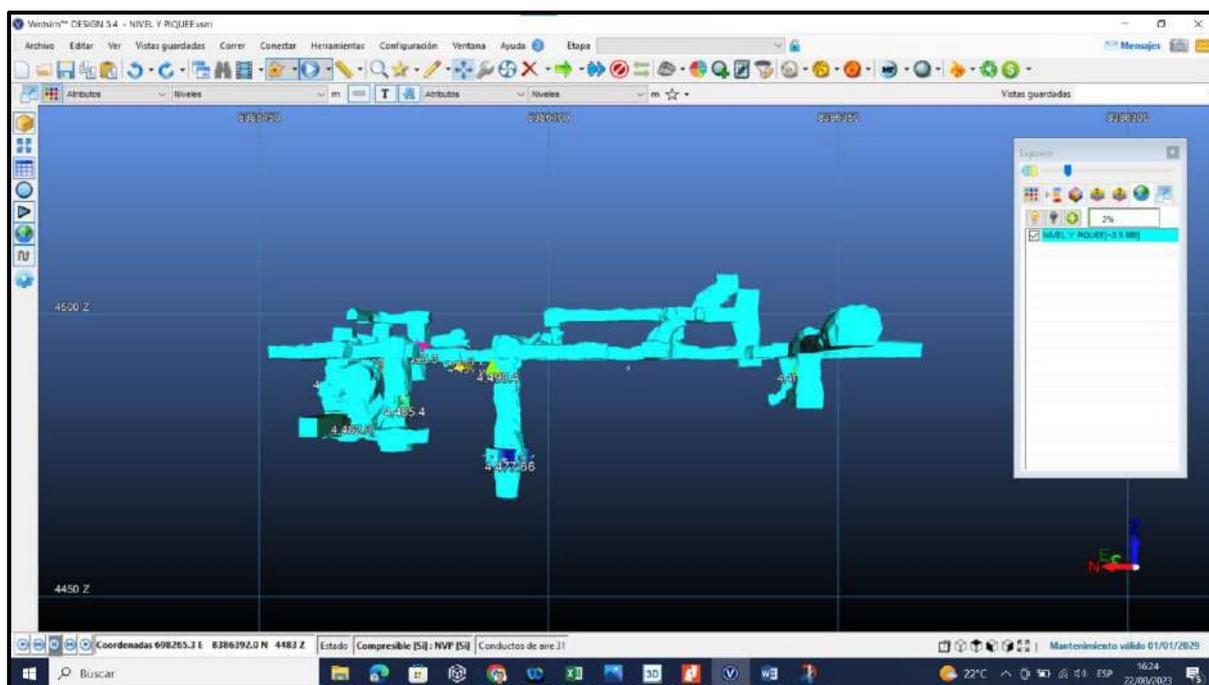




**Figura 32** — Inicio del Pique 8261 del nivel 4490 de la veta Carlos

*Nota.* Unidad Minera Pepas de Oro

Para realizar el diagnóstico de instalación de un sistema de ventilación auxiliar en un Pique ciego, primeramente, se basa en la observación directa de cómo se comporta el aire dentro de una mina o una estructura subterránea. Una vez identificado la problemática, se utiliza la dinámica de fluidos y otros métodos de modelamiento matemático para diseñar una solución efectiva para hacer llegar el aire a todo el frente de trabajo, para estos casos existen programas de simulación como el Vulcan de Maptek, 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 ingenieril, teniendo como base un plano general de la mina, 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.



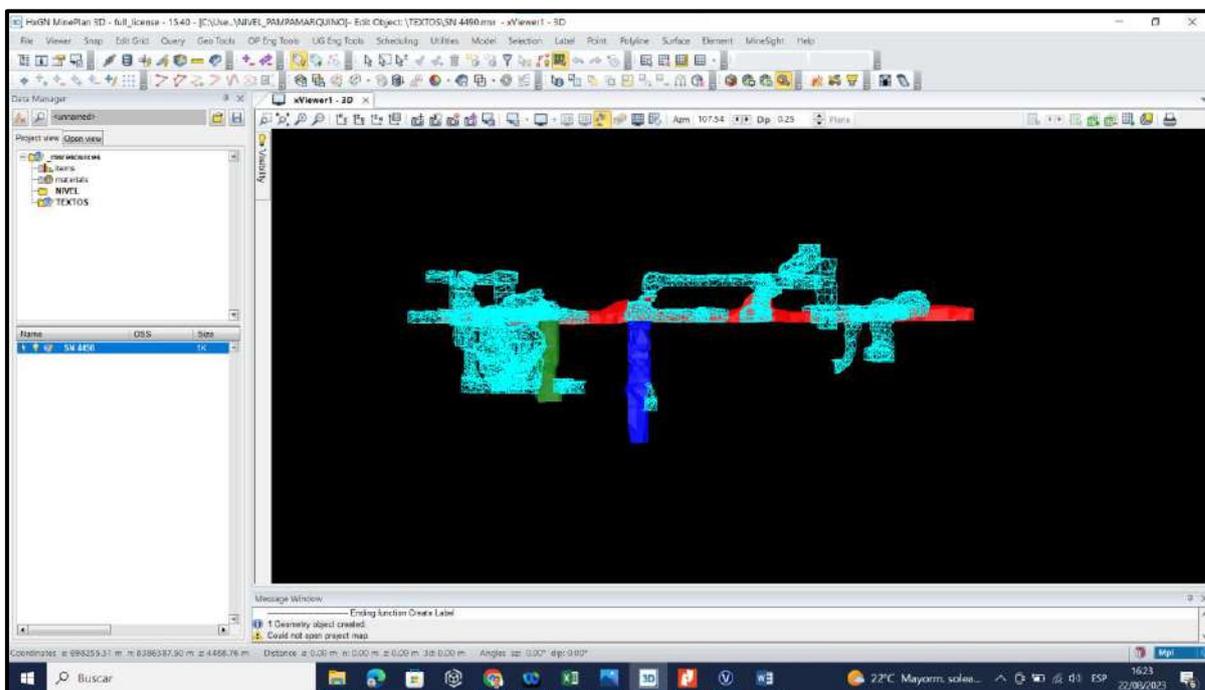
**Figura 33** — Visualización en programa Ventsim las labores del nivel 4490

De la misma manera, se debe establecer una proyección del sistema de ventilación, para futuros labores que se vaya a ejecutar para ampliar la producción, cumpliendo con las exigencias de aire en la mina.

Para el diseño del sistema de ventilación es partir del Sub Nivel 4490 Sur (Veta Carlos) se deberá proyectar un Pique 8261 de 25 metros de longitud de sección (1.40 m x 2.60 m) en dirección vertical hacia abajo para continuar con la labores subterráneas para la extracción del yacimiento, para ello, se ha utilizados los programas especializados como AutoCAD para la visualización en 2D de las labores subterráneas, el Mine Plan para el modelamiento y visualización en 3D y el Ventsim para la simulación de los flujos de aire, los cuales permiten crear modelos tridimensionales y simular la circulación del aire.



**Figura 34** — Visualización en programa Mine Plan las labores del nivel 4490



Después de la etapa de diseño, la simulación en programa Ventsim se efectuará una simulación de flujos de aire con la instalación del equipo de ventilación lo cual nos permitirá ver con precisión le eficiencia del ventilador para que pueda superar la caída de presión por fricción y choque en el Pique 8261 de la veta Carlos, el presente trabajo de investigación incluye mangas extractoras de aire y otros elementos necesarios para controlar el flujo de aire. Es importante destacar que este proceso requiere de mano de obra calificada y especializada para asegurar que todo se instale de manera correcta y seguro.

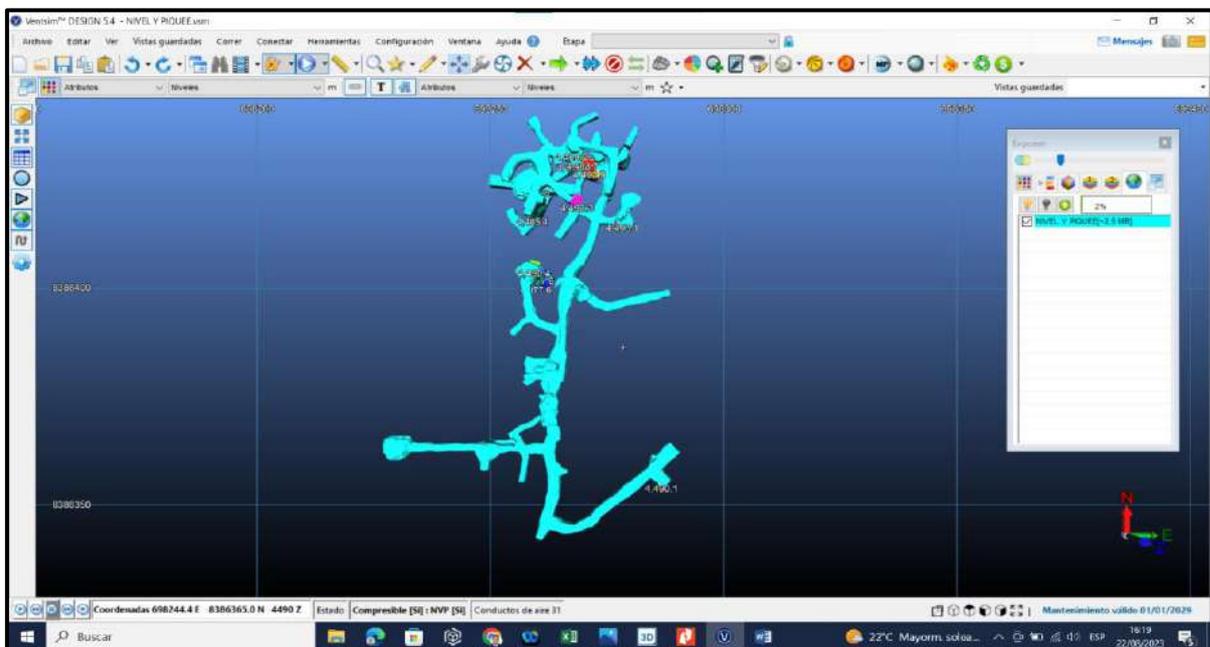




**Figura 35** — Manga de ventilación para la profundización del Pique 8261

*Nota.* Unidad Minera Pepas de Oro

Para la simulación del sistema de ventilación para el Pique 8261, después de realizar un modelamiento en 3D en Mine Plan 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 36** — Visualización en programa Ventsim las labores del Nivel 4490

Posteriormente, se realizan mediciones de gases para evaluar la calidad del aire antes y después de la implementación del sistema de ventilación y la ubicación de los equipos de



ventilación. Estas mediciones se centran en 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. 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.



**Figura 37** — Equipo para medir la velocidad de aire (Anemómetro)

*Nota.* Unidad Minera Pepas de Oro.

Para realizar las mediciones primeramente se debe calibrar el aparato 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.

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, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> y Gases nitrosos.

Si los valores medidos son mayores a los valores permisibles, se deja firmado un acta de compromiso donde no se puede 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 soplante.

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.

MONITOREO DE GASES NV: 4490	
HORA: 08:30	FECHA: 27-07
• CO <sub>2</sub>	0.07 %
• O <sub>2</sub>	20.9 %
• NO	0.0 PPM
• CO	0 PPM

Not. Guevara

Figura 38 — Reporte de monitoreo de gases nivel 4490

Nota. Unidad Minera Pepas de Oro

#### 4.5. Técnicas e instrumentos

##### 4.5.1. Técnicas

Las técnicas que se ha utilizado en el presente trabajo de investigación se mencionan a continuación:

#### 4.5.1.1. Revisión a investigaciones bibliográficas

Se entiende que, para el 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 del Túnel de Exploración, 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 la evaluación de las ubicaciones óptimas para identificar las estaciones de ventilación y examinar el estado de los conductos de ventilación mediante la utilización de instrumentos especializados sobre el terreno, donde la información será aplicada al presente trabajo.

#### 4.5.2. Instrumentos

- Se utilizó una cámara digital Sony con una resolución de 25 megapíxeles para capturar imágenes de componentes clave como los ventiladores principales, los ventiladores auxiliares y los conductos de ventilación.
- Se empleó un ordenador portátil HP G-42 para procesar los datos recogidos sobre el terreno, así como la información obtenida de las referencias bibliográficas.
- El anemómetro Kestrel 4200 se utilizó como dispositivo para recopilar datos de temperatura y humedad relativa en las estaciones de ventilación.
- El anemómetro Testo 480 se usó para medir la velocidad del aire en cada estación de ventilación.
- El detector multigas portátil IBRID MX6 se utilizó como dispositivo portátil para controlar las condiciones atmosféricas dentro de la mina mientras se realizaban mediciones en las estaciones de ventilación.

#### 4.6. Análisis estadístico

Para realizar el análisis estadístico se ha utilizado las tablas de Excel y programas de estadísticos para las gráficas de barras y correlaciones de los gases presentes.



- AutoCAD 2018
- Microsoft Office 2013
- Excel
- Ventsim V. 5.4
- XLSTAT
- MINE PLANE
- DESWIK



## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 5.1. Análisis de resultados

Obtenido la información requerida se procede a realizar y evaluar de los resultados, para la modelización del sistema de Ventilación, mediante el software Ventsim para la optimización del caudal de aire para el Pique 8261 de la Minera Asociación de Mineros Artesanales Pepas de Oro, a continuación se presentan la evaluación de las variables de acuerdo a los objetivos plasmados en el presente trabajo de investigación, para ello se ha realizado el monitoreo de los gases presentes en los niveles, sub niveles y piques los mismo que fueron monitoreados durante tres meses, teniendo en consideración que deberán planificar en el futuro ampliando las labores, diseñar sub niveles de acuerdo a la mineralización.

##### 5.1.1. Diagnóstico del sistema de ventilación actual de la mina

Actualmente la Unidad Minera Pampamarquino tiene deficiencia en el sistema de ventilación para desarrollar sus actividades en diferentes tajos, sub niveles, galerías, este sistema de ventilación que cuenta no tiene una planificación adecuada, debido a que el aire se transporta mediante mangas de ventilación en estado deficiente, existe perdidas por fricción, por choque, cambios de dirección, y otros factores hacen que la ventilación sea deficiente. Por otro lado, los ventiladores no se encuentran ubicadas adecuadamente en lugares estratégicos, las mangas de ventilación no están bien instaladas, existe fugas de aire debido al desgaste de las mangas lo que da como resultado una ventilación deficiente (Ver lamina 5).

Este esquema de ventilación nos indica la trayectoria que sigue el aire con el que se ventila las labores de preparación, operación, desarrollo y exploración en tajos; una vez culminada la etapa de perforación seguida de la etapa de carga de explosivos se deja abierta la tubería de aire para que al momento de la voladura



los gases emitidos sean diluidos por el aire comprimido y sea más cómodo para los mineros el ingreso a los diferentes frentes de trabajo.

#### 5.1.1.1. Ingreso de aire al Sub Nivel 4490

El ingreso de aire en ventilación de minas para labores subterráneas es muy importante para garantizar la seguridad y la salud del personal que trabaja con la finalidad de suministrar aire fresco con suficiente porcentaje de oxígeno para la respiración de los trabajadores y para diluir todos los contaminantes producidos por las acciones mineras, como el polvo, los gases tóxicos y los vapores de agua.

Así, mismo para controlar la humedad, la temperatura del ambiente con la finalidad de mantener las áreas de trabajo de confort ambiental y la seguridad de los trabajadores.



**Figura 39** — Esquema de ingreso de aire al SN 4490 y al Pique 8261

*Nota.* Unidad minera Pepas de Oro

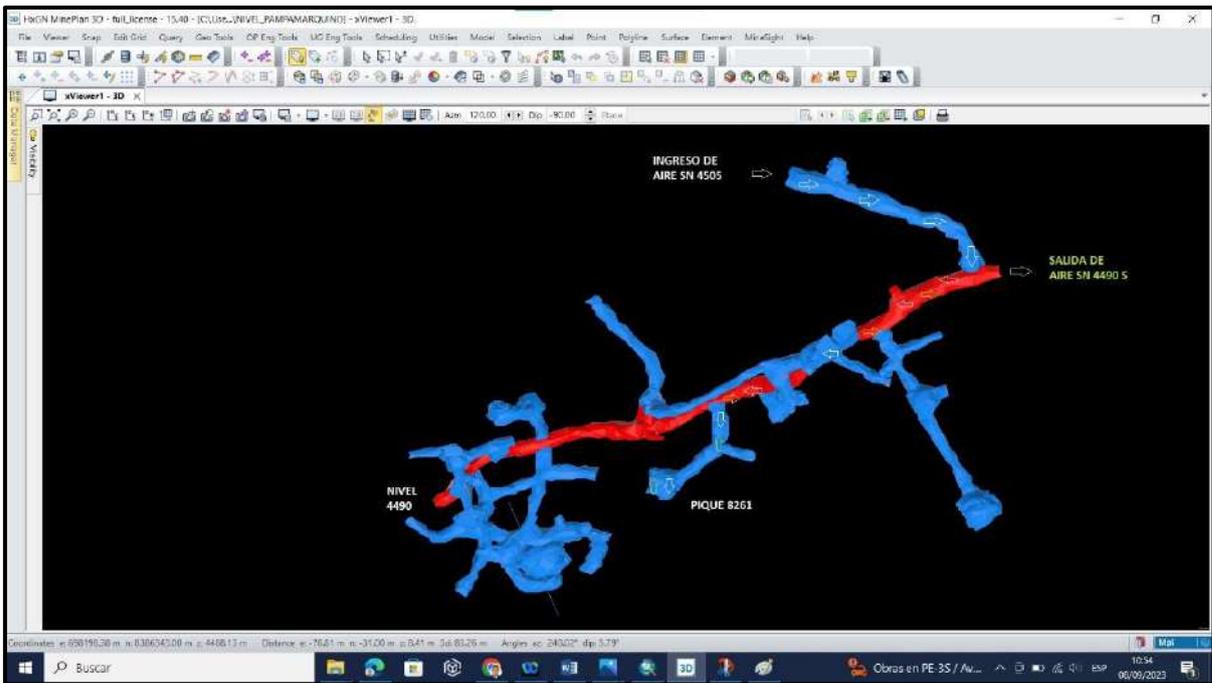


**Figura 40** — Flujo de aire al SN 4490 en manga de ventilación de 25” de diámetro

*Nota.* Unidad minera Pepas de Oro

En la unidad minera el Pampamarquino el aire ingresa por el crucero del NV 4580, para incrementar el flujo de aire existe un ventilador en el NV 4580 con un caudal de 35000 cfm de aire que pueda mantener las labores con oxígeno a través de una manga de ventilación.

Para llevar aire a los niveles más inferiores en el NV 4510 se ramifica el ducto de aire en dos sectores, uno al SN 4510 SE y al NV 4510 cada manga de sección 25” de diámetro, durante su recorrido el flujo de aire pierde su caudal, velocidad de aire, su potencia debido a que el sistema de ventilación es inadecuado, porque existe bastante pérdida por fricción, por choque y fuga por el desgaste de la manga de ventilación, luego baja en forma vertical por el Pique 4505, llega al NV 4490 y esta a su vez se ramifica a dos frentes uno de ellos baja hasta el Pique 8261, para diseñar un sistema de ventilación que cubra con las necesidades de oxígeno, que el objetivo de este trabajo de investigación. Cabe recalcar que, en el recorrido del aire en las labores mineras, prácticamente existe caídas de presión, debido a este parámetro, prácticamente no cubre las necesidades de aire que requiere en la profundización del Pique 8261 y la apertura de niveles inferiores que es el objetivo de la Unidad Minera.



