

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Mejoramiento del sistema de ventilación del nivel 20 zona de cuerpos mineralizados a través de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 de la unidad económica activa americana de la compañía minera Alpayana S. A.-2024.**

Ronny Zuñiga Callupe

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : Oscar Jesús Canchucaja Gutarra  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 3 de Setiembre de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

**Título:**

Mejoramiento del sistema de ventilación del nivel 20 zona de cuerpos mineralizados a través de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 de la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A.- 2024.

**Autores:**

1. Ronny Zuñiga Callupe – EAP. Ingeniería de Minas

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 17 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
  
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI  NO   
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"):2
  
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original**  
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

## **ASESOR**

Ing. Oscar Jesús Canchucaya Gutarra

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al equipo de trabajo y al personal técnico de la Compañía Minera Alpayana S.A. por su colaboración y apoyo durante todo el proceso.

Además, quiero extender mi agradecimiento a todos los participantes y colaboradores involucrados en el proyecto, cuya dedicación y esfuerzo fueron fundamentales para el éxito de esta investigación

Agradezco sinceramente a mi asesor de tesis por su orientación y apoyo.

Por último, agradezco a mis amigos, familiares y participantes del estudio por su respaldo. Su contribución fue fundamental para el éxito de esta investigación.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, cuyo amor, sacrificio y apoyo inquebrantable han sido la luz que me ha guiado en este viaje académico. Su constante aliento y creencia en mí han sido la fuerza motriz detrás de cada logro. Este trabajo es el fruto de su dedicación y amor, y se lo dedico con profunda gratitud y admiración.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ASESOR .....	1
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN .....	xiii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	14
1.1 Planteamiento y formulación del problema .....	14
1.1.1 Planteamiento del problema .....	14
1.1.2 Formulación del problema.....	15
1.2 Objetivos .....	16
1.2.1 Objetivo general .....	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 Justificación e importancia.....	16
1.3.1 Justificación económica.....	16
1.3.2 Justificación tecnológica.....	17
1.3.3 Justificación práctica .....	17
1.3.4 Justificación y limitaciones.....	17
1.4 Hipótesis de la investigación.....	18
1.4.1 Hipótesis general .....	18
1.4.2 Hipótesis específicas.....	18
1.5 Identificación de las variables.....	18
1.5.1 Variable independiente .....	18
1.5.2 Variable dependiente .....	18
1.5.3 Matriz de operacionalización.....	19
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	20
2.1. Antecedentes del problema .....	20
2.2. Bases teóricas .....	24
2.2.1. Ventilación subterránea .....	24
2.2.4. Sistemas de ventilación .....	26
2.2.5. Ventiladores.....	28
2.2.6. Normativa legal .....	31

2.3. Definición de términos.....	35
2.4. Generalidades de la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A.....	36
2.4.1. Ubicación geográfica.....	36
2.4.2. Accesibilidad.....	37
2.4.3. Características topográficas y fisiográficas.....	37
2.4.4. Clima y meteorología.....	38
2.4.5. Geología.....	38
2.4.6. Mineralogía.....	41
2.4.7. Minado de la unidad minera Americana.....	41
2.4.8. Método de explotación.....	41
2.4.9. Planta de beneficio.....	43
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>45</b>
3.1. Métodos de la investigación.....	45
3.1.1. Método general de la investigación.....	45
3.1.2. Diseño de la investigación.....	45
3.1.3. Tipo de investigación.....	46
3.1.4. Nivel de investigación.....	46
3.2. Población y muestra.....	46
3.2.1. Población.....	46
3.2.2. Muestra.....	46
3.3. Técnicas e instrumentos.....	46
3.3.1. Técnicas de recolección de datos.....	46
3.3.2. Instrumentos de recolección de datos.....	47
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>48</b>
4.1. Resultados.....	48
4.2. Cálculo de requerimiento de aire del nivel 20 zona de cuerpos mineralizados.....	53
4.3. Balance general de ventilación del nivel 20.....	56
4.4. Mejoramiento del sistema de ventilación del nivel 20 zona cuerpos mineralizados.....	58
4.5. Cálculo del requerimiento de aire del sistema de ventilación con la instalación del ventilador impelente.....	61
4.6. Aportes de la investigación.....	69
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>70</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>72</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>77</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables .....	19
Tabla 2. Composición del aire atmosférico .....	25
Tabla 3. Principales contaminantes del aire en las minas .....	25
Tabla 4. Factor producción según el consumo de madera .....	33
Tabla 5. Velocidad mínima.....	34
Tabla 6. Rutas para la unidad minera Americana .....	37
Tabla 7. Puntos de monitoreo del Nivel 20 Zona cuerpos mineralizados.....	51
Tabla 8. Ingreso de aire.....	52
Tabla 9. Salida de aire.....	52
Tabla 10. Balance de aire.....	53
Tabla 11. Caudal requerido por número de trabajadores en el Nivel 20.....	53
Tabla 12. Caudal requerido por la cantidad de consumo de madera en el Nivel 20.....	54
Tabla 13. Caudal requerido por temperatura en las labores.....	54
Tabla 14. Caudal requerido por equipo con motor petrolero en el Nivel 20.....	55
Tabla 15. Resumen del requerimiento de aire del Nivel 20.....	55
Tabla 16. Caudal de fugas del nivel 20.....	56
Tabla 17. Caudal total de aire del Nivel 20.....	56
Tabla 18. Balance general de la ventilación del nivel 20.....	57
Tabla 19. Características del ventilador 30,000 cfm del Nivel 20 .....	58
Tabla 20. Datos operativos del RB 424 .....	59
Tabla 21. Estación de monitoreo del Nivel 20 zona cuerpos mineralizados .....	61
Tabla 22. Entrada de aire .....	64
Tabla 23. Salida de aire.....	64
Tabla 24. Balance final de aire .....	66
Tabla 25. Requerimiento de aire .....	67
Tabla 26. Cobertura de aire.....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de ventilación natural.....	26
Figura 2. Sistema de ventilación impelente .....	27
Figura 3. Sistema de ventilación aspirante.....	28
Figura 4. Sistema de ventilación combinado .....	28
Figura 5. Ventilador centrífugo.....	29
Figura 6. Ventilador de hélice.....	29
Figura 7. Ventilador axial .....	30
Figura 8. LMP de exhibición ocupacional para agente químicos .....	32
Figura 10. Columna estratigráfica.....	40
Figura 11. Etapa 1: Modelado del cuerpo mineralizado .....	42
Figura 12. Etapa 2: Perforación de taladros positivos en el nivel inferior .....	42
Figura 13. Diferencia de calidad de roca por zonas .....	43
Figura 14. Levantamiento de ventilación de una labor subterránea.....	50
Figura 15. Ventilador auxiliar AIRTEC de 30,000 cfm del Nivel 20.....	58
Figura 16. Ubicación del RB 424 zona cuerpos GL 280 E-CAM 370 SE.....	59
Figura 17. Comparación del caudal antes y después de la implementación del ventilador .....	62
Figura 18. Comparación de la temperatura antes y después de la implementación del ventilador .....	65
Figura 19. Comparación del caudal total antes y después de la implementación del ventilador .....	68

## RESUMEN

La presente investigación titulada: “Mejoramiento del sistema de ventilación del nivel 20 zona de cuerpos mineralizados a través de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 de la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A.- 2024” tuvo como problema general ¿cómo mejorará el sistema de ventilación del nivel 20 zona cuerpos mineralizados a través de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 en la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A.- 2024? El objetivo general fue determinar cómo mejorará el sistema de ventilación del nivel 20 zona cuerpos mineralizados a través de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 en la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A.-Lima 2024. La hipótesis a probar es: el sistema de ventilación mejorará notablemente por medio de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 en la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A. - 2024. La metodología empleada fue de método científico, diseño experimental con pre y postest, tipo aplicado, nivel explicativo, la población estuvo conformada por los sistemas de ventilación encargados de dirigir el aire desde el Nivel 18 al Nivel 23 dentro del área de cuerpos mineralizados perteneciente a la unidad minera Americana. La investigación llega a la conclusión que la instalación del ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 permitió alcanzar una temperatura de 22.6°C y un caudal de 141,289 CFM, representando una mejora significativa en el sistema de ventilación en comparación con los datos previos a la instalación.

**Palabras clave:** ventilador impelente, temperatura, caudal de flujo.

## ABSTRACT

The present research titled "Improvement of the ventilation system in level 20 of the mineralized body zone through the installation of an impeller fan in Raise Boring 424 chimney of the Active Economic Unit Americana of the Mining Company Alpayana S.A. - 2024", whose general problem was: How will the ventilation system in level 20 of the mineralized body zone improve through the installation of an impeller fan in Raise Boring 424 chimney in the Active Economic Unit Americana of the Mining Company Alpayana S.A. - 2024?, aims to determine the general objective: To determine how the ventilation system in level 20 of the mineralized body zone will improve through the installation of an impeller fan in Raise Boring 424 chimney in the Active Economic Unit Americana of the Mining Company Alpayana S.A. - Lima 2024. The hypothesis to be tested is: The ventilation system will significantly improve through the installation of an impeller fan in Raise Boring 424 chimney in the Active Economic Unit Americana of the Mining Company Alpayana S.A. - 2024. The methodology employed was the scientific method, experimental design with pre and post-test, applied type, explanatory level. The population consisted of the ventilation systems responsible for directing air from Level 18 to Level 23 within the mineralized body area belonging to the Americana mining unit. In conclusion, the installation of the impeller fan in Raise Boring 424 chimney allowed reaching a temperature of 22.6°C and a flow rate of 141,289 CFM, representing a significant improvement in the ventilation system compared to the data prior to installation.

**Keywords:** impeller fan, temperature, flow rate.

## INTRODUCCIÓN

La minería subterránea presenta una variedad de dificultades, donde la gestión efectiva de la ventilación emerge como un elemento vital para asegurar condiciones de trabajo seguras y eficientes. Esta importancia se acentúa en áreas donde la presencia de cuerpos mineralizados incrementa los peligros asociados con la exposición a gases y partículas, sino que también intensifica la necesidad de mantener un caudal de aire apropiado para mantener la seguridad y salud de los colaboradores. Además, la ventilación correcta es un factor crítico para garantizar el adecuado funcionamiento a largo plazo de las operaciones mineras.

La Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A., siendo una mina dedicada a la extracción de diversos minerales de mena como plata, zinc, plomo y cobre, reconoce la vital importancia de su sistema de ventilación. La identificación de deficiencias en dicho sistema resalta la necesidad imperativa de mejorar su funcionamiento, dado que el suministro de aire debe ajustarse a las demandas operativas sin exceder las capacidades proporcionadas por la ventilación existente.

Por lo antes expuesto, el estudio tiene el propósito de determinar cómo mejorará el sistema de ventilación del nivel 20 zona cuerpos mineralizados a través de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 de la unidad minera. Asimismo, el estudio contribuye al conocimiento existente sobre ventilación en la minería subterránea, así como en su aplicación práctica para mejorar las condiciones laborales y operativas.

La investigación comprende cuatro capítulos. El primero se dedica a analizar en detalle la situación a estudiar. El segundo explora el marco teórico, incluyendo las definiciones conceptuales y bases teóricas relevantes para comprender el contexto del estudio. El capítulo tres describe el enfoque metodológico empleado para realizar la investigación. Por último, en el cuarto capítulo se presenta el análisis e interpretación de los resultados obtenidos mediante el mejoramiento del sistema de ventilación en la unidad minera, examinando críticamente los hallazgos y discutiendo sus implicaciones. Terminando con la presentación de las recomendaciones y conclusiones.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1 Planteamiento y formulación del problema**

##### **1.1.1 Planteamiento del problema**

La minería impulsa aproximadamente el 45 % de la actividad económica a nivel mundial, esta cifra abarca no solo la extracción de minerales en sí, sino también la contribución de estos productos a diversas industrias como la agricultura, el suministro de combustible, así como el aporte de carbono y hierro para la fabricación de acero y otros materiales de construcción (1). Sin embargo, en la mayoría de las minas a nivel mundial, la ventilación no está correctamente dimensionada porque no existe un análisis con detenimiento de las demandas reales de flujo de aire (2). En las minas subterráneas se resalta la importancia de la ventilación, puesto que en los entornos subterráneos existe una limitación de aire debido al confinamiento, lo que requiere la implementación de sistemas de ventilación especializados para mitigar las altas temperaturas, eliminar partículas de polvo y gases perjudiciales, y asegurar un ambiente laboral seguro para los trabajadores (3).

En Europa, desde la Grecia antigua ya se empleaban sistemas de ventilación para las operaciones en minas subterráneas, con el objetivo de purificar el aire respirable para los trabajadores y proporcionar un adecuado flujo de aire en los espacios interiores (4). En distintos países se han ido observando una notable reducción en las tasas de accidentes relacionados con la calidad del aire, esto se atribuye a los avances en la tecnología de ventilación y a la implementación de regulaciones más estrictas (5). España, es un país que desde principios ha implementado normas como el Real Decreto 1389/1997 que estipula que en entornos laborales confinados, los trabajadores cuenten con un suministro adecuado de aire limpio, además que todas las actividades subterráneas deben estar debidamente ventiladas para asegurar condiciones óptimas de seguridad y salud (6).

En Latinoamérica y el Caribe, el avance económico ha estado estrechamente ligado al aprovechamiento de las materias primas, en especial en los países como Perú, Bolivia, Colombia, Chile y Ecuador que poseen una abundante riqueza mineral, estos países han aumentado su capacidad de extracción gracias a una mayor apertura en los ámbitos financiero y tecnológico, así como a la implementación de nuevas leyes y regulaciones en el sector minero (7). Como en Chile, donde se impulsa el proyecto Smart Device basado en inteligencia computacional para monitorear en tiempo real el funcionamiento adecuado de los equipos de ventilación en la minería subterránea y anticipar posibles contratiempos, lo que repercute positivamente en la continuidad operativa y en la seguridad del personal minero (8).

En el contexto peruano, la actividad minera ha tenido un rol determinante en el desarrollo económico del Perú, contribuyendo con ingresos fiscales considerables y ofreciendo oportunidades laborales a una amplia cantidad de individuos, además de contar con una la inversión minera de 345 millones de dólares (9). Mejorar el entorno laboral de los trabajadores es fundamental para fomentar el desarrollo en el país, por ello en respuesta a esta necesidad, el Estado peruano ha promulgado normativas y leyes que respaldan la seguridad y salud de los involucrados en estas operaciones, entre estas medidas se encuentra la implementación de sistemas de ventilación adecuados, los cuales cumplen con las regulaciones nacionales y aseguran condiciones laborales óptimas (10).

En el ámbito local, la Unidad Económica Activa Americana perteneciente a la empresa Minera Alpayana S.A., es una mina importante por la extracción de zinc, plomo, cobre y plata, sin embargo, se han identificado deficiencias en el sistema de ventilación que afectan la calidad del ambiente laboral y la eficiencia operativa. Estas deficiencias plantean desafíos específicos que requieren soluciones adaptadas a las condiciones y necesidades locales, lo cual motiva la ejecución de la presente investigación para abordar estas problemáticas de manera integral y efectiva, solucionándolo con una opción sostenible y segura.

## **1.1.2 Formulación del problema**

### **1.1.2.1. Problema general**

¿Cómo mejorará el sistema de ventilación del nivel 20 zona cuerpos mineralizados a través de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 en la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A.- 2024?

### **1.1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo mejorará el caudal de flujo de aire en el nivel 20 zona cuerpos mineralizados a través de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 en la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A. - 2024?
- ¿Cómo mejorará la temperatura en el nivel 20 zona cuerpos mineralizados a través de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 en la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A. - 2024?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Determinar cómo mejorará el sistema de ventilación del nivel 20 zona cuerpos mineralizados a través de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 en la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A.- 2024.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Conocer como mejorará el caudal de flujo de aire de flujo de aire en el nivel 20 zona cuerpos mineralizados a través instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 en la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A. - 2024.
- Conocer como mejorará la temperatura en el nivel 20 zona cuerpos mineralizados a través de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 en la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A. 2024.

## **1.3 Justificación e importancia**

### **1.3.1 Justificación económica**

La justificación económica del estudio se centró en su potencial para optimizar los costos operativos y mejorar la rentabilidad. Al optimizar la ventilación en el nivel 20 de la zona de cuerpos mineralizados, se reducen los gastos asociados con la gestión de la ventilación, como el consumo de energía y el mantenimiento de equipos. Además, al proporcionar un ambiente laboral más seguro y saludable, se minimizan los costos relacionados con accidentes laborales y ausentismo, lo que contribuye a incrementar la eficiencia y productividad en la operación minera. Esta inversión en infraestructura de ventilación tiene el potencial de generar ahorros significativos a largo plazo y fortalecer la habilidad de la empresa para sobresalir en el mercado minero.



### **1.3.2 Justificación tecnológica**

Se justifica tecnológicamente por su inevitabilidad de incorporar alternativas innovadoras para optimizar el entorno laboral en entornos mineros subterráneos. La incorporación de este ventilador impelente representa un avance en la modernización de la infraestructura de ventilación, lo que permite un control preciso y eficiente del flujo de aire en la mina. Esta tecnología garantiza una distribución uniforme del aire fresco, mejorando las condiciones de trabajo y reduciendo los riesgos relacionados con la exposición a contaminantes atmosféricos. Además, la implementación de este tipo de ventilador ofrece una mayor flexibilidad operativa y una capacidad mejorada para adaptarse a las necesidades cambiantes de ventilación en la mina. Por ello, la instalación de este ventilador impelente fortaleció la seguridad, la eficiencia operativa y la competitividad de las operaciones mineras de la compañía.

### **1.3.3 Justificación práctica**

Se justificó de manera práctica porque el estudio tuvo impacto directo en la eficiencia operativa y la seguridad en la mina. Los resultados obtenidos de este estudio ofrecieron un enfoque práctico y viable para futuros proyectos de mejora de la ventilación en entornos mineros similares, lo que contribuye a optimizar la circulación del aire, reducir los riesgos relacionados con gases peligrosos y la falta de oxígeno, aumentar la productividad y minimizar los tiempos de inactividad debido a problemas de salud ocupacional o accidentes laborales. Asimismo, estos hallazgos servirán como referencia para otras operaciones mineras que enfrenten desafíos similares, proporcionando un método práctico y efectivo para perfeccionar los aspectos laborales y asegurar la protección y el bienestar de los trabajadores en la industria minera.

### **1.3.4 Justificación y limitaciones**

- El presente estudio presentó algunas limitaciones:
- La disponibilidad y actualidad de los datos operativos y ambientales para realizar el análisis exhaustivo fueron limitados.
  - La investigación se centró en una solución específica (ventilador impelente), lo que excluyó el análisis de otras tecnologías de ventilación potencialmente beneficiosas.
  - No se abordó completamente las complejidades de escalar la solución a otras áreas de la mina o a diferentes operaciones mineras.
  - Dificultades para aislar y controlar todas las variables que afectaban la eficacia del sistema de ventilación, como cambios geológicos o climáticos.
  - Restricciones regulatorias o normativas que se debieron cumplir antes de implementar cambios en la ventilación.

## **1.4 Hipótesis de la investigación**

### **1.4.1 Hipótesis general**

El sistema de ventilación mejora notablemente por medio de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 en la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A. - 2024.

### **1.4.2 Hipótesis específicas**

- El caudal de aire mejora notablemente por medio de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 en la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A. - 2024.
- La temperatura mejora notablemente por medio de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 en la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A. - 2024.

