

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TRUJILLO
“BENEDICTO XVI”
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE MINAS



**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA
MEJORAR LA EVACUACIÓN DE GASES EN LA MINA
NUEVA ESPERANZA, ALGAMARCA, 2025**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS**

AUTOR

Br. Rudas Caja, Carlos Jaimito

<https://orcid.org/0009-0001-0489-9995>

ASESOR

Dr. Saldaña Milla, Fernando Arístides

<https://orcid.org/0000-0002-7274-6974>

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Optimización de procesos y minería inteligente

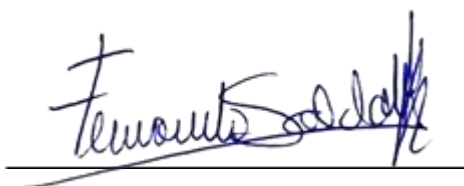
TRUJILLO - PERÚ

2025

DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura:

Yo, Dr. Saldaña Milla Fernando con DNI N° 18135414, como asesor del trabajo de investigación titulado “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA MEJORAR LA EVACUACIÓN DE GASES EN MINA NUEVA ESPERANZA, ALGAMARCA 2025”, desarrollado por el egresado Carlos Jaimito Rudas con DNI N° 75689181 del Programa de estudios de Ingeniería de Minas; considero que dicho trabajo reúne las condiciones técnicas y científicas, las cuales están alineadas a las normas establecidas en el Reglamento de Estudiantes y de Grados y Títulos de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI y en la normativa para la presentación de trabajos de titulación de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Por tanto, autorizo la presentación del mismo ante el organismo pertinente para que sea sometido a evaluación por los jurados designados por la mencionada facultad.

A handwritten signature in blue ink, reading 'Fernando Saldaña Milla', is positioned above a horizontal line.

Dr. Saldaña Milla Fernando

Asesor

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

EXMO. MONS. GILBERTO ALFREDO VIZCARRA MORI, S.J.

Arzobispo Metropolitano de Trujillo

Gran Canciller

Universidad Católica de Trujillo “Benedicto XVI”

DR. MARCOANTONIO PACHERRES TORREJÓN

Rector de la Universidad Católica de Trujillo “Benedicto XVI”

DRA. SILVIA VALVERDE ZAVALETA

Vicerrectora Académica

DRA. GINA ZAVALETA ESPEJO

Vicerrectora de Investigación

MG. HENRY CHIPANA SALDAÑA

Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

DRA. TERESA SOFÍA REATEGUI MARÍN

Secretaria General

DEDICATORIA

Extiendo mi gratitud, a mi querido padre, un hombre que, con su exigencia, amor, consejos y disciplina, me inculcó a seguir adelante frente a cualquier circunstancia, a nunca rendirme y querer superarme en la vida. A mi amada madre que, con sus consejos y amor, me inculcó a luchar por mis objetivos, ser un hombre de bien y a ser perseverante. A mis hermanos por ser un motivo en mi vida de salir adelante.

AGRADECIMIENTO

A los miembros directivos, por su compromiso, dedicación al desarrollo académico, humano y profesional de mi persona. A los docentes por brindarme las herramientas a lo largo de la carrera, y mi asesor por su compromiso y paciencia a lo largo de la investigación.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, **Carlos Jaimito Rudas Caja**, con **DNI N.º75689181**, egresado del **Programa de estudios de pregrado de Ingeniería de Minas** de la **Universidad Católica de Trujillo “Benedicto XVI”**, doy/damos fe de que he/hemos seguido rigurosamente los procedimientos académicos y administrativos establecidos por la **Facultad de Ingeniería y Arquitectura** para la elaboración y sustentación del informe de tesis titulado: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA MEJORAR LA EVACUACIÓN DE GASES EN MINA NUEVA ESPERANZA, ALGAMARCA, 2025”**, el cual consta de un total de 76 páginas, incluyendo 12 tablas, 10 figuras y 15 páginas de anexos.

Dejo constancia de la **originalidad y autenticidad** de la mencionada investigación y declaro, bajo juramento y en cumplimiento de los principios éticos, que el contenido del documento es **de mi exclusiva autoría** en cuanto a redacción, organización, metodología y diagramación. Asimismo, garantizo que los fundamentos teóricos están debidamente sustentados en fuentes bibliográficas, asumiendo la responsabilidad de cualquier omisión involuntaria en la citación de autores.

En este sentido, declaro que el uso de herramientas de inteligencia artificial en el presente trabajo se ha limitado exclusivamente a la mejora de la redacción y corrección de errores gramaticales y sintácticos, sin que ello haya influido en la generación del contenido, análisis o interpretación de los resultados de la investigación.

Del mismo modo, reconozco que cualquier vulneración a los derechos de autor derivada del presente trabajo será de mi exclusiva responsabilidad, asumiendo las consecuencias académicas y legales que pudieran derivarse conforme a la normativa vigente.