**Figura 41** — Esquema de ingreso y salida de aire Nivel 4490

#### 5.1.1.2. Salida de aire del Sub Nivel 4490 S

En toda labor subterránea debe de haber labores de ingreso de aire y también de salida de aire contaminando como el polvo, los gases tóxicos o vapores de agua, se tiene que tener presente un aspecto clave que es el sistema de extracción para eliminar el aire contaminado de la mina, se utilizan sistemas de extracción, que generalmente son los ventiladores y ductos de ventilación que acarrear el aire viciado hacia la superficie o hacia áreas donde pueda ser tratado y purificado.

En el proyecto de extracción del aire viciado o aire de mina, en las labores de la Unidad Minera, el aire se extrae con un ventilador extractor por el SN 4490 S, en ocasiones el aire viciado y contaminado se extrae por SN 4510 NE, tal como se muestra en figura 44.





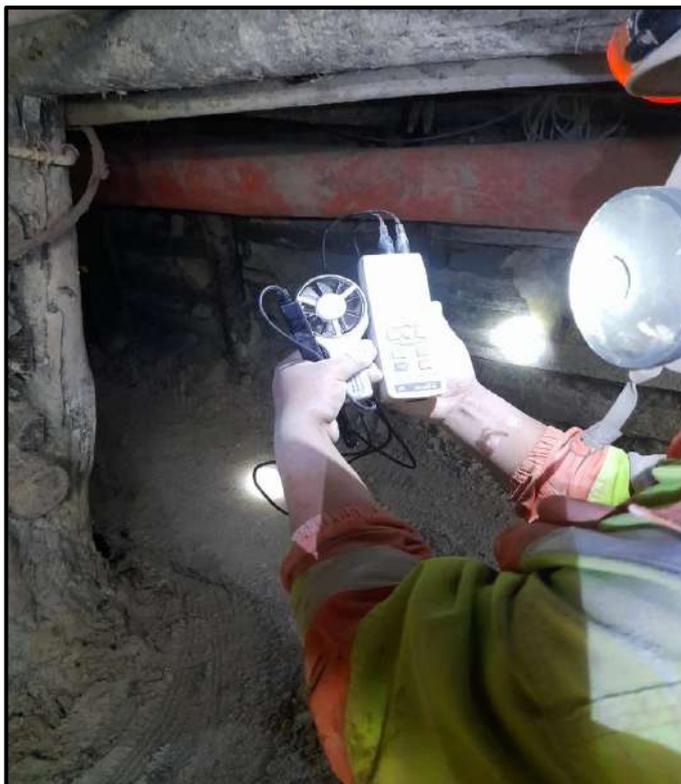
**Figura 42** — Extracción de aire contaminando mediante mangas de ventilación

*Nota.* Unidad minera Pepas de Oro

### 5.1.1.3. Medida de la presencia de gases del Nivel 4490 al Pique 8261

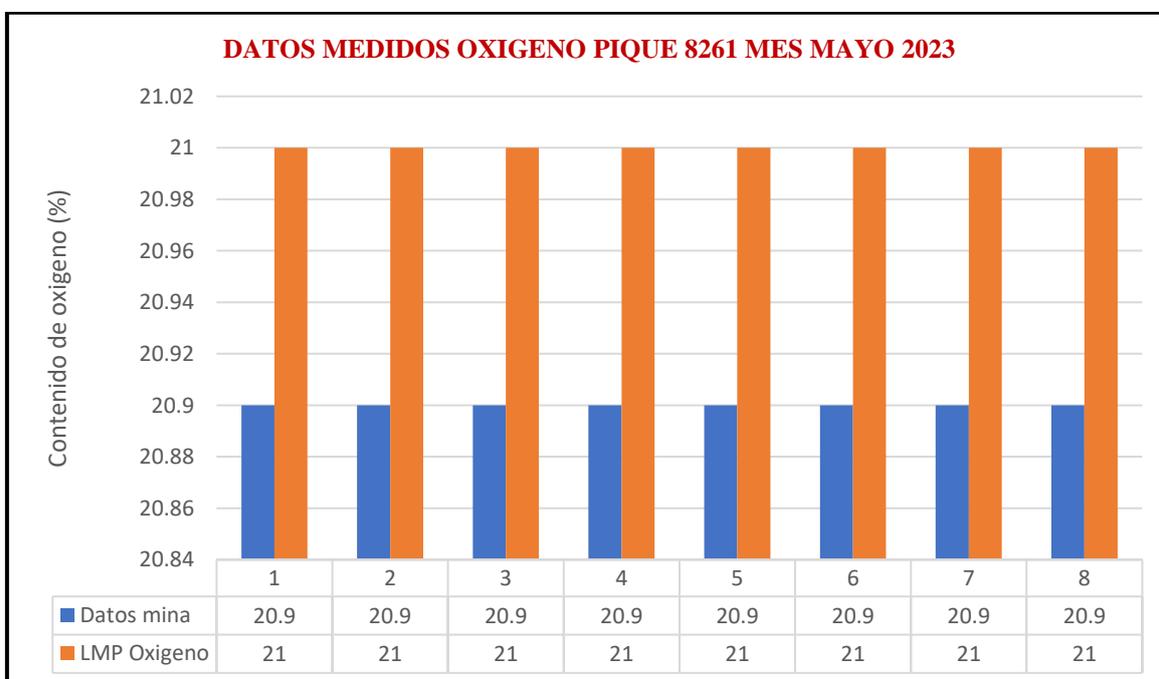
El artículo 254 del D.S. N° 023-2017-EM, brinda lineamientos para la ventilación de minería en socavón, específicamente sobre el monitoreo y control de este proceso, indica, Monitorear y registrar semanalmente las concentraciones de monóxido de carbono (CO) en las labores subterráneas, operando en el interior de la mina, las que se deben encontrar por debajo de quinientos (25) partes por millón (ppm) de CO, monitorear y registrar semanalmente concentraciones de dióxido de nitrógeno en el escape de las máquinas operando en interior mina, no debiendo superar cien (3) partes por millón (ppm) de NO<sub>2</sub>.

También el mismo decreto supremo indica la necesidad de realizar mediciones de oxígeno (O<sub>2</sub>) como límite máximo permisible de 19,5 %, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de 0,5 %, gases tóxicos (dependiendo de la actividad desarrollada) y temperatura ambiental en las vías principales de la mina y labores en operación.



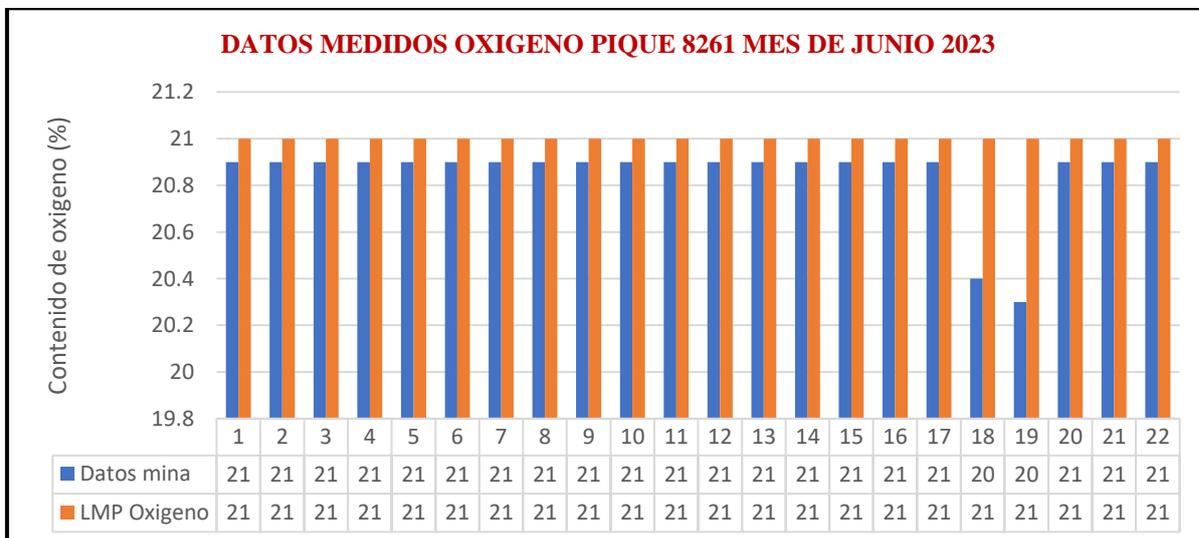
**Figura 43** — Tomando medidas de flujo de aire nivel 4490

*Nota.* Unidad minera Pepas de Oro



**Figura 44** — Gráfico estadístico de oxígeno en mes de mayo 2023

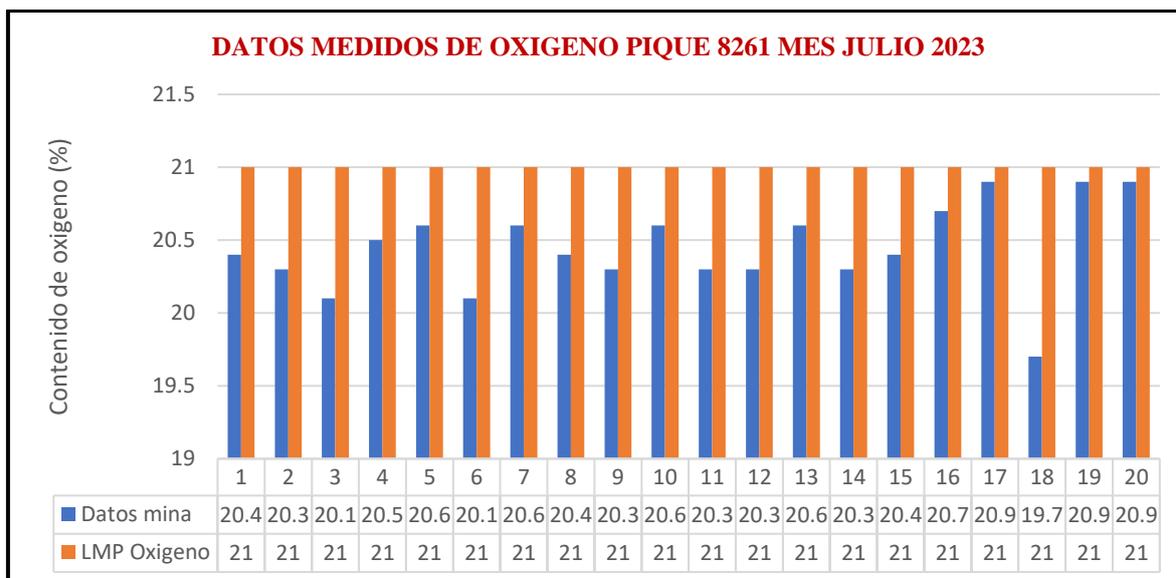
Se ha medido en el mes de mayo los gases presentes en pique 8261, las cuales se mantienen constante con un contenido promedio de 20.9 % de oxígeno, analizando la tabla 7, se puede ver que los gases CO, CO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> no llegan al límite máximo permisible.



**Figura 45** — Gráfico estadístico de oxígeno en mes de junio 2023

En el mes de junio los gases presentes en el pique 8261, se mantienen constante con un contenido promedio de 20.9 % de oxígeno, y una pequeña disminución los días 27 y 28 del mes de junio, por otro lado, en la tabla 8, se puede la presencia de los gases CO, CO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> que no llegan al límite máximo permisible.





**Figura 46** — Gráfico estadístico de oxígeno en mes de julio 2023

En la figura 48, se muestra los gases presentes en el pique 8261, correspondiente al mes de julio, se muestra una disminución de oxígeno, esto debido a la profundización de los trabajos en el Pique 8261, por otro lado, en la tabla 9, se puede mostrar la presencia en aumento de los gases CO y CO<sub>2</sub> por la profundidad del Pique 8261, esta a su vez no llegan al límite máximo permisible.

**Tabla 8** — Monitoreo de gases en el Nivel 4490 labor Pique 8261 mes de mayo 2023

It e m	Zona	Fecha	Ni vel	La bor	Tur no	Ho ra	C O <sub>2</sub> 5 pp m	C O <sub>2</sub> 0. 5 %	N O <sub>2</sub> 3 pp m	O <sub>2</sub> 19.5 - 21.0 %	Nº Pers onal en labo r	Responsabl e de Monitoreo	Númer o Serie
1	HUACHUH UILLCA	14/05/ 2023	N V 44 90	PQ 826 1	DIA	16: 45	0	0. 06	0.0 0	20.9	4	MILDER HUILLCAYA ARONI	ARLA - 0080
2	HUACHUH UILLCA	15/05/ 2023	N V 44 90	PQ 826 1	DIA	13: 56	0	0. 00	0.0 0	20.9	4	LIDÓN ÑAUPA ARONI	ARLA - 0409
3	HUACHUH UILLCA	15/05/ 2023	N V	PQ 826 1	NO CHE	00: 20	0	0. 06	0.0 0	20.9	4	MILDER HUILLCAYA ARONI	ARLA - 0080



			44 90										
4	HUACHUH UILLCA	16/05/ 2023	N V 44 90	PQ 826 1	DIA	08: 32	0	0. 08	0.0 0	20.9	4	LIDÓN ÑAUPA ARONI	ARLA - 0409
5	HUACHUH UILLCA	16/05/ 2023	N V 44 90	PQ 826 1	NO CHE	23: 04	0	0. 09	0.0 0	20.9	4	MILDER HUILLCAYA ARONI	ARLA - 0080
6	HUACHUH UILLCA	17/05/ 2023	N V 44 90	PQ 826 1	DIA	08: 32	0	0. 08	0.0 0	20.9	4	LIDÓN ÑAUPA ARONI	ARLA - 0409
7	HUACHUH UILLCA	18/05/ 2023	N V 44 90	PQ 826 1	DIA	10: 43	6	0. 05	0.0 0	20.9	4	LIDÓN ÑAUPA ARONI	ARLA - 0409
8	HUACHUH UILLCA	18/05/ 2023	N V 44 90	PQ 826 1	NO CHE	00: 30	0	0. 09	0.0 0	20.9	4	MILDER HUILLCAYA ARONI	ARLA - 0080

**Tabla 9** — Monitoreo de gases en el Nivel 4490 labor Pique 8261 mes de junio 2023

1	Huachuhu illca	01/06/2 023	nv 4490	pq 8261	dia	09: 51	0	0.0 0	0.0 0	20. 9	4	lidón ñaup aroni	arla - 0409
2	Huachuhu illca	02/06/2 023	nv 4490	pq 8261	dia	11: 46	6	0.0 0	0.0 0	20. 9	4	lidón ñaup aroni	arla - 0409
3	Huachuhu illca	03/06/2 023	nv 4490	pq 8261	dia	08: 40	3 2	0.0 0	0.0 0	20. 9	4	lidón ñaup aroni	arkm - 0409
4	Huachuhu illca	04/06/2 023	nv 4490	pq 8261	dia	10: 15	1 2	0.1 2	0.0 0	20. 9	3	lidón ñaup aroni	arkm - 0409
5	Huachuhu illca	04/06/2 023	nv 4490	pq 8261	noc he	22: 10	0	0.0 7	0.0 0	20. 9	4	milder huillcaya aroni	arkm - 0409
6	Huachuhu illca	05/06/2 023	nv 4490	pq 8261	dia	08: 39	6	0.0 6	0.0 0	20. 9	4	lidón ñaup aroni	arkm - 0409

7	Huachuillca	07/06/2023	nv 4490	pq 8261	dia	15:45	0	0.1 1	0.0 0	20.9	5	milder huillcayaroni	arla - 0409
8	Huachuillca	07/06/2023	nv 4490	pq 8261	noche	20:32	14	0.1 0	0.0 0	20.9	4	lidon ñauparoni	arla - 0409
9	Huachuillca	08/06/2023	nv 4490	pq 8261	dia	10:15	14	0.0 8	0.0 0	20.9	4	milder huillcayaroni	arla - 0409
10	Huachuillca	08/06/2023	nv 4490	pq 8261	noche	08:31	10	0.0 6	0.0 0	20.9	4	lidon ñauparoni	arla - 0409
11	Huachuillca	09/06/2023	nv 4490	pq 8261	dia	09:44	18	0.1 0	0.0 0	20.9	4	milder huillcayaroni	arla - 0409
12	Huachuillca	09/06/2023	nv 4490	pq 8261	noche	21:42	10	0.0 8	0.0 0	20.9	4	lidón ñauparoni	arla - 0409
13	Huachuillca	10/06/2023	nv 4490	pq 8261	dia	09:20	12	0.1 4	0.0 0	20.9	4	milder huillcayaroni	arla - 0409
14	Huachuillca	21/06/2023	nv 4490	pq. 8261	noche	21:18	8	0.0 6	0 0	20.9	4	lidon ñauparoni	arkm - 0409
15	Huachuillca	22/06/2023	nv 4490	pq. 8261	dia	13:15	0	0.1 1	0 0	20.9	5	milder huillcayaroni	arle - 0097
16	Huachuillca	22/06/2023	nv 4490	pq 8261	noche	23:26	0	0 0	0 0	20.9	4	lidon ñauparoni	arkm - 0409
17	Huachuillca	23/06/2023	nv 4490	pq 8261	noche	20:55	0	0 0	0 0	20.9	4	lidon ñauparoni	arkm - 0409
18	Huachuillca	24/06/2023	nv 4490	pq 8261	noche	20:43	0	0 0	0 0	20.9	3	lidon ñauparoni	arkm - 0409
19	Huachuillca	25/06/2023	nv 4490	pq 8261	dia	09:21	0	0.1 4	0 0	20.9	5	milder huillcayaroni	arle - 0097
20	Huachuillca	25/06/2023	nv 4525	pq. 8261	noche	20:32	12	0.0 2	0 0	20.9	4	lidon ñauparoni	arkm - 0409
21	Huachuillca	25/06/2023	nv 4490	pq 8261	noche	20:48	0	0 0	0 0	20.9	4	lidon ñauparoni	arkm - 0409
22	Huachuillca	26/06/2023	nv 4490	pq. 8261	dia	14:24	6	0 0	0 0	20.9	3	lidon ñauparoni	arkm - 0409



23	Huachuhuillca	26/06/2023	nv 4490	pq 8261	noche	23:30	0	0.11	0	20.9	5	milder huillcayaroni	arle - 0097
24	Huachuhuillca	27/06/2023	nv 4490	pq 8261	noche	21:05	8	0.07	0	20.4	5	milder huillcayaroni	arle - 0097
25	Huachuhuillca	28/06/2023	nv 4490	pq 8261	dia	08:52	0	0.06	0	20.3	3	lidon ñauparoni	arkm - 0409
26	Huachuhuillca	28/06/2023	nv 4490	pq 8261	noche	21:40	0	0.06	0.3	20.9	5	milder huillcayaroni	arle - 0097
27	Huachuhuillca	29/06/2023	nv 4490	pq 8261	dia	08:40	0	0.08	0	20.9	3	lidon ñauparoni	arle - 0097
28	Huachuhuillca	30/06/2023	nv 4490	pq 8261	dia	11:20	0	0	0	20.9	4	lidon ñauparoni	arle - 0097