## **1.5 Identificación de las variables**

### **1.5.1 Variable independiente**

Instalación de un ventilador impelente

### **1.5.2 Variable dependiente**

Sistema de ventilación

### 1.5.3 Matriz de operacionalización

**Tabla 1. Operacionalización de variables**

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
VD: Sistema de ventilación	El sistema de ventilación se define como la generación de un caudal de aire adecuado para proporcionar un ambiente adecuado para los trabajadores y puedan llevar a cabo su trabajo en un entorno seguro y limpio (11).	Este sistema debe cumplir varios requisitos para ser óptimo, lo cual requiere analizar el caudal de aire, la disipación de gases tóxicos, la velocidad del aire y la temperatura del entorno.	Caudal de aire	CFM m <sup>3</sup> /s
			Gases: CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> y O <sub>2</sub> ,	ppm %
			Temperatura	°C
			Velocidad	m/min
VI: Instalación de un ventilador impelente	El ventilador impelente es un dispositivo que transporta el aire fresco hacia el área de ventilación mediante un ventilador auxiliar y un conducto, y expulsa el aire ya viciado por la galería (12).	Para el mejoramiento del sistema de ventilación, es fundamental que el ventilador instalado cumpla con ciertos criterios, tales como la potencia y el caudal generado, esto permite realizar un análisis para determinar si se ha logrado una optimización del sistema.	Potencia	HP
			Caudal generado	m <sup>3</sup> /s CFM

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del problema**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

Vives et al. (2022) ejecutaron un estudio denominado: “Estudio mediante mecánica de fluidos computacional (CFD) para optimizar el sistema de ventilación auxiliar en una mina subterránea”. El propósito fue perfeccionar la ventilación secundaria en las minas subterráneas a través de la modelación. La metodología aplicada se fundamentó en principios científicos con una perspectiva explicativa. Los hallazgos demostraron un deterioro progresivo de las condiciones conforme el ducto se extiende desde el frente de trabajo, y que la posición del ducto en relación con la sección transversal es influenciada por factores como la temperatura, la zona específica del frente y velocidad del aire. Se concluyó, que el modelo desarrollado es efectivo para identificar oportunidades de optimización del sistema de ventilación secundario y para evaluar situaciones prospectivas. Así, se establece como una herramienta valiosa para la elección de la configuración del sistema de ventilación secundario (13).

Valarezo (2020), en su tesis titulada: “Diseño del sistema de ventilación en la concesión minera Cebral y diseño del sistema de desagüe en la concesión minera R-Nivel, Zaruma - El Oro”, buscó identificar un sistema de ventilación apropiado para satisfacer las exigencias de la unidad minera Cebral y buscar un sistema de drenaje eficaz para la mina R-Nivel. Se aplicó un enfoque exploratorio mediante un diseño experimental. Los resultados derivados de los análisis de las dimensiones de la turbina, del consumo total de aire y el diámetro de la tubería indicaron un desplazamiento de 775, 84 m de la columna de aire. Se concluyó que la ventilación principal actual logra un mayor flujo de aire, lo que facilita las actividades subterráneas de la mina (14).

Rivera (2020), realizó una investigación denominada: “Análisis del circuito de ventilación mediante simulación con Ventsim de una mina subterránea de carbón”. E propósito fue realizar simulaciones tridimensionales del sistema de ventilación minero para valorar su rendimiento. Se siguió una metodología explicativa con un diseño experimental y se recabaron datos a través de observaciones directas en el sitio. Los resultados fueron clave para la creación de un modelo 3D en VentSim del caso estudiado, lo cual confirmó la robustez del modelo para examinar la ventilación. Se concluyó que el sistema satisfacía las exigencias legales de flujo de inyección, superando en un 20% el caudal necesario, tanto en las condiciones actuales como en las proyectadas para el futuro de la mina (15).

Mejía, Morales y Chacha (2019) presentaron un artículo denominado: “Sistema de ventilación para labores subterráneas de la empresa PRODUMIN S.A.”, tuvieron como objetivo integrar para las operaciones subterráneas una ventilación adecuada. Se adoptó una metodología exploratoria con perspectiva inductiva, en la misma área de estudio se realizó la recopilación de información, incluyendo las variaciones de temperatura, la emisión constante de gases tras las detonaciones y la generada por el equipo pesado. Los hallazgos demostraron que era necesario un caudal de aire de 16,67 m<sup>3</sup>/min para la eliminación de gases tóxicos, mientras que para un total de 200 trabajadores el caudal ideal fue de 317,52 m<sup>3</sup>/min. Los investigadores concluyeron que es necesario instaurar un renovado sistema de ventilación combinado, que integre ventiladores impelentes y aspirantes, extractores y ductos, para asegurar un ambiente laboral seguro en la minería (16).

Rebolledo (2019) realizó la investigación denominada: “Propuesta de ventilación para Minera Blanco III, Comuna de Los Vilos” con la finalidad de desarrollar un sistema de ventilación para solucionar las deficiencias de la mina subterránea Blanco III. Se adoptó un enfoque explicativo con un diseño experimental. Los hallazgos indicaron que el caudal de aire existente dentro de la mina era 16,258 m<sup>3</sup>/s en contraste con el flujo ideal de 23,75 m<sup>3</sup>/s para las operaciones, resultando en un déficit de 7,49 m<sup>3</sup>/s. Se concluyó que la deficiencia de ventilación podía resolverse con la instalación de un ventilador axial, el cual incrementaría el flujo de aire en un 5% adicional, alcanzando así 25 m<sup>3</sup>/s más (17).

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Cieza y Rabines (2023) presentaron una tesis titulada: “Diseño de un sistema de ventilación para la optimización de la calidad de aire en la Mina Sirius Alfa – Pátapo”. Se propusieron mejorar la ventilación en la mina mediante el uso de un modelado. La investigación fue de carácter aplicado y se utilizó un diseño experimental descriptivo. Los hallazgos después de la revisión de documentos indicaron una insuficiencia en el abastecimiento de aire en la zona de

producción, lo que llevó a simular una red de ventilación con Ventsim, estableciendo una demanda de aire de 14,670.42 cfm. La implementación de un ventilador axial Ktperú modelo AVM-540-350-10, con capacidad de 10,000 CFM, resultó en un flujo de aire mejorado de 15,158.4 cfm. Se concluyó que este modelo de ventilador es el adecuado para solucionar las deficiencias de la mina contribuyendo así a la eficiencia laboral y al bienestar de los trabajadores (18).

Cruz y Cotrina (2022) en su trabajo titulado: “Diseño del sistema de ventilación para mejorar la circulación del aire y la dilución de gases en el nivel 4049 de una unidad minera del Distrito de Buldibuyo 2020” se centraron en elaborar un circuito de ventilación avanzado para incrementar el flujo de aire y disminuir todos los gases tóxicos presentes en la operación minera. La estrategia metodológica fue cuantitativa, orientada a la aplicación práctica con un propósito explicativo y se basó en un diseño experimental. Los resultados de las pruebas simuladas revelaron que el sistema diseñado asegura una admisión de aire limpio de 6,8 m<sup>3</sup>/s (14,408.52 CFM) y una descarga de aire impuro de 5,2 m<sup>3</sup>/s (11,018.28 CFM). Se concluyó que el modelo propuesto facilita la mejora en el movimiento del aire y la neutralización de gases, incorporando un ventilador auxiliar con un flujo de 408 m<sup>3</sup>/min (15,000 CFM) que funciona mediante un proceso impelente (19).

Zavala (2022) en su estudio denominado: “Evaluación del sistema de ventilación para mejorar deficiencia de aire en mina Antapite de Empresa Sierra Antapite S.A.C. 2022” se propuso analizar la influencia del sistema de ventilación para la corrección del déficit del caudal de aire en interior mina. Se utilizó el método científico, con un enfoque aplicado, descriptivo y explicativo, y un diseño descriptivo comparativo. Los hallazgos después de la evaluación de los circuitos y ventiladores actuales revelaron que el flujo de aire óptimo deber ser 172,111 cfm y la emisión de gases es de 66,934 cfm, resultando en una eficacia del sistema de solo el 39%. Se determinó que, bajo las condiciones actuales, la evacuación del aire contaminado toma 2 horas y 30 minutos, mientras que con el sistema mejorado se reduciría a 1 hora y 40 minutos, lo que representa una disminución del 33.33 %. Se concluyó que la instalación de ventiladores auxiliares mejorará significativamente el caudal de aire y la eliminación de gases, beneficiando así el rendimiento laboral de los trabajadores (20).

Huamaní (2020), en su investigación titulada: “Mejoramiento del sistema de ventilación subterránea de la mina Condor IV, minera el palacio del Cóndor S.A.C.” se propuso identificar el diseño más efectivo y el método de ventilación más eficiente. La metodología utilizada fue de alcance explicativo y con un diseño experimental, para realizar un análisis exhaustivo del aire, concentración de gases, temperatura y niveles de polvo dentro de la mina para

posteriormente ser procesados utilizando el software Ventsim 5.4. Los hallazgos obtenidos a través de la modelización indicaron que es más adecuado implementar una ventilación impelente para mejorar el sistema actual, utilizando bifurcaciones con mangas que disminuyen en 10 pulgadas con la forma de “T” dirigidas hacia las chimeneas permitiendo alcanzar un caudal de entrada de aire de 13,237cfm y flujo de salida de 13,397 cfm. Se concluyó que la implementación de la ventilación impelente contribuyó en la optimización en la seguridad laboral, incrementar las actividades en la mina y mantener condiciones ambientales óptimas en las áreas de trabajo subterráneas (21).

Raico (2019) realizó la investigación titulada: “Evaluación y optimización del sistema de ventilación del túnel de exploración Chaquicocha nivel 3750 - Minera Yanacocha, 2018” para contribuir con el mejoramiento de todo el sistema de ventilación existente. Utilizando un enfoque deductivo y un diseño experimental transversal de nivel correlacional, instaló un sistema de ventilación impelente-aspirante. Los hallazgos revelaron que la nueva ventilación presentó un caudal de aire de 129 %, verificada mediante el software Ventsim, que indicó una variación en el caudal de aire dentro del rango del 2.0% al 5.2%. El autor concluyó, que la introducción de este nuevo sistema de ventilación resultaría en un aumento del flujo de aire, lo que beneficiaría en la salud y seguridad de los colaboradores y la productividad en la operación minera subterránea (22).

### **2.1.3. Antecedentes locales**

Ccanque (2023) en su investigación titulada: “Optimización del sistema de ventilación a corto plazo mediante la construcción de Raise Boring - CIA Minera Alpayana S.A. - Lima” tuvo como propósito la optimización del sistema de ventilación beneficiar a las condiciones ambientales en el área de los cuerpos mineros. Se adoptó una metodología aplicada con un enfoque explicativo y la recopilación de datos se realizó directamente en el terreno. Los hallazgos indicaron que el sistema de ventilación previo alcanzaba un 89 % de efectividad, con una deficiencia de 143 106,73 cfm, resultando insuficiente para eliminar el calor y los contaminantes químicos producidos por las explosiones y la maquinaria diésel, pero tras la implementación del Raise Boring, se logró aumentar la eficiencia a un 98.7 %, con una disminución en la pérdida de flujo a 19,427.20 cfm. Se concluyó que la introducción del proyecto contribuiría a mejorar los estándares de seguridad, el rendimiento de la maquinaria diésel en las minas y a reducir los costos asociados a las labores de ventilación no previstas (23).

Lozano (2019) realizó una investigación denominada: “Incremento de capacidad de ventilación en zonas de Cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.” donde se enfocó en desarrollar

una técnica de mejora para la ventilación enfocándose en el área de extracción. Se utilizó una metodología aplicada, cuantitativa y de nivel explicativo. Los resultados mostraron que el sistema de ventilación actual tenía un ingreso de aire limpio de 538,009cfm y 569,543cfm de salida del aire polucionado, lo que equivale a solo el 53% del aire necesario. Tras un análisis detallado, se determinó que el requerimiento de aire diario es de 1015,113 cfm y con la construcción del Raise Boring RB 02 con una longitud de 502,4 m, se alcanzó una eficiencia del 97 %. Se concluyó que el proyecto es altamente efectivo para mitigar la escasez de aire en interior mina (24).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Ventilación subterránea**

Se refiere a la generación de una entrada de aire que permita mantener para los trabajadores un adecuado ambiente de trabajo y puedan desempeñar sus labores en un entorno limpio y seguro, libre de gases nocivos, este proceso implica establecer un circuito de circulación del aire que abarque todas las zonas de trabajo de la mina, para ello, es esencial contar con al menos dos accesos independientes, como dos pozos, dos socavones o una combinación de ambos (11).

La ventilación en minas implica el uso de principios mecánicos sobre fluidos de aire dentro de excavaciones subterráneas con el propósito de administrar las condiciones atmosféricas dentro de la mina y mantenerlas dentro de rangos adecuados, esta práctica es crucial para proporcionar seguridad al personal al reducir o eliminar los peligros de accidentes y desastres subterráneos, al mismo tiempo que optimiza considerablemente la eficiencia de las labores mineras (25).

El responsable de la actividad minera debe garantizar la ventilación adecuada en las áreas de trabajo, solucionando los requerimientos de los trabajadores y equipos, así como para disipar cualquier gas, humo o polvo suspendido que pueda ser perjudicial para la salud, es esencial que los sistemas de ventilación en la minería mantengan el nivel de pureza del aire dentro de los parámetros establecidos por el D.S. N°015-2005-SA (10).

### **2.2.2. Atmósfera en mina**

Es el aire que se encuentra en interior mina o se origina mediante una explotación de minerales a cielo abierto que tiene una mezcla de componentes que incluye gases, polvo y partículas, como resultado directo de las operaciones mineras llevadas a cabo en ese entorno (25).

#### **2.2.2.1. El aire en mina**



El aire que usualmente se encuentra en la atmósfera es una amalgama de gases, donde el oxígeno y el nitrógeno son los más abundantes. Aun así, también incluye vapor de agua CO<sub>2</sub> y pequeñas cantidades de gases poco comunes como el helio, argón, criptón y neón (25) como se ilustra en la Tabla 2.

**Tabla 2. Composición del aire atmosférico**

Composición del aire atmosférico		
Gas	% en volumen	% en peso
Nitrógeno	78.09	75.53
Oxígeno	20.95	23.14
Anh. Carbónico	0.03	0.05
Argón y otros	0.93	1.28

*Tomada de Introducción a la ventilación minera, Herrera*

De igual manera, el aire presente en el entorno minero contiene otras sustancias contaminantes provenientes de diversas fuentes, tales como los humos y gases producidos por las explosiones, los gases emitidos por las formaciones geológicas y el polvo generado por las operaciones mineras (11). Los principales contaminantes de la atmosfera minera se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3. Principales contaminantes del aire en las minas**

Principales contaminantes	
Fórmula	Nombre
NO-NO <sub>2</sub>	Gases nitrosos
CO	Monóxido de carbono
SO <sub>2</sub>	Anhídrido sulfuroso
H <sub>2</sub> S	Ácido sulfhídrico
CH <sub>4</sub>	Metano
CO <sub>2</sub>	Gas carbónico
-	Radón y minerales radiactivos
-	Polvos de roca

*Tomada y adaptada de Guía de seguridad para ventilación de minas subterráneas, Positiva Compañía de seguros (11), 2017*

#### 2.2.2.2. Clasificación de gases

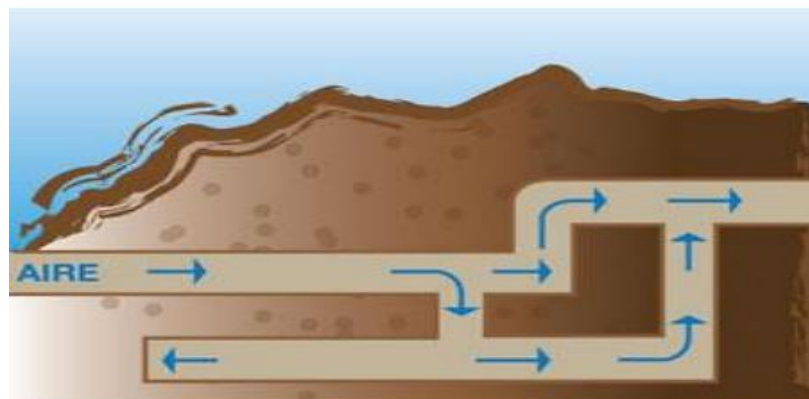
a) Gases tóxicos: este reduce el nivel de O<sub>2</sub> al ingresar al cuerpo (11).

- b) Gases asfixiantes: generan una merma en la cantidad de  $O_2$  presente en el aire al ocupar una porción del espacio atmosférico en la zona (11).
- c) Gases explosivos: originan consecuencias adversas como envenenamiento, intoxicación y daño tisular, además de que con la combinación con el aire puede desencadenar una explosión ante la presencia de una chispa (11).

### 2.2.3. Métodos de ventilación de minas subterráneas

#### 2.2.3.1. Ventilación natural

Sistema de ventilación de doble acceso que se caracteriza por tener dos puntos designados para el introducción y salida de aire, esta circulación se logra aprovechando la variación de altitud para formar un volumen de aire natural, provocado por la disparidad de densidades entre el aire dentro de la mina y el que está en el exterior. Por lo tanto, este método no requiere la utilización de dispositivos mecánicos o eléctricos, como ventiladores o extractores (26).



*Figura 1. Esquema de ventilación natural*  
*Tomada de la Guía metodológica para proyectos de ventilación de minas, SERNAGEOMIN (12), 2008*

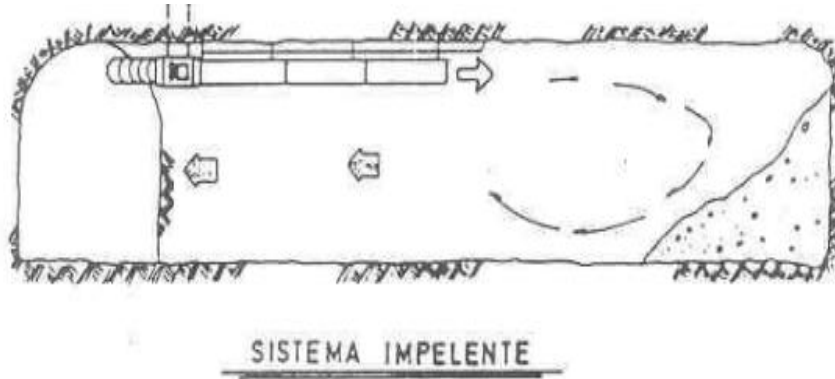
#### 2.2.3.2. Ventilación auxiliar

Es el sistema de ventilación que, mediante el empleo de conductos y ventiladores adicionales, proporcionan ventilación a áreas específicas dentro de las minas subterráneas, estos sistemas se distinguen por utilizar circuitos diseñados para introducir aire fresco y extraer el aire contaminado, complementando de esta manera al sistema principal de ventilación. También se aplica para el trabajo en túneles desde la superficie, incluso si no se dispone de un sistema de ventilación general (12).

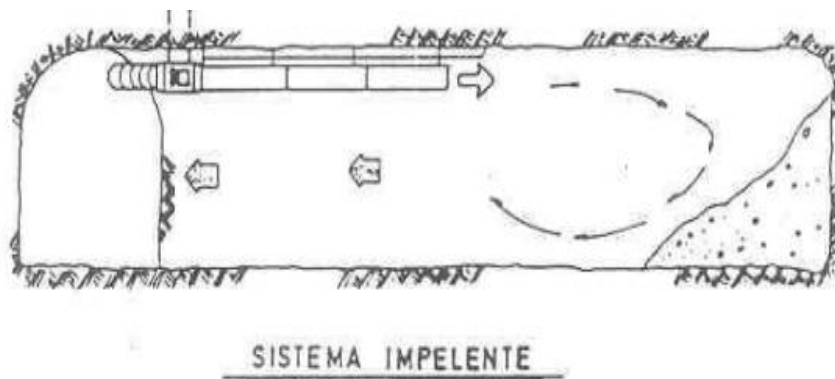
### 2.2.4. Sistemas de ventilación

- a) Sistema de ventilación impelente. Se transporta todo el aire limpio hacia el área de ventilación a través de un ventilador auxiliar y un conducto. Sus ventajas incluyen una

instalación sencilla, el uso de conductos flexibles fáciles de manejar y un costo más económico. Sin embargo, una desventaja es que el aire contaminado debe retornar por la misma galería, lo que puede provocar problemas como la presencia de polvo o contaminantes para las personas presentes en la zona (

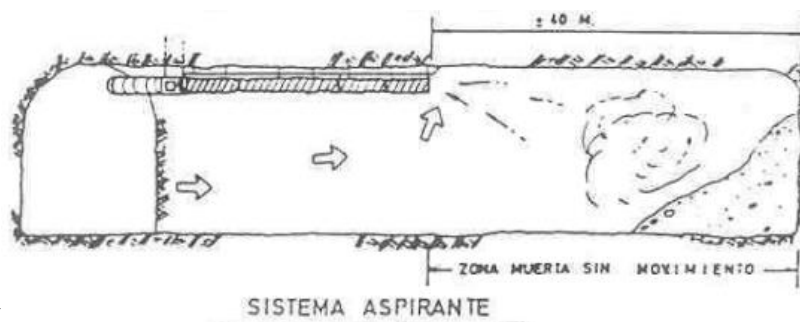


b) Figura 2) (12).