El autor



Br. Rudas Caja Carlos Jaimito

75689181

ÍNDICE

CARÁTULA	¡Error! Marcador no definido.
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD	2
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD	6
ÍNDICE	7
INDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
I. INTRODUCCIÓN	12
II. METODOLOGÍA	27
2.1. Enfoque y tipo de investigación	27
2.2. Diseño de metodológico	27
2.3. Población, muestra y muestreo	27
2.4. Técnicas e instrumentos de recojo de datos	27
2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	28
2.6. Aspectos éticos en investigación.	29
III. RESULTADOS	30
IV. DISCUIÓN	48
V. CONCLUSIONES	53
VI. RECOMENDACIONES	54
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
ANEXOS	62

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Relación de altura sobre el nivel del mar y caudal mínimo de aire.</i>	24
Tabla 2. <i>Relación de consumo de madera y factor de producción.</i>	24
Tabla 3. <i>Niveles aceptables de concentración de gases generados por voladuras y presentes dentro de la mina.</i>	25
Tabla 4. <i>Niveles de concentración de gases generados por voladuras y presentes dentro de la mina.</i>	30
Tabla 5. <i>Diagnostico respecto de los gases en una zona ventilada y los valores máximos y mínimos dentro de la mina.</i>	31
Tabla 6. <i>Análisis descriptivo.</i>	46
Tabla 7. <i>Análisis estadístico.</i>	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ventilador propuesto para el sistema de ventilación.	41
Figura 2 Diseño de la unidad minera y con sus diferentes niveles.	42
Figura 3 Flujo y dirección del aire de la unidad de minera.	42
Figura 4 Propuesta de la instalación de la maga de ventilación en la labor.	43
Figura 5 Nivel y concentración de los gases en el simulador.	43
Figura 6 Digitalización del ventilador propuesto en el software.	44
Figura 7 Simulación del sistema de ventilación en el software Ventsim.	44
Figura 8 Concentración de gases después de la simulación.	45
Figura 9 Vista frontal del sistema de ventilación.	45
Figura 10 Vista de perfil del sistema de ventilación.	46

RESUMEN

El estudio desarrollado tuvo como propósito realizar la concepción de un mecanismo de ventilación principal para mejorar la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza, Algamarca 2025. Estudio tuvo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, con un diseño no experimental; como muestra fue una labor denominada Ruth de una mina subterránea en Algamarca. Entre los resultados, se analizó las concentraciones de gases, revelando índices monóxido de carbono (hasta 184 ppm) y dióxido de nitrógeno (hasta 2.7 ppm) que superaban los límites permisibles, confirmando la necesidad del sistema de ventilación; donde se calculó un caudal total requerido de 14,385.15 CFM, considerando factores como oxigenación para personal, control térmico, dilución de gases de explosivos y fugas del sistema. Posteriormente, se procedió con una simulación en Ventsim seleccionando un ventilador axial JET FAN 25-17 para reducir las concentraciones de gases, evidenciado con la prueba t-student con una alta significancia inversa. Concluyéndose, que la implementación del sistema de ventilación principal permite la evacuación de gases como una solución técnica viable, logrando reducir significativamente los niveles de sustancias peligrosas, y con la prueba de hipótesis se justifica el resultado y del sistema de ventilación.

Palabra clave: Mina subterránea, Gases, Ventilación, Ventsim, Costos.

ABSTRACT

The present research aimed to design a main ventilation system to improve gas evacuation in the Nueva Esperanza mine, Algamarca 2025. The study had a quantitative approach, applied type, with a non-experimental design; the sample was a work called Ruth from an underground mine in Algamarca. Among the results, gas concentrations were analyzed, revealing carbon monoxide levels (up to 184 ppm) and nitrogen dioxide (up to 2.7 ppm) that exceeded permissible limits, confirming the need for the ventilation system; a total required airflow of 14,385.15 CFM was calculated, considering factors such as personnel oxygenation, thermal control, dilution of explosive gases, and system leaks. Subsequently, a simulation was performed in Ventsim selecting a JET FAN 25-17 axial fan to reduce gas concentrations, evidenced by a student's t-test with a high inverse significance; additionally, an investment of S/ 21,152.40 in equipment and installation would be needed, along with operating costs. It is concluded that the implementation of the main ventilation system allows for gas evacuation as a technically and economically viable solution, achieving a significant reduction in toxic gas concentrations, and the hypothesis test justifies the result and the ventilation system.

Keywords: Underground mine, Gases, Ventilation, Ventsim, Costs.

I. INTRODUCCIÓN

La circulación del aire dentro de las excavaciones subterráneas resulta fundamental para la integridad de los empleados, especialmente en minas subterráneas, donde la concentración de emanaciones tóxicas o inflamables representa un riesgo elevado. En contextos de minería artesanal, la instalación de mecanismos de renovación de aire apropiados se vuelve aún más crítica debido a las limitaciones en recursos y tecnología que afectan a este sector. La carencia de un esquema de ventilación eficiente no solamente afecta el bienestar de los mineros, además disminuye el rendimiento al dificultar las condiciones laborales e incrementar la probabilidad de incidentes (Rumbo minero, 2020).