**Tabla 10** — Monitoreo de gases en el Nivel 4490 labor Pique 8261 mes de julio 2023

1	Huachuhuillca	12/07/2023	nv 4490	pq 8261	noche	00:50	0	0.07	0.0	20.4	4	milder huillcaya	arle - 0097
2	Huachuhuillca	13/07/2023	nv 4490	pq 8261	noche	22:46	0	0.12	0.0	20.3	5	milder huillcaya	arle - 0097
3	Huachuhuillca	14/07/2023	nv 4490	pq 8261	dia	08:45	0	0.03	0.20	20.1	3	erick callac.	arkm-0409
4	Huachuhuillca	14/07/2023	nv 4490	pq 8261	noche	23:16	0	0.07	0.30	20.5	4	milder huillcaya	arle - 0097
5	Huachuhuillca	15/07/2023	nv 4490	pq 8261	dia	08:56	0	0.09	0.05	20.6	5	erick callac.	arkm-0409
6	Huachuhuillca	15/07/2023	nv 4490	pq 8261	noche	21:30	12	0.21	0.0	20.1	4	milder huillcaya	arle - 0097
7	Huachuhuillca	15/07/2023	nv 4490	pq 8261	dia	08:42	0	0.00	0.00	20.6	4	erick callac.	arkm-0409

8	Huachuhuilla	16/07/2023	nv 449 0	pq 8261	noche	20:56	18	0.09	0.00	20.4	4	milderhuillcaya	arle - 0097
9	Huachuhuilla	16/07/2023	nv 451 0	pq 8261 - 2	noche	22:55	8	0.15	0.00	20.3	5	milderhuillcaya	arle - 0097
10	Huachuhuilla	17/07/2023	nv 449 0	pq 8261	dia	08:52	0	0.00	0.00	20.6	5	erick callac.	arkm-0409
11	Huachuhuilla	17/07/2023	nv 451 0	pq 8261 - 2	dia	14:40	0	0.10	0.00	20.3	3	milderhuillcaya	arle - 0097
12	Huachuhuilla	17/07/2023	nv 449 0	pq 8261	dia	15:14	0	0.11	0.00	20.3	4	milderhuillcaya	arle - 0097
13	Huachuhuilla	17/07/2023	nv 449 0	pq 8261	noche	20:56	0	0.09	0.05	20.6	5	erick callac.	arkm - 0409
14	Huachuhuilla	18/07/2023	nv 449 0	pq 8261	dia	11:33	0	0.11	0.00	20.3	4	milderhuillcaya	arle - 0097
15	Huachuhuilla	18/07/2023	nv 451 0	pq 8261 - 2	dia	11:56	0	0.07	0.30	20.4	4	milderhuillcaya	arle - 0097
16	Huachuhuilla	18/07/2023	nv 449 0	pq8261	noche	20:37	8	0.15	0.00	20.7	4	erick callac.	arkm - 0409
17	Huachuhuilla	19/07/2023	nv 449 0	pq 8261	dia	09:10	18	0.18	0.00	20.9	4	milderhuillcaya	arkm-0409
18	Huachuhuilla	19/07/2023	nv 449 0	pq 8261	noche	20:35	0	0.00	0.00	19.7	5	erick callac.	arle - 0101
19	Huachuhuilla	20/07/2023	nv 449 0	pq 8261	dia	09:30	0	0.12	0.00	20.9	4	milderhuillcaya	arkm - 0409
20	Huachuhuilla	21/07/2023	nv 449 0	pq 8261	dia	09:15	13	0.18	0.00	20.9	4	milderhuillcaya	arkm-0409



### 5.1.2. Implementación del sistema de ventilación para el Pique 8261

Debido a la presencia tentativa de mineral y poder incrementar la extracción de mineral y desmonte, el cual también nos permitirá seguir profundizando el pique con mayor facilidad y bastante funcional, por ello es que se ha optado implementar un sistema de ventilación para el suministro de aire fresco, la construcción es vertical y va ser de gran utilidad para comunicar con niveles inferiores, por esa razón se ha previsto construir el pique de mina de forma rectangular, tal como se muestra en la figura 49.



Figura 47 — Vista del Pique 8261

### 5.1.3. Determinación del caudal de aire requerido para el Pique

Se tiene el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (D.S. N° 024 – 2016- EM), referente al sistema de ventilación en labores subterráneas en el artículo 246 – artículo 257, donde resaltamos los artículos más importantes para el desarrollo del presente trabajo de investigación:

- **Artículo 246**

El titular de toda actividad minera debe velar por el abastecimiento de aire limpio a todas las labores de trabajo de acuerdo a los requerimientos de los trabajadores, uso de los equipos diésel, para evacuar los gases, humos y polvo presentes en las labores subterráneas, que estas pueden afectar la salud de los

trabajadores, así mantener las condiciones termo-ambientales confortables. Así mismo indica que el sistema de ventilación que se presenta deberá proveer aire fresco de calidad y debe mantenerse dentro de los límites máximos permisibles de exposición ocupacional de acuerdo al ANEXO 15 y lo establecido en el Reglamento sobre Valores Límite Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo, aprobado por Decreto Supremo N° 015-2005-SA.

- **Artículo 247**

En los lugares de trabajo de las minas ubicadas hasta mil quinientos (1,500) metros sobre el nivel del mar, la cantidad mínima de aire necesario por hombre será de tres metros cúbicos por minuto (3 m<sup>3</sup>/min). En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo a la siguiente escala:

Cuando las minas se encuentren hasta un mil quinientos (1500) msnm, en los lugares de trabajo la cantidad mínima de aire necesaria por hombre será de 3 m<sup>3</sup>/min.

En otras altitudes la cantidad de aire será con la siguiente escala:

1500 a 3000 msnm., se aumenta en 40 %, que será igual a 4 m<sup>3</sup>/min.

3000 a 4000 msnm., se aumenta en 70 %, que será igual a 5 m<sup>3</sup>/min.

Sobre los 4000 msnm., se aumenta en 100%, que será igual a 6 m<sup>3</sup>/min.

Para los equipos diésel la cantidad de aire circulante no será menor de 3 m<sup>3</sup>/min., por cada HP que desarrollen los equipos. En ningún caso la velocidad del aire será menor a 20 metros por minuto en las labores de explotación.

#### 5.1.3.1. Caudal de aire para número de personas (Q<sub>1</sub>)

En la construcción del pique se ha previsto ingresar 8 personas/guardia.

$$Q_1 = q \times n \quad (\text{m}^3/\text{min}) \quad \text{Ec. (25)}$$

Dónde:

n: Número de personal 8 hombres: (perforista 2, ayudante perforista 2, winchero 1, operador de damper 1, capataz general 1 y jefe de guardia 1)



q: consumo de aire por persona a más de 4000 msnm. ( $6 \text{ m}^3/\text{min}$ )

Según el artículo 247 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería se tiene que: Sobre los 4000 msnm. se aumenta en 100%, que será igual a  $6 \text{ m}^3/\text{min}$

Reemplazando.

$$Q_1 = 6,0 \times 8$$

$$Q_1 = 48 (\text{m}^3/\text{min}) = 1695,104 \text{ cfm}$$

### 5.1.3.2. Caudal de aire por uso de equipos diésel ( $Q_2$ )

La Unidad Operativa cuenta 01 compresora SULLAIR de 375 CFM. 01 winche eléctrico de 25 HP, 02 minidumper de 1Tn y 2 Tn, 02 martillos. 01 ventilador removex de 35000 CFM.

Según el artículo 254, inciso b, del reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, la cantidad de aire circulante será no menor de  $3 \text{ m}^3/\text{min}$ . Por cada Hp. que desarrollan los equipos diésel, siendo esta:

$$Q_2 = N \times q (\text{m}^3/\text{min}) \quad \text{Ec. (26)}$$

Dónde:

N: Número de equipos diésel (compresoras)

Q: Aire requerido por Hp ( $3 \text{ m}^3/\text{min}$ .)

Luego:

$$Q_2 = 3 (\text{m}^3/\text{min}) \times 215 \text{ Hp}$$

$$Q_2 = 645 \text{ m}^3/\text{min} \times 0,60 = 387 \text{ m}^3/\text{min}$$



**Tabla 11** — Caudal de aire por uso de equipos diésel (Q2)

Cantidad	Equipo	Hp/equipo	Total, hp	Vol. Aire (m <sup>3</sup> /min)	Factor utilización (%)	Volume n aire (m <sup>3</sup> /min)	Caudal cfm
01	Compresora	215	215	3,00	60	387,0	13666,77 6
<b>TOTAL</b>			215	3,00	60	387,0	13666,77 6

### 5.1.3.3. Caudal de aire para dilución de gases (Q3)

Para definir las necesidades de aire por consumo de explosivo se consideran las actividades de desarrollo de cortada y galería, cuya necesidad resulta de la aplicación de las fórmulas establecidas, que se detallan como sigue:

$$Q_3 = A \times V \times n \text{ (m}^3\text{/min)} \quad \text{Ec. (27)}$$

Dónde:

A: Área de sección promedio de la galería. (1,40 m. x 2,60 m. = 3,64 m<sup>2</sup>)

V: Velocidad del aire (según el artículo N° 248, del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minera, se tendrá como mínimo una velocidad de 20 m / min.

n: Números de niveles.

$$Q_3 = 3,64 \text{ m}^2 \times 20 \text{ m/min} \times 1$$

$$Q_3 = 72,80 \text{ m}^3\text{/min.}$$

**Tabla 12** — Cantidad de aire requerido para la dilución de contaminantes

SUBNIVEL	LABOR (m)	BASE (m)	ANCHO (m)	AREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /min)	CAUDAL (cfm)
4490	Pique	1,40	2,60	3,64	72,80	2 570,907
<b>TOTAL</b>					72,80	2 570,907

#### 5.1.3.4. Caudal de aire total del Pique (Qt)

El caudal de aire total es el resultado de la suma del aire requerido, por consiguiente, el aire total requerido por la Unidad Minera Pepas de Oro es de:

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_t = 48 + 387 + 72,80$$

$$Q_t = 507,80 \text{ m}^3/\text{min}.$$

$$Q_t = 17932.787 \text{ cfm} \approx 18000,0 \text{ cfm}.$$

**Tabla 13** — Cantidad total de aire requerido para la Unidad Minera Pampamarquino

DESCRIPCIÓN	FLUJO DE AIRE REQUERIDO (m <sup>3</sup> /min)	FLUJO DE AIRE REQUERIDO (cfm)
Por el número de personas	48	1695,104
Por el uso de equipos diésel	387	13,667
Por la dilución de contaminantes	72,80	2 570,907
<b>TOTAL</b>	<b>507,80</b>	<b>≈ 18000,0</b>

#### 5.1.4. Dimensionamiento y ubicación del ventilador para el caudal de aire

Para el dimensionamiento del ventilador para los trabajos de construcción del Pique, por donde se va a suministrar aire fresco, se deberá determinar la sección de la labor, así mismo determinar el caudal de flujo de aire que se necesita para efectuar los trabajos en condiciones normales de acuerdo al requerimiento de aire fresco, por otro lado la ubicación del ventilador auxiliar, para suministrar aire se deberá ubicar en lugares estratégicos previa simulación que se efectuó en el programa Ventsim.

##### 5.1.4.1. Velocidad del flujo de aire en el Pique 8261

La velocidad de aire del Sub Nivel 4490 al Pique 8261 de la Unidad Minera de la Asociación de Mineros Artesanales Pepas de Oro será:

$$V = Qt/A \quad \text{Ec. (28)}$$

$$V = 18000 \text{ cfm} / 39,181 \text{ pies}^2$$

$$V = 459,46 \text{ pies} / \text{min}$$

$$V = 140,04 \text{ m} / \text{min}$$

##### 5.1.4.2. Sección de la manga de ventilación

La sección de la manga de ventilación en todas las labores subterráneas deberá ser por norma 20 veces menor que la sección de la galería, para determinar la sección de la manga se debe primero calcular el área de la manga, luego la sección y determinar el diámetro de manga que se va utilizar.

$$A = \pi D^2 / 4 \quad \text{Ec. (29)}$$

Dónde:

$$A = \text{Área del diámetro de la manga (pies}^2\text{)}$$

$$D = \text{Diámetro de la manga (pies)}$$



Teniendo en cuenta que la sección debe ser 20 veces menor que la sección de la galería, entonces la sección de la manga es:

$$S = 39,181 \text{ pies}^2 / 20 = 1,959 \text{ pies}^2.$$

Reemplazando los valores en la Ecuación 29 y despejando D, se tiene:

$$\pi * D^2 / 4 = 1,959 \text{ pies}^2.$$

$$D = 1,579 \text{ pies} * 12 \text{ pulg.}$$

$$D = 18,95 \text{ pulg.} \approx 20 \text{ pulg.}$$

Velocidad en la manga

La velocidad en la manga será:

$$V = 18000 \text{ cfm} / 1,959 \text{ pies}^2.$$

$$V = 9188,36 \text{ pies} / \text{min.}$$

$$V = 2800,61 \text{ m} / \text{min.}$$

Una vez realizado los cálculos pertinentes se lograron determinar los siguientes datos

**Tabla 14** — Resumen de parámetros

Caudal requerido	18000,00 cfm
Diámetro de la manga	20 pulg.
Velocidad de aire en el Pique	140,04 m / min
Velocidad de aire en la manga	2800,61 m / min.

#### 5.1.4.3. Dimensionamiento de la capacidad del ventilador

Para el dimensionamiento de la capacidad del ventilador, se debe cumplir con los objetivos mínimos para definir el ventilador adecuado, esto significa determinar exactamente el caudal de aire a suministrar y las pérdidas o resistencias ocasionadas por todos los componentes del



sistema de ventilación, una vez determinado la pérdida de presión y el caudal de flujo de aire, se toma en consideración los datos de la densidad de aire de mina, la temperatura de la labor, la presión y la altitud donde va a operar el equipo a partir del nivel del mar, para ello se utilizamos la fórmula de presión atmosférica a la altura del punto de entrada de aire a la labor.

Se tiene:

$$\text{Log } P_2 = \text{Log } P_1 - H / 122.4 (\text{°F} + 460) \quad \text{Ec. (30)}$$

Dónde:

$P_2$ : Presión atmosférica (altura del punto de entrada) (lbs/pul<sup>2</sup>), mm. de Hg, pul. de Hg

$P_1$ : Presión atmosférica al nivel del mar (14,7 lbs/pul<sup>2</sup>), 760 mm. de Hg., 29,92 pul. de Hg

H: Altura del punto de entrada (pies).

°F: Temperatura (°F) a la altura del punto de entrada.

Datos tomados en campo:

$$\text{°T} = 15,5 \text{ °C}$$

$$\text{°F} = 9/5 (15,5) + 32$$

$$\text{°T} = 59,90 \text{ °F}$$

$$H = 4450,00 \text{ msnm.}$$

$$H = 14599,74 \text{ pies}$$

Tenemos:



$$\text{Log } P_2 = \text{Log } P_1 - H / 122,4 (\text{°F} + 460) \quad \text{Ec. (31)}$$

Reemplazando tenemos:

$$\text{Log } P_2 = \text{Log } (29,92) - 14599,74 / 122,4 (59,90 + 460)$$

$$\text{Log } P_2 = 1,47596 - 14599,74 / 63635,76$$

$$\text{Log } P_2 = 1,24589 \quad 1,24653$$

$$P_2 = \text{anti log } (1,24653)$$

$$P_2 = 17,64 \text{ pul. de Hg}$$

#### a) Cálculo de la densidad

$$D = 1,34 * P_b / 460 + T^\circ \quad \text{Ec. (32)}$$

Dónde:

D= Densidad en (lb / pie<sup>3</sup>)

T°: Temperatura (°F)

P<sub>b</sub>: Presión barométrica o atmosférica en (pulg.de Hg), se obtiene de tablas.

Según la tabla 14 a una altitud de 4450 = 4400 msnm, la presión atmosférica es 438,90 mm. de Hg = 17,30 pulg. de Hg., con los cálculos de la Ecuación 31 se obtiene un P<sub>2</sub> de 17, 64 pul de Hg., que es valor próximo a de la tabla 14, para determinar la densidad del aire utilizamos el valor obtenido de la tabla.

Reemplazando valores en la Ecuación 32.

$$D = 1,34 * 17,64 / 460 + 59,90$$

$$D = 23,64 / 519,90$$

$$D = 0,045 \text{ lb / pie}^3$$

**Tabla 15** — Valores de Presión atmosférica en función de la altura

<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Presión Atmosférica (mm Hg)</b>	<b>Presión de O<sub>2</sub> en el aire (mm Hg)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
0	760,0	159,2	15,0
1000	674,1	141,2	8,5
2000	596,3	124,9	2,0
3000	526,0	110,2	-4,5
3500	493,4	103,4	-7,7
4000	462,5	96,9	-11,0
4200	450,6	94,4	-12,3
4400	438,9	91,9	-13,6
4600	427,5	89,6	-14,9
4800	416,3	87,2	-16,2
5000	405,4	84,9	-17,5
6000	354,2	74,2	-24,0
7000	308,3	64,6	-30,5
8000	267,4	56,0	-36,9
8848	236,3	49,5	-42,4

*Nota.* Estándares de la organización de aviación civil internacional, 1996. Salud, minería y altura, centro de estudios de medicina ergonomía en faenas de altura.