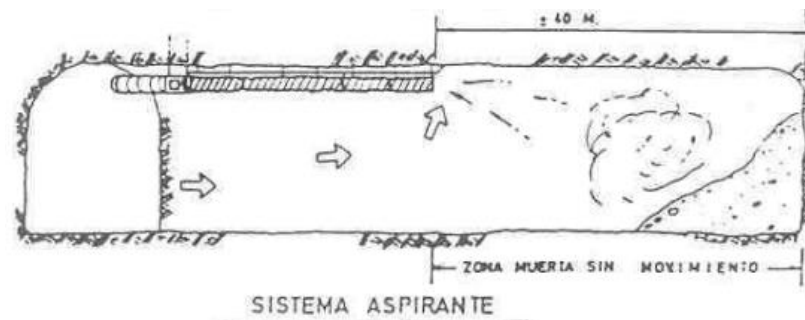


**Figura 2.** Sistema de ventilación impelente  
 Tomada de la Guía metodológica para proyectos de ventilación de minas, SERNAGEOMIN (12), 2008

c) Sistema de ventilación aspirante. Por el frente del túnel a través de la galería entra el aire limpio, mientras que el aire contaminado es retirado por medio de los ductos de ventilación. Se prefiere este sistema, aunque se requieren dispositivos adicionales para extraer el aire estancado, que está ubicado entre el extremo del conducto de aspiración y el frente del túnel

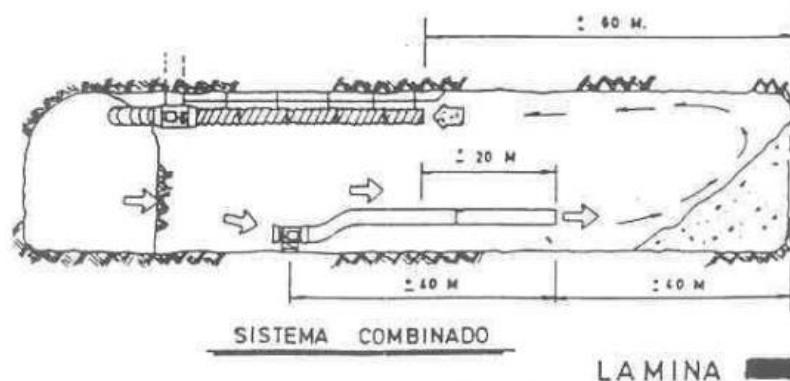


d) Figura 3) (11).



**Figura 3. Sistema de ventilación aspirante**  
*Tomada de la Guía metodológica para proyectos de ventilación de minas, SERNAGEOMIN (12), 2008*

e) Sistema combinado (impelente- aspirante). Este sistema utiliza 2 redes de conductos: uno es para la extracción del aire y otro para la inyección de aire limpio hacia el frente de avance. Esta disposición combina las ventajas de los dos tipos básicos de sistemas, garantizando una constante renovación de aire limpio en la galería y el frente de trabajo, así como una rápida eliminación de los gases generados por las explosiones. No obstante, su principal inconveniente radica en su mayor costo tanto de instalación como de mantenimiento (Figura 4) (11).



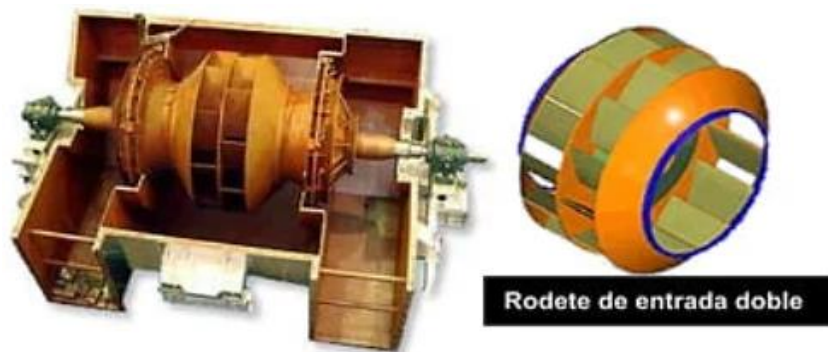
**Figura 4. Sistema de ventilación combinado**  
*Tomada de la Guía metodológica para proyectos de ventilación de minas, SERNAGEOMIN (12), 2008*

## 2.2.5. Ventiladores

### 2.2.5.1. Ventilador centrífugo

Este aparato consta de un rotor situado dentro de una estructura espiral. Paralelamente al eje del ventilador, el aire limpio entra y mediante el centro del rotor, es atraído por este y luego dirigido hacia la estructura. Estos dispositivos se manejan bajo un flujo radial, indicando que

el recorrido del aire es paralelo al eje del rotor al entrar y se torna perpendicular al mismo al salir (Figura 5) (27).



*Figura 5. Ventilador centrífugo  
Tomada de Ventilación de minas, Zitrón (27), 2010*

### **2.2.5.2. Ventilador de hélice**

Se compone de un rotor ubicado en una carcasa con forma anular. El flujo de aire se mueve en paralelo a la dirección del eje del ventilador. Es ideal para sistemas con baja resistencia, ya que puede mover grandes cantidades de aire a baja presión estática (Figura 6) (27).



*Figura 6. Ventilador de hélice  
Tomada de Ventilación de minas, Zitrón (27), 2010*

### **2.2.5.3. Ventilador axial**

Un ventilador axial se distingue por su diseño optimizado para la aerodinámica, compuesto esencialmente por un rotor dentro de una estructura cilíndrica. Al añadir álabes-guía tras el rotor, se transforma en un ventilador turbo-axial. Este dispositivo es versátil, operando con una amplia gama de cantidades presiones estáticas y de aire, y es capaz de generar presiones más altas sin sacrificar eficiencia. Los álabes-guía, situados en la entrada, salida o ambas, sirven para orientar el flujo de aire y brindar estabilidad estructural al conjunto (

**Figura 7) (27).**



*Figura 7. Ventilador axial*  
*Tomada de Ventilación de minas, Zitrón (27), 2010*

#### **2.2.5.4. Comparación de ventiladores centrífugos y ventiladores axiales**

- Un ventilador axial permite una regulación más flexible que un ventilador centrífugo. Esto se logra mediante ajustes en la esquina de los álabes y la rapidez de rotación, gracias al uso de un variador de frecuencia. En contraste, la regulación de un ventilador centrífugo se basa únicamente en la velocidad, lo que implica que cambiar el punto de funcionamiento requiere aumentar la resistencia del circuito y, por ende, la potencia necesaria (27).
- Los ventiladores axiales suelen ofrecer un desempeño mecánico más eficiente que los centrífugos. La razón es que, en los ventiladores centrífugos, el movimiento se transfiere del motor al impulsor a través de correas o sistemas de transmisión similares, lo que introduce complicaciones mecánicas adicionales y pérdidas de rendimiento. Esta complejidad también puede aumentar la frecuencia de problemas de vibración en los ventiladores centrífugos (27).
- Los ventiladores centrífugos están sujetos a inconvenientes de transmisión tales como desplazamiento de la correa y tensión excesiva, lo que puede perjudicar los rodamientos. También corren el peligro de que las correas se rompan bajo condiciones de temperaturas extremas (27).
- En términos de espacio físico, los ventiladores axiales requieren menos espacio que los centrífugos para lograr las mismas características de presión y caudal. Esto se debe a que los ventiladores axiales pueden utilizar motores de mayor velocidad, mientras que los ventiladores centrífugos necesitan cimentaciones más grandes, lo que aumenta el costo de instalación (27).

- Los ventiladores centrífugos pueden experimentar problemas de desequilibrio y vibraciones debido a la acumulación de agua en los huecos del rodete mientras trabajan, lo que no suele ser un problema en los ventiladores axiales (27).

## **2.2.6. Normativa legal**

### **a) Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería**

El Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, establecido mediante D.S-024-2016-EM y sus enmiendas según el D.S-023-2017-EM, aborda aspectos relativos a las responsabilidades y compromisos de los titulares mineros, así como a la administración de todas las consideraciones de la seguridad y salud laboral en las labores mineras (10).

Este reglamento, desde el artículo 246 al 259 menciona que la ventilación en la actividad minera es esencial para asegurar condiciones seguras y saludables para los trabajadores y para mantener la eficiencia de los equipos. Es esencial asegurar una provisión adecuada de aire puro que satisfaga las demandas tanto del personal como del equipo, removiendo gases, vapores y partículas en suspensión que resulten nocivos para la salud. Los sistemas de ventilación tienen que observar los parámetros de exposición laboral a sustancias químicas y garantizar un flujo constante de aire fresco en todas las áreas de trabajo subterráneas. Además, se requiere realizar mediciones periódicas de gases y otros parámetros, dividir los sistemas de ventilación para evitar la recirculación de aire, y utilizar ventilación mecánica cuando sea necesario. También se especifican medidas de seguridad para equipos con motores petroleros, evaluaciones integrales del sistema de ventilación, y disposiciones para minas de carbón, incluyendo el manejo de gases y la clasificación de zonas de trabajo como “gaseadas” (10).

### **b) Límites de exposición ocupacional para agentes químicos en el aire**

Los LMP para agentes químicos presentes en el aire está establecido por el D.S. 015-2005-SA, los cuales deben ser respetados en toda actividad minera (Figura 8).

- TWA: La media ponderada en el tiempo se emplea para evaluar la exposición promedio a distintas concentraciones durante la jornada de trabajo completa. Es necesario recalibrar los límites de TWA de 8 horas para que se adecuen a jornadas laborales de duración variable. (10).
- STEL: La exposición de corta duración se refiere a los máximos permitidos para exposiciones breves, típicamente de 15 minutos. Este parámetro se mide contra el promedio ponderado durante un período continuo de 15 minutos. No se debe sobrepasar la exposición a altas concentraciones durante más de 15 minutos y está limitada a un máximo de cuatro ocasiones por día laboral, con un intervalo mínimo de una hora entre cada exposición (10).

- C: Techo de exposición. es el límite que nunca debe ser superado en ningún momento (10).

Nº	Agentes Químicos (en el aire)	Límites de Exposición Ocupacional		
		TWA	STEL	Techo (C)
1	Acetona	500 ppm	750 ppm	
2	Ácido Acético	10 ppm	15 ppm	
3	Ácido Clorhídrico			2 ppm
4	Ácido Nítrico	2 ppm	4 ppm	
5	Ácido Sulhídrico (H2S)	10 ppm	15 ppm	
6	Amoniaco Anhidro	25 ppm	35 ppm	
7	Anhidrido Sulfuloso (SO2)	2 ppm	5 ppm	
8	Antimonio	0.5 mg/m <sup>3</sup>		
9	Arseniato de Plomo	0.15 mg/m <sup>3</sup>		
10	Arseniato de Calcio	1 mg/m <sup>3</sup>		
11	Arsénico (can)	0.01 mg/m <sup>3</sup> A1		
12	Benceno (can)	0.5 ppm (p)		
13	Cianuro (Como CN)			5 mg/m <sup>3</sup> (p)
14	Cianuro de Hidrogeno (HCN)			4.7 ppm(p)
15	Cloro	0.5 ppm	1 ppm	
16	Clorobenceno	10 ppm	20 ppm	
17	Cloroformo	10 ppm		
18	Cobre (humo)	0.2 mg/m <sup>3</sup>		
19	Cobre (polvo/neblina)	1 mg/m <sup>3</sup>		
20	Dióxido de Carbono	5000 ppm	30000 ppm	
21	Dióxido de Nitrógeno	3 ppm	5 ppm	
22	Éter Etilico	400 ppm	500 ppm	
23	Fluoruro de Hidrogeno (HF)			2.5 mg/m <sup>3</sup>
24	Formaldehido			0.3 ppm
25	Fosgeno	0.1 ppm		
26	Gasolina	500 ppm		
27	Hidrógeno (H)			5000 ppm
28	Humo de Cadmio (can)	0.01 mg/m <sup>3</sup>		
29	Humo de Óxido Férrico	5 mg/m <sup>3</sup>		
30	Manganeso	0.2 mg/m <sup>3</sup>		
31	Mercurio	0.025 mg/m <sup>3</sup> (p)		
32	Metano (CH <sub>4</sub> )			5000 ppm
33	Monóxido de Carbono (CO)	25 ppm		
34	Mónóxido de Nitrogeno	25 ppm		
35	Neblina de ácido sulfúrico	1 mg/m <sup>3</sup>	3 mg/m <sup>3</sup>	
36	Oxígeno (O <sub>2</sub> )	19.5 %		22.5 %
37	Ozono Trabajo Pesado	0.05 ppm		
38	Ozono Trabajo Moderado	0.08 ppm		
39	Ozono Trabajo Ligero	0.1 ppm		
40	Ozono Trabajo Cualquiera (<= 2 horas)	0.2 ppm		
41	Plomo	0.05 mg/m <sup>3</sup>		
42	Polvo de Carbón - Antracita	0.4 mg/m <sup>3</sup>		
43	Polvo de Carbón - Bituminoso	0.9 mg/m <sup>3</sup>		
44	Polvo inhalable (1)	10 mg/m <sup>3</sup>		
45	Polvo respirable (1)	3 mg/m <sup>3</sup>		
46	Selenio	0.2 mg/m <sup>3</sup>		
47	Silice Cristalino Respirable (Cristobalita)	0.05 mg/m <sup>3</sup>		
48	Silice Cristalino Respirable (Cuarzo)	0.05 mg/m <sup>3</sup>		
49	Silice Cristalino Respirable (Tridimita)	0.05 mg/m <sup>3</sup>		
50	Silice Cristalino Respirable (Tripoli)	0.1 mg/m <sup>3</sup>		
51	Talio, Compuestos solubles de	0.1 mg/m <sup>3</sup> (p)		
52	Telurio	0.1 mg/m <sup>3</sup>		
53	Tetracloruro de Carbono	5 ppm(p)	10 ppm(p)	
54	Tolueno	50 ppm(p)		
55	Uranio, Compuesto solubles e insolubles	0.2 mg/m <sup>3</sup>	0.6 mg/m <sup>3</sup>	
56	Vanadio, Polvos de V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.5 mg/m <sup>3</sup>		
57	Vanadio, Humos metálicos de V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.1 mg/m <sup>3</sup>		
58	Zinc (humo)	2 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>	

(p): Además de la vía respiratoria se debe considerar absorción dérmica

(can): Compuesto con alguna calificación de cancerígeno

(1) Este valor es para material particulado inhalable (total) que no contenga amianto y con menos del 1% de silice cristalina

\*: Tomado del D.S. 015-2005-SA, sin modificar los valores establecidos.

CONVERSIÓN:

$$\frac{mg}{m^3} = \frac{ppm \times \text{PesoMolecular}}{24.45}$$

Cuando sea necesario, se debe considerar una corrección por presión y temperatura.

**Figura 8. LMP de exhibición ocupacional para agente químicos  
Tomada de Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, Ministerio de Energía y  
Minas (10), 2020,**

### c) Requerimiento de aire



Para determinar el volumen de aire necesario, se utiliza el procedimiento establecido en el ANEXO 38 del Decreto supremos N°024-2016-EM, junto con las modificaciones introducidas por el DS-023-2017-EM (10).

Al utilizar equipos con motor a combustión interna, la necesidad de aire dentro de la mina debe calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{To} = Q_{T1} + Q_{Fu}$$

Siendo:

$Q_{To}$ : Caudal total necesario para la operación

$Q_{Fu}$ : 15% del  $Q_{T1}$

$Q_{T1}$ : Caudal total calculado sumando los requerimientos de flujo por el número de trabajadores, la temperatura en las áreas de trabajo, el consumo de madera y los equipos con motor diésel.

**- Caudal requerido por el número de trabajadores**

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

Siendo:

$Q_{Tr}$ : Caudal total para “n” cantidad de colaboradores (m<sup>3</sup>/min)

N: # de individuos de la guardia más representativa

F: Flujo mínimo por individuo.