Globalmente, la extracción a pequeña escala enfrenta un desafío constante en cuanto a la gestión de la ventilación subterránea, ya que los equipos y sistemas convencionales suelen ser costosos. En muchas regiones, el limitado acceso a tecnología adecuada y la falta de capacitación sobre la importancia de la ventilación eficiente se suman a este problema. La acumulación de vapores nocivos tales como el óxido de carbono., gases nitrosos (producto de la voladura), metano, gases sulfuros, etc.; no solo es perjudicial para la salud de los mineros, sino que puede derivar en explosiones y accidentes fatales (Soler & Palau Sistemas de Ventilación, 2021).

En el Perú, la minería artesanal tiene un papel relevante en la economía, especialmente en zonas remotas. Sin embargo, el país enfrenta desafíos similares, exacerbados por la informalidad y el uso de métodos tradicionales de extracción. La carencia de instalaciones básicas en estas minas incrementa la presencia de gases nocivos, agravada por la escasez de infraestructuras de flujo de aire apropiados. Esto ha derivado en numerosos incidentes de salud ocupacional, además de pérdidas de vidas y daños al ambiente de trabajo (Seguridad Minera, 2020).

El estudio se centró en la Explotación Minera Nueva Esperanza, situada en la localidad de Algamarca, que representa una labor de minería subterránea pequeña y carácter artesanal. Su actividad principal se centraba en la extracción de minerales oxidados y sulfurados, entre los que destacan la pirita y el "paco", una denominación local que indica la presencia de metales valiosos como oro, cobre y plata. Con una capacidad de extracción de aproximadamente 8 toneladas diarias, esta mina se adentra en el subsuelo

para acceder a los yacimientos, empleando métodos que, si bien modestos en escala, requieren de sistemas eficientes para garantizar la seguridad y la productividad, especialmente en lo referente a la evacuación de las emanaciones producidas durante las actividades extractivas.

En el lugar se evidenció, de manera general que el problema principal identificado fue la alta acumulación de vapores nocivos y un bajo caudal de aire, sumado a la carencia de una instalación apropiada para asegurar una ventilación efectiva. Dentro de las razones y efectos de la problemática, se tiene que la ventilación ineficiente provocaba que los gases generados por explosivos y la propia actividad minera se acumulen rápidamente en mayormente en los piques o chimeneas. También, la carencia de un control y monitoreo hacía que los trabajadores trabajen en condiciones insalubres, esto debido a que muchos se quejaban de ciertas molestas como: irritación en los ojos, dolores de cabeza, falta de air, fatiga y un amento en la temperatura de las labores; esto, aunque no lo parezca, reducía la productividad y generaba costos adicionales relacionados con incidentes y paradas de operación forzadas. Se reportaban también, la existencia de antecedentes de gaseamiento leve en el personal (incidentes), donde la única que medida que toman era que el personal afectado descansara para luego continuar su jornada.

Específicamente, durante una inspección inicial en el área de trabajo de la mina, se ejecutó un muestreo de gases utilizando un dispositivo de detección, donde los hallazgos arrojaron las siguientes concentraciones: oxígeno (O_2) con un nivel de 20.5%, monóxido de carbono (CO) alcanzando 45 ppm, dióxido de carbono (CO_2) registrando 100 ppm, sulfuro de hidrógeno (H_2S) con una lectura de 5 ppm, dióxido de nitrógeno (NO_2) presentando 3 ppm y metano (CH_4) detectado en un 0.8%. Estos valores revelaron que las concentraciones de monóxido de carbono y sulfuro de hidrógeno superaban los límites permitidos fijados por las normativas de seguridad minera, como consecuencia directa de la exposición a estos niveles peligrosos, el personal en el área tiene dificultadas y manifiesta síntomas adversos como dolor de cabeza, irritación ocular e inclusive hubo incidentes de gaseamiento, situaciones que demandaron la evacuación inmediata del personal. A pesar de estas condiciones laborales inseguras y la falta de sensibilidad por parte de los contratistas, la necesidad económica de los trabajadores los impulsaba a continuar sus labores, tolerando un ambiente perjudicial para su salud.

De acuerdo a todo lo mencionado, se formuló la pregunta de investigación: ¿De qué manera la implementación de un sistema de ventilación principal mejora la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza, Algamarca 2025?; consigo, se plantaron los problemas específicos: ¿Cuál es el nivel de calidad del aire presente de la mina Nueva Esperanza?, ¿De qué manera el caudal de aire mejorará la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza?, ¿De qué manera el tipo de ventilador mejorará la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza? y ¿De qué manera el tiempo de ventilación mejorará la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza?

El presente estudio se justificó teóricamente, porque se basó en la aplicación de postulados sustentados en estudios anteriores para obtener información fidedigna aplicable en la concepción de un mecanismo para la circulación de aire que cumpla con el objetivo de mejorar la evacuación de gases en la mina. Se validó de forma práctica, debido a que se enfocó en resolver un problema real identificado, como la deficiente evacuación de gases en interior mina, a través de un sistema de ventilación y cumplimiento con las metas establecidas en este estudio. Por último, se justificó metodológicamente porque se propuso establecer un mecanismo de circulación de aire con el objetivo de mejorar la expulsión de emanaciones, considerando una perspectiva científica, tratando el tema y los factores de estudio, aportando con nuevos conocimientos para futuras investigaciones.