#### 5.1.4.4. Determinación de las pérdidas de carga

##### a) Resistencia del pique

El tipo de roca de las labores es roca Ígnea salificada, consideramos  $K = 175 \times 10^{-10}$ , que corresponde a un pique moderadamente obstruido en roca Ígnea, de acuerdo a la tabla (ver anexo 4) y está dado en  $(\text{lb} \cdot \text{min}^2 / \text{pie}^4 \times 10^{-10})$

Aplicando la fórmula de Atkinson y los datos medidos de la labor San Valentín 2 se tiene:

$$H_f = K \times P \times L \times Q^2 / 5.2 \times A^3 \quad \text{Ec. (33)}$$

Dónde:

K: Coeficiente de fricción, mediante tablas  $(\text{lb} \cdot \text{min}^2 / \text{pie}^4 \times 10^{-10})$

P: Perímetro de la labor (23,88 pies)

L: Longitud de la labor (82,02 pies)

Q: Caudal o flujo de aire (18000 cfm)

A: Área promedio de la labor  $(39,18 \text{ pies}^2)$

Reemplazados valores en la ecuación (33)

$$H_f = (175 \times 10^{-10}) \times (23,88) \times (82,02) \times (18000)^2 / 5,2 \times (39,18)^3$$

$$H_f = 0,035 \text{ pulg. de H}_2\text{O}$$

##### b) Capacidad del ventilador (C).

$$C = Q (\delta \text{ aire de mina} / \delta \text{ aire estándar})^{1/2} \quad \text{Ec. (34)}$$

Dónde:

C: Capacidad de flujo del ventilador (cfm)

Q: Caudal de flujo de aire requerido (18000 cfm)



$\delta$ : Densidad de aire de mina y estándar (0,045 y 0.075) lb / pie<sup>3</sup>

Reemplazado en la Ec. (34) se tiene.

$$C = 18000 (0,045/0,075)^{1/2}$$

$$C = 15,842 \approx 16,000 \text{ cfm.}$$

### c) Potencia del ventilador (P)

$$P = Q \times H / 75 \times n \times D \times M \times E \tag{35}$$

Dónde:

P: Potencia del ventilador (HP)

Q: Caudal de flujo de aire requerido (18000 cfm)

H: Caída de presión del sistema (0,035 pulg. de H<sub>2</sub>O)

n: Eficiencia del ventilador (70-80) %

DE: Eficiencia de la transmisión (90-80) %

ME: Eficiencia del motor (85-95) %

Reemplazado en la Ecuación (35), se tiene:

$$P = 18000 \times 0,035 / 75 \times 0,70 \times 0,90 \times 0,85$$

$$P = 16 \text{ HP}$$

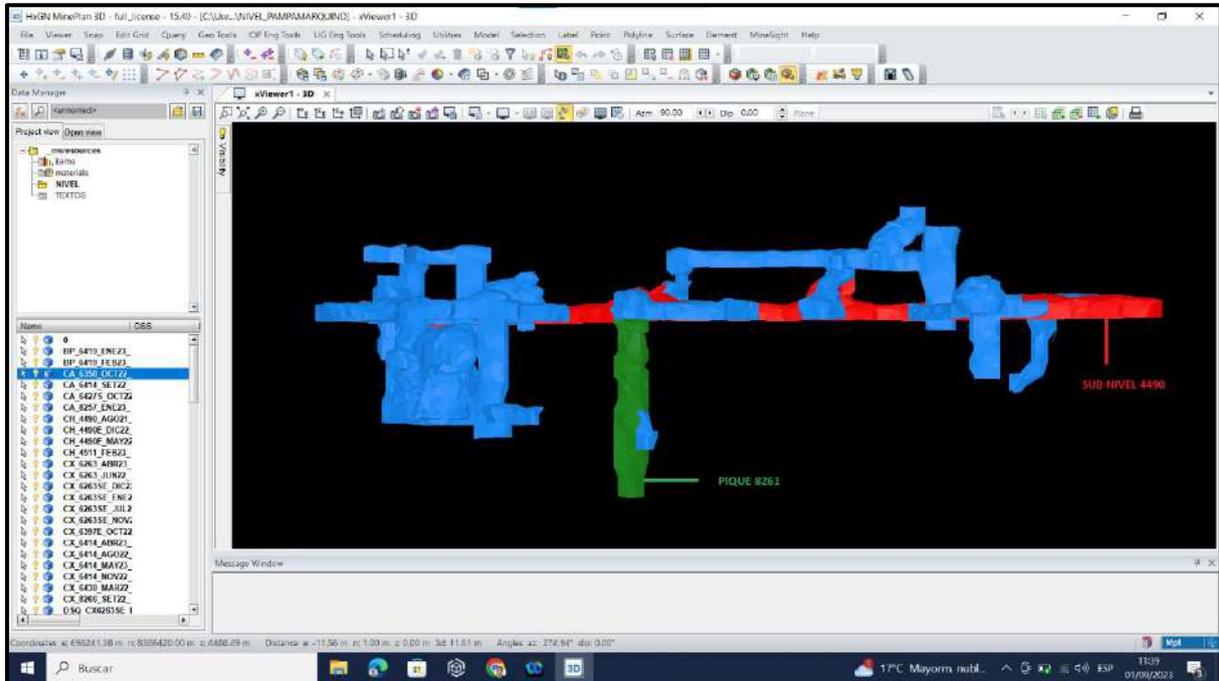
## 5.1.5. Evaluación del sistema de ventilación en el programa Ventsim

### 5.1.5.1. Diseño en 3D del sistema de ventilación y exportación para la simulación

Los trabajos de levantamiento de los niveles sub niveles tajo, pique entre otras labores el departamento de topografía ha realizado, para el presente trabajo se ha considerado exclusivamente el Sub Nivel 4490 y el pique proyectado 8261, para el diseño se utilizó el programa MinePlane,



donde se ha importado el sólido en 3D de las labores existentes en el Sub Nivel 4490, una vez visualizado las labores, se realizó la extracción de las líneas unifilares diseñados de las labores al formato DXF.



**Figura 48** — Vista en frente del SN 4490 y el Pique proyectado 8261 en MinePlane

Dentro de los programas de minería existentes en el mercado cada uno de ellos tienen diferentes características y bondades, para poder extraer el eje central de las labores se ha utilizado el programa Deswik, que es un software muy utilizado en minería subterránea.

El Deswik.CAD es un programa exclusivo y diseñado para los ingenieros de minas. Este programa tiene una interfaz de CAD, brinda las bondades para visualizar, diseñar, analizar e informar los datos cada vez que sea necesario.

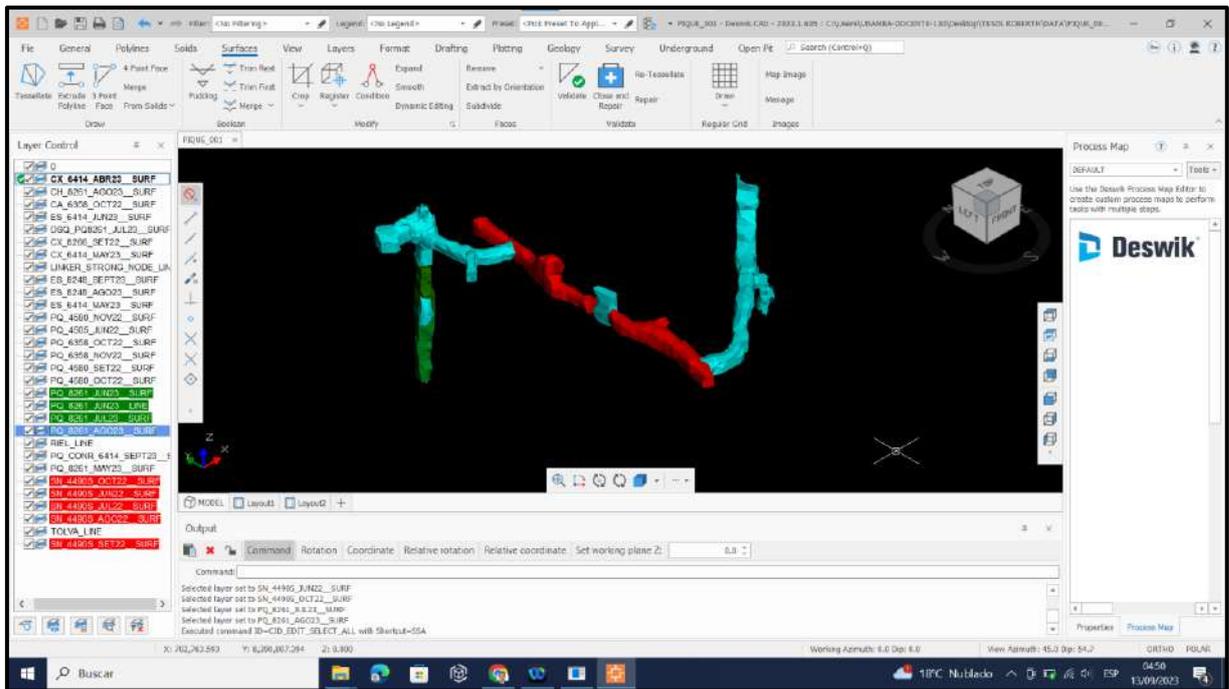


Figura 49 — Modelado del Sub Nivel en 3D en el programa Deswik

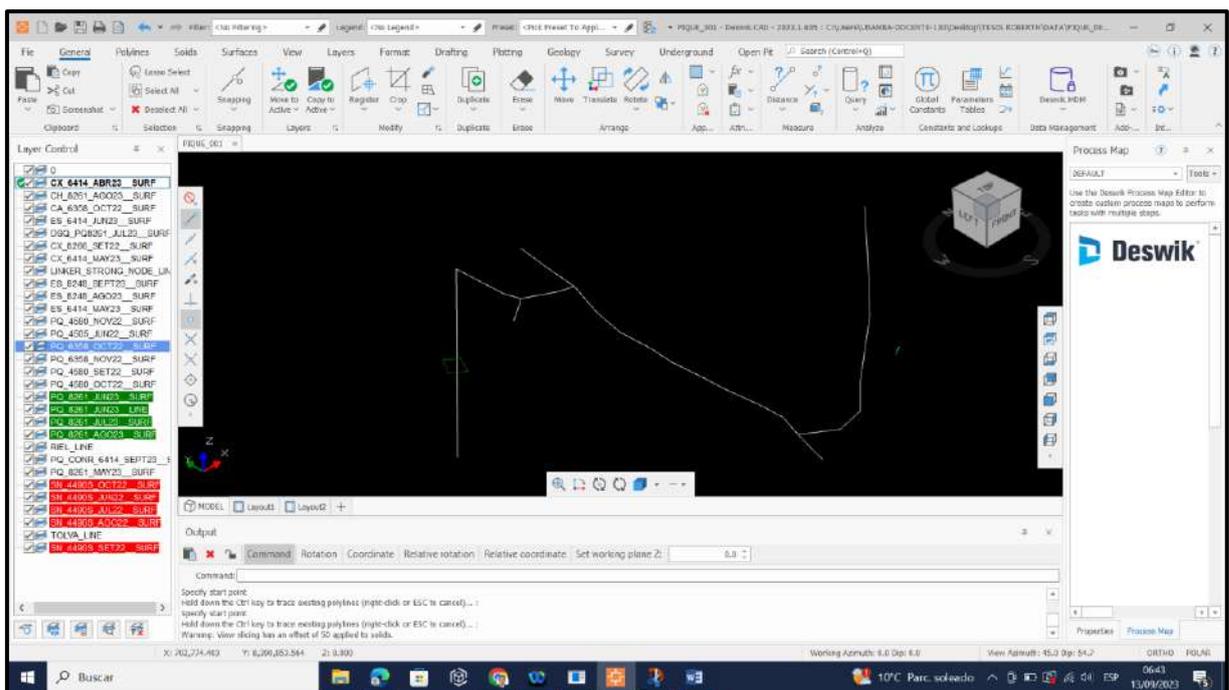


Figura 50 — Extracción del eje central unifilar en programa Deswik



### 5.1.5.2. Configuración del programa Ventsim

Según el último informe de MarketsandMarkets™, se estima que el mercado mundial de software de minería ha aumentado en el uso, debido a que reduce costos y tiempo, estos programas dan soluciones tecnológicas a la industria minera para encargarse de todo el proceso, como el modelado geológico, la planificación de mina, en la estimación de recursos, en la planificación, en programas de producción, gestión de flotas de equipos y las soluciones en tiempo real basados en la nube. Además, proveen a los clientes flexibilidad que permiten acceder a los datos desde cualquier sitio, en cualquier momento y utilizando cualquier dispositivo de conexión a Internet, para el presente trabajo de investigación se ha utilizado el MinePlane de Exagón para el diseño y modelamiento de las labores, luego se ha exportado al formato DXF para la importación y visualización en el Ventsim.

El programa Ventsim, es un paquete cabal de programa integrado a la ventilación de túneles y minas, también se diseña y se programa diferentes circuitos de ventilación, dentro su entorno el programa proporciona el flujo de aire, la presión, la calor, los gases, energía y muchos otros tipos de información de ventilación, procesa datos en el sistema métrico y imperial, en este trabajo se va a trabajar en unidades de sistema imperial, el cual se ha ingresado datos de la densidad de aire de mina para la simulación respectiva.



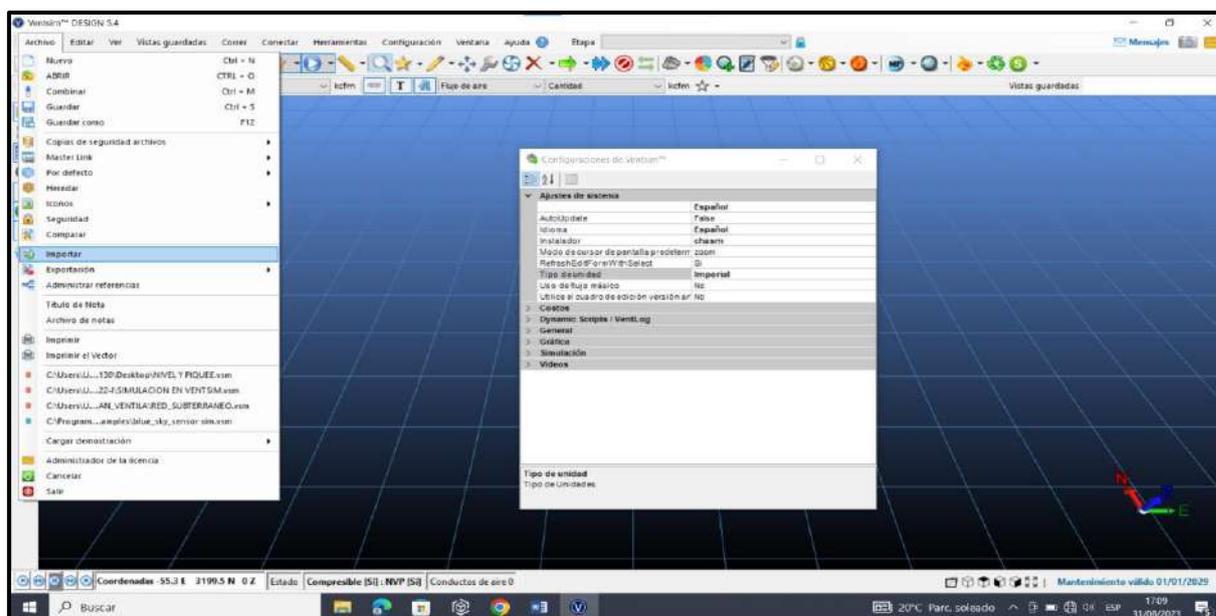


Figura 51 — Configuración del sistema para la importación de datos

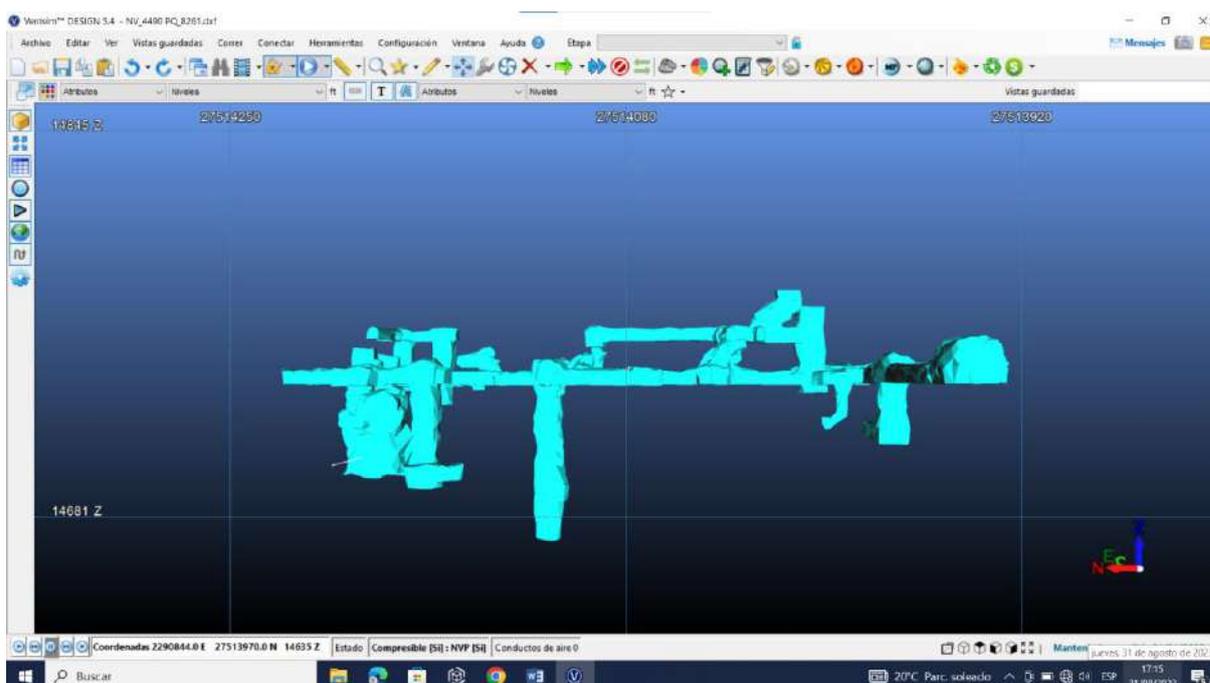


Figura 52 — Visualización de datos en 3D en el programa Ventsim de las labores del SN 4490

### 5.1.5.3. Procesado de información en el programa Ventsim

Para el procesamiento de la información en el programa Ventsim se ha tomado en consideración los eje de las polilíneas de las labores de interés en el presente trabajo de investigación, para efectuar la simulación para suministrar aire fresco y extraer el aire contaminado se ha instalado un sistema combinado de ventilación auxiliar impelente y aspirante, debido a que el aire en pique no fluye, debido a que es un pique ciego, los parámetros de ventilador están determinados en el presente trabajo, tanto la capacidad del ventilador, la potencia y el diámetro de la manga de ventilación.

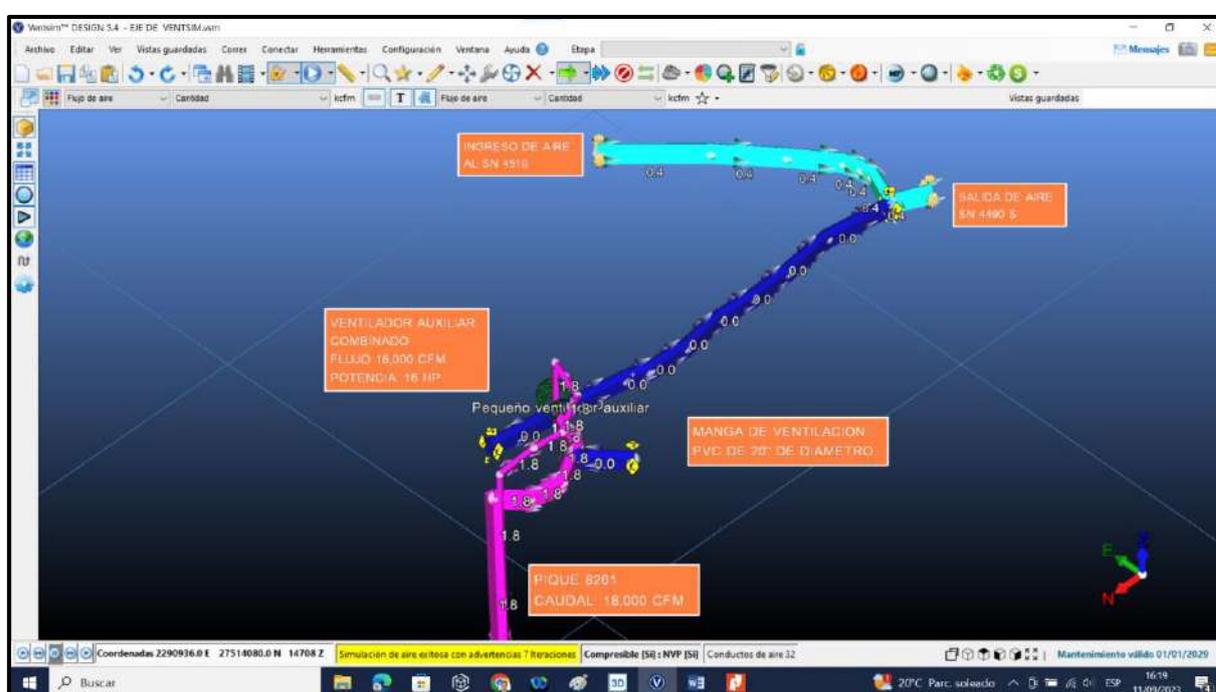


Figura 53 — Visualización de la simulación del sistema en Ventsim

En la figura 55, se muestra la simulación en programa Ventsim donde se va instalar un ventilador auxiliar sistema combinado, el ventilador impelente suministra aire fresco desde el N 4490 con un flujo de 18000 cfm, el equipo mecánico tiene una potencia de 16 hp, la cual debe suministrar aire fresco hacia el Pique 8261 de sección 1.40 x 2.60 m, una distancia de 25 metros con una manga de ventilación de PVC de 20 pulgadas de diámetro, estos datos se han calculado de acuerdo al requerimiento de aire.