- ✓ 0 a 1500 msnm=3 m<sup>3</sup>/min
- ✓ 1,500 a 3,000 msnm=4 m<sup>3</sup>/min (aumentará en 40%)
- ✓ 3,000 a 4,000 msnm= 5 m<sup>3</sup>/min (aumentará en 70%)
- ✓ Sobre los 4,000 msnm= 6 m<sup>3</sup>/min (aumentará en 100%)

**- Caudal requerido por el consumo de madera**

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

Siendo:

$Q_{Ma}$ : Caudal necesario por t de elaboración (m<sup>3</sup> /min)

u: Factor de producción

T: Elaboración en t/h/ guardia

**Tabla 4. Factor producción según el consumo de madera**

Dispendio de madera (%)	Factor de producción (m3/min)
< 20	0
De 20-40	0.6
De 41-70	1

---

---

>70

1.25

*Tomada de Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, Ministerio de Energía y Minas (10), 2020,*

- **Caudal requerido por temperaturas en las labores de trabajo**

$$Q_{Te} = N x A x V_m (m^3/min)$$

Siendo:

$Q_{Te}$ : Caudal por  $T^\circ$  ( $m^3/min$ )

A: Superficie media de la zona de trabajo

$V_m$ : Velocidad mínima

N: cantidad de niveles con  $T^\circ > 23^\circ C$

**Tabla 5. Velocidad mínima**

Temperatura seca ( $^\circ C$ )	Velocidad mínima (m/min)
<24	0
De 24- 29	30

*Tomada de Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, Ministerio de Energía y Minas (10), 2020,*

- **Caudal requerido por equipo con motor petrolero**

$$Q_{Eq} = 3 \cdot D_m \cdot HP \cdot F_u (m^3/min)$$

Siendo:

$Q_{Eq}$ : Cantidad de aire requerido ( $m^3/min$ )

$F_u$ : Promedio del factor de utilización de los equipos (%)

$D_m$ : Promedio de la disponibilidad de los equipos (%)

HP: Capacidad efectiva de potencia

- **Caudal requerido por fugas**

$$Q_{Fu} = Q_{T1} (15\%) (m^3/min)$$

Siendo:

$$Q_{T1} = Q_{Tr} + Q_{Te} + Q_{Ma} + Q_{Eq}$$

- **Caudal requerido por consumo explosivo**

$$Q_{Ex} = A \cdot N \cdot V (m^3/min)$$

Siendo:

$Q_{Ex}$ : Flujo de aire requerido

N: cantidad de niveles de voladura

V: Velocidad mínima (m/min)

A: Superficie media de la zona de trabajo (m<sup>2</sup>)

### 2.3. Definición de términos

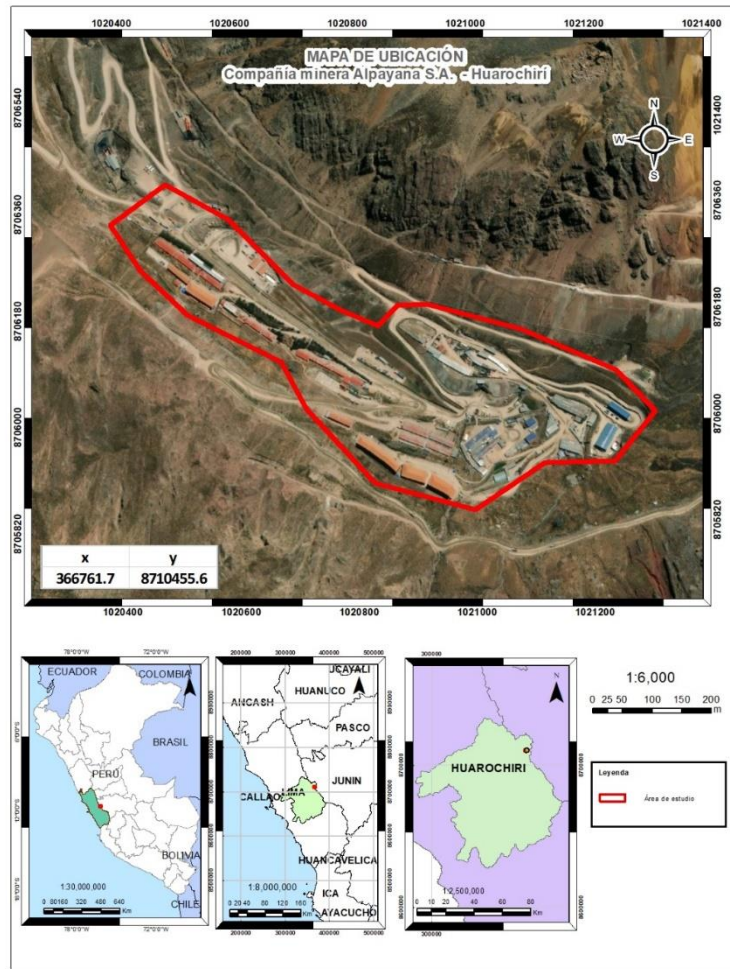
- Aire en mina: es el elemento presente en el entorno minero que tiene sustancias contaminantes provenientes de diversas fuentes (11).
- Atmósfera en mina: es el aire dentro de una mina que tiene una mezcla de componentes que incluye gases, polvo y partículas (25).
- Gases: sustancias amorfas emitidas por maquinaria diésel, explosiones y eventos naturales, las cuales se expanden para llenar el espacio disponible (10).
- Gases asfixiantes: generan una merma en el oxígeno que contiene el aire (11).
- Gases explosivos: gas que con la combinación del aire y una chispa puede desencadenar una explosión (11).
- Gases tóxicos: generan una baja de oxígeno al ingresar en los pulmones (11).
- LMP de exposición de agentes químicos: se refiere al límite máximo de exposición a agentes químicos que se considera seguro para proteger la salud del individuo (10).
- Requerimiento de aire: es el aire que se necesita dentro de un entorno minero para que se puedan realizar labores (10).
- Sistema de ventilación aspirante: por la galería ingresa el aire limpio hacia el inicio del túnel, mientras que el aire viciado es retirado a través de los conductos (11).
- Sistema de ventilación impelente: mediante un ventilador auxiliar y un conducto el aire fresco se transporta hacia el área de ventilación (12).
- Ventilación auxiliar: mediante el empleo de conductos y ventiladores adicionales, proporcionan ventilación a áreas específicas dentro de las minas subterráneas (12).

- Ventilación natural: sistema de ventilación de doble acceso que se caracteriza por tener dos puntos designados para el ingreso y salida de aire (26).
- Ventilación subterránea: se define como la generación de un caudal de aire adecuado para mantener condiciones óptimas en las que los trabajadores (11).
- Ventilador axial: dispositivo que se caracteriza por estar compuesto principalmente por un rotor alojado dentro de una carcasa cilíndrica o envolvente (27).
- Ventilador centrífugo: este dispositivo está compuesto por una carcasa que tiene forma espiral que contiene un rotor (27).

## **2.4. Generalidades de la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A.**

### **2.4.1. Ubicación geográfica**

Todas las actividades mineras de la Compañía Minera Alpayana S. A. se realizan en el distrito de Chicla-Huarochirí, ubicada en la región Lima. Se ubica en la zona central del lado occidental de la cordillera de los Andes que cuenta con una altura de 4350 m s. n. m. La unidad Americana se sitúa según al sistema UTM en la zona 18, con coordenadas 366 761,7 Este y 8 710 455,6 Norte.



*Figura. Ubicación de la Compañía minera Alpayana S.A.*

### 2.4.2. Accesibilidad

Se puede acceder a la mina a través de dos vías diferentes, las cuales se pueden apreciar en la Tabla 6.

<b>Tabla 6. Rutas para la unidad minera Americana</b>		
<b>Tramos</b>	<b>Recorrido</b>	<b>Tiempo promedio</b>
Lima - Casapalca	128 km	3 horas y 20 min
Huancayo – La Oroya - Casapalca	100 km	3 horas

*Nota.* Tomado de “Rutas de accesibilidad a la Unidad minera Americana”, Área de planeamiento e Ingeniería de Compañía minera Alpayana S.A (29), 2022.

### 2.4.3. Características topográficas y fisiográficas

Esta unidad minera se encuentra en un valle modelado por la acción glaciaria, caracterizado por tener inclinaciones acentuadas en las zonas bajas, con altitudes que oscilan entre los 4,100 y 4,500 m s. n. m. En estas áreas se ubican tanto los campamentos como el acceso principal a

la mina. Conforme se avanza en altura, las pendientes se atenúan, llegando a una meseta casi llana entre los 4,500 y 4,600 metros, donde se destacan un circo y una laguna de origen glaciar. En las cimas más altas, de 4,600 a 5,100 metros, el terreno presenta declives abruptos y terrenos irregulares.

#### **2.4.4. Clima y meteorología**

En la época de lluvias, se experimentan fuertes precipitaciones con temperaturas que rondan los 10° C y pueden caer hasta 0° C. Es habitual también la caída de nieve en estos meses. Por otro lado, el resto de los meses predomina un ambiente seco con pocas lluvias, aunque no se descartan lluvias ocasionales. Las temperaturas pueden sufrir cambios bruscos, oscilando entre los 10° C y el punto de congelación, siendo junio a agosto los meses más fríos.

#### **2.4.5. Geología**

##### **2.4.5.1. Geología regional**

En el distrito minero se hallan algunas formaciones rocosas variadas que se originaron desde el periodo Cretácico hasta el Terciario. Estas estructuras están concertadas por una mezcla de sedimentos y materiales volcánicos, organizados en diferentes unidades litológicas. La estratigrafía local es diversa, incluyendo tipologías de rocas como calizas, lutitas y areniscas, así como brechas y flujos volcánicos. Las formaciones geológicas más destacadas de la región incluyen la formación Casapalca, Jumasha, Bellavista, Carlos Francisco y Río Blanco.

##### **2.4.5.2. Geología local**

La formación Casapalca está conformada por dos tipos de mineralización, consiste en una serie de sedimentaciones continentales del Cretácico, situados en los extremados occidentales y orientales de la mina. Se caracteriza por dos secciones litológicas distintas:

- La sección inferior, las Capas Rojas Casapalca, se compone principalmente de limonitas, areniscas y lutitas de color rojo, alternadas con mantos de calizas que tienen un color claro.
- La sección superior, denominado el conglomerado Carmen, incluye principalmente areniscas silicificadas arcillosas de tono rojo, las cuales han sido blanqueadas por procesos hidrotermales. En áreas específicas, esta capa presenta conglomerados en formaciones lenticulares.

##### **2.4.5.3. Geología de vetas**

Este tipo de mineralización está disperso a través de la secuencia estratigráfica, abarcando las estratas rojas hasta los conglomerados de Tablachaca y Carmen, y comprende tanto las formaciones calcáreas de Bellavista y el volcánico Carlos Francisco. Los yacimientos minerales adoptan formas tabulares, con anchuras que varían de 0,20 m a 2,50 m, y pueden presentar ampliaciones puntuales. Al cruzar los conglomerados, estos depósitos llenan los vacíos de las brechas, incrementando así la magnitud de las zonas mineralizadas.

#### **2.4.5.4. Geología de cuerpos**

La región de cuerpos es fundamental en las estructuras mineralizadas de la zona minera de Casapalca, ubicada en la región nororiental del campamento El Carmen. Se identifican dos variedades distintas de mineralización en esta área.

- Relleno de fracturas: las venas tienen una disposición paralela a las fundamentales y tienen minerales como carbonatos, la galena y tetraedrita.
- Reemplazamiento: la mineralización se presenta a través de las capas geológicas, involucrando un proceso donde los fragmentos y la matriz calcárea son reemplazados por minerales tales como la galena y la esfalerita.

#### **2.4.5.5. Geología estructural**

Para la mina Alpayana la importancia de este yacimiento se debe a que la configuración estructural del área ha sido modelada por los movimientos tectónicos vinculados a la orogenia andina. Estas formaciones han creado regiones propicias que han posibilitado la formación de minerales en el Mioceno Tardío.

En términos estructurales, la mina Alpayana se caracteriza por dos configuraciones principales: al norte se encuentra la estructura Esperanza-Mercedes-Mariana y al sur, la estructura Oroya 1-Oroya-Oroya Piso. Ambas conforman un bucle sigmoide que se extiende por aproximadamente 4 kilómetros además de estar rodeadas por numerosos bucles sigmoide de menor tamaño con ramificaciones compuestas por mineralización de valor económico. El establecimiento de estos yacimientos minerales está estrechamente relacionado con la fractura de las vetas en direcciones específicas y su cercanía a estas estructuras principales.

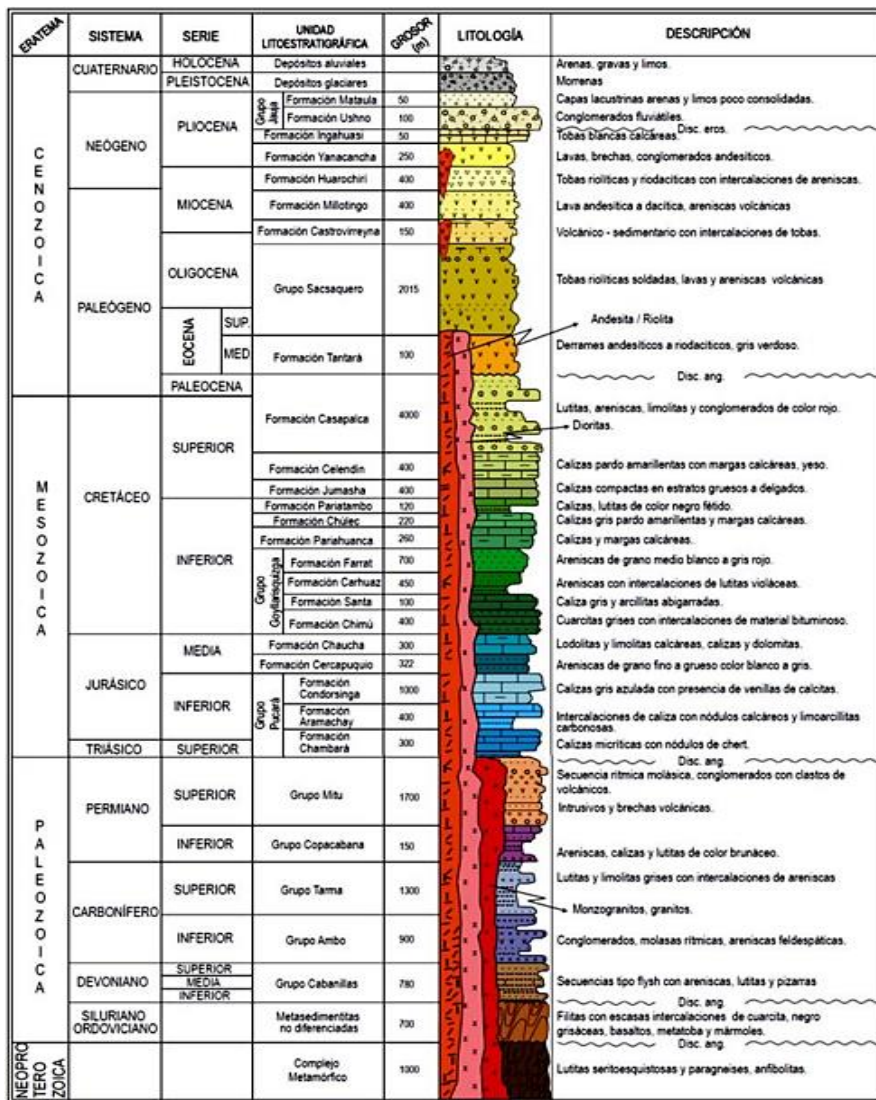


Figura 9. Columna estratigráfica  
Tomada del Área de geología de la Compañía minera Alpayana S.A (28), 2022.

#### 2.4.5.6. Geología económica

Alpayana y la unidad Americana constituyen un depósito de múltiples metales de clase “cordillerano”: abundante en zinc, plata, cobre, y plomo. La variedad de minerales se modifica de acuerdo con los zonamientos tanto verticales como horizontales. Las vetas, de tipo mesotermal, se proyectan a tener una extensa profundidad vertical, extendiéndose más allá de los 3,900 m s. n. m.

Las formaciones de minerales se manifiestan de forma irregular como consecuencia de la acción de fluidos hidrotermales que han reemplazado la matriz calcárea. Esta acción ha generado diversos grados de alteración y silicificación, que oscilan desde leves hasta moderados.



#### **2.4.6. Mineralogía**

La empresa Alpayana S. A. se distingue por la extracción de una diversidad de minerales metálicos, destacando la plata, el zinc, el plomo y cobre, siendo estos los productos principales de la mina. En la zona de cuerpos mineros, predominan minerales no metálicos como la calcita, pirita, rodonita, rodocrosita y cuarzo. La producción se enfoca en el zinc, con la marmatita y esfalerita como principales minerales, pero también se producen menores volúmenes de plomo, plata y cobre.

#### **2.4.7. Minado de la unidad minera Americana**

##### **2.4.7.1. Zona de Cuerpo**

- Zona alta: se realiza la extracción minera para facilitar el acceso a los cuerpos minerales según la información de cubicación geológica y para realizar perforaciones mediante sondajes diamantinos.
- Zona intermedia: el propósito es facilitar el acceso a los depósitos minerales y llevar a cabo exploraciones mediante perforaciones con sondas diamantinas.
- Zona baja: en la zona baja, se realizan trabajos de expansión de la Rampa Principal 565 y se avanza en el desarrollo de los niveles 12A, 15A, 16A, 18A, 19A, 13, 14, 15,16, 17, 18, 21 y 23.

##### **2.4.7.2. Zona vetas**

En el área Esperanza se localizan dos vetas significativas: Esperanza y Esperanza Piso 2. Mientras que, en el área de Oroya, se distinguen tres vetas principales: Cimoide Oroya Piso, Ximena y la Oroya.

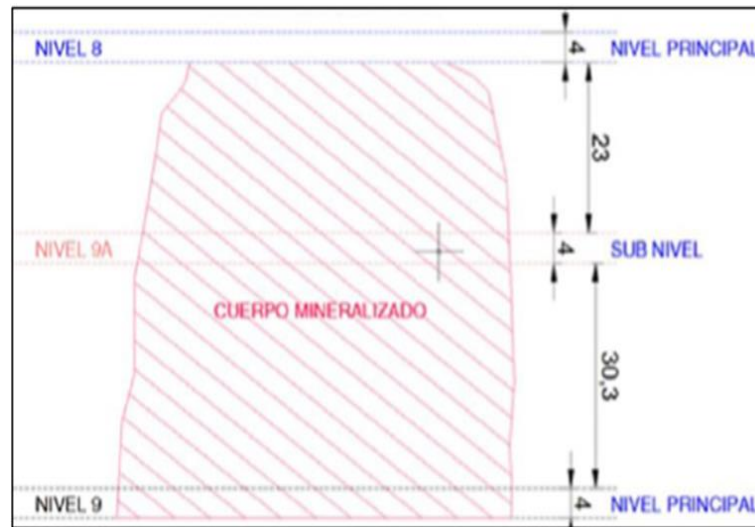
#### **2.4.8. Método de explotación**

##### **2.4.8.1. Método de explotación de taladros largos (*sublevel stoping*)**

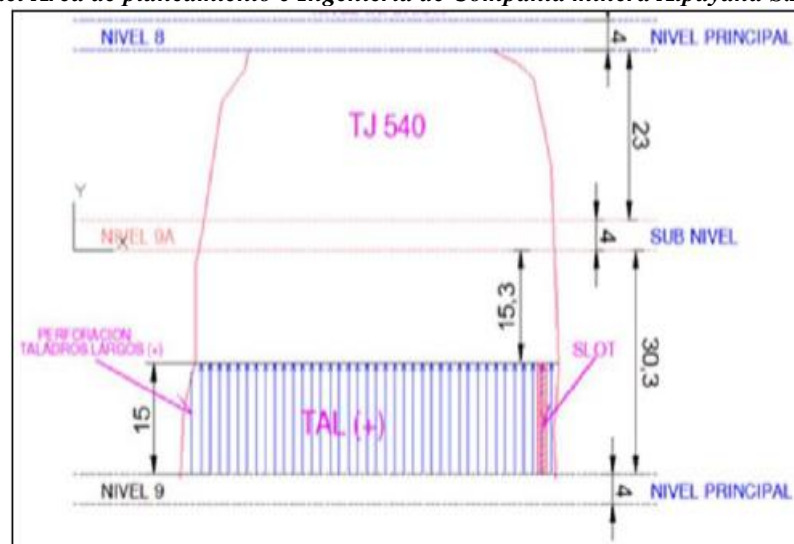
La técnica de extracción que utiliza la unidad Americana es el método de sub level stoping. Este procedimiento posibilita una producción masiva y continua, con costes operativos reducidos en comparación con otras técnicas, gracias a su elevada eficiencia. A causa de las limitaciones que tienen los métodos tradicionales y por las metas de incrementar la productividad, la compañía implementó una extracción por fases, aplicando *sublevel stoping* con perforaciones de largo alcance para crear bancos verticales de 15 a 30 metros.

- Preparación. Se contempla la creación de niveles secundarios junto con sus conexiones respectivas al nivel principal.

- Galería y perforación. Las galerías suelen tener dimensiones que oscilan entre 3.5x3.5 y 4x4 m, manteniendo siempre una separación mediante pilares.
- Galería de transporte. Se edifican al mismo tiempo que su galería primordial que se extiende por el cuerpo mineralizado. Se disponen en paralelo entre sí y cuentan con aberturas correspondientes para la evacuación del mineral.



**Figura 10. Etapa 1: Modelado del cuerpo mineralizado**  
 Tomada del Área de planeamiento e Ingeniería de Compañía minera Alpayana S.A (29), 2022.



**Figura 11. Etapa 2: Perforación de taladros positivos en el nivel inferior**  
 Tomada del Área de planeamiento e Ingeniería de Compañía minera Alpayana S.A (29), 2022

- Chimenea V.C.R. o SLOT. Se construyen con dimensiones de 2,5 x 2,5 metros cuadrados para formar la cara libre de un cuerpo en producción.

- Limpieza. El objetivo central es retirar los desechos generados a causa de las explosiones que se realizan para acondicionar la zona para la fase de extracción de minerales.
- Acarreo. Implica mover material rocoso fragmentado desde el punto de extracción hacia un destino específico, ya sea mineral o estéril.
- Sostenimiento. Para la evaluación geomecánica de la roca, se aplica una versión ajustada del índice GSI, que se asocia con el RMR para una mayor precisión. Dentro de la mina Alpayana, se identifican tres áreas principales: las vetas conocidas como Esperanza y Oroya; y la Zona de Cuerpos.