De esta manera, se formuló el objetivo general de realizar la implementación de un sistema de ventilación principal para mejorar la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza, Algamarca 2025. Como objetivos específicos, se planteó diagnosticar el nivel de calidad del aire presente dentro de la mina Nueva Esperanza; también, determinar el caudal de aire para mejorar la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza; determinar el tipo de ventilador de aire para mejorar la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza; Determinar el tipo de ventilador de aire para mejorar la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza, y determinar el tiempo de ventilación para mejorar la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza. Donde se pretendió llegar a la hipótesis, que la implementación de un sistema de ventilación aumentará de manera significativa el caudal de aire mejorando la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza y como hipótesis específicas tenemos que; el caudal de aire mejorará significativamente la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza; el tipo de ventilador mejorará significativamente la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza y el tiempo de

ventilación mejorará significativamente la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza

Respecto al marco teórico, se buscaron antecedentes o estudios previos, a nivel internacional se citó a Morocho (2024): El estudio se centró en la imperiosa demanda de asegurar un tránsito de aire apropiado. durante las operaciones de minado en esta labor minera. Su objetivo general fue determinar el flujo volumétrico necesario para la renovación atmosférica a lo largo de la fase extractiva. Como resultado, se determinó un caudal óptimo de 18,000 m³/h, el cual se logró implementar mediante un sistema que incluyó ventiladores axiales de 30 HP y conductos de 1.2 metros de diámetro, permitiendo una circulación homogénea del viento a través de la totalidad de la galería. Se concluyó que el diseño propuesto mejoró significativamente las condiciones de trabajo, reduciendo en un 45% la presencia de partículas suspendidas, gases tóxicos, y aumentando la seguridad de las actividades. Esta investigación aporta una metodología clara para la concepción de mecanismos de ventilación adaptados a las características de operaciones subterráneas específicas, ofreciendo soluciones prácticas y escalables para el sector minero.

Vera (2021), con su estudio titulado implementación y simulación del sistema de ventilación con el software ventsim visual en la Mina San Valentín S.A. El objetivo del estudio fue implementar y simular un mecanismo de renovación de aire perfeccionado empleando el programa VentSim Visual para mejorar la cobertura y distribución del viento en las galerías subterráneas. La metodología fue aplicada, experimental y alcance descriptivo. En sus resultados menciona que la mina donde desarrolló su estudio, enfrentaba problemas con su sistema de ventilación natural que era insuficiente, entregando un flujo de aire de 4,237.76 CFM, muy por debajo del caudal necesario de 21,000 CFM para asegurar condiciones seguras de trabajo y diluir gases contaminantes generados por equipos diésel con motores de combustión, que representan entre el 60-80% del requerimiento total de aire; la simulación permitió diseñar un sistema con ventiladores auxiliares que mejoró significativamente el flujo y la evacuación de gases, adecuando el sistema a las demandas operativas y normativas vigentes. En conclusión, la aplicación de VentSim Visual fue fundamental para optimizar la ventilación subterránea y garantizar un entorno de trabajo protegido y productivo.

Canuza y Pérez (2023), en su trabajo titulado análisis de ventilación de mina aplicado en la empresa Grumintor S.A., tuvo el objetivo de analizar del mecanismo de

renovación de aire destinado a identificar deficiencias que afectaban la seguridad y eficiencia operativa, donde su meta primordial consistió en examinar el mecanismo de aireación existente en dicha zona. La metodología empleada fue aplicada y experimental. Como resultado, se estableció que el flujo volumétrico disponible era de 14,500 m³/h, insuficiente para las necesidades de la operación, por lo que se recomendó incrementarlo en un 35% mediante la instalación de ventiladores secundarios y mejoras en los ductos. Se concluyó que el análisis permitió identificar áreas críticas donde se acumulaban gases, logrando reducir los niveles de monóxido de carbono en un 28% y mejorando las condiciones laborales. Este trabajo aporta un enfoque metodológico para la evaluación de mecanismos de renovación de aire en explotaciones subterráneas, ofreciendo soluciones específicas con el fin de perfeccionar el tránsito de aire y asegurar un ambiente seguro para los empleados.

Merlé (2023), en su estudio titulado emisión de gases tóxicos en voladuras subterráneas: concentración, propagación y dilución en función del tipo de ventilación mediante la aplicación de métodos analíticos y numéricos y análisis de optimización de los ciclos de avance, tuvo como objetivo evaluar la concentración de gases tóxicos y cómo diferentes tipos de ventilación afectan su dispersión durante las voladuras en minería subterránea. La metodología se basó en la aplicación de métodos analíticos y numéricos. Los resultados mostraron que un incremento del 30% en el caudal de aire permitió reducir la concentración de gases tóxicos en un 25% (de 95 ppm a 71 ppm), aumentar su dilución en un 40% y reducir el tiempo de exposición del personal a niveles peligrosos en un 20%. Se concluyó que un mecanismo de ventilación adecuado, junto con la optimización de los ciclos de avance, mejora significativamente la seguridad laboral y la eficacia operativa en minas subterráneas.