### 5.1.6. Evaluación de costos para la implementación del sistema de ventilación

Los costos en ventilación de minas, están asociados al sistema de circulación de los flujos de aire, estos pueden variar en muchas ocasiones por varios factores, incluso por el tamaño y la profundidad de las labores, el sistema de circuitos que posee una mina subterránea, esto depende del tamaño y complejidad de la mina, donde se requiere instalar ventiladores de gran capacidad, mangas de ventilación extensos, el tipo de yacimiento también influye en el sistema de ventilación, debido a que los métodos de explotación son diferentes, en muchas ocasiones el factor de la altitud juega un papel muy importante, debido a que en las minas a mayor altitud funciona la ventilación natural, finalmente el otro factor es la tecnología de los equipos y la ubicación adecuada de los ventiladores.

Es muy importante mencionar que la optimización de los costos en ventilación de minas es muy esencial para la eficiencia y la seguridad del medio ambiente. Una ventilación apropiada garantiza la salud y bienestar de los trabajadores y ayuda a vigilar los riesgos que se producen por la presencia de gases tóxicos, así como con la presencia de partículas de polvo que son dañinas para los trabajadores. Los costos en ventilación de minas se deben considerarse como una inversión para la productividad de la empresa y en la seguridad del personal presente en los frentes de trabajo.

Los costos de instalación del sistema de ventilación auxiliar combinado se han calculan tomando en cuenta el costo horario de propiedad del equipo y el costo de operación, los datos del equipo se han obtenido de los folletos de información para la profundización del Pique 8261 del nivel 4490.



Tabla 16 — Cálculo de costos de suministro de aire al Pique 8261

<b>COSTO DEL VENTILADOR ELÉCTRICO</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
Capacidad	CFM	18000
Potencia del motor	HP	16
Presión estática	Pul. de agua	12
<b>1.1 COSTO HORARIO DE PROPIEDAD</b>		
<b>COSTO DE ADQUISICIÓN (Va)</b>	\$	75000
Vida útil	Horas	43800
Trabajo anual horas 365 días x 12 hr/día	Horas	4380
Duración años (n)	Años	10
Factor de interés, impuesto y almacenaje	%	19
<b>VALOR DE RESCATE (Vr)</b>		
$V_r = 19\% V_a = 0.19 * 75000$	\$	14250
<b>CALCULO DE INVERSIÓN MEDIA ANUAL</b>		
$IMA = (V_a(n+1) + V_r(n-1))/2n$	\$	
$IMA = (75000(10+1) + 14250(10-1))/2 * 10$	\$/año	47662,5
<b>CALCULO DE INTERESES</b>		
$I = (IMA * \% i) / VEU \text{ (horas anuales)}$	\$/hr	
$I = (47662,5 * 0,19) / 4380$	\$/hr	2,067
<b>SEGUROS, IMPUESTOS Y ALMACENAJE (SIA)</b>		
$SIA = IMA * (\Sigma \text{ de tasa anual} / VEU \text{ (hr. Anuales)})$	\$/hr	
$SIA = 47662,5 * (0,055) / 4380$	\$/hr	0,598
Seguro 2,5% + Impuesto 2% + almacenaje 1% = 5,5%		
<b>CALCULO DE DEPRECIACIÓN</b>		
$D = (V_a - V_r) / VEU \text{ (hr. Anuales)}$	\$/hr	
$D = (75000 - 14250) / 10 = 6075 \text{ \$/año}$	\$/año	
$D = 6075 / 4380$	\$/hr	1,387
<b>COSTO DE PROPIEDAD (CP)</b>		
$CP = 2,067 + 0,598 + 1,387$	\$/hr	4,052
<b>1.2 COSTO DE OPERACIÓN</b>		

<b>COSTOS DE REPARACIÓN GENERALES</b>		
Incluye repuestos y mano de obra (0,5*Deprec. V. util/10000)	\$/hr	
$CRG = 0,5 * 1,387 * 43800 / 10000$	\$/hr	4,213
<b>COSTO DE ENERGIA</b>		
75Hp*0,050 US\$/Kw-hr/(1,341 HP)	\$/hr	2,085
<b>COSTO DE MANTENIMIENTO (CM)</b>		
(Aceites, grasas, incluye mano de obra del engrasador)		
CM = 1/3 del costo de energía = 2,085/3	\$/hr	0,695
<b>COSTO HORARIO DE OPERACIÓN (CHO)</b>		
CHO = 4,213+2,085+0,695	\$/hr	6,993
<b>COSTO TOTAL DE PROPIEDAD Y OPERACIÓN</b>		
CT = 4,052+6,993	\$/hr	11,045
Rendimiento horario = 16 m <sup>3</sup> /hr		
<b>COSTO TOTAL POR METRO CUBICO DE AIRE REPULSADO</b>		
CT = 11,045/16	\$/m <sup>3</sup>	0,69

Nota: Según los cálculos en la tabla 15, el costo total por metro cubico de aire repulsado o suministrado es de 0.69 dólares/ m<sup>3</sup>.

## 5.2. Contrastación de hipótesis

En esta investigación se contrastó las hipótesis, la cual se afirma que a partir de la evaluación y modelización del sistema de ventilación inicial del Pique 8261 a partir del Sub Nivel 4490, se pudo realizar la implementación del sistema de ventilación; la cual consistió en la implementación de un sistema de ventilación auxiliar combinado del tipo aspirante con apoyo impelente, el cual provee un caudal de aire de 18000 cfm, asegurando una buena ventilación en construcción del Pique de acceso, esto de acuerdo a los cálculos de determinación de caudal de aire.

Por otro lado, se ha dimensionado el ventilador auxiliar sistema combinado con una potencia de 16 hp, este ventilador se ubicará en el SN 4490 exactamente en el inicio del Pique 8261 para inyectar aire fresco que debe llevarse con una manga de ventilación de 20” de diámetro.

Asimismo, se ha determinado los costos de implementación del sistema de ventilación auxiliar combinado que suministrará un caudal de 18000 cfm este valor asciende a 0,69 \$/m<sup>3</sup> de aire repulsado.

### 5.3. Discusión

Uno de los problemas que se presenta en la minería subterránea es el problema de ventilación que se dan en la mayoría de las minas subterráneas, para solucionar estas deficiencias se tiene que utilizar una ventilación mecánica para cubrir la demanda de aire (Sutty, 2016), teniendo referencia que la ventilación natural es cambiante y no ayuda al flujo de aire, en el presente trabajo se ha determinado instalador un ventilador auxiliar sistema combinado impelente y aspirante.

En el presente trabajo de investigación, se evaluaron los resultados de ventilación en la Unidad Minera Pepas de Oro, con el objetivo primordial de garantizar las condiciones ambientales seguras para los trabajadores y mejorar la eficiencia de la operación en la mina. Para Capchi y Melgar (2020), una buena ventilación genera un impacto significativo en el desempeño de los trabajadores, da confianza y seguridad, así mismo muestra un incremento en la producción.

Los datos logrados y analizados ofrecen una visión integral de la situación actual de la ventilación en la unidad minera, los resultados permiten tomar nuevas decisiones futuras para mejorar la salud de los trabajadores, brindarles seguridad, crear nuevos frentes de trabajo y mejorar la productividad.

Los resultados indican que el sistema de ventilación en el Pique 8261 va mantener un flujo de aire constante dentro las labores. Se ha observado un cambio de aire adecuada en las zonas de trabajo, lo cual reduce el riesgo de acumulación de gases generados que son muy peligrosos, como el gas metano.

Además, los niveles de contaminación atmosférico, como el polvo presente, los gases nocivos generados por la voladura, se deben mantener dentro de los límites máximos permisibles. Este es un indicativo positivo en la efectividad del sistema de ventilación para mejorar las condiciones ambientales y la protección de la salud de los trabajadores.



## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

En el presente trabajo de investigación se logró evaluar los objetivos trazados, en la modelización del sistema de ventilación del Pique 8261 a partir del Nivel 4490 de la unidad minera Pampamarquino de la Asociación de Mineros Artesanales Pepas de Oro para el Pique 8261.

Se ha implementado un sistema de ventilación integrado para lograr ampliar en el futuro labores de explotación, actualmente no se cubre las necesidades requeridas de calidad de aire para sus trabajos, esto se manifiesta directamente en la producción y la salud de los trabajadores.

La cantidad requerido es de 18000 cfm, para cubrir las necesidades de demanda para el personal, equipos, para el control del polvo en suspensión y diluir los gases tóxicos presentes en las labores del nivel 4490, específicamente para el Pique 8261, este caudal será asignado para incrementar más labores de producción, desarrollo y con las miras de ampliar la Unidad Minera.

Se ha realizado la simulación y modelización para suministrar aire fresco al Pique 8261, donde se propone un sistema de ventilación combinada (impelente y aspirante), donde se debe instalar un ventilador auxiliar al inicio de ingreso al pique, el ventilador debe suministrar 18000cfm de caudal de aire, su potencia es de 16 hp del equipo que aspirará aire mediante una manga de ventilación de 20” de diámetro.

Los costos de instalación del sistema de ventilación propuesto para el Pique 8261 de la Unidad Minera Pampamarquino de la Asociación de Mineros Artesanales Pepas de Oro asciende a 0,69 dólares por metro cubico de aire.



## 6.2. Recomendaciones

Se sugiere que el área de ventilación de mina de la Unidad Minera Pampamarquino de la Asociación de mineros Artesanales realice de manera constantes simulaciones y modelizaciones del sistema de ventilación aplicando el software Ventsim.

Se recomienda realizar monitoreo constante de flujo de aire, presencia de gases, la presencia de polvo en forma constante y continua para mejorar el confort ambiental y cuidar la salud de los trabajadores para que puedan trabajar con seguridad y confianza.

Se recomienda a la Unidad Minera capacitar al personal encargado de ventilación de las labores y implementar con los instrumentos completa para el control de flujos de aire en forma continua de las labores ciegas y confinadas.

Se encomienda realizar un control preciso del horario de control de flujos de aire, done se deberá anotar en un lugar visible para que el personal pueda ingresar con confianza y de manera segura.

Se sugiere que los ventiladores deberán estar en lugares estratégicos, con un programa de mantenimiento constante, para el suministro de aire fresco y extracción de aire viciado mediante mangas de ventilación.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUERO, Z., & ALVAREZ, F. (2012). *Influencia de la ventilación natural y mecánica en el diseño del sistema de ventilación de las galerías del nivel 1950 Mina Calpa – Arequipa*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú. Obtenido de [https://www.academia.edu/8752984/Tesis\\_huancavelica](https://www.academia.edu/8752984/Tesis_huancavelica)
- ARIAS, F. (2006). *El proyecto de investigación: Introducción a la investigación científica*. Caracas, Venezuela: Editorial Episteme, C.A.
- BALDEON, O. (2021). *Diagnóstico comunicacional para la Asociación Pepas de Oro de Pampamarca (AMAPOP)*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Lima, Lima, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12724/15611>
- CAMPILLOS, P. (2015). *Optimización y modelización del circuito de ventilación de una mina subterránea*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía. Obtenido de [https://oa.upm.es/36496/1/PFC\\_Alberto\\_Campillos\\_Prieto.pdf](https://oa.upm.es/36496/1/PFC_Alberto_Campillos_Prieto.pdf)
- CAPCHI, E., & MELGAR, G. (2019). *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)*. Tesis de Licenciatura, Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa, Perú. Obtenido de [https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/3039/Edgard%20Capchi\\_Giovanni%20Melgar\\_Tesis\\_Titulo%20Profesional\\_2020.pdf?sequence=1](https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/3039/Edgard%20Capchi_Giovanni%20Melgar_Tesis_Titulo%20Profesional_2020.pdf?sequence=1)
- CARABAJO, C. (2015). *Diseño del circuito de ventilación de la zona norte de la mina cabo de hornos, ubicada en el distrito aurífero - polimetálico portovelo – Zaruma*. Tesis de Licenciatura, Universidad Central de Ecuador , Quito, Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/7700/1/T-UCE-0012-375.pdf>
- CASTILLO, D. (2017). *Evaluación del sistema de ventilación de la mina el roble*. Tesis de Licenciatura, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia , Boyacá, Colombia. Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/1886/TGT-457.pdf?sequence=1>
- CASTILLO, N., & SOTO, J. (2022). *Análisis del Sistema de Ventilación y propuesta de mejora para optimizar el Caudal de aire de la minera Aurífera Retamas S.A. Marsa – 2020*. Tesis de Licenciatura, Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa, Perú. Obtenido de



[https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/6110/N.Castillo\\_J.Soto\\_Tesis\\_Titulo\\_Profesional\\_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/6110/N.Castillo_J.Soto_Tesis_Titulo_Profesional_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

CLAVERIAS, J. (2014). *Evaluación y optimización del sistema de ventilación de la Compañía Minera Caraveli S.A.C aplicando el Software Ventsim Visual 3*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa , Arequipa, Perú. Obtenido de <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/5ecc5d03-958a-4dc6-b3aa-d7d660ae05f1/content>

FERNANDEZ, C., BAPTISTA, P., & HERNANDEZ, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: Mc Graw-Hill.

GUTIERREZ, C. (2010). *Recirculación controlada en minería subterránea*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Chile, Santiago de Chile. Obtenido de [https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103701/cf-gutierrez\\_ca.pdf?sequence=3](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103701/cf-gutierrez_ca.pdf?sequence=3)

HOWDEN. (2018). *VentSim DESIGN™ User Guide*. Obtenido de ventsim@howden.com: <https://ventsim.com/files/VentsimManual.pdf>

KARAGIANNI, M., & BENARDOS, A. (2021). Ventilation Design Modeling and Optimization for an Underground Bauxite Mine †. *Materials Proceedings*, 5(29), 1-7. doi:<https://doi.org/10.3390/materproc2021005029>

LLACHO, U., & VARGAS, A. (2018). *Estudio del sistema de ventilación para el control de agentes químicos y físicos, U.O. Pallancata – veta Pablo – 2018*. Tesis de Licenciatura, Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa, Perú. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/3417>

MATIAS, M. (2021). *Modelamiento de dispersión de contaminantes atmosféricos influenciado por la actividad minera a través del software de AERMOD en el distrito de Tinyahuarco*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, Perú . Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2145>

MOROCCO, R. (1975). *Geología de los cuadrángulos de Andahuaylas, Abancay y Cotabambas*. Boletín, Instituto de Geología y Minería, Lima, Perú. Obtenido de [https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/145/2/A-027-Boletin\\_Andahuaylas-28p\\_Abancay-28q\\_Cotabambas-28r.PDF](https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/145/2/A-027-Boletin_Andahuaylas-28p_Abancay-28q_Cotabambas-28r.PDF)

RAICO, T. (2019). *Evaluación y optimización del sistema de ventilación del túnel de exploración Chaquicocha nivel 3750 - minera Yanacocha, 2018*. Tesis de Licenciatura,



Universidad Nacional de Cajamarca , Cajamarca, Perú. Obtenido de [https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/3206/Tesis\\_Alexander%20Raico.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/3206/Tesis_Alexander%20Raico.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

SUTTY, J. (2016). *Influencia de la ventilación mecánica, en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 mina urano sac – puno*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Obtenido de [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/3539/Sutty\\_Vilca\\_Jesus\\_Alberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/3539/Sutty_Vilca_Jesus_Alberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

TEJEDA, R., & MUCHA, F. (2022). *Evaluación de las condiciones de ventilación para la actualización del sistema integral de ventilación Unidad Minera Yauricocha*. Tesis de Licenciatura, Universidad Continental, Huancayo, Perú. Obtenido de [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11374/1/IV\\_FIN\\_110\\_TE\\_Tejeda\\_Mucha\\_2022.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11374/1/IV_FIN_110_TE_Tejeda_Mucha_2022.pdf)

VERA, E. (2019). *Implementación y simulación del sistema de ventilación con el software ventsim visual en la Mina San Valentín s.a. – Curahuasi – Apurímac - 2019*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Abamcay, Perú. Obtenido de <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1041>

WALQUER, H. (2002). *Planeamiento de inado*. Apurimac.

Wang, J., Jia, M., Bin, L., Wang, L., & Zhong, D. (2022). Regulation and Optimization of Air Quantity in a Mine Ventilation Network with Multiple Fans. *Arch. Min. Sci.*, 67(1), 179-193. doi:<https://doi.org/10.24425/ams.2022.140709>

ZAVALA, L. (2022). *Evaluación del sistema de ventilación para mejorar deficiencia de aire en mina Antapite de Empresa Sierra Antapite S.A.C. 2022*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú , Huancayo, Perú. Obtenido de [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/8298/T010\\_72870964\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/8298/T010_72870964_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)



## ANEXOS



**ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**Tabla 17** — Matriz de Consistencia

<b>Planteamiento del problema</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variables indicadoras</b>	<b>Indicador</b>	<b>Resultados</b>
<p><b>Problema general</b></p> <p>¿De qué manera la modelización del sistema de ventilación mediante el software Ventsim puede optimizar el caudal de aire para el Pique 8261 de la Asociación de mineros artesanales Pepas de Oro de Pampamarca, Apurímac - 2023?</p>	<p><b>Objetivo general</b></p> <p>Modelización del sistema de ventilación mediante el software Ventsim para la optimización del caudal de aire para el Pique 8261 de la minera Asociación de Mineros Artesanales Pepas de Oro de Pampamarca, Apurímac - 2023.</p>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <p>Modelización del sistema de ventilación mediante el software Ventsim para la optimización del caudal de aire para el Pique 8261 de la minera Asociación de Mineros Artesanales Pepas de Oro de Pampamarca, Apurímac - 2023.</p>	<p><b>Variable independiente</b></p> <p>Modelización del sistema de Ventilación.</p>	<p>Sistema de ventilación</p>	<p>Análisis del sistema de ventilación.</p>
<p><b>Problema específico</b></p> <p>¿Cómo se podrá implementar el sistema de ventilación integrado mediante el software Ventsim para</p>	<p><b>Objetivo específico</b></p> <p>Implementar el sistema de ventilación integrado mediante el software Ventsim para la modelización</p>	<p><b>Hipótesis específicas</b></p> <p>Con la implementación del sistema de ventilación integrado mediante el software Ventsim permitirá la</p>	<p><b>Variable dependiente</b></p> <p>Software Ventsim.</p>	<p>Flujo de aire</p>	<p>Cálculo de flujo de aire.</p> <p>Simulación del sistema de</p>



<p>la modelización del caudal de aire para el Pique 8261?</p> <p>¿De qué manera se podrá determinar el caudal de aire requerido para el Pique 8261?</p> <p>¿Es posible dimensionar y determinar la ubicación de los ventiladores para modelizar el caudal de aire para el pique 8261?</p> <p>¿Se podrá determinar y evaluar los costos para la implementación del sistema de ventilación para el pique 8261?</p>	<p>del caudal de aire para el Pique 8261.</p> <p>Determinar el caudal de aire necesario para el Pique 8261.</p> <p>Dimensionar y determinar la ubicación de los ventiladores para modelizar el caudal de aire para el Pique 8261.</p> <p>Determinar y evaluar los costos en la implementación del sistema de ventilación para el pique 8261.</p>	<p>modelización del caudal de aire para el Pique 8261.</p> <p>Determinando el caudal de aire necesario para el Pique 8261 facultará el diseño del circuito de caudal de aire.</p> <p>Con el dimensionamiento y la ubicación de los ventiladores para modelizar el caudal de aire para el Pique 8261 asegurará las condiciones ambientales.</p> <p>Con la evaluación de los costos en la implementación del sistema de ventilación para el Pique 8261, reducirá los costos de operación.</p>		<p>Dimensionamiento del ventilador</p> <p>Determinación de costos</p>	<p>ventilación.</p> <p>Costo por metro cubico de aire</p>
--	--	---	--	---	---