**Figura 12. Diferencia de calidad de roca por zonas**

*Tomada de Informe de las masas rocosas, Área de Geomecánica de la Compañía Minera Alpayana S.A. (30), 2022.*

El diseño del soporte de las excavaciones se adapta a los estándares de seguridad de la minería según el plan anual o mensual. Se considera la calidad de la roca y la apertura de la excavación de acuerdo con los sistemas de minería de Minera Alpayana SA, Unidad Americana.

- Perforación. Se realiza para extraer roca o mineral con la menor cantidad de detonantes posible. Se emplean equipos especializados de marcas como SANDVIK, ATLAS COPCO y RESEMIN para diversas tareas de perforación en frentes como galerías y rampas, así como para taladros largos.
- Voladura. El proceso implica perforar la roca, insertar explosivos y detonarlos para fragmentar el macizo rocoso y acceder a los recursos minerales. Se utilizan varios tipos de explosivos y accesorios, como anfo, emulsión, pentacord, fameplast, carmex, faneles y mecha rápida.

#### **2.4.9. Planta de beneficio**

La planta de concentración de Alpayana procesa diariamente 5,000 t y se encuentra a 4,800 m s. n. m. El procedimiento se divide en tres fases clave:

- Liberación: en esta fase se disminuyen los tamaños de las partículas desde 25 pulgadas a 74 micrones, utilizando métodos de trituración, cribado y molienda para lograr la granulometría deseada.
- Separación: en esta fase, se separan las partículas de valor, obteniendo concentrados y desechos a través de celdas de flotación. Este proceso selectivo resulta en la extracción de concentrados de metales como cobre, plomo y zinc.
- Eliminación: consiste en la transformación de la fase sólida a la líquida, por medio de sedimentación y filtración, lo que permite transportar los concentrados de manera más eficiente al reducir el contenido líquido.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

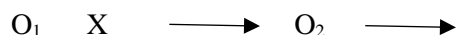
#### 3.1. Métodos de la investigación

##### 3.1.1. Método general de la investigación

El método general fue el científico, el cual reside en un conjunto de procedimientos y técnicas sistemáticas empleadas para el desarrollo del conocimiento científico, este método actúa como una estructura de trabajo o una secuencia lógica que respalda la investigación científica (31). Por ende, este estudio siguió ciertos procedimientos sistematizados con el fin de generar nuevos conocimientos a través de la implementación de un nuevo enfoque para el perfeccionar el sistema de ventilación en la Unidad Económica Activa Americana.

##### 3.1.2. Diseño de la investigación

El diseño del estudio fue experimental, porque tuvo el propósito de determinar las conexiones causales entre las variables a través del manejo deliberado de una variable independiente y la evaluación de su efecto en una variable dependiente, con el fin de determinar la efectividad de tratamientos bajo condiciones controladas (32). Por consiguiente, este estudio investigó cómo la medición y levantamiento de ventilación después de la instalación del ventilador impelente puede complementar a la mejora del sistema de ventilación en la Unidad minera Americana, beneficiando así las labores realizadas en dicho entorno.



Siendo:

$O_1$  = Pre-test del sistema de ventilación actual

$X$  = Medición *in situ* de ventilación

$O_2$  = Postest del sistema de ventilación mejorado

### **3.1.3. Tipo de investigación**

El estudio se clasifica como de tipo aplicado, dado que empleó conocimientos teóricos para favorecer a los grupos implicados en los procesos examinados y a la sociedad en general, contribuyendo al avance de la disciplina al generar nuevos conocimientos (33). En este estudio, se emplearon fundamentos teóricos para plantear una solución a una problemática específica mediante la instalación de un ventilador impelente, con la meta de producir resultados que tengan un impacto positivo en el área estudiada.

### **3.1.4. Nivel de investigación**

El estudio presentó un nivel explicativo, puesto que su objetivo fue profundizar la descripción de los conceptos y fenómenos presentes, buscando comprender las causas que subyacen a los eventos y manifestaciones, aspirando a proporcionar una explicación objetiva, genuina y científica de lo que aún no se conoce (32). En este contexto, el estudio investigó cómo la incorporación de un ventilador impelente contribuye a mejorar toda la ventilación dentro de la unidad minera Americana.

## **3.2. Población y muestra**

### **3.2.1. Población**

La población de una investigación abarca al total de individuos afectados por la problemática bajo investigación, representando al mismo tiempo aquellos que comparten características similares definidas en relación con el espacio y el tiempo (34). En la investigación, la población abarcó la totalidad de los Sistemas de ventilación encargados de dirigir el aire desde el Nivel 18 al Nivel 23 de cuerpos mineralizados perteneciente a la unidad minera Americana.

### **3.2.2. Muestra**

La muestra de una investigación son los elementos seleccionados de una población más amplia, que se eligen de manera sistemática o aleatoria con el propósito de representar las características y variabilidad de esa población en particular (35). Por ende, la muestra de este estudio fue el sistema de ventilación del Nivel 20 de la zona de cuerpos mineralizados, el cual fue seleccionado utilizando un método de muestreo no probabilístico.

## **3.3. Técnicas e instrumentos**

### **3.3.1. Técnicas de recolección de datos**

- Análisis documental: comprende la evaluación crítica y organizada de materiales escritos o visuales pertinentes para una investigación particular, con el propósito de detectar, extraer

y resumir la información relevante de los documentos analizados para obtener los objetivos de la investigación (35). Por lo tanto, esta técnica fue empleada en la investigación debido a que se realizó un análisis exhaustivo de todos los documentos disponibles relacionados con el sistema de ventilación que la mina presenta.

- Observación: es la recopilación de información mediante la observación continua y metódica de individuos, sucesos o fenómenos dentro de su contexto natural., sin intervenir en ellos, asimismo, se utiliza para obtener información detallada y objetiva sobre el desarrollo de eventos o las interacciones entre individuos en contextos específicos (32). Por consiguiente, en el estudio se empleó esta técnica para recopilar datos sobre todos los componentes que involucran el sistema de ventilación, con el fin de llevar a cabo análisis detallados y pertinentes.

### **3.3.2. Instrumentos de recolección de datos**

- Ficha de análisis documental: es utilizado para registrar y estructurar la información relevante, esta ficha suele incluir campos específicos para capturar datos que ayuden alcanzar los objetivos del estudio (35). La utilización de este instrumento facilitó la organización y administración de los datos recopiladas del sistema de ventilación, que incluyó planos, informes, reportes de investigaciones anteriores, así como normativas y legislaciones que regulan la ventilación en ambientes de trabajo subterráneos. Esto contribuyó a llevar a cabo un análisis más minucioso y eficiente de los problemas y ventajas relacionados con la mejora de la ventilación.
- Ficha de observación: es un instrumento utilizado en la observación sistemática de fenómenos o situaciones, proporcionando una estructura para registrar y organizar los datos obtenidos durante el proceso, incluyendo secciones para anotar detalles relevantes (36). La utilización de este instrumento simplificó el proceso de recolección de datos de todos los componentes que influyen en el rendimiento de la ventilación actual, tales como el caudal de aire, la concentración de gases, la velocidad y la temperatura dentro de la mina, permitiendo tomar decisiones más acertadas al implementar el ventilador y perfeccionar el sistema de ventilación de manera efectiva.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1. Resultados**

##### **4.1.1. Sistema de ventilación actual del nivel 20 zona de cuerpos mineralizados**

##### **4.1.2. Ventilación natural**

En la unidad minera la ventilación natural es fundamental para realizar las actividades de extracción y para las partes altas de la estructura de la mina. Mayormente, en los procesos productivos no se necesita de sistemas de ventilación artificial, salvo en ciertas áreas subterráneas donde se superan los niveles de ventilación estipulados por la legislación minera del país. Aproximadamente un 30 % de las actividades en la zona estudiada se benefician de este tipo de ventilación.

##### **4.1.3. Ventilación mecánica**

En las zonas de desarrollo y extracción de las partes más bajas y profundas de la mina se muestran la aplicación de sistemas de ventilación artificial, pues se observan instalaciones de ventiladores principales, secundarios y de respaldo, lo que constituye aproximadamente el 70% de las actividades mineras que necesitan ventilación forzada.

##### **4.1.4. Procedimiento**

###### **4.1.4.1. Evaluación del sistema de ventilación**

- a) Se han adquirieron planos actualizados que indican la ubicación de los ventiladores principales, secundarios y auxiliares, así como las cortinas de control y puertas de ventilación en cada nivel de la mina.
  
- b) Se localizaron los sitios de ingreso de aire limpio y de salida de aire viciado, y se realizaron mediciones de la estación de ventilación secundaria en lugares clave como galerías, cruces, chimeneas y desvíos.



- c) Se calibraron correctamente los equipos para la medición de los parámetros: anemómetro, termohidrómetro y distanciómetro.
- d) Seguidamente, con personal capacitado se procedió a realizar mediciones de velocidad, sección de labor, caudal de aire, temperatura para realizar los cálculos pertinentes.
- e) Los datos obtenidos de caudal de aire fueron comparados con los requerimientos de aire calculados teóricamente según lo establecido en el Anexo 38 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.

#### **4.1.4.2. Mejoramiento del sistema de ventilación**

- a) Una vez terminado el RB 424, se realizó la instalación del ventilador impelente de 30,000 cfm.
- b) Posteriormente, se realizaron las mediciones de temperatura, velocidad de aire y humedad relativa con la mejora implementada.
- c) Se procedió a realizar los cálculos de caudal de aire con los datos recolectados, para compararlos con los valores obtenidos anteriormente.

#### **4.1.5. Balance inicial de ventilación**

En el nivel 20 de la zona cuerpos mineralizados de la mina, resulta fundamental seguir las directrices establecidas en el artículo 248 del D.S N°024-2016 EM y su posterior modificación en el D.S N°023-2017 EM. Este estudio establece que, durante las etapas de explotación, desarrollo y preparación, la velocidad del aire debe mantenerse en un rango no inferior a 20m/min ni superior a 250m/min. Es importante destacar que cuando se utilizan explosivos como el ANFO o similares, se necesita una velocidad mínima del aire de 25 m/min.

##### **a) Levantamiento de ventilación del Nivel 20 Zona de cuerpos mineralizados**

Se realiza el método de levantamiento de ventilación puntual el cual consiste en tomar una sección transversal de una labor el cual debe tener una sección donde los hastiales y corona debe ser regulares y homogéneas para de esta manera poder tener mediciones más representativas, de esta se toma las distancias de hastial a hastial también la distancia del piso hasta la corona con un distanciómetro para poder sacar el área.

Luego se toma la medición de las velocidades con un anemómetro en cual mide la velocidad del caudal de aire, se toman 9 puntos de la misma sección donde se sacó el área 3 mediciones en la parte superior de la sección ,3 en la parte intermedia de la sección y 3 en la parte inferior de la sección como se puede observar en la Figura 14.

Posteriormente, se realiza los cálculos de la medición como se puede observar en la Tabla 07.



*Figura 13. Levantamiento de ventilación de una labor subterránea.*

**Tabla 7. Puntos de monitore del Nivel 20 Zona cuerpos mineralizados**

LEVANTAMIENTO DE VENTILACION																						
EST.	LABOR	ZONA	NIVEL	VELOCIDAD (m/s)									TEMP	SECCION		AREA	VELOCIDAD		CAUDAL			
				V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	°C	a (m)	h (m)	m <sup>2</sup>	m/s	m <sup>3</sup> /min	m <sup>3</sup> /min	cfm		
PTO 1	RP(+13%)480NW	CUERPOS	20	0.50	0.60	0.61	0.51	0.51	0.71	0.80	0.70	0.62	29.1	4.93	4.01	18.78	0.62	37.00	694.9	24,584		
PTO 2	GL 325 SW	CUERPOS	20	0.44	0.44	0.41	0.34	0.40	0.38	0.36	0.32	0.35	28.0	4.20	3.93	15.68	0.38	22.93	359.6	12,699		
PTO 3	XC 480 NW-R 310	CUERPOS	20	0.27	0.28	0.38	0.35	0.28	0.40	0.43	0.34	0.37	29.3	4.55	3.92	16.94	0.34	20.67	350.2	12,366		
PTO 4	RP-320	CUERPOS	20	0.21	0.31	0.2	0.11	0.20	0.21	0.10	0.02	0.02	29.2	4.63	3.95	19.63	0.14	8.40	164.9	5,645		
PTO 5	GL 280 NE	CUERPOS	20	0.13	0.15	0.13	0.12	0.10	0.12	0.15	0.13	0.14	29	4.39	4.31	17.97	0.13	7.80	140.2	4,951		
TOTAL																					60,254	

Tabla 7 se observa que, los puntos 2, 3, 4 y 5 del nivel 20 no cumple con la velocidad mínima de aire de 25 m/min establecido en el artículo 248 del DS N°024-2016-EM. Esta situación incumple la normativa y representa un riesgo para la salud y seguridad de los trabajadores, tal como lo advierte el artículo 247 del mismo decreto. En cuanto a la temperatura, todos los puntos se encuentran por debajo del límite máximo de 29°C establecido en el artículo 252 del DS N°024-2016-EM. Como se aprecia, los puntos 1, 3, 4, y 5, superan los 29°C, incumpliendo por lo establecido en la mencionada norma. Asimismo, menciona que, si la temperatura se encuentra entre 24°C y 29°C, se debe garantizar una mínima velocidad del aire de 30m/min para asegurar el confort térmico; lo cual no se cumple según los resultados.

**b) Ingreso y salida de aire hacia el nivel 20 zona de cuerpos mineralizados**

La zona de cuerpos del nivel 20 solo recibe aire del RB 325 a través del ventilador 105, con capacidad de 30.000 cfm. Este aire se distribuye por mangas de ventilación a las galerías GL 325 SW y GL 280 NE, pero la distribución actual genera una velocidad de aire insuficiente en la galería GL 325 SW, incumpliendo el artículo 248 del D.S N°024-2016 EM. La salida de aire se realiza por las RP 320 y RP 480 NW, con un aumento del 0.759%

**Tabla 8. Ingreso de aire**

ENTRADA DE AIRE																			
UBICACIÓN				VELOCIDADES (m/s)									VEL.	TEMP.	SECCION		AREA	CAUDAL	
NIVEL	ESTAC.	ZONA	LABOR	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	(m/min)	(°C)	a1 (m)	h1 (m)	(m <sup>2</sup> ) (FC=0.96)	(m <sup>3</sup> /min)	cfm
20	VEN-105	CUERPOS	CAM 480	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	850	30,000
<b>Qi Total</b>																	850	30,000	

**Tabla 9. Salida de aire**

SALIDA DE AIRE																			
UBICACIÓN				VELOCIDADES (m/s)									VEL.	TEMP	SECCIÓN		ÁREA	CAUDAL	
NIVEL	ESTAC.	ZONA	LABOR	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	(m/min)	(°C)	a1 (m)	h1 (m)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /min)	cfm
20	PM 01	CUERPOS	RP (+13%)480NW	0.50	0.60	0.61	0.5	0.5	0.7	0.8	0.7	0.6	37.00	29.1	4.9	4.01	18.78	694.9	24,584
21A	PM 04	CUERPOS	RP320	0.21	0.31	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	8.4	29.2	5.2	3.95	19.63	164.9	5,645
<b>Qs Total</b>																	791	30,228	

En la

Tabla 9 se observa que el flujo de aire de salida excede al de entrada. Esto se debe a dos sucesos principales: el primero es la elevada temperatura que provoca un incremento en la agitación de las partículas, lo que resulta en un aumento de la velocidad del aire y, consecuentemente, del caudal. En segundo lugar, la presencia de equipos en funcionamiento y de personas dentro de las labores genera una brisa que también contribuye al incremento del caudal de aire.

**Tabla 10. Balance de aire**

Balance de ventilación	CAUDAL	
	(m <sup>3</sup> /min)	(CFM)
Ingreso de aire limpio	850	30,000
Salida de aire contaminado	856	30.228
Diferencia del aire (salida - ingreso)	6	211
Variación (%)	0.7%	0.7%

#### 4.2. Cálculo de requerimiento de aire del nivel 20 zona de cuerpos mineralizados

##### 4.2.1. Caudal requerido por el número de trabajadores de trabajadores (QTr)

La Tabla 11 proporciona detalles sobre el caudal requerido por el número de trabajadores en el nivel 20 de la Compañía Minera Alpayana S.A., centrándose en la empresa Gestión Minera Integral SA, donde se especifica que con 10 trabajadores por turno, se necesita un caudal total de 60 m<sup>3</sup>/min (2,119 pies cúbicos por minuto) para mantener una ventilación adecuada, calculado multiplicando el número de trabajadores por guardia por el caudal mínimo por persona, que es de 6 metros cúbicos por minuto.

**Tabla 11. Caudal requerido por número de trabajadores en el Nivel 20**

Compañía	N° de trab/guardia	Caudal	Caudal	
		mínimo/persona	m <sup>3</sup> /min	CFM
Gestión Minera Integral SA	10	6	60	2,119
Total			60	2,119

##### 4.2.2. Caudal requerido por el consumo de madera (QMa)

La Tabla 12 presenta información sobre el caudal requerido en el nivel 20 en función de la cantidad de consumo de madera, relevante para la gestión del sistema de ventilación. Se observa que para una producción de 2100 TMH/GD (toneladas métricas por hora por guardia), con un consumo de madera de 150 TN/GD (toneladas de madera por guardia), representando el 7.1 %

del consumo total, no se requiere ningún caudal adicional de aire. Además, para el caso de QMa, donde no hay consumo de madera registrado, no se aplica ningún factor de producción, resultando en un caudal de 0 m<sup>3</sup>/min y 0 cfm.

**Tabla 12. Caudal requerido por la cantidad de consumo de madera en el Nivel 20**

Producción TMH/GD	Consumo de madera TN/GD	Consumo de madera en %	Factor de producción m <sup>3</sup> /min	m <sup>3</sup> /min	CFM
2100	150	7.1%,	0	0	0
Q <sub>Ma</sub>				0	0

#### 4.2.3. Caudal requerido por temperatura en las labores (QTe)

La Tabla 13 detalla el caudal requerido por temperatura en las labores para el Nivel 20. Indica que, en este nivel, donde las temperaturas oscilan entre 24 y 29 °C, se requiere una velocidad mínima de 30 metros por segundo en un área de 18 metros cuadrados. Para mantener estas condiciones, se necesita un caudal de 540 metros cúbicos por minuto (m<sup>3</sup>/min), lo que equivale a 19,067 pies cúbicos por minuto (cfm).

**Tabla 13. Caudal requerido por temperatura en las labores**

Nivel	Nivel con temperaturas de 24 a 29 °C	Velocidad min	Área m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /min	cfm
20	1	30	18	540	19,067
Q <sub>Te</sub>				540	19,067

#### 4.2.4. Caudal requerido por equipo con motor petrolero (QEq)

La Tabla 14 ofrece una descripción detallada del caudal requerido por cada equipo con motor petrolero en el Nivel 20 de la operación minera. Para cada tipo de equipo, se especifica su potencia en caballos de fuerza (HP), su disponibilidad mecánica (Dm) expresada como un porcentaje, su factor de utilización (Fu) también en forma de porcentaje, y el caudal necesario tanto en metros cúbicos por minuto (m<sup>3</sup>/min) como en pies cúbicos por minuto (cfm). Los equipos incluyen Scoop, Volquete, Jumbo, Manitou, y Camioneta, cada uno con sus respectivos valores de caudal requerido. Además, se proporciona el caudal total resultante (QMa) al sumar los caudales de todos los equipos, que es de 827 m<sup>3</sup>/min o 29,204 cfm.