Mejía et al. (2020), en su estudio diseño de un sistema de ventilación para un nuevo frente de explotación en minas subterráneas, tuvo como objetivo proponer un sistema de ventilación que acondicionara adecuadamente el aire, asegurando un flujo constante y seguro para las operaciones mineras. La metodología correspondió a un tipo de estudio aplicada experimental, basada en la recopilación y análisis de artículos y documentos relevantes para integrar conceptos técnicos actualizados en el diseño. Los resultados mostraron que se diseñó un sistema capaz de aumentar el flujo de aire y disminuir la presencia de gases nocivos, garantizando condiciones ambientales óptimas para los trabajadores. Se concluyó que la implementación de esta propuesta mejoró la

seguridad y eficiencia del nuevo frente de explotación, eliminando los problemas asociados al sistema tradicional, y ofrece una solución replicable para mejorar las condiciones ambientales en operaciones subterráneas similares.

Menéndez et al. (2022), en su tesis modelos matemáticos para el análisis de la dilución de gases tóxicos producidos en las voladuras de avance de galerías mineras a partir del sistema de ventilación, buscó desarrollar modelos matemáticos que permitan analizar y predecir la dilución de gases tóxicos generados por voladuras en galerías mineras subterráneas mediante el sistema de ventilación. Utilizaron una metodología de modelado matemático aplicada a un estudio de simulación no experimental, integrando ecuaciones de difusión y flujo de aire para evaluar la dispersión de contaminantes como CO y NO₂ en entornos mineros controlados. Los resultados demostraron que tiempos de ventilación óptimos de 30-60 minutos permiten diluir concentraciones tóxicas por debajo de límites permisibles (reduciendo hasta un 70% los niveles de riesgo), concluyendo que estos modelos facilitan la optimización de ciclos de ventilación post-voladura para mejorar la seguridad laboral en operaciones subterráneas.

A nivel nacional, se citó a Mallma (2023), en su estudio diseño de un sistema de ventilación mediante Ventsim para optimizar el flujo de aire en una mina subterránea a 2 km de profundidad" (título inferido del contexto), tuvo como objetivo aplicar el programa Ventsim para optimizar el mecanismo de renovación de aire mediante el diseño de un circuito eficiente que considerara el flujo de aire necesario, la potencia de ventiladores y la velocidad del aire. La metodología correspondió a un tipo de estudio aplicada experimental, basada en simulación computacional con el software Ventsim para modelar y rediseñar el sistema de ventilación. Los resultados mostraron que se logró un flujo de aire fresco de 2703.938 m³/min, una cobertura del caudal del 96.55%, una velocidad del aire de 386.277 m/min y la evacuación de 555 m³/min de aire viciado a 12.8 °C. Se concluyó que la incorporación de Ventsim permitió mejorar significativamente el sistema de ventilación, incrementando la calidad y volumen del aire, cumpliendo con las normativas vigentes y aportando a un entorno laboral más seguro y eficiente en la mina.

Auccapuma (2025), en su estudio titulado propuesta y simulación de un nuevo modelo de ventilación mediante Ventsim para optimizar la evacuación de gases en una mina subterránea, tuvo como objetivo proponer y simular un nuevo modelo de ventilación mediante el programa Ventsim para optimizar la circulación del aire y asegurar condiciones seguras de trabajo. La metodología correspondió a un tipo de estudio aplicada

experimental, basada en la simulación computacional con el software Ventsim para diseñar y evaluar el nuevo sistema. Los resultados mostraron que la implementación propuesta logró una cobertura del 72% del flujo volumétrico necesario, mejorando significativamente la evacuación de gases contaminantes y cumpliendo con las normativas vigentes. Se concluyó que el uso del programa Ventsim posibilitó crear un sistema de ventilación eficaz que minimiza los peligros operativos relacionados con la concentración de gases, mejora la distribución del aire fresco e incrementa la seguridad en las operaciones mineras.

Zavala (2022), en su estudio evaluación del sistema de ventilación para mejorar deficiencia de aire en mina Antapite de empresa Sierra Antapite S.A.C. 2022, tuvo como objetivo establecer de qué manera el análisis del mecanismo de renovación de aire incide en la optimización de la insuficiente circulación en túneles. La metodología correspondió a un tipo de estudio aplicada experimental, basada en el diagnóstico y optimización del sistema de ventilación existente. Los resultados mostraron que se identificaron puntos críticos en el sistema, logrando aumentar el caudal de aire en un 25% (de 9,500 a 11,875 m³/h) y reducir los niveles de gases contaminantes en un 30%, cumpliendo con los estándares normativos. Se concluyó que una correcta evaluación y optimización del sistema de ventilación no solo mejora el ambiente laboral, sino que incrementa la productividad al reducir interrupciones operativas, estableciendo un modelo de diagnóstico replicable para otras minas con problemas similares.