## ANEXO N° 02: DATOS DE CAMPO

Medida de Flujo de aire Nivel 4490						
Place	Date	Time	Value	Unit	Value	Unit
589	03/09/2023	02:42:22	000000,2	m/S	000015,0	AMTemp C
590	03/09/2023	02:42:24	000000,2	m/S	000015,0	AMTemp C
591	03/09/2023	02:42:26	000000,1	m/S	000015,0	AMTemp C
592	03/09/2023	02:42:28	000000,1	m/S	000014,8	AMTemp C
593	03/09/2023	02:42:30	000000,2	m/S	000014,3	AMTemp C
594	03/09/2023	02:42:32	000000,8	m/S	000014,0	AMTemp C
595	03/09/2023	02:42:34	000002,2	m/S	000013,7	AMTemp C
596	03/09/2023	02:42:36	000002,1	m/S	000013,6	AMTemp C
597	03/09/2023	02:42:38	000001,9	m/S	000013,6	AMTemp C
598	03/09/2023	02:42:40	000001,7	m/S	000013,7	AMTemp C
599	03/09/2023	02:42:42	000001,5	m/S	000013,7	AMTemp C
600	03/09/2023	02:42:44	000001,3	m/S	000013,7	AMTemp C
601	03/09/2023	02:42:46	000001,1	m/S	000013,8	AMTemp C
602	03/09/2023	02:42:48	000001,0	m/S	000013,8	AMTemp C
603	03/09/2023	02:42:50	000000,9	m/S	000013,9	AMTemp C
604	03/09/2023	02:42:52	000000,8	m/S	000013,9	AMTemp C

605	03/09/2023	02:42:54	000000,8	m/S	000013,9	AMTemp C
606	03/09/2023	02:42:56	000000,7	m/S	000013,9	AMTemp C
607	03/09/2023	02:42:58	000000,6	m/S	000013,9	AMTemp C
608	03/09/2023	02:43:00	000000,6	m/S	000013,8	AMTemp C
609	03/09/2023	02:43:02	000000,5	m/S	000013,8	AMTemp C
610	03/09/2023	02:43:04	000000,4	m/S	000013,8	AMTemp C
611	03/09/2023	02:43:06	000000,4	m/S	000013,8	AMTemp C
612	03/09/2023	02:43:08	000000,6	m/S	000013,7	AMTemp C
613	03/09/2023	02:43:10	000000,6	m/S	000013,6	AMTemp C
614	03/09/2023	02:43:12	000000,5	m/S	000013,5	AMTemp C
615	03/09/2023	02:43:14	000000,5	m/S	000013,6	AMTemp C
616	03/09/2023	02:43:16	000000,5	m/S	000013,6	AMTemp C
617	03/09/2023	02:43:18	000000,4	m/S	000013,7	AMTemp C
618	03/09/2023	02:43:20	000000,4	m/S	000013,7	AMTemp C
619	03/09/2023	02:43:22	000000,4	m/S	000013,7	AMTemp C
620	03/09/2023	02:43:24	000000,4	m/S	000013,7	AMTemp C
621	03/09/2023	02:43:26	000000,4	m/S	000013,7	AMTemp C
622	03/09/2023	02:43:28	000000,4	m/S	000013,7	AMTemp C
623	03/09/2023	02:43:30	000000,4	m/S	000013,7	AMTemp C



624	03/09/2023	02:43:32	000000,4	m/S	000013,6	AMTemp C
625	03/09/2023	02:43:34	000000,4	m/S	000013,6	AMTemp C
626	03/09/2023	02:43:36	000000,4	m/S	000013,6	AMTemp C
627	03/09/2023	02:43:38	000000,3	m/S	000013,5	AMTemp C
628	03/09/2023	02:43:40	000000,3	m/S	000013,5	AMTemp C
629	03/09/2023	02:43:42	000000,3	m/S	000013,6	AMTemp C

**Tabla 18** — Medida de Flujo de aire Nivel 4490

<b>Medida de flujo de aire Pique 8261</b>						
Place	Date	Time	Value	Unit	Value	Unit
740	03/09/2023	02:57:46	000000,0	m/S	000013,1	AMTemp C
741	03/09/2023	02:57:48	000000,0	m/S	000013,0	AMTemp C
742	03/09/2023	02:57:50	000000,1	m/S	000013,0	AMTemp C
743	03/09/2023	02:57:52	000001,2	m/S	000012,9	AMTemp C
744	03/09/2023	02:57:54	000001,9	m/S	000012,8	AMTemp C
745	03/09/2023	02:57:56	000002,5	m/S	000012,5	AMTemp C
746	03/09/2023	02:57:58	000002,8	m/S	000012,4	AMTemp C
747	03/09/2023	02:58:00	000003,1	m/S	000012,4	AMTemp C
748	03/09/2023	02:58:02	000003,3	m/S	000012,4	AMTemp C

749	03/09/2023	02:58:04	000003,5	m/S	000012,4	AMTemp C
750	03/09/2023	02:58:06	000003,6	m/S	000012,4	AMTemp C
751	03/09/2023	02:58:08	000003,7	m/S	000012,4	AMTemp C
752	03/09/2023	02:58:10	000003,7	m/S	000012,5	AMTemp C
753	03/09/2023	02:58:12	000003,7	m/S	000012,4	AMTemp C
754	03/09/2023	02:58:14	000003,7	m/S	000012,4	AMTemp C
755	03/09/2023	02:58:16	000003,7	m/S	000012,3	AMTemp C
756	03/09/2023	02:58:18	000003,8	m/S	000012,3	AMTemp C
757	03/09/2023	02:58:20	000003,8	m/S	000012,2	AMTemp C
758	03/09/2023	02:58:22	000003,9	m/S	000012,2	AMTemp C
759	03/09/2023	02:58:24	000003,9	m/S	000012,1	AMTemp C
760	03/09/2023	02:58:26	000004,0	m/S	000012,0	AMTemp C
761	03/09/2023	02:58:28	000004,0	m/S	000012,0	AMTemp C
762	03/09/2023	02:58:30	000003,9	m/S	000012,0	AMTemp C
763	03/09/2023	02:58:32	000003,7	m/S	000012,0	AMTemp C
764	03/09/2023	02:58:34	000003,7	m/S	000012,0	AMTemp C
765	03/09/2023	02:58:36	000003,7	m/S	000012,0	AMTemp C
766	03/09/2023	02:58:38	000003,7	m/S	000012,0	AMTemp C
767	03/09/2023	02:58:40	000003,8	m/S	000011,9	AMTemp C



768	03/09/2023	02:58:42	000003,8	m/S	000011,8	AMTemp C
769	03/09/2023	02:58:44	000003,9	m/S	000011,8	AMTemp C
770	03/09/2023	02:58:46	000003,9	m/S	000011,8	AMTemp C
771	03/09/2023	02:58:48	000003,7	m/S	000011,8	AMTemp C

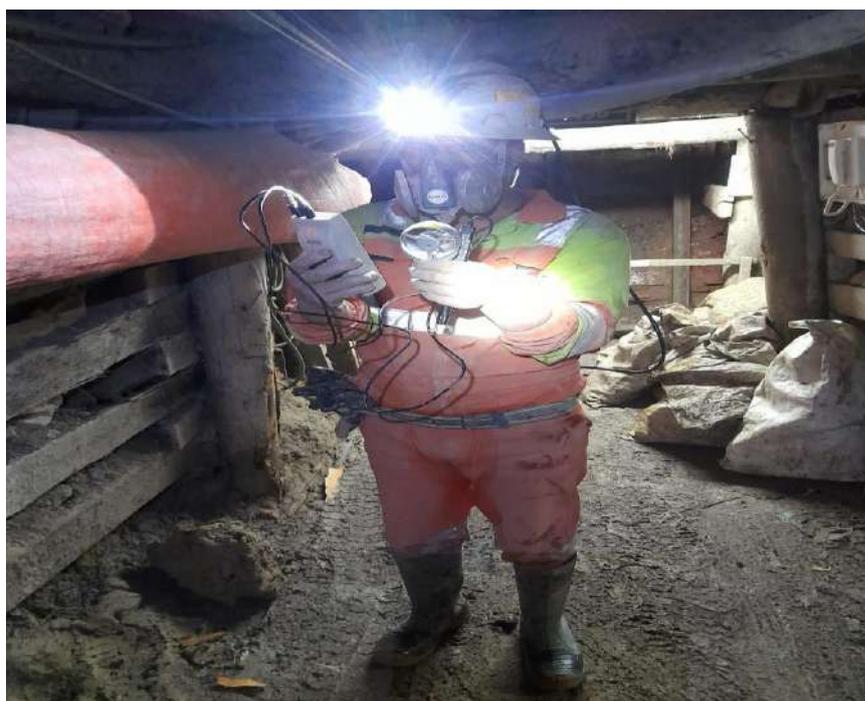
**Tabla 19** — Medida de flujo de aire Pique 8261



### ANEXO N° 03: PANEL FOTOGRÁFICO



**Figura 54** — Medidor de gases Dräger que se utiliza en la Unidad Minera



**Figura 55** — Tomada velocidad del aire en el Nivel 4490



**Figura 56** — Verificando fuga de gases en la manga de ventilación



**Figura 57** — Tomando medida de gases presentes en la labor



**Figura 58** — Vista de las labores de la veta Carlos



**Figura 59** — Vista de la manga de ventilación y servicios de agua



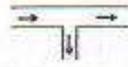
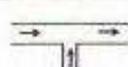
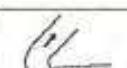
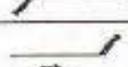
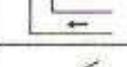
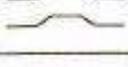
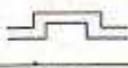
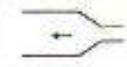
**Figura 60** — Supervisando equipos de monitoreo de aire



**Figura 61** — Vista de ingreso a la Unidad Minera Pampamarquino

ANEXO N° 04: TABLAS Y GRÁFICOS

Tabla 20 — Tabla para determinar Longitud equivalente (Le) en pies

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)	290
	EXPANSION GRADUAL	1		HUECO PARA PUERTA	70
	CONTRACCION ABRUPTA	10		CARRO O JAULA 20 % AREA DEL CONDUCTO	100
	EXPANSION ABRUPTA	20		CARRO O JAULA 40 % AREA DEL CONDUCTO	500



**Tabla 21** — Tabla para determinar el factor de fricción (K)

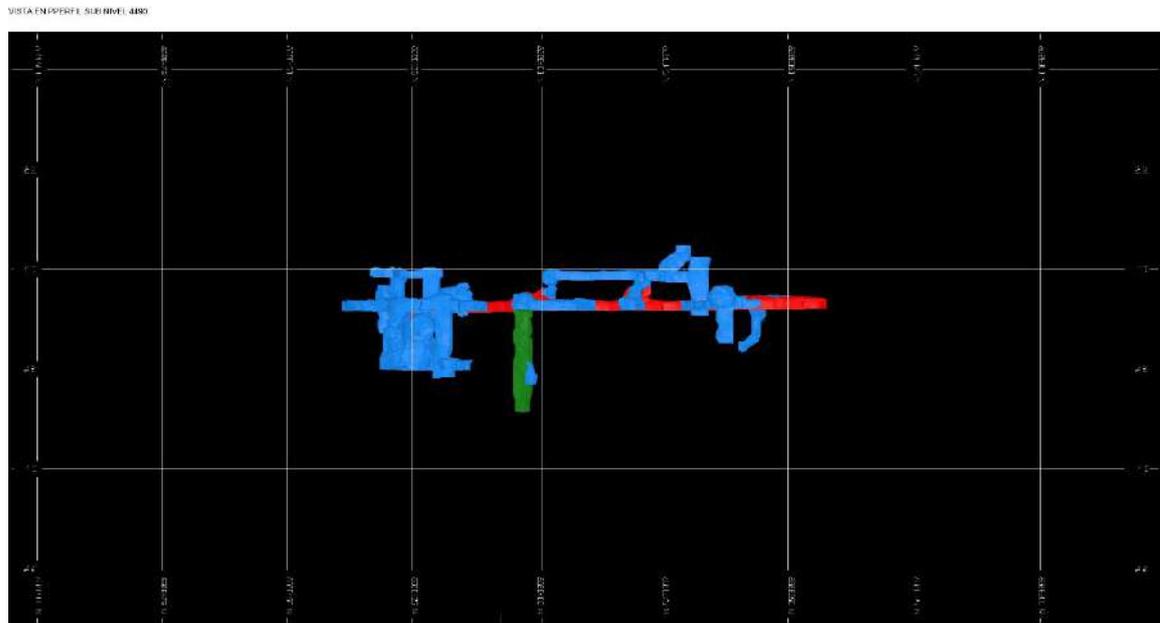
FACTOR DE FRICCIÓN "K" PARA LABORES MINERAS. HOWARD L. HARTMAN													
TIPO DE LABOR	IRREGULARIDADES DE LAS SUPERFICIES DE ALIMENTACION	RECTA			SINUOSIDAD O CURVATURA								
		LIMPIA	OBSTRUCCION PEQUEÑA	OBSTRUCCION MODERADA	LEVE			MODERADA			EN A .TO GRADO		
					LIMPIA	OBSTRUCCION PEQUEÑA	OBSTRUCCION 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	40	45	55
	Máximo	20	25	35	30	35	45	45	40	50	45	50	60
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
Enmaderada 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

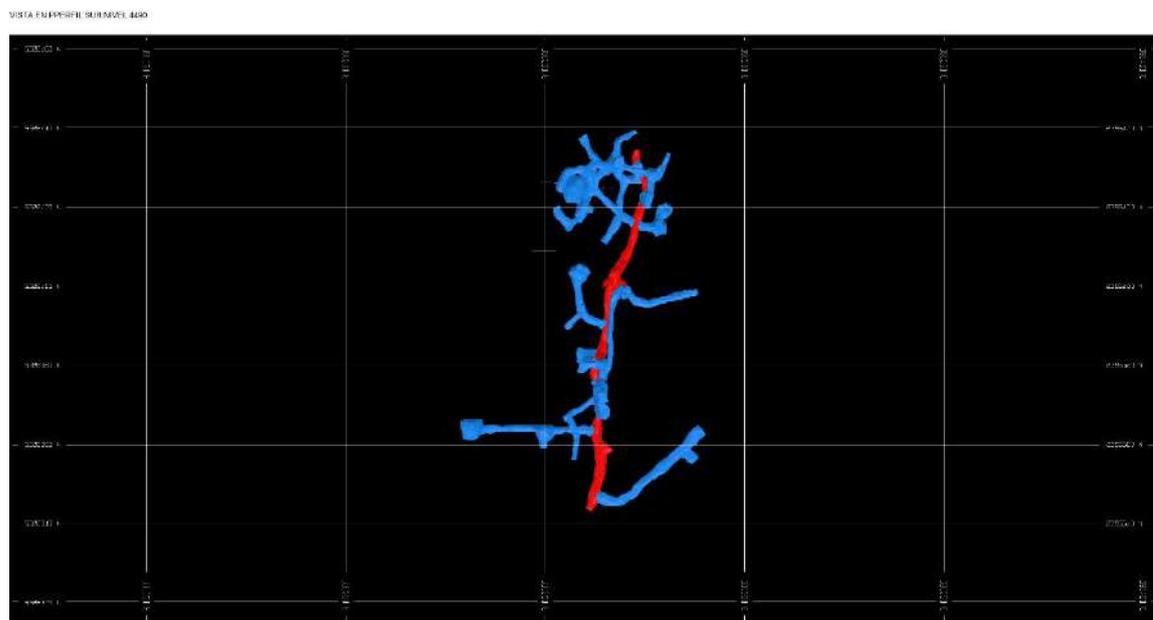
Para Tuberías de Ventilación:		NUEVA	USADA	Factor de Fricción:
Aceru		15	20	K * 10 <sup>-10</sup>
Yute, lana, PVC		20	25	
Lana revestida de jelo		25	28	



## ANEXO N° 05: VISTA DE CROQUIS DEL NIVEL 4490



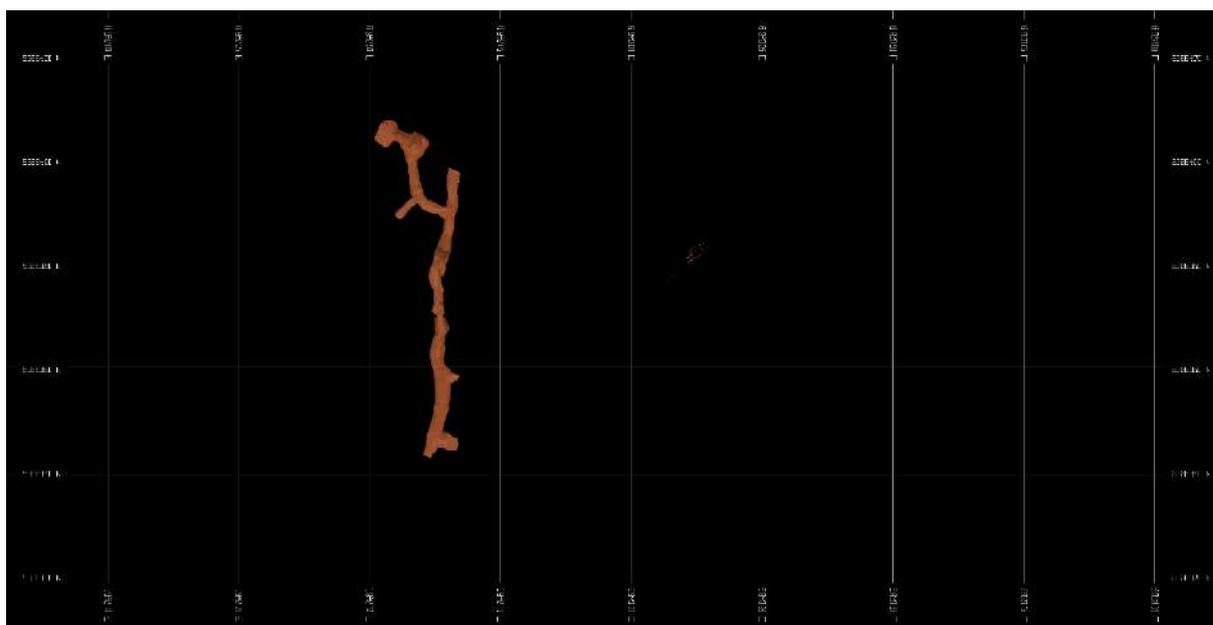
**Figura 62** — Vista en perfil del Nivel 4490 y Pique 8261 en el software Mine Sighth (color verde)