**Tabla 14. Caudal requerido por equipo con motor petrolero en el Nivel 20**

Equipo	HP	Disponibilidad mecánica (Dm)	Factor de utilización (Fu)	m <sup>3</sup> /min	cfm
Scoop	270	85%	40%	275	9,725
Volquete	440	85%	30%	281	9,906
Jumbo	80	85%	50%	102	3,602
Manitou	101	85%	30%	77	2,729
Camioneta	120	85%	30%	92	3,242
$Q_{Ma}$				827	29,204

#### 4.2.5. Caudal por fugas

La **Tabla 15** sintetiza de manera exhaustiva el requerimiento de aire para el nivel 20 de la operación minera, mostrando los caudales necesarios en metros cúbicos por minuto (m<sup>3</sup>/min) y pies cúbicos por minuto (cfm). Destaca que se necesitan 60 m<sup>3</sup>/min o 2,119 cfm para ventilar el personal, 540 m<sup>3</sup>/min o 19,067 cfm para regular la temperatura, mientras que no se precisa ningún caudal adicional para el equipo con motor petrolero. Además, se requieren 827 m<sup>3</sup>/min o 29,204 cfm para abordar otras emisiones, lo que suma un total de 1,427 m<sup>3</sup>/min o 50,390 cfm como el caudal general requerido para garantizar condiciones de trabajo seguras y saludables en el nivel 20.

**Tabla 15. Resumen del requerimiento de aire del Nivel 20**

	m <sup>3</sup> /min	Cfm
$Q_{Tr}$	60	2,119
$Q_{Te}$	540	19,067
$Q_{Ma}$	0	0
$Q_{Eq}$	827	29,204
$Q_{T1}$	1,427	50,390

La **Tabla 16** presenta el caudal de fugas del nivel 20 de la operación minera. Se detalla que el caudal total requerido ( $Q_{T1}$ ) es de 1,412 m<sup>3</sup>/min. Se aplica un factor del 15 % para las fugas, lo que resulta en un caudal de fugas de 211.8 m<sup>3</sup>/min o 7,480 cfm (pies cúbicos por minuto). Este caudal de fugas, representado como  $Q_{Fu}$ , indica la cantidad de aire que se pierde debido a fugas en el sistema de ventilación, lo que es importante para calcular el caudal total efectivo requerido para mantener condiciones adecuadas en el área de trabajo del Nivel 20.

**Tabla 16. Caudal de fugas del nivel 20**

$QT1$	Factor	$m^3/\text{min}$	Cfm
1,427	15%	211.8	7,480
	$Q_{Fu}$	211.8	7,480

#### 4.2.6. Requerimiento de caudal total de aire

Después de calcular los requerimientos de aire presentados en las tablas previas, se determinó el caudal total de aire necesario para el nivel 20. La Tabla 17 presenta el caudal total de aire para el nivel 20 de la operación minera. Se especifica que el caudal total requerido ( $QT1$ ) es de  $1,412 \text{ m}^3/\text{min}$  o  $49,863 \text{ cfm}$  (pies cúbicos por minuto). Se añade el caudal de fugas ( $Q_{Fu}$ ), que es de  $212 \text{ m}^3/\text{min}$  o  $7,480 \text{ cfm}$ . Sumando estos dos caudales, se obtiene el caudal total efectivo ( $Q_{To}$ ), que es de  $1,624 \text{ m}^3/\text{min}$  o  $57,343 \text{ cfm}$ . Este valor representa la cantidad total de aire necesaria para mantener condiciones de ventilación adecuadas en el nivel 20, teniendo en cuenta tanto el caudal requerido para la ventilación específica como las posibles pérdidas debido a fugas en el sistema.

**Tabla 17. Caudal total de aire del Nivel 20**

	$m^3/\text{min}$	Cfm
$Q_{T1}$	1,412	49,863
$Q_{Fu}$	212	7,480
$Q_{To}$	1,624	57,343

#### 4.3. Balance general de ventilación del nivel 20

La Tabla 12 presenta información sobre el caudal requerido en el nivel 20 en función de la cantidad de consumo de madera, relevante para la gestión del sistema de ventilación. Se observa que para una producción de  $2100 \text{ TMH/GD}$  (toneladas métricas por hora por guardia), con un consumo de madera de  $150 \text{ TN/GD}$  (toneladas de madera por guardia), representando el  $7.1 \%$  del consumo total, no se requiere ningún caudal adicional de aire. Además, para el caso de  $Q_{Ma}$ , donde no hay consumo de madera registrado, no se aplica ningún factor de producción, resultando en un caudal de  $0 \text{ m}^3/\text{min}$  y  $0 \text{ cfm}$ .

##### *Tabla 12*

Además, en la tabla 12 se observa un resumen general del balance y la distribución del aire en el nivel 20. La tabla destaca que no es adecuado el sistema de ventilación para eliminar el aire contaminado del nivel 20 hacia la rampa principal, lo que resulta en varios inconvenientes en la operación minera.



**Tabla 18. Balance general de la ventilación del nivel 20**

Balance de ventilación		
	m <sup>3</sup> /min	cfm
Ingreso	850	30,000
Salida	856	30,228
Balance	1,624	57,343
Requerimiento de aire		
	m <sup>3</sup> /min	cfm
Caudal requerido por el # de trabajadores	60	2,119
Caudal requerido por el consumo de madera	0	0
Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo	540	19,067
Caudal requerido por equipo con motor petrolero	827	29,204
$Q_{T1} = Q_{Tr} + Q_{Ma} + Q_{Te} + Q_{Eq}$	1,427	50,390
d) Caudal requerido por fugas ( $Q_{Fu}$ )	212	7,480
Caudal total requerido para el nivel 20	1,624	57,343
$Q_{To} = Q_{T1} + Q_{Fu}$		
Cobertura de aire		
	m <sup>3</sup> /min	cfm
Ingreso de aire	850	30,000
Caudal requerido	1,624	57,343
Cobertura (%)	52%	

Después de revisar el resumen Tabla 18, se constata que el caudal de aire de entrada total es de 850 m<sup>3</sup>/min (30,000 cfm), mientras que el caudal de salida total es de 856 m<sup>3</sup>/min (30,228 cfm), lo que resulta en una diferencia de 6 m<sup>3</sup>/min (211 cfm) entre ambos. Esta discrepancia representa aproximadamente el 0.7% del total, indicando que se cumple con lo dispuesto en la normativa nacional de ventilación para minería. No obstante, el procesamiento de datos realizado revela que se necesita un caudal total de aire es 1,624 m<sup>3</sup>/min (57,343 cfm). Esto significa una cobertura de aire del 52 % y un déficit de 27,343 cfm.

#### 4.4. Mejoramiento del sistema de ventilación del nivel 20 zona cuerpos mineralizados

##### 4.4.1. Ventilador auxiliar AIRTEC de 30,00 CFM

En la unidad minera americana, en el nivel 20, actualmente se utiliza un ventilador que proporciona 30,000 cfm para inyectar aire fresco. Tal como se aprecia en la Tabla 19 y la figura 15.

**Tabla 19.** Características del ventilador 30,000 cfm del Nivel 20

Ventilador del nivel 20							
Item	Nivel	Marca	Ubicación	Función	Capacidad	HP	h/día
1	20	Airtec	RB 325	Inyectar aire fresco	30,000 cfm	75	24



**Figura 14.** Ventilador auxiliar AIRTEC de 30,000 cfm del Nivel 20

##### 4.4.2. Consideraciones para la instalación del ventilador

- Diseño del sistema de ventilación. El sistema de ventilación en la unidad minera tiene como objetivo principal garantizar un suministro adecuado de aire limpio en todos los espacios de trabajo, esencial para la productividad y la seguridad de los trabajadores. Se llevan a cabo diversas acciones, como definir entradas y salidas de aire, determinar caudales, equilibrar el flujo, diseñar una red de ventilación, seleccionar equipos, planificar galerías y chimeneas, instalar dispositivos de control y optimizar el sistema para eficiencia y economía.
- Tipos de planificación. La planificación se divide en tres períodos temporales: corto, mediano y largo plazo. La planificación a corto plazo, que abarca menos de un año, implica un seguimiento regular para definir acciones específicas y asegurar la coherencia en la toma de decisiones. La planificación a mediano plazo, con un horizonte de hasta cinco años, establece metas y estrategias para orientar la empresa hacia sus objetivos. Finalmente, la

planificación a largo plazo, abarca más de 5 años, contempla los futuros desafíos y oportunidades, permitiendo una preparación anticipada para lo que está por venir.

#### 4.4.3. El proyecto de Raise Boring 424

El proyecto del RB 424 inicia en el nivel 16 y culmina en el nivel 23 en la zona de cuerpos, tiene como objetivo principal la provisión de aire fresco. Este Raise Boring, con un diámetro de 12 pies (3.6 m), se está implementando para optimar el sistema de ventilación en el nivel 20 de la zona de cuerpos, basándose en los cálculos y análisis realizados tanto en campo como en gabinete. La elaboración del proyecto implicó recopilar datos sobre la calidad del macizo rocoso, la disposición de las chimeneas, la ubicación de los ventiladores primarios y secundarios, el trecho y la orientación del caudal de aire.

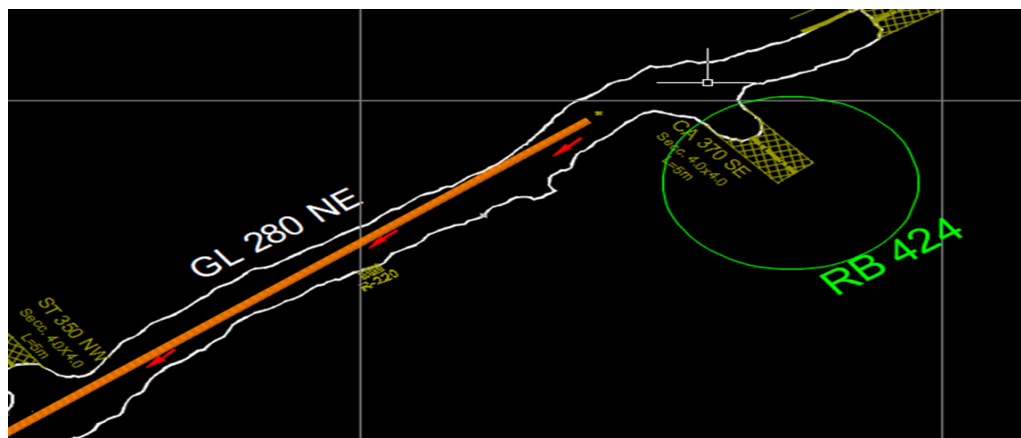


Figura 15. Ubicación del RB 424 zona cuerpos GL 280 E-CAM 370 SE

El RB 424 se extiende a lo largo de 100 metros, desde el nivel 18 hasta el nivel 20, con un diámetro de 5 pies (1.5 m). Se situará en una cámara de dimensiones 4.0 x 4.50 metros, lugar donde se realizará la instalación de un ventilador de 30,000 cfm para inyectar aire fresco al nivel 20 mediante la chimenea RB 424.

Tabla 20. Datos operativos del RB 424

Proyecto RB 424	
Diámetro de chimenea	1.5 m
Longitud de proyecto	111.2 m
Longitud topográfica	112.5 m
Inclinación	85°44''

a) Equipo utilizado en el proyecto

Para realizar la perforación del RB 424 se utilizó la maquinaria especializada Robbins 73 R que está desarrollada con el propósito de mejorar la eficacia y reducir los riesgos en las operaciones mineras.

La Robbins 73 R cuenta con un sistema de potencia electro-hidráulica que incluye una estación de control remoto, sistemas de control integrados y herramientas especializadas para el acoplamiento y desacoplamiento de tuberías. Su mecanismo hidráulico permite ajustar la velocidad de giro para acomodarse a las situaciones variables de la zona de perforación, además de contar con la capacidad de ajustar el ángulo de perforación lateral. Estas máquinas de tamaño mediano son altamente confiables y pueden perforar barrenos con diámetros de 1.5 a 3.1 metros. Entre sus características estándar se incluyen funciones como anti atranque, conexión automática y aumento gradual de la velocidad y el torque.

El avance promedio logrado con la Robbins 73 R fue de 18 metros lineales por turno para el piloto y 6 metros lineales por turno para el rimado, si bien estos avances pueden variar según la calidad del compacto pedregoso y las circunstancias de labor.

b) Evaluación geomecánica

Se ha llevado a cabo una evaluación geomecánica minuciosa en los niveles 18 al 20 de la zona de cuerpos como parte del proyecto en cuestión. El objetivo principal fue comprobar la calidad del macizo rocoso, tomando en cuenta el GSI, los sistemas de discontinuidades y los resultados de pruebas de laboratorio. Se ha observado que la roca predominante en el área de estudio es la Capa Roja, con intercalaciones de lutitas y areniscas de diferentes tamaños de grano, incluyendo areniscas silicificadas, las cuales se caracterizan por ser más compactas y masivas.

## 4.5. Cálculo del requerimiento de aire del sistema de ventilación con la instalación del ventilador impelente

### 4.5.1. Levantamiento de ventilación

**Tabla 21. Estación de monitoreo del Nivel 20 zona cuerpos mineralizados**

LEVANTAMIENTO DE VENTILACIÓN																						
EST.	LABOR	ZONA	NIVEL	VELOCIDAD (m/s)									TEMP °C	SECCIÓN		ÁREA m <sup>2</sup>	VELOCIDAD		CAUDAL			
				V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9		a (m)	h (m)		m/s	m/min	m <sup>3</sup> /min	cfm		
PTO 1	RP(+13%)480NW	CUERPOS	22	1.3	1.2	1.3	1.2	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	22.6	4.93	4.01	18.78	1.25	75.27	1413.6	49,919		
PTO 2	GL 325 SW	CUERPOS	24	0.9	0.6	0.8	0.7	0.7	0.9	0.7	0.8	0.6	23.5	4.20	3.93	15.68	0.74	44.33	695.2	24,550		
PTO 3	XC 480 NW-R 310	CUERPOS	25	0.5	0.6	0.4	0.6	0.5	0.4	0.6	0.5	0.6	23.4	4.55	3.92	16.94	0.53	32.00	542.2	19,148		
PTO 4	RP-320	CUERPOS	26	0.4	0.4	0.4	0.1	0.2	0.2	0.1	0.4	0.4	23.1	4.63	3.95	17.37	0.29	17.33	301.2	10,635		
PTO 5	GL 280 NE	CUERPOS	27	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	23.5	4.39	4.31	17.97	0.42	25.27	454.2	16,038		
TOTAL																					120,289	

Al examinar la Tabla 21, se evidencia que en las labores del nivel 20 de la zona de cuerpos mineralizados se cumplen con las obligaciones establecidas en el artículo 248 del D.S N° 024-2016 EM, respecto a la velocidad mínima del aire, que no debe ser inferior a 20 m/min, incrementándose a 25 m/min en caso de usar ANFO. Asimismo, se aprecia una mejoría en la temperatura del nivel 20, la cual se mantiene por debajo de los 29 grados centígrados.

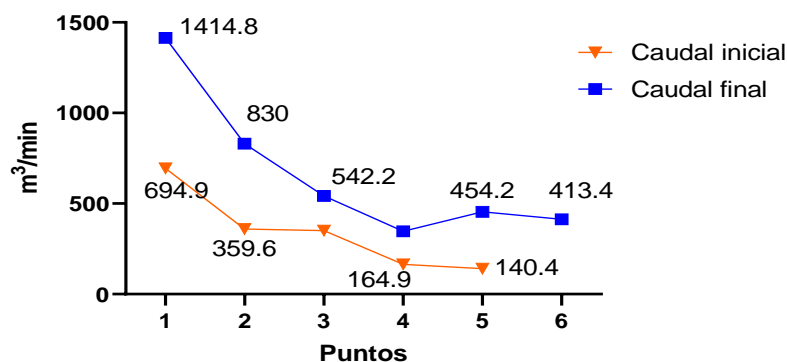


Figura 16. Comparación del caudal antes y después de la implementación del ventilador

### Interpretación

De acuerdo con la

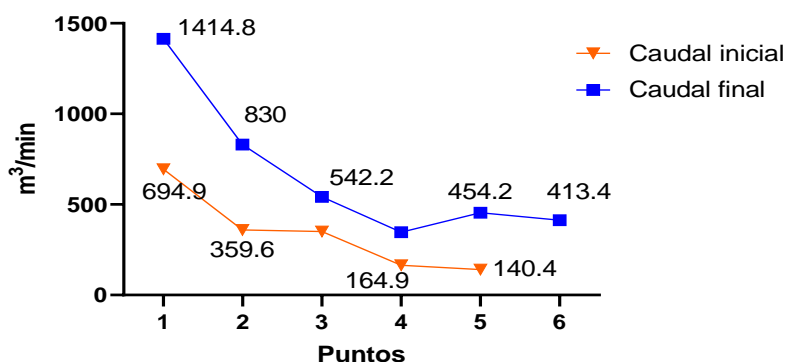


Figura 16, se puede observar que los valores de caudal inicial en las labores del nivel 20 de la zona de cuerpos mineralizados son inferiores en comparación con el caudal final luego de la implementación del ventilador. Esto sugiere que la instalación del ventilador ha resultado en un aumento significativo del flujo de aire en el área de trabajo, lo que podría mejorar las condiciones de ventilación y, por ende, la calidad del ambiente laboral para los trabajadores.

#### 4.5.2. Ingreso y salida del aire hacia el nivel 20 zona cuerpos mineralizados

La Tabla 22 describe la entrada de aire para el nivel 20 de la operación minera, detallando la ubicación de las entradas de aire, las velocidades del aire en metros por segundo (m/s), la temperatura en grados Celsius (°C), la sección de las entradas, el área de la sección (teniendo en cuenta un coeficiente de factor de corrección,  $FC=0.96$ ), y el caudal en metros cúbicos por minuto ( $m^3/min$ ) y pies cúbicos por minuto (cfm). Para dos ubicaciones de entrada de aire (“VEN-105” y “CAM 370”), se proporcionan velocidades de aire en nueve secciones distintas (V1-V9), junto con las temperaturas correspondientes. Además, se detalla el área de la sección, el caudal de aire en  $m^3/min$  y cfm para cada entrada, y se calcula el total del caudal de aire ( $Q_i$  Total) para ambas ubicaciones, que es de  $1700 m^3/min$  o  $60,000 cfm$ . Esto representa la

cantidad total de aire que ingresa al Nivel 20 a través de estas entradas específicas para mantener condiciones de ventilación adecuadas.

**Tabla 22. Entrada de aire**

ENTRADA DE AIRE																			
UBICACIÓN				VELOCIDADES (m/s)									VEL.	TEMP.	SECCIÓN		ÁREA	CAUDAL	
NIVEL	ESTAC.	ZONA	LABOR	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	(m/min)	(°C)	a1	h1	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /min)	cfm
															(m)	(m)	(FC=0.96)		
20	VEN-105	CUERPOS	CAM 480	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	850	30,000
20	CAM 370	CUERPOS	CAM 370	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	850	30,000
Qi Total																	1700	60,000	

La Tabla 23 describe la salida de aire para el nivel 20 y nivel 21A de la operación minera. Para dos ubicaciones de salida de aire (“PM 01” en el nivel 20 y “PM 04” en el nivel 21A, se proporcionan velocidades de aire en nueve secciones distintas (V1-V9), junto con las temperaturas correspondientes. Además, se detalla el área de la sección, el caudal de aire en m<sup>3</sup>/min y cfm para cada salida. Se calcula el Qs Total para todas las salidas, que es de 1,715 m<sup>3</sup>/min o 60,554 cfm. Asimismo, se aprecia que la temperatura de salida es de 22.6°C, estando dentro de lo que sugiere la norma.