Lizana y Suxe (2022), en su estudio diseño De Ventilación Para Evacuar Gases De Voladura En La Mina Sheridan Mining Exploration El Combe, tuvieron como objetivo formular un diseño de ventilación eficiente para garantizar la evacuación rápida y efectiva de los gases tóxicos acumulados tras las voladuras. La metodología correspondió a un tipo de estudio aplicada experimental, basada en el diseño y evaluación de un sistema de ventilación específico. Los resultados mostraron que el sistema desarrollado redujo los tiempos de evacuación de gases en un 40% (de 90 a 54 minutos) y disminuyó la concentración de gas carbónico en un 35%, logrando niveles inferiores a los límites permisibles. Se concluyó que la implementación del diseño mejoró las condiciones de seguridad, optimizó los tiempos operativos e incrementó la productividad, ofreciendo un modelo técnico adaptable a minas subterráneas similares.

Tejeda y Mucha (2022), en su estudio análisis y optimización del sistema integral de ventilación en la Unidad Minera Yauricocha" (título inferido del contenido), tuvieron

como objetivo analizar las condiciones de ventilación existentes para actualizar y optimizar el sistema integral de ventilación, asegurando un adecuado balance y circulación del aire. La metodología correspondió a un tipo de estudio aplicada experimental, basada en el diagnóstico, análisis y rediseño del sistema de ventilación de la mina. Los resultados cuantitativos indicaron una cobertura de ventilación del 66.43%, con un déficit de 6,617.54 m³/min de aire fresco para alcanzar la cobertura total; además, se identificó la necesidad de mejorar la comunicación entre chimeneas y corregir la instalación de ventiladores auxiliares para evitar recirculación de aire contaminado. Se concluyó que la actualización del sistema, mediante la conexión adecuada de chimeneas y la redistribución del flujo de aire, es clave para mejorar la evacuación de gases y garantizar condiciones seguras en la operación minera.

Atalaya (2022), en su estudio diseño de un sistema de ventilación para reducir gases tóxicos en la mina subterránea Nazareno Ady S.R.L., Cajamarca, 2022, tuvo como objetivo diseñar un sistema de ventilación que disminuyera la presencia de gases nocivos en el interior de la mina. La metodología correspondió a un tipo de estudio aplicada experimental, basada en el diseño, implementación y evaluación de un sistema de ventilación mejorado. Los resultados mostraron que el sistema implementado redujo en un 40% la concentración de dióxido de carbono (de 110 ppm a 66 ppm) y en un 35% la de monóxido de carbono (de 80 ppm a 52 ppm), mediante el uso de ventiladores principales con un caudal de 22,000 m³/h y la mejora de los conductos de ventilación secundaria. Se concluyó que el diseño propuesto mejoró significativamente las condiciones de trabajo y aumentó la continuidad operativa al reducir interrupciones por problemas ambientales, aportando una guía práctica y replicable para optimizar la ventilación en minas subterráneas en cumplimiento de las normativas de calidad del aire.

Llacho y Vargas (2020), en su estudio del sistema de ventilación para el control de agentes químicos y físicos, U.O. Pallancata – veta Pablo – 2018, tuvo como objetivo examinar si el mecanismo de ventilación lograba cumplir con los estándares de seguridad al controlar la eliminación y regulación de sustancias orgánicas e inorgánicas que afectaban las condiciones laborales. La metodología correspondió a un tipo de estudio aplicada experimental, basada en la evaluación y análisis del sistema de ventilación existente. Los resultados mostraron que el sistema redujo las concentraciones de polvo en un 32% (de 5 mg/m³ a 3.4 mg/m³) y de monóxido de carbono en un 28% (de 75 ppm a 54

ppm), estabilizó la velocidad del aire en 1.8 m/s conforme a normativas, y disminuyó la temperatura ambiente en un 15% (de 34 °C a 29 °C). Se concluyó que el sistema era parcialmente efectivo, pero requería mejoras para una eliminación más eficiente de agentes químicos y un control más estable de las condiciones físicas, aportando un diagnóstico detallado y recomendaciones aplicables a operaciones similares para perfeccionar la protección y el rendimiento en minas subterráneas.

Escobar y Rodas (2020), en su estudio diseño de una red de ventilación para optimizar la evacuación de los gases producidos por voladura - Unidad de Producción Pallasca, tuvieron como objetivo proponer la elaboración de una arquitectura de circulación de aire que potenciara la eliminación de los gases tóxicos acumulados tras las voladuras. La metodología correspondió a un tipo de estudio aplicada experimental, basada en el diseño, implementación y evaluación de un sistema de ventilación optimizado. Los resultados mostraron que el sistema diseñado incrementó el caudal de aire en un 45%, redujo el tiempo de evacuación de gases a un promedio de 35 minutos (frente a los 60 minutos previos) y disminuyó la concentración de gas carbónico en un 40% (de 100 ppm a 60 ppm), cumpliendo con los estándares ambientales. Se concluyó que el diseño propuesto mejoró significativamente la calidad del aire, redujo los tiempos de inactividad operativa y contribuyó a un entorno más seguro y productivo, ofreciendo un enfoque técnico eficiente adaptable a otras unidades mineras con condiciones similares.