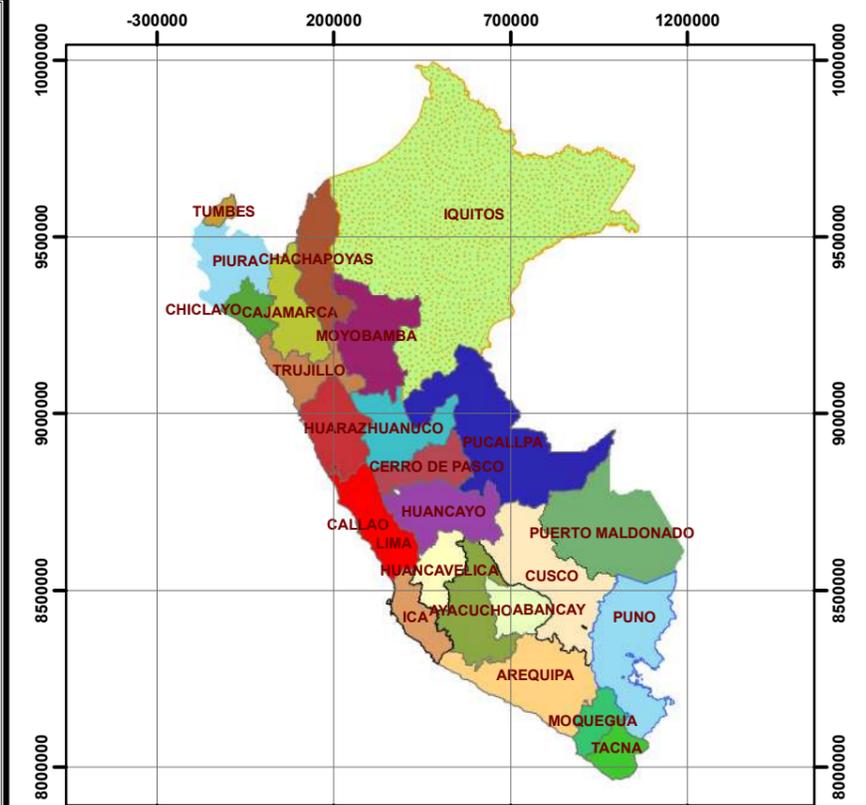
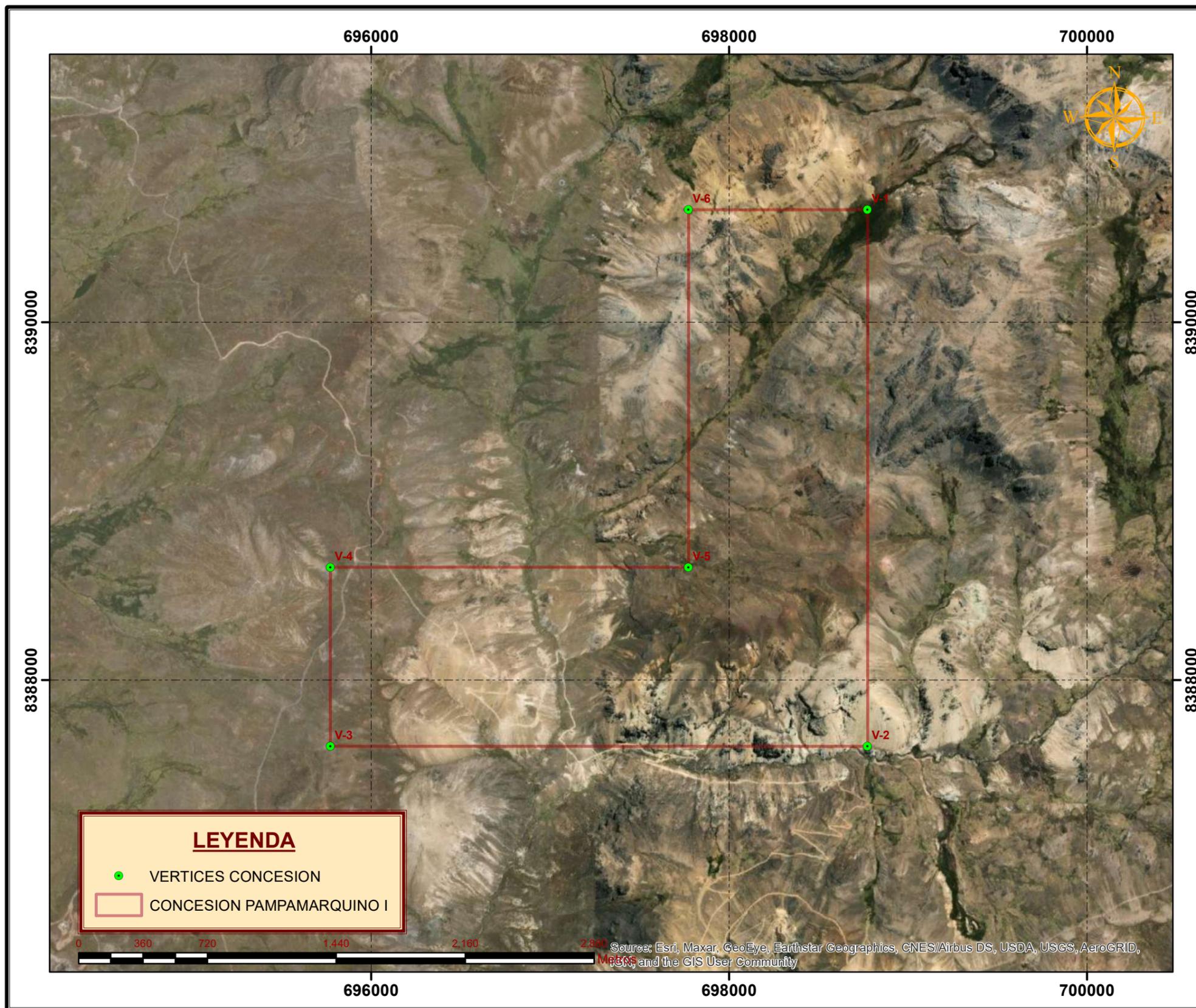
**Figura 63** — Vista en planta del Nivel 4490 y Pique 8261 modelado en el software Mine Sighth para la visualización de las labores en el Nivel 4490



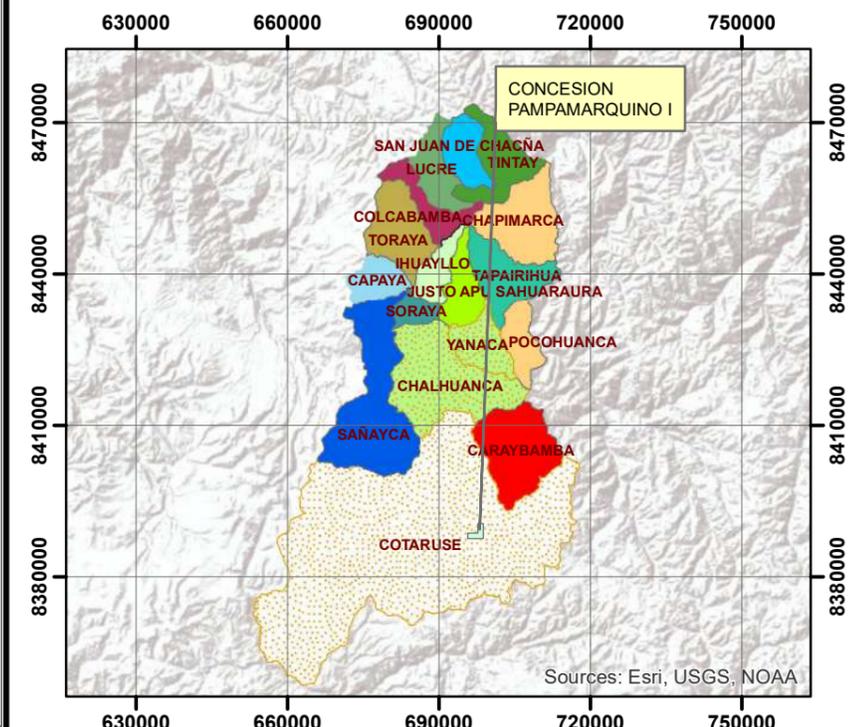
**Figura 64** — Vista en perfil del Nivel 4490 y Pique 8261 para la modelización tomado como referencia el Nivel 4490 y el Pique 8261



**Figura 65** — Vista en planta del Nivel 4490 y Pique 8261 en la modelización en el software Mine Sighth donde se debe exportar en formato DXF para su simulación en el programa Ventsim



MAPA POLITICO DEL PERU  
ESCALA 1:20,000,000



MAPA DE LOCALIZACION DISTRITAL  
ESCALA 1:1,400,000

CUADRO DE COORDENADAS CONCESION PAMPAMARQUINO I		
DATUM WGS - 84 ZONA 18 SUR		
VERTICES	ESTE	NORTE
V-1	698773.23	8390629.77
V-2	698773.26	8387629.74
V-3	695773.32	8387629.75
V-4	695773.31	8388629.76
V-5	697773.27	8388629.75

TOPOGRAFIA:  
ROBERT M. ANAMPA LIMASCCA  
ANALY CRUZ LIMASCCA

DISEÑO:  
ROBERT M. ANAMPA LIMASCCA  
ANALY CRUZ LIMASCCA

REVISADO: Ing. WALQUER  
HUACANI CALSIN

APROBADO:

ASOCIACION DE MINEROS ARTESANALES  
PEPAS DE ORO "PAMPAMARCA"

LAMINA: 01

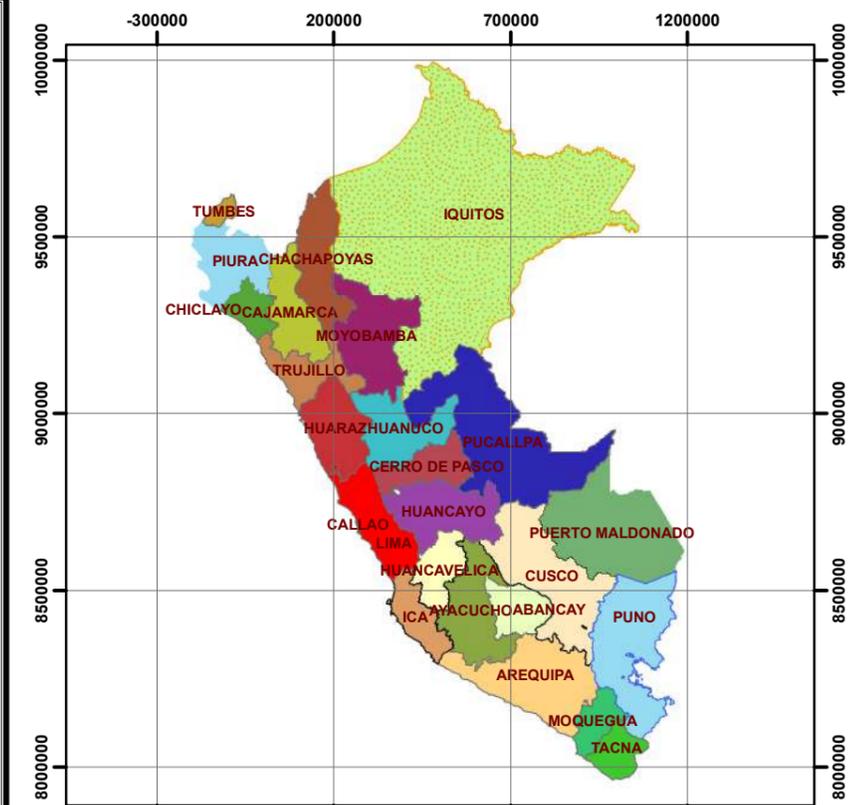
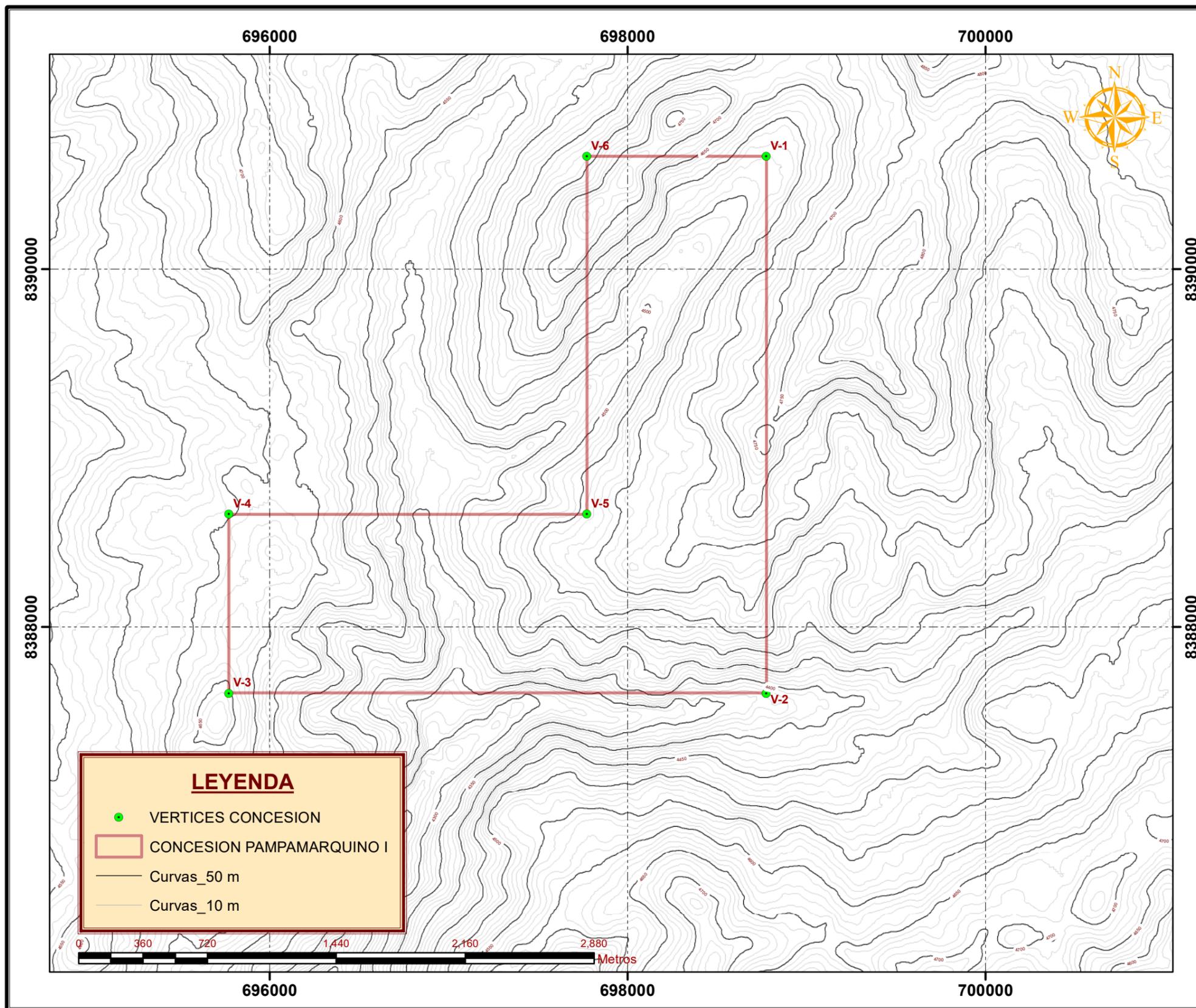
**PLANO DE UBICACION NV\_4490  
VETA CARLOS**

FECHA: SETIEMBRE 2023

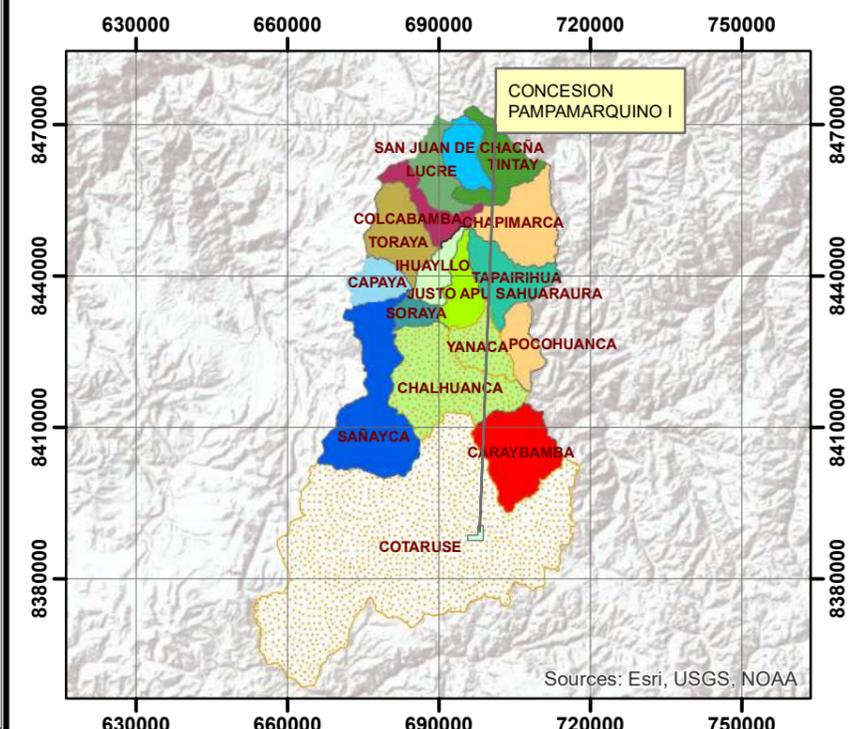
ESCALA: 1: 24,000

ARCHIVO: REPOSITORIO





MAPA POLITICO DEL PERU  
ESCALA 1:20,000,000



MAPA DE LOCALIZACION DISTRITAL  
ESCALA 1:1,400,000

CUADRO DE COORDENADAS CONCESION PAMPAMARQUINO I		
DATUM WGS - 84 ZONA 18 SUR		
VERTICES	ESTE	NORTE
V-1	698773.23	8390629.77
V-2	698773.26	8387629.74
V-3	695773.32	8387629.75
V-4	695773.31	8388629.76
V-5	697773.27	8388629.75

TOPOGRAFIA:  
ROBERT M. ANAMPA LIMASCCA  
ANALY CRUZ LIMASCCA

DISEÑO:  
ROBERT M. ANAMPA LIMASCCA  
ANALY CRUZ LIMASCCA

REVISADO: Ing. WALQUER  
HUACANI CALSIN

APROBADO:

ASOCIACION DE MINEROS ARTESANALES  
PEPAS DE ORO "PAMPAMARCA"