**Tabla 23. Salida de aire**

SALIDA DE AIRE																			
UBICACIÓN				VELOCIDADES (m/s)									VEL.	TEMP.	SECCION		AREA	CAUDAL	
NIVEL	ESTAC.	ZONA	LABOR	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	(m/min)	(°C)	a1	h1	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /min)	cfm
															(m)	(m)			
20	PM 01	CUERPOS	RP (+13%)480NW	1.3	1.2	1.3	1.2	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	75.27	22.6°	4.93	4.01	18.78	1413.6	49,919
21A	PM 04	CUERPOS	RP320	0.4	0.4	0.4	0.1	0.2	0.2	0.1	0.4	0.4	17.33	23.1°	4.63	3.95	17.37	301.2	10,635
Qs Total																	1,715	60,554	



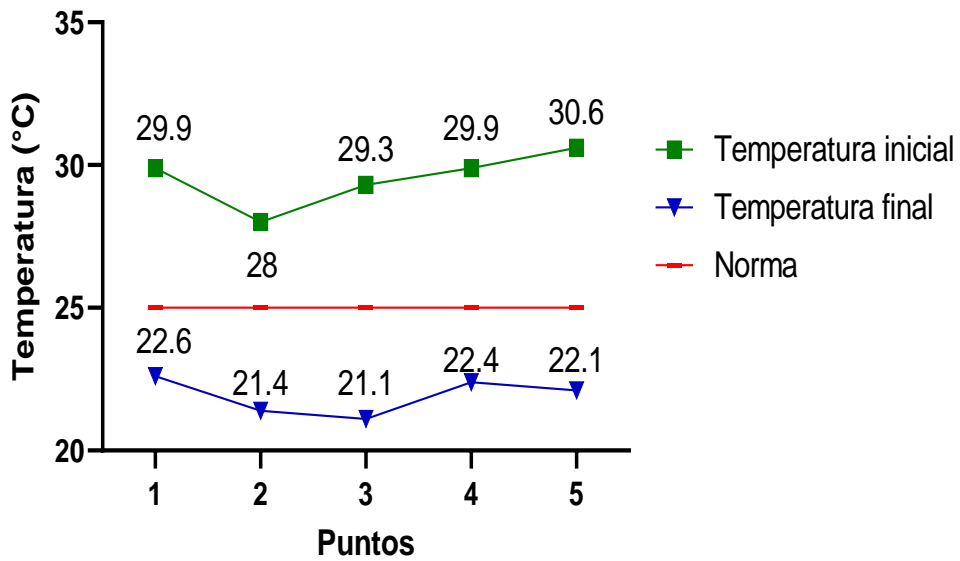


Figura 17. Comparación de la temperatura antes y después de la implementación del ventilador

### Interpretación

Según se observa en la

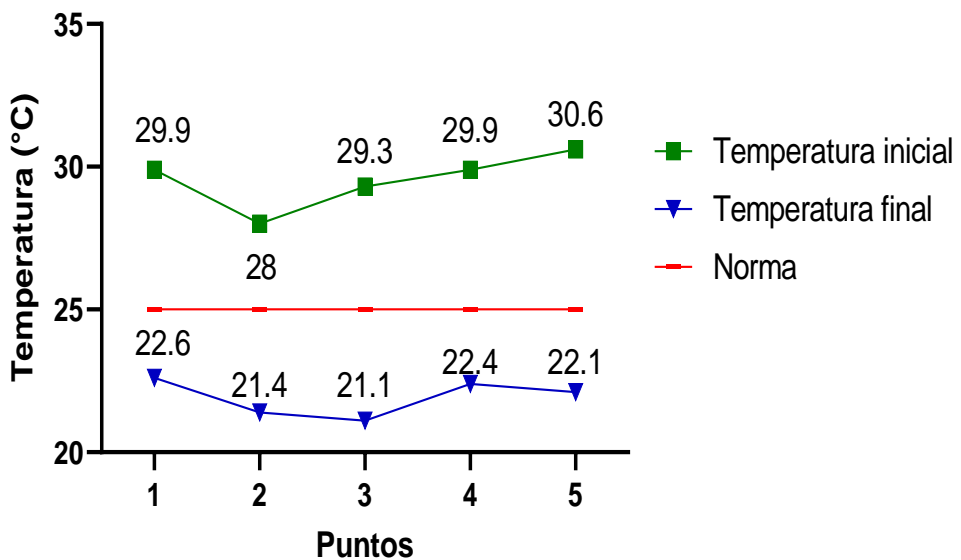


Figura 17, tras la implementación del ventilador, se registra una notable disminución en la temperatura, lo que indica un cumplimiento satisfactorio de la normativa D.S N° 024-2016 EM. Este resultado sugiere que la instalación del ventilador ha sido efectiva para regular la temperatura en el área de trabajo, lo que contribuye a crear un ambiente laboral más seguro y confortable para los trabajadores

La

Tabla 24 presenta el balance final de aire para el sistema de ventilación, lo que constituye un aspecto fundamental para garantizar condiciones adecuadas de aire en el ambiente minero. Se detalla que el ingreso de aire fresco es de 1,700 m<sup>3</sup>/min o 60,034 cfm, mientras que la salida de aire viciado es de 1,761 m<sup>3</sup>/min o 62,193 cfm. La diferencia entre la salida y el ingreso de aire es de 61 m<sup>3</sup>/min o 2,159 cfm. Esta diferencia indica la cantidad de aire que se está retirando o introduciendo en exceso en comparación con las necesidades de ventilación. La variación, expresada como un porcentaje, es del 3.5 % tanto para la cantidad de aire como para el caudal, lo que sugiere un equilibrio razonable entre el ingreso y la salida de aire en el sistema de ventilación.

**Tabla 24. Balance final de aire**

Balance de ventilación		
	Caudal	
	(m <sup>3</sup> /min)	(cfm)
Ingreso de aire fresco	1,700	60,034
Salida de aire viciado	1,761	62,193
Diferencia de aire (salida - ingreso)	61	2,159
Variación (%)	3.5%	3.5%

#### 4.5.3. Requerimiento de caudal de aire

A continuación, se presenta una síntesis del volumen de aire requerido para el área de cuerpos del nivel 20 en la unidad minera Americana. La Tabla 25 presenta un desglose detallado del caudal necesario para la ventilación en el nivel 20 de la operación minera. Enumera los diversos componentes que contribuyen al requerimiento total de aire, incluyendo el caudal necesario para el número de trabajadores, la regulación de la temperatura en las labores, y el funcionamiento de equipos con motor petrolero. Se calcula un total inicial de 1,427 m<sup>3</sup>/min (50,390 cfm), al que se añade el caudal adicional necesario para compensar las fugas en el sistema de ventilación, resultando en un caudal total requerido de 1,624 m<sup>3</sup>/min (57,343 cfm). Esta tabla proporciona una visión completa y detallada de los requisitos de ventilación en el

Nivel 20, lo que permite una planificación efectiva para mantener condiciones óptimas de aire en el área de trabajo.

**Tabla 25. Requerimiento de aire**

Requerimiento de aire		
	m <sup>3</sup> /min	cfm
Caudal requerido por el # de trabajadores	60	2,119
Caudal requerido por el consumo de madera	0	0
Caudal requerido por T° en las labores de trabajo	540	19,067
Caudal requerido por equipo con motor petrolero	827	29,204
$Q_{T1} = Q_{Tr} + Q_{Ma} + Q_{Te} + Q_{Eq}$	1,427	50,390
Caudal requerido por fugas ( $Q_{Fu}$ )	212	7,480
Caudal total requerido para el nivel 20 $Q_{To} = Q_{T1} + Q_{Fu}$	1,624	57,343

#### 4.5.4. Cobertura de aire

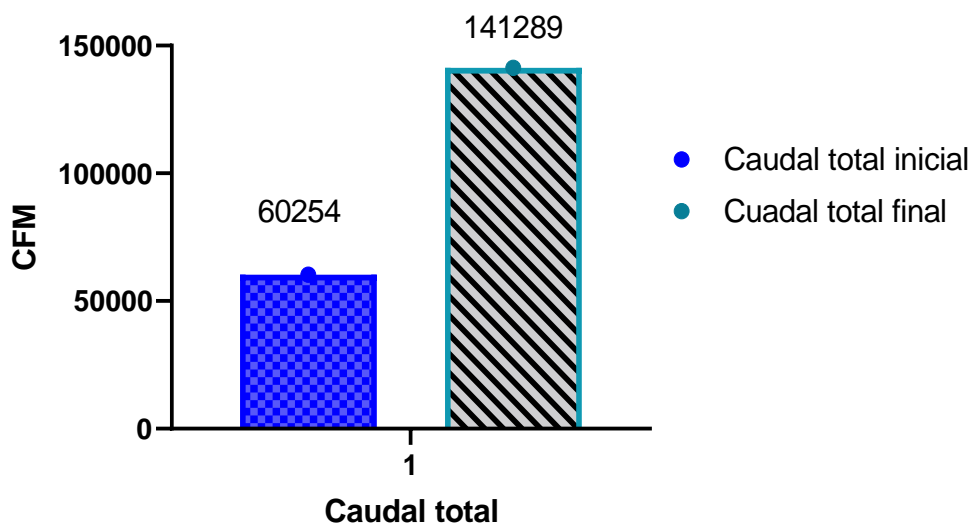
La Tabla 26 presenta una evaluación del balance entre el ingreso de aire fresco y el caudal requerido para la ventilación en el área de trabajo, lo que es esencial para entender la efectividad del sistema de ventilación. Detalla el ingreso de aire fresco, que es de 1,700 m<sup>3</sup>/min (60,000 cfm), y el caudal requerido, que es de 1,624 m<sup>3</sup>/min (57,343 cfm). La “Cobertura” representa la diferencia entre estos dos valores, lo que indica una cantidad adicional de 104.68 m<sup>3</sup>/min de aire fresco disponible en comparación con el requerido. Sin embargo, el “Déficit” del 4.7% señala que el caudal de aire fresco ingresado es ligeramente inferior al caudal requerido, lo que sugiere que podría ser necesario ajustar el sistema de ventilación para garantizar una cobertura completa y adecuada en el área de trabajo. Esta evaluación numérica es crucial para tomar decisiones informadas sobre la optimización del sistema de ventilación para mantener un ambiente de trabajo seguro y saludable. En este contexto, una vez que el ventilador auxiliar, con una capacidad de 30,000.0 cfm, y el ventilador auxiliar ya existente en el vel 20 CAM 480 SW estén en funcionamiento, se alcanzará una cobertura del 104.68%, lo que cumple con el flujo de aire necesario calculado.

**Tabla 26. Cobertura de aire**

Cobertura de aire
-------------------

	Caudal	
	(m <sup>3</sup> /min)	(cfm)
Ingreso de aire fresco	1,700	60,000
Caudal requerido	1,624	57,343
Cobertura	104.68	
Excedente favorable	4.68%	

Lo que indica la normativa D.S N° 024-2016 EM en el artículo 252 que el balance de ingreso y salida de aire en la mina. La diferencia de caudales de aire entre el ingreso y salida de aire no debe de exceder el 10 %. Como se observa en la tabla 26 de la cobertura de aire, hay un excedente favorable del 4.7 % el cual está dentro de la normativa ya indicada.



*Figura 18. Comparación del caudal total antes y después de la implementación del ventilador*

### **Interpretación**

De acuerdo con la Figura 18, se observa un aumento significativo en el caudal después de la implementación del ventilador. Este hallazgo sugiere que la instalación del ventilador ha tenido un impacto positivo en el flujo de aire dentro del sistema de ventilación. Es importante

destacar que este aumento en el caudal podría indicar una mejora en la eficiencia del sistema y potencialmente una mejor circulación de aire en el área de trabajo, lo que podría conducir a un entorno laboral más seguro y saludable para los trabajadores.

#### **4.6. Aportes de la investigación**

Se pudo mejorar el sistema de ventilación del nivel 20 zona de cuerpos mineralizados a través de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 de la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A.

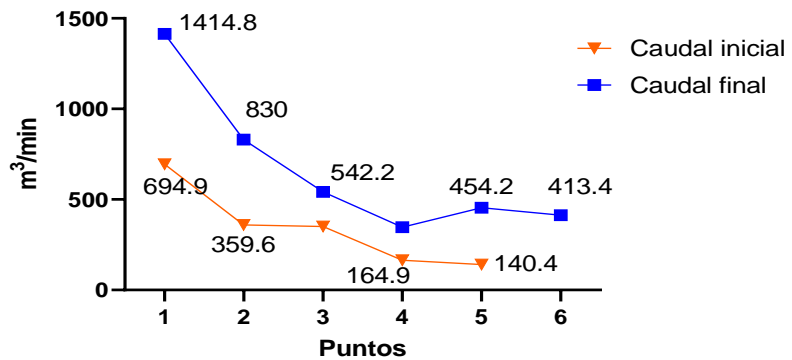
La investigación ha permitido identificar áreas de mejora en el sistema de ventilación del nivel 20 de la zona de cuerpos mineralizados, lo que ha llevado a la implementación de medidas específicas para mejorar el flujo de aire y mantener condiciones adecuadas de ventilación en el área de trabajo.

Se ha logrado cumplir con las normativas establecidas, como el D.S N° 024-2016 EM, en cuanto a la velocidad mínima del aire y la regulación de la temperatura en las labores mineras, garantizando así un ambiente laboral seguro y conforme a las regulaciones vigentes.

La instalación del ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 ha contribuido a reducir la temperatura y aumentar el caudal de aire en el área de trabajo, lo que ha generado un ambiente laboral más confortable y seguro para los trabajadores.

Al mejorar las condiciones ambientales en el lugar de trabajo, se espera un aumento en la eficiencia y productividad de los trabajadores, ya que contarán con un ambiente más adecuado para desarrollar sus tareas de manera óptima.

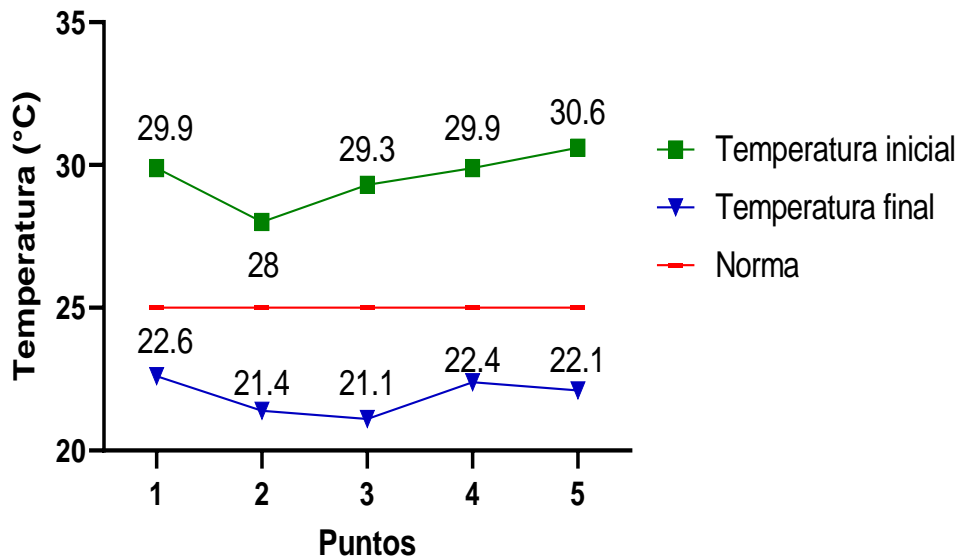
## CONCLUSIONES



1. De acuerdo con la

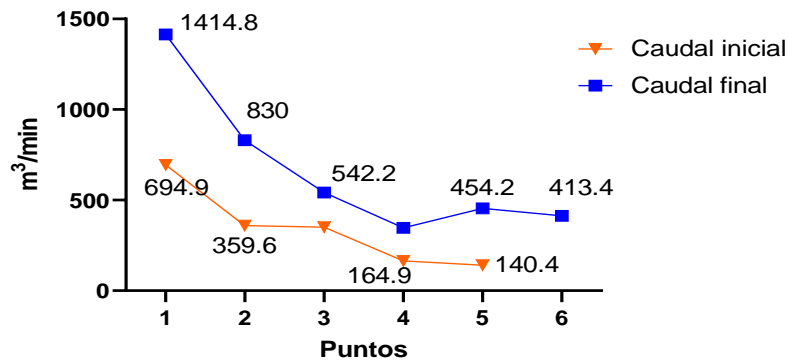
2. Figura

16,



3. Figura 17 y la Figura 18, en las cuales se muestra una comparación antes y después de la instalación del ventilador, se observa una mejora significativa en el sistema de ventilación. Tras la instalación del ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424, se logró alcanzar una temperatura de 22.6°C y un caudal de 60,000 CFM. Por lo tanto, se concluye que la instalación del ventilador ha mejorado efectivamente el sistema de ventilación.

4. De acuerdo con los cálculos presentados en la Tabla 13, Tabla 16, Tabla 17, Tabla 25 y la



5. Figura 16 y la Figura 18, se analizó el caudal necesario para regular la temperatura en el área de trabajo antes y después de la instalación del ventilador. Asimismo, se evaluó la cantidad de aire perdido debido a fugas antes de la instalación del ventilador, lo cual resalta la necesidad de mejorar el sistema de ventilación. Además, se compararon los caudales totales de aire antes y después de la instalación del ventilador para verificar el incremento en el flujo de aire. Por último, se realizó una revisión general de los diferentes caudales requeridos en el nivel 20, lo que contribuyó a contextualizar la mejora en el caudal de flujo de aire después de la instalación del ventilador. Por consiguiente, se concluye que la instalación del ventilador ha mejorado efectivamente el caudal de flujo en el nivel 20 zona cuerpos mineralizados en la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A.

6. De acuerdo con la tabla 23 y la figura 18, se observa que luego de la implementación del ventilador, la temperatura alcanzó los 22.6°C, lo que indica que se encuentra dentro de los parámetros sugeridos por la normativa D.S N° 024-2016 EM. Por lo tanto, se concluye que la instalación del ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 en el Nivel 20 de la zona de cuerpos mineralizados ha demostrado ser una medida efectiva para mejorar tanto el caudal de flujo de aire como la temperatura en el área de trabajo. Estas mejoras no solo cumplen con las regulaciones establecidas por la normativa D.S N° 024-2016 EM, sino que también contribuyen a optimizar las condiciones operativas y aumentar la eficiencia en las labores mineras.

7. De acuerdo con la tabla 7 y tabla 21, se observa que luego de la implementación del ventilador impelente, las velocidades de caudal de aire en las labores RP (+13%)480NW, GL 325 SW, XC 480 NW-R 310 y GL 280 NE mejoran notablemente estando dentro de los parámetros sugeridos por la normativa D.S N.º 024-2016 EM. De esto concluimos que la instalación del ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 ayuda también a la

distribución de un buen flujo de aire en las diferentes labores del nivel 20 zona cuerpos mineralizados.

### **RECOMENDACIONES**

1. Realizar un monitoreo regular del sistema de ventilación. Se sugiere establecer un programa de monitoreo quincenal del sistema de ventilación para garantizar su correcto funcionamiento y detectar cualquier anomalía o necesidad de ajuste de manera oportuna.
2. Implementar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para el sistema de ventilación que incluya la limpieza regular de conductos, filtros y equipos, así como la reparación de posibles averías para asegurar su eficiencia y durabilidad a largo plazo. Este plan se recomienda que sea trimestralmente.
3. Proporcionar capacitación adecuada al personal encargado del manejo y supervisión del sistema de ventilación para que estén familiarizados con su operación, mantenimiento y resolución de problemas básicos, garantizando así su correcto funcionamiento y respuesta efectiva ante cualquier eventualidad.
4. Realizar evaluaciones periódicas de las condiciones ambientales en el área de trabajo, incluyendo la temperatura, humedad y calidad del aire, para identificar posibles áreas de mejora en el sistema de ventilación y garantizar un ambiente laboral seguro y saludable para todos los trabajadores.