Pariona (2022), en su estudio diseño del sistema de ventilación para el minado del cuerpo mineralizado Melissa mina Catalina Huanca Sac. 2021, tuvo como objetivo formular un diseño de mecanismo de flujo de aire que garantizara un abastecimiento apropiado de aire limpio para las actividades mineras en el cuerpo mineralizado Melissa. La metodología correspondió a un tipo de estudio aplicada experimental, basada en el diseño, cálculo y evaluación de un sistema de ventilación específico para el yacimiento. Los resultados mostraron que se diseñó un sistema capaz de proporcionar un caudal de 24,000 m³/h (superando el mínimo requerido de 20,000 m³/h), reduciendo la concentración de monóxido de carbono en un 40% (de 50 ppm a 30 ppm) y las partículas suspendidas en un 35% (de 4.6 mg/m³ a 3.0 mg/m³). Se concluyó que el diseño implementado no solo cumplió con los estándares de seguridad laboral, sino que mejoró las condiciones operativas al reducir interrupciones por factores ambientales, aportando

un modelo escalable y adaptable para optimizar la seguridad y eficiencia del minado en minas subterráneas.

Anampa y Cruz (2023), en su estudio modelización del sistema de ventilación mediante el software Ventsim en el Pique 8261 de la AMA Pepas de Oro de Pampamarca, Apurímac - 2023, tuvieron como objetivo realizar la modelación del sistema de ventilación utilizando el programa Ventsim para mejorar el flujo de aire necesario en el Pique 8261, considerando la ubicación adecuada de ventiladores y la configuración del circuito de ventilación. La metodología correspondió a un tipo de estudio aplicada experimental, basada en la modelación y simulación computacional con el software Ventsim para diseñar y evaluar el sistema de ventilación. Los resultados mostraron que se estableció un caudal de aire de 18,000 CFM y una velocidad de 140.04 m/min, suministrado por un equipo soplador secundario de 16 hp con un 75% de rendimiento, estableciendo un mecanismo híbrido de ventilación por sobrepresión y depresión. Se concluye que el uso del programa Ventsim facilitó la creación de un sistema eficaz y económico que mejora las condiciones ambientales, asegura la salud de los trabajadores y facilita la profundización segura de las labores mineras.

Pozo y Ari (2023), en su estudio modelamiento y diagnóstico del circuito actual de ventilación en una mina subterránea y propuesta de mejora, tuvieron como objetivo representar, ajustar y recrear el trazado vigente mediante el software Ventsim Design 5, realizar un diagnóstico detallado de las condiciones ambientales y operativas, y proponer una configuración optimizada del sistema que incluyera la reubicación y adquisición de ventiladores. La metodología correspondió a un tipo de estudio aplicada experimental, basada en la modelación, simulación y diagnóstico computacional para optimizar el sistema de ventilación híbrido. Los resultados mostraron que se logró mejorar el suministro de aire fresco con un aumento significativo del caudal, reducir el tiempo de evacuación de gases y mantener la eficiencia operativa con una reducción de costos. Se concluye que la propuesta técnica optimiza la ventilación subterránea, garantiza la seguridad y salud ocupacional y aporta a la sostenibilidad operativa de la mina.

Solier (2023), en su tesis evaluación del sistema de ventilación principal y sus indicadores en la Unidad Minera Andaychagua, tuvo como objetivo evaluar técnicamente los indicadores del sistema de ventilación principal en esta unidad minera. Empleó una metodología descriptiva de tipo estudio de caso, analizando indicadores clave de ventilación mediante mediciones y evaluación técnica en el contexto operativo de la mina

Andaychagua, operada por Compañía Minera Volcán. Los resultados identificaron áreas de mejora en la eficiencia ventilatoria, destacando que optimizaciones como ventiladores adicionales pueden reducir el tiempo de evacuación de aire viciado de 2 horas y 30 minutos a 1 hora y 40 minutos (33,33% menos), concluyendo la necesidad de mejoras en el sistema para garantizar condiciones seguras y eficientes en operaciones subterráneas.

Cornejo (2024), en su tesis impacto del ventilador axial en la disipación de gases nocivos del Nivel 1200 – Mina Andaychagua, Volcan S.A.A. - 2020, tuvo como objetivo determinar la influencia de un ventilador axial principal de 60,000 CFM marca Airtec en la mejora del caudal de aire y la dilución de gases nocivos en los frentes de explotación del nivel -1200. Empleó una metodología descriptivo-correlacional con enfoque estadístico cuantitativo, basada en análisis documentario, mediciones de contaminantes gaseosos en 18 puntos subterráneos y prueba T-Student para contrastar hipótesis. Los resultados mostraron una reducción promedio del 3.47% en gases nocivos (de 59.87% a 56.41%), con disminuciones positivas en CO y CO₂ conforme a normativas DS.024-2016-EM, destacando que los ventiladores axiales, por su alta movilidad y fácil instalación, optimizan la disipación eficiente de contaminantes en entornos mineros confinados; se concluye que su implementación mejora significativamente la calidad del aire y la seguridad laboral.