LAMINA: 02

## PLANO TOPOGRAFICO DEL NV\_4490 VETA CARLOS

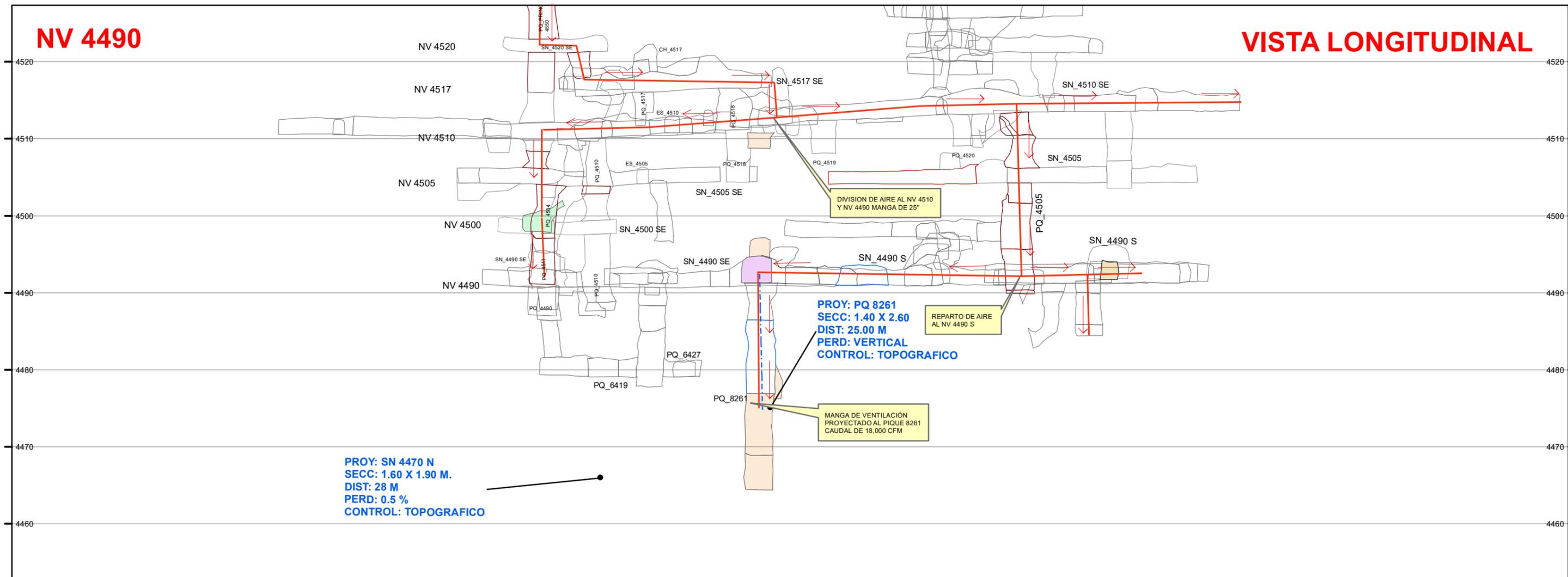
FECHA: SETIEMBRE 2023

ESCALA: 1: 24,000

ARCHIVO: REPOSITORIO

NV 4490

VISTA LONGITUDINAL



PROY: SN 4470 N  
 SECC: 1.60 X 1.90 M.  
 DIST: 28 M  
 PERD: 0.5 %  
 CONTROL: TOPOGRAFICO

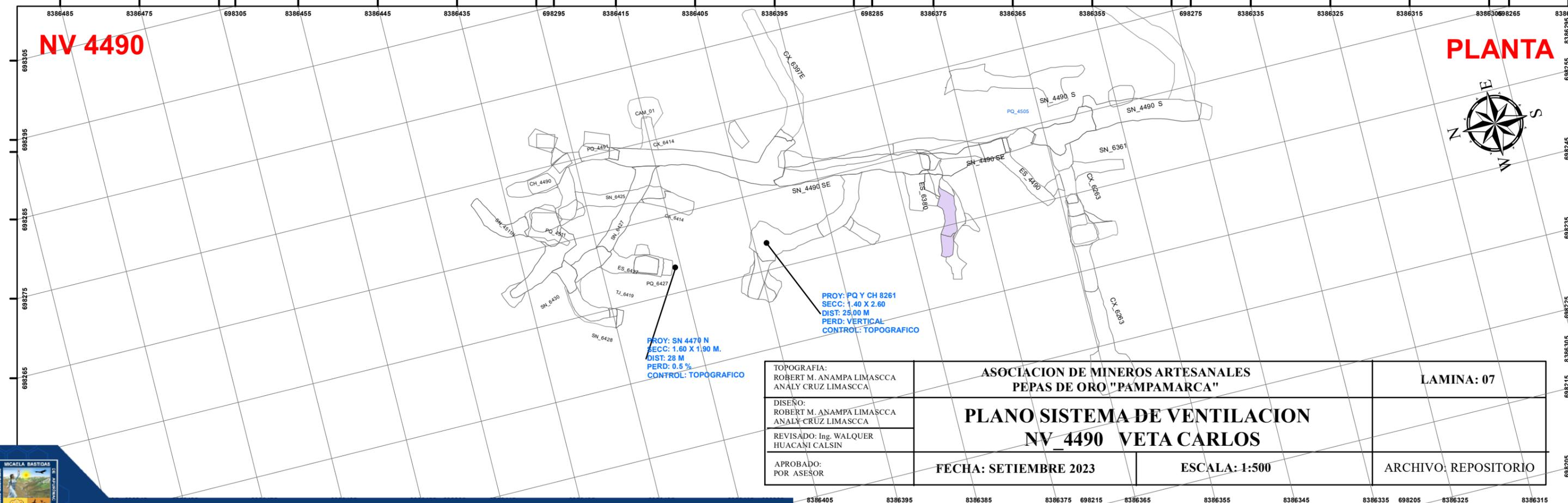
PROY: PQ 8261  
 SECC: 1.40 X 2.60  
 DIST: 25.00 M  
 PERD: VERTICAL  
 CONTROL: TOPOGRAFICO

REPARTO DE AIRE  
 AL NV 4490 S

MANGA DE VENTILACIÓN  
 PROYECTADO AL PIQUE 8261  
 CAUDAL DE 18,000 CFM

NV 4490

PLANTA



PROY: SN 4470 N  
 SECC: 1.60 X 1.90 M.  
 DIST: 28 M  
 PERD: 0.5 %  
 CONTROL: TOPOGRAFICO

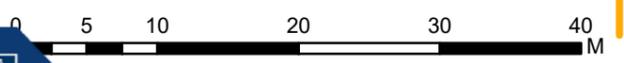
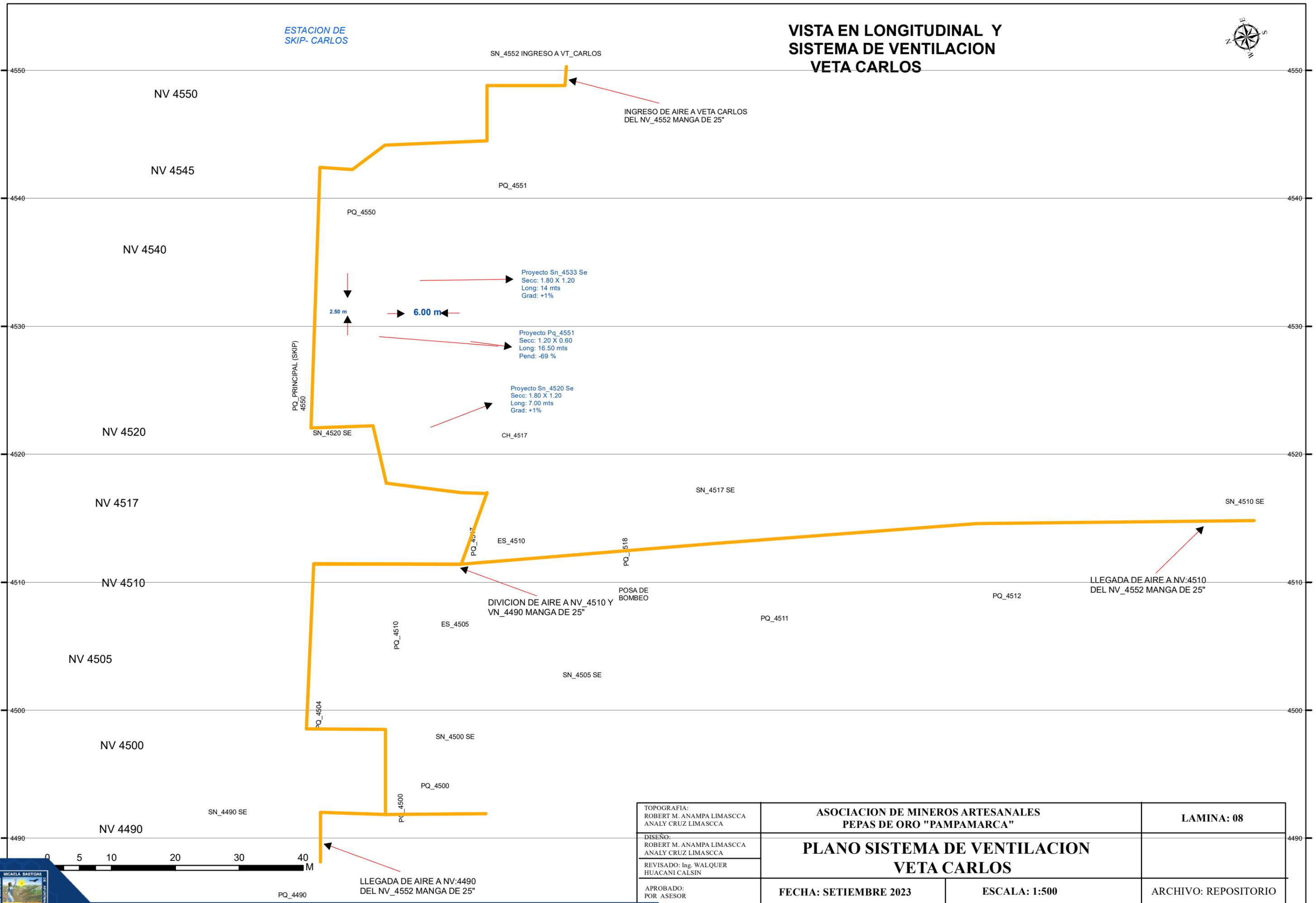
PROY: PQ Y CH 8261  
 SECC: 1.40 X 2.60  
 DIST: 25.00 M  
 PERD: VERTICAL  
 CONTROL: TOPOGRAFICO

TOPOGRAFIA: ROBERT M. ANAMPA LIMASCCA ANALY CRUZ LIMASCCA	ASOCIACION DE MINEROS ARTESANALES PEPAS DE ORO "PAMPAMARCA"		LAMINA: 07
DISEÑO: ROBERT M. ANAMPA LIMASCCA ANALY CRUZ LIMASCCA	<b>PLANO SISTEMA DE VENTILACION          NV_4490 VETA CARLOS</b>		
REVISADO: Ing. WALQUER HUACANI CALSIN			
APROBADO: POR ASESOR	FECHA: SETIEMBRE 2023	ESCALA: 1:500	ARCHIVO: REPOSITORIO



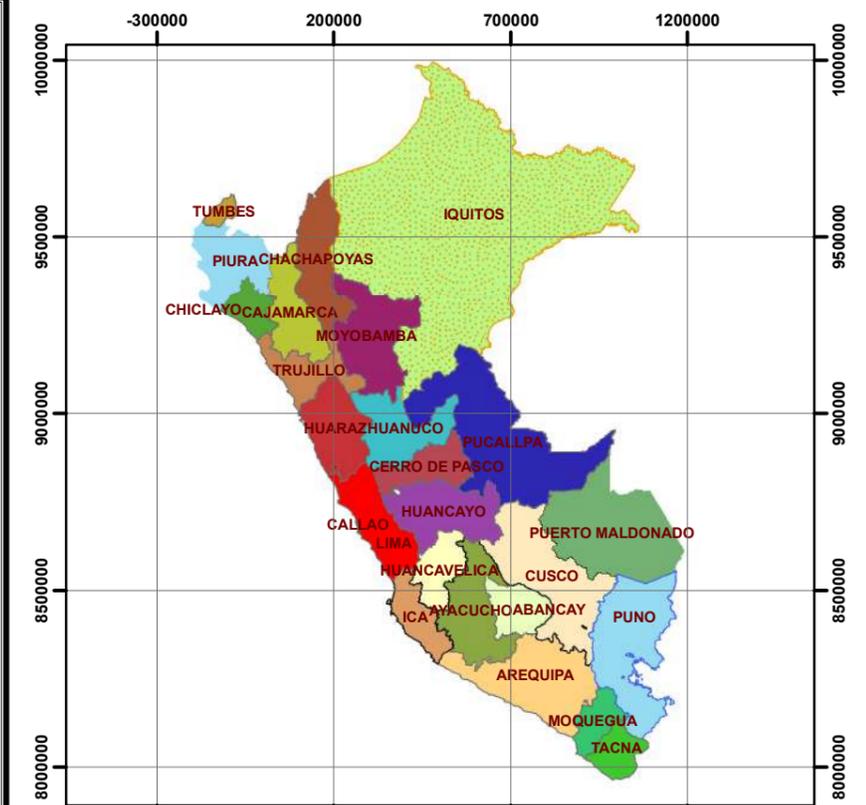
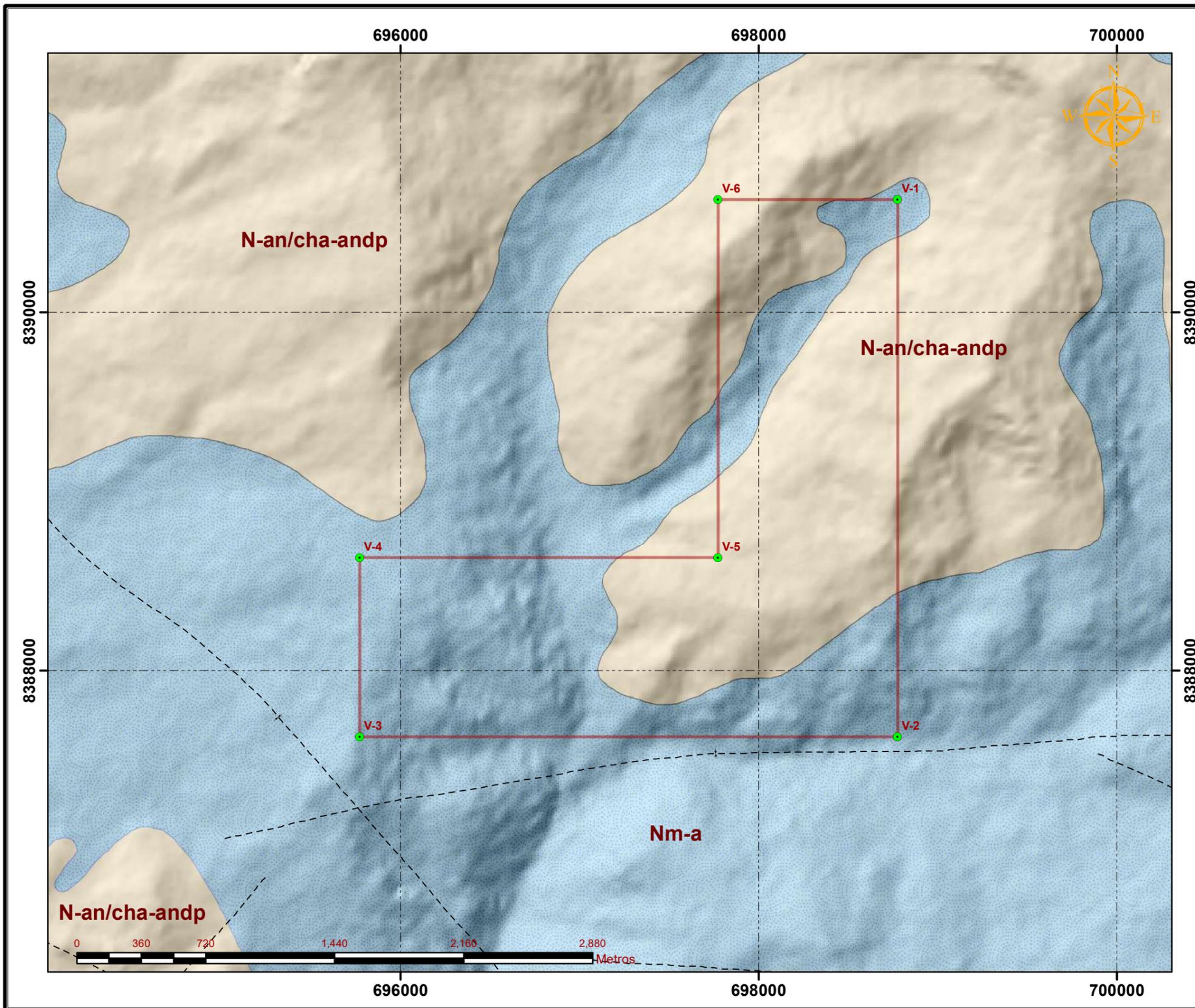
ESTACION DE  
SKIP- CARLOS

# VISTA EN LONGITUDINAL Y SISTEMA DE VENTILACION VETA CARLOS

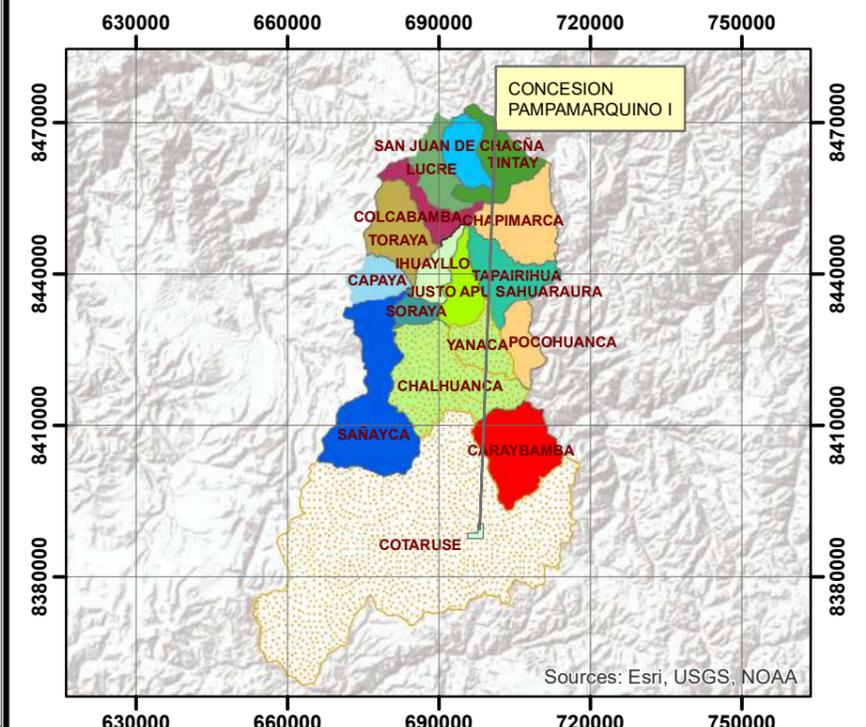


TOPOGRAFIA: ROBERT M. ANAMPA LIMASCCA ANALY CRUZ LIMASCCA	ASOCIACION DE MINEROS ARTESANALES PEPAS DE ORO "PAMPAMARCA"		LAMINA: 08
DISEÑO: ROBERT M. ANAMPA LIMASCCA ANALY CRUZ LIMASCCA	PLANO SISTEMA DE VENTILACION VETA CARLOS		
REVISADO: Ing. WALQUER HUACANI CALSIN			
APROBADO: POR ASESOR	FECHA: SETIEMBRE 2023	ESCALA: 1:500	ARCHIVO: REPOSITORIO





MAPA POLITICO DEL PERU  
ESCALA 1:20,000,000



MAPA DE LOCALIZACION DISTRITAL  
ESCALA 1:1,400,000

LEYENDA	
●	VERTICES CONCESION
- + -	Falla
---▲---	Suzamiento
X	Mina
□	CONCESION PAMPAMARQUINO I
UNIDAD SIMBOLOGIA DESCRIPCION	
□	N-an/cha-andp Formación Andamarca - Chacoma - andesita porfídica
□	Nm-a Formación Aniso

TOPOGRAFIA: ROBERT M. ANAMPA LIMASCCA ANALY CRUZ LIMASCCA
DISEÑO: ROBERT M. ANAMPA LIMASCCA ANALY CRUZ LIMASCCA
REVISADO: Ing. WALQUER HUACANI CALSIN
APROBADO:

<b>ASOCIACION DE MINEROS ARTESANALES PEPAS DE ORO "PAMPAMARCA"</b>		<b>LAMINA: 03</b>
<b>PLANO GEOLOGICO NV_4490 VETA CARLOS</b>		
<b>FECHA: SETIEMBRE 2023</b>	<b>ESCALA: 1: 24,000</b>	<b>ARCHIVO: REPOSITORIO</b>