## BIBLIOGRAFÍA

1. MINERA SOSTENIBLE DE GALICIA. El 45% de economía mundial está impulsada por el sector minero. Online. 2022. [Accessed 30 March 2024]. Recuperado de: <https://minariasostible.gal/es/economia-mundial-y-el-sector-minero/>
2. ZITRÓN. Automatización de la mina. Online. 2021. [Accessed 30 March 2024]. Recuperado de: <https://zitron.com/articulo-sobre-la-automatizacion-de-la-mina-innovacion-hacia-la-mineria-autonoma/?lang=es>
3. HERRERA, Angél. Aire óptimo para un entorno seguro en mina. *Rumbo minero*. Online. November 2022. Vol. Noviembre, no. 149, p. 406–413. Recuperado de: <https://online.flippingbook.com/view/396326909/#zoom=true>
4. SIBER. Historia de la ventilación, en busca de un mejor aire a respirar. Online. 2016. [Accessed 30 March 2024]. Recuperado de: <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/historia-de-la-ventilacion/>
5. TECNOLOGÍA MINERA. Tecnologías en sistemas de ventilación en minería subterránea. Online. 2024. [Accessed 30 March 2024]. Recuperado de: <https://tecnologiaminer.com/noticia/tecnologias-en-sistemas-de-ventilacion-en-mineria-subterranea-1699537736>
6. MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA. *Real Decreto 1389/1997: Disposiciones mínimas destinadas a proteger la seguridad y la salud de los trabajadores en las actividades mineras*. Online. 1997. Madrid: Ministerio de Industria y Energía. Recuperado de: <https://www.boe.es/boe/dias/1997/10/07/pdfs/A29154-29164.pdf>
7. COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. *Minería para un futuro bajo en carbono: Oportunidades y desafíos para el desarrollo sostenible*. Online. 2019. Santiago de Chile: Naciones Unidas. Recuperado de: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/55fb4820-5533-4362-8c86-35dc3a42662c/content>
8. MINERÍA CHILENA. Académicos trabajan en dispositivo para predecir fallas de ventiladores en faenas mineras. Online. 2023. [Accessed 30 March 2024]. Recuperado de: <https://www.mch.cl/innovacion/academicos-trabajan-en-dispositivo-para-predecir-fallas-de-ventiladores-en-faenas-mineras/>
9. OMNIA SOLUTION. La Minería en Perú: Una industria en constante evolución. Online. 2023. [Accessed 30 March 2024]. Recuperado de: <https://omniasolution.com/2023/07/18/la-mineria-en-peru-una-industria-en-constante-evolucion/>
10. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. *Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería*. Online. 2020. Lima: MINEM. Recuperado de:

<https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/LIBROS/RSSO/RSSO2020.pdf>

11. POSITIVA COMPAÑÍA DE SEGUROS. *Guía de seguridad para ventilación de minas subterráneas*. Online. 2017. Bogotá: Compañía Positiva. Recuperado de: [https://www.anm.gov.co/sites/default/files/folleto\\_mineria\\_ventilacion.pdf](https://www.anm.gov.co/sites/default/files/folleto_mineria_ventilacion.pdf)
12. SERNAGEOMIN. *Guía metodológica de seguridad para proyectos de ventilación de minas*. Online. 2008. Santiago de Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería. Recuperado de: <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/12/200812GuiaVentilacionMinas.pdf>
13. VIVES, Jordi, BASCOMPTA, Marc, DE FELIPE, José and SANMIQUEL, Lluís. Estudio mediante Mecánica de Fluidos Computacional (CFD) para optimizar el sistema de ventilación auxiliar en una mina subterránea. *DYNA*. Online. 2022. Vol. 89, no. 221, p. 84–91. DOI 10.15446/dyna.v89n221.100297.
14. VALAREZO, Moises. Diseño del sistema de ventilación en la concesión minera “Cebal” y diseño del sistema de desague en la concesión minera “R-Nivel”, Zaruma - El Oro. Tesis [Título de Ingeniero de Minas]. Cuenca-Ecuador: Universidad del Azuay, 2020, 103 pp
15. RIVERA, Gersson. Análisis del circuito de ventilación mediante simulación con Ventsim de una mina subterránea de carbón artesanal en la provincia de Arauco, Región del Biobío. Informe de Examen Profesional [Título de Ingeniero de Minas]. Universidad De Concepción, 2020, 51 pp.
16. MEJÍA, Marco, MORALES, Karla and CHACHA, Diego. Sistema de ventilación para labores subterráneas de la empresa PRODUMIN S.A. *ConcienciaDigital*. Online. 2020. Vol. 3, no. 2.2, p. 154–168. DOI 10.33262/concienciadigital.v3i2.2.1253.
17. REBOLLEDO, César. Propuesta de ventilación para Minera Blanco III, Comuna de Los Vilos. Tesis [Título de Técnico Universitario en Minería y Metalurgia]. Chile: Universidad Técnica Federico Santa María, 2019, 76 pp.
18. CIEZA, Aldair and RABINES, Cynthia. Diseño de un sistema de ventilación para la optimización de la calidad de aire en la Mina Sirius Alfa – Pátapo. Tesis [Título de Ingeniero de Minas]. Chiclayo - Perú: Universidad César Vallejo, 2023, 96 pp.
19. CRUZ, Edin and COTRINA, María. Diseño del sistema de ventilación para mejorar la circulación del aire y dilución de gases en el nivel 4049 de una unidad minera del distrito de Buldibuyo 2020. Tesis [Título de Ingeniero de Minas]. Trujillo - Perú: Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI, 2022.
20. ZAVALA, Luis. Evaluación del sistema de ventilación para mejorar deficiencia de aire en mina Antapite de Empresa Sierra Antapite S.A.C. 2022. Tesis [Título de Ingeniero de Minas]. Huancayo - Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2022., 80 pp.

21. HUAMANÍ, Juan. Mejoramiento del sistema de ventilación subterránea de la mina Condor IV, minera el palacio del Cóndor S.A.C. Tesis [Título de Ingeniero de Minas]. Huancayo - Perú: Universidad del Centro del Perú, 2020, 80 pp.
22. RAICO, Alexander. Evaluación y optimización del sistema de ventilación del túnel de exploración Chaquicocha nivel 3750 - Minera Yanacocha, 2018. Tesis [Título de Ingeniero de Minas]. VCajamarca - Perú: Universidad Nacional Cajamarca, 2019, 104 pp.
23. CCANQUE, Jhon. Optimización del sistema de ventilación a corto plazo mediante la construcción de Raise Boring-CIA Minera Alpayana S.A.-Lima. Tesis [Título de Ingeniero de Minas]. Cusco - Perú: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 2023, 153 pp.
24. LOZANO, Paul. Incremento de capacidad de ventilación en zonas de Cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A. Tesis [Título de Ingeniero de Minas]. Huancayo - Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019.
25. HERRERA, Juan. *Introducción a la ventilación minera*. 2019. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de: [https://oa.upm.es/70227/3/VENTILACION\\_DE\\_MINA\\_LM2B5T3\\_R0-20190418.pdf](https://oa.upm.es/70227/3/VENTILACION_DE_MINA_LM2B5T3_R0-20190418.pdf)
26. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. *Protocolos y guía de procedimiento para la ventilación y prevención de atmósferas viciadas de labores mineras de oro*. Online. 2019. Bogotá : Minenergía. Recuperado de: <https://www.minenergia.gov.co/documents/7130/protocolo-guia-ventilacion-prevencion-explosiones-oro-mme-2022.pdf>
27. ZITRÓN. *Ventilación de minas*. Online. 2010. Gijón : Empresa Zitrón. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/OoTtAaXx/libro-ventilaciondeminas>
28. ÁREA DE GEOLOGÍA DE LA COMPAÑÍA MINERA ALPAYANA S.A. *Geología de la Compañía minera Alpayana S.A.* 2022. Lima : Compañía minera Alpayana S.A.
29. ÁREA DE PLANEAMIENTO E INGENIERÍA DE COMPAÑÍA MINERA ALPAYANA S.A. *Rutas de accesibilidad a la Unidad minera Americana*. 2022. Casapalca : Compañía minera Alpayana S.A.
30. ÁREA DE GEOMECÁNICA DE LA COMPAÑÍA MINERA ALPAYANA S.A. *Informe de las masas rocosas*. 2022. Casapalca : Compañía minera Alpayana S.A.
31. PARAGUA, Melecio, BUSTAMANTE, Nicéforo, NORBERTO, Liz, PARAGUA, Melissa and PARAGUA, Carlos. *Investigación Científica: Formilación de proyectos de investigación y tesis*. Online. Primera. Huánuco : Universidad Nacional Hermilio Valdizan, 2022. ISBN 9786120076385. Recuperado de: <https://www.unheval.edu.pe/portal/wp-content/uploads/2022/05/LIBRO-INVESTIGACION-CIENTIFICA.pdf>

32. HERNANDEZ, Roberto, FERNANDEZ, Carlos and BAPTISA, Pilar. *Metodología de la Investigación*. . Sexta. Ciudad de México : Mc Graw Hill, 2014. ISBN 9781456223960.
33. VARGAS, Zoila. La Investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*. Online. 2009. Vol. 33, no. 1, p. 155–165. Recuperado de: <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/educacion/article/view/538>
34. POLANÍA, Claudia, CARDONA, Félix, CASTAÑEDA, Gloria, VARGAS, Inés, CALVACHE, Octavio and ABANTO, Walter. *Metodología de Investigación cuantitativa y cualitativa*. Online. Primera. Valle del cauca : Institución Universitaria Antonio José Camacho Universidad César Vallejo, 2020. ISBN 9789588292991. Recuperado de: <https://repositorio.uniajc.edu.co/handle/uniajc/596>
35. ÑAUPAS, Humberto, VALDIVIA, Marcelino, PALACIOS, Jesús and ROMERO, Hugo. *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis*. Online. Quinta. Bogotá : Ediciones de la U, 2018. ISBN 9788578110796.
36. CAMPOS, Guillermo and LULE, Nallely. La Observación: Un Método Para El Estudio De La Realidad. *Xihmai*. Online. 2012. Vol. 7, no. 13, p. 45–60. DOI 10.37646/xihmai.v7i13.202.

## **ANEXOS**

## Anexo 1

### Matriz de Consistencia

Título: “Mejoramiento del sistema de ventilación del nivel 20 zona de cuerpos mineralizados a través de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 de la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A.- 2024”.

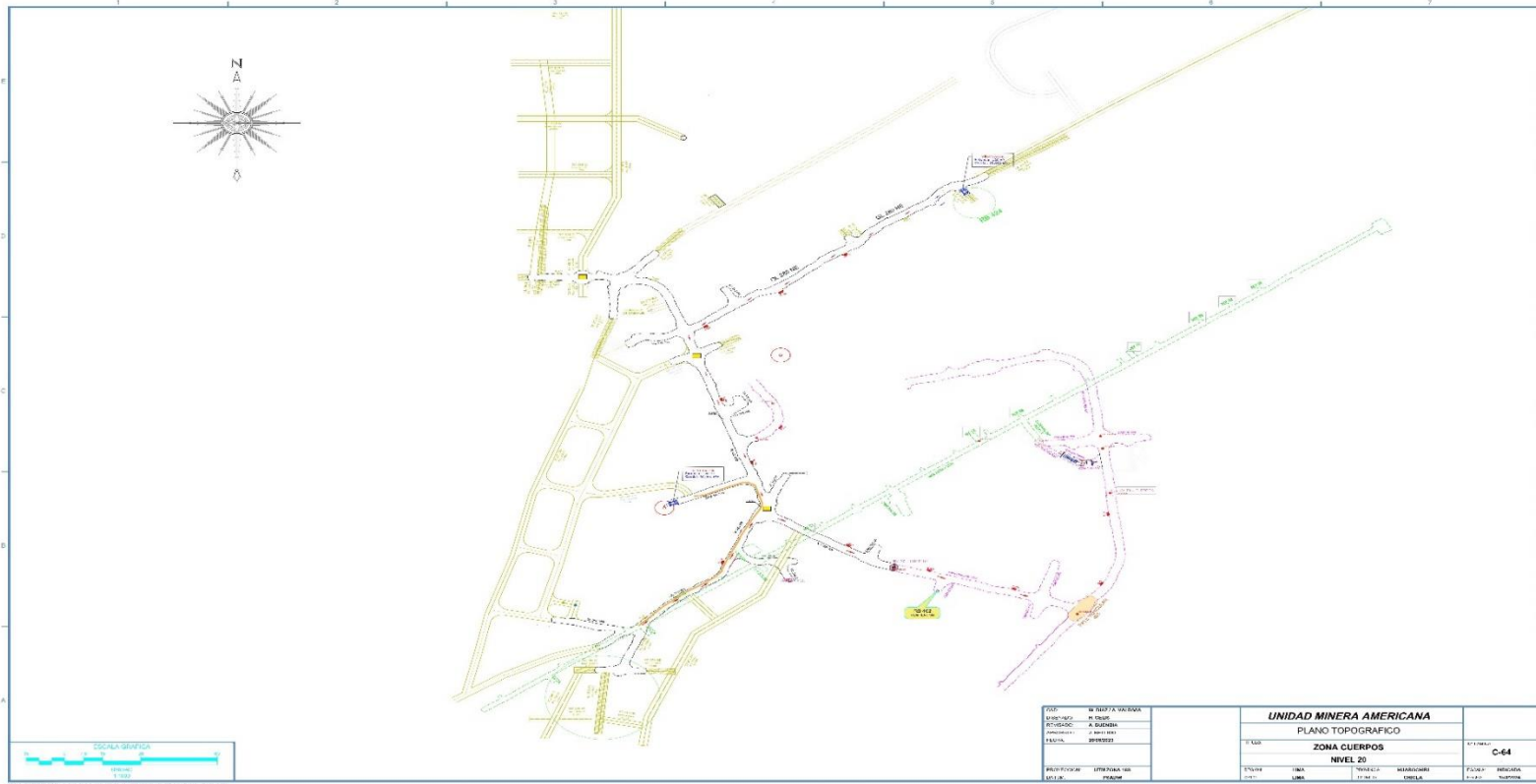
Autor: Ronny Zuñiga Callupe

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables e indicadores	Metodología	Muestra	Técnicas e instrumentos
<p>Problema General: ¿Cómo mejorará el sistema de ventilación del nivel 20 zona cuerpos mineralizados a través de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 en la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A.- 2024?</p> <p>Problemas Específicos: - ¿Cómo mejorará el caudal de flujo de aire en el nivel 20 zona</p>	<p>Objetivo General: Determinar cómo mejorará el sistema de ventilación del nivel 20 zona cuerpos mineralizados a través de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 en la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A.-Lima 2024.</p> <p>Objetivos Específicos:</p>	<p>Hipótesis General: El sistema de ventilación mejorará notablemente por medio de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 en la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A. - 2024.</p> <p>Hipótesis Específicas: - El caudal de aire mejorará notablemente por</p>	<p>Variable Dependiente: Sistema de ventilación</p> <p>Indicadores: Caudal (pies<sup>3</sup>/min, CFM) Gases (O<sub>2</sub>=%, CO<sub>2</sub>=ppm, NO<sub>2</sub>=ppm, CO=ppm) Velocidad (m/min) Temperatura (°C)</p> <p>Variable Independiente:</p>	<p>Tipo de Investigación: Aplicada Nivel de Investigación: Explicativo Método Científico: Diseño: Experimental</p>	<p>Población: Abarca la totalidad de los sistemas de ventilación encargados de dirigir el aire desde el Nivel 18 al Nivel 23 dentro del área de cuerpos mineralizados perteneciente a la Unidad minera Americana.</p> <p>Muestra:</p>	<p>Técnicas: - Análisis documental - Observación Instrumentos: - Ficha de análisis documental - Ficha de observación</p>

<p>cuerpos mineralizados a través de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 en la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A. - 2024?</p>	<p>- Conocer como mejorará el caudal de flujo de aire en el nivel 20 zona cuerpos mineralizados a través instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 en la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A. - 2024.</p>	<p>medio de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 en la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A. - 2024.</p>	<p>Instalación de un ventilador impelente</p> <p>Indicadores:</p> <p>Potencia (HP)</p> <p>Caudal generado (pies<sup>3</sup>/min, CFM)</p>	<p>El Nivel 20 zona cuerpos mineralizados de la Unidad Económica Activa Americana.</p> <p>Muestreo: No probabilístico</p>
<p>- ¿Cómo mejorará la temperatura en el nivel 20 zona cuerpos mineralizados a través de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 en la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A. - 2024?</p>	<p>- Conocer como mejorará la temperatura en el nivel 20 zona cuerpos mineralizados a través de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 en la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A. 2024.</p>	<p>- La temperatura mejora notablemente por medio de la instalación de un ventilador impelente en la chimenea Raise Boring 424 en la Unidad Económica Activa Americana de la Compañía Minera Alpayana S.A. - 2024.</p>		

## Anexo 2

### Planos topográficos del Nivel 20 zona cuerpos mineralizados



*Tomada del Área de Planeamiento e Ingeniería*



### Anexo 3

Levantamiento de ventilación velocidad de flujo de aire y temperatura, realizado por mi persona






Anexo 4

Formato relleno de levantamiento de ventilación en campo de las labores RP (+13%)480NW, GL 325 SW, XC 480 NW-R 310 ,RP 320 y GL 280 NE antes de la instalación del ventilador impelente y después de la instalación el ventilador impelente

			REQUERIMIENTO DE CAUDAL DE AIRE																
			REALIZADO POR: <i>Zuñiga Collaps, Ronny</i>											NIVEL:		20			
H.	Labor	ZONA	Nivel	VELOCIDAD (m/s)									TEMP °C	sección		Area m <sup>2</sup>	Velocidad m/min	Caudal cfm	
				V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9		a (m)	h (m)				
	1 RP (+13%) 480 NW Campo		20	1,3	1,2	1,3	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	22,6	4,93	4,01	18,78	75,27	49,717	
	2 GL 325 SW Campo		20	0,8	0,6	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,8	0,6	22,5	4,20	3,93	15,68	49,33	24,550	
	3 XC 480 NW-R 310 Campo		20	0,5	0,6	0,4	0,6	0,5	0,4	0,6	0,5	0,6	22,4	4,55	3,97	16,97	32,00	18,198	
	4 RP-320		20	0,4	0,4	0,4	0,1	0,2	0,2	0,1	0,4	0,4	23,1	4,63	3,95	17,37	17,33	10,635	
	5 GL 280 NE Campo		20	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5	0,4	23,3	4,39	4,31	17,97	23,27	16,038	

				REQUERIMIENTO DE CAUDAL DE AIRE										NIVEL		20		
				REALIZADO POR: <i>Zorilga Callupe, Ronny</i>														
Ed.	Labor	ZONA	Nivel	VELOCIDAD (m/s)									TEMP °C	seccion		Area m <sup>2</sup>	Velocidad m/min	Caudal cfm
				V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9		a (m)	b (m)			
P1	RC 480 NW	Comp	20	0,50	0,60	0,61	0,51	0,51	0,71	0,80	0,70	0,62	29,1	7,93	4,01	18,28	37,00	14,584
P2	RC 325 SW	Comp	20	0,44	0,44	0,41	0,34	0,40	0,38	0,36	0,32	0,35	28	7,20	3,93	13,68	33,93	12,699
P3	RC 480 NW - 2310	Comp	20	0,27	0,28	0,38	0,23	0,28	0,40	0,43	0,34	0,32	29,3	7,35	3,93	16,94	20,67	11,766
P4	RP 320	Comp	20	0,21	0,31	0,2	0,11	0,20	0,21	0,10	0,02	0,02	29,2	7,67	3,93	14,63	8,40	5,695
P5	RC 180 NC	Comp	20	0,13	0,15	0,13	0,12	0,10	0,12	0,15	0,13	0,14	29	4,39	4,31	11,97	7,80	4,931

## Anexo 5

**Traslado de ventilador de 30,000 cfm hacia la Camara 370 SE donde se instalará el ventilador.**





## Anexo 6

### Instalación del ventilador de 30,000 cfm en la Cámara 370 SE