Ramírez (2021), en su tesis sistema de ventilación en el nivel 2735 de la mina San Jorge – Sayapullo – La Libertad 2020, tuvo como objetivo evaluar y proponer mejoras al sistema de ventilación principal en dicho nivel subterráneo para optimizar la calidad del aire y la seguridad operativa. Emplearon una metodología descriptiva-aplicativa de tipo estudio de caso, con modelado en software Ventsim, mediciones in situ de caudales, gases y temperaturas, y análisis comparativo antes/después de intervenciones. Los resultados revelaron deficiencias iniciales en cobertura de aire (92-95%), resueltas con la instalación de ventiladores axiales de alta presión (aprox. 50,000 CFM), que incrementaron el flujo en un 35% y redujeron contaminantes como CO y NO₂ por debajo de límites permisibles; concluyeron que estos ventiladores axiales, por su robustez en circuitos ramificados, son ideales para minas de profundidad media, recomendando su integración sistemática para sostenibilidad.

Y a nivel local, se citó a Zavaleta (2023), en su estudio optimización del sistema de ventilación en la mina Sheridan Mining Explorations El Combe E.I.R.L. – Algamarca, 2023, tuvo como objetivo determinar en qué medida disminuía la acumulación de

emanaciones nocivas mediante la optimización del sistema de ventilación existente. La metodología correspondió a un tipo de estudio aplicada experimental, basada en la modernización y rediseño del sistema de ventilación de la mina. Los resultados mostraron que se consiguió una disminución del 38% en los niveles de dióxido de carbono (de 120 ppm a 74 ppm) y una disminución del 45% en el monóxido de carbono (de 90 ppm a 49 ppm), cumpliendo con los estándares de seguridad minera. Se concluyó que la implementación de nuevos ventiladores de alta potencia y el rediseño de los conductos mejoraron la circulación del aire y minimizaron las amenazas para el bienestar de los empleados, aportando un modelo práctico para la modernización de sistemas de ventilación que prioriza la protección y el rendimiento funcional en operaciones mineras con condiciones similares.

Gómez de la Torre (2021), en su estudio sistema de ventilación para optimizar las operaciones en la integración de dos unidades de producción en una empresa minera La Libertad 2021, tuvo como objetivo diseñar un sistema de ventilación integral utilizando software Ventsim para modelar y simular el comportamiento del flujo de aire y optimizar la geometría del circuito, aumentando así el flujo volumétrico de extracción. La metodología correspondió a un tipo de estudio aplicada experimental, basada en el modelado, simulación y optimización del sistema de ventilación mediante el software Ventsim. Los resultados indicaron que se logró incrementar la velocidad del aire en 32.91 m/min con una temperatura de 25.1 °C, aumentar el porcentaje de oxígeno al 20.9% y reducir los niveles de monóxido de carbono a 6 ppm, evidenciando una mejora notable en la pureza del aire. Se concluye que la implementación de este sistema optimizado permite mejorar las condiciones de ventilación, garantizando un ambiente seguro y eficiente, esencial para la integración productiva de las dos unidades mineras.

A continuación, se hace referencia al marco conceptual de los términos utilizados en el estudio: diseño del sistema de ventilación, es el proceso técnico y metodológico mediante el cual se planifica, dimensiona y establece la configuración de los componentes necesarios para garantizar la circulación adecuada de aire en un espacio determinado (Vásquez, 2021). Caudal de aire, es el volumen de aire que transita a través de un mecanismo en un intervalo específico, generalmente expresada en metros cúbicos por hora (m^3/h) o pies cúbicos por minuto (CFM). Es un parámetro clave en sistemas de circulación de aire para asegurar una efectiva restauración y distribución del aire (Ricse, 2021).

Caudal por altura (metros sobre el nivel del mar – m.s.n.m), hace alusión al volumen de aire que transita por un mecanismo de aireación en relación con la elevación. En altitudes superiores, la densidad del aire se reduce, lo que impacta la eficacia del flujo aéreo y demanda modificaciones en la concesión (Rivera, 2020).

Tabla 1

Relación de altura sobre el nivel del mar y caudal mínimo de aire.

Altitud (m.s.n.m)	Caudal mínimo de aire (m³/min)
> 4500	6
4500 - 4000	5
1500 a 4000	4
<1500	3

Nota: valor de la constante F para determinar caudal mínimo de aire según la altura de la mina.

Caudal por consumo de madera, es el aire requerido de acuerdo al volumen de madera empleada en un procedimiento o actividad, tal como en el sector de la construcción, la elaboración de mobiliario, o como fuente de energía en sistemas de calefacción. El flujo necesario conforme al uso de madera se determina a través de: Factor de producción (U) x Producción en TM por guardia (T) (Huamaní, 2020).

Tabla 2

Relación de consumo de madera y factor de producción.

Consumo de madera (%)	u = Factor de producción (m³/min)
>70	1.25
41 a 70	1
40 a 20	0.6
<20	1

Nota: valor de la constante u según el consumo de madera (%) o cuadros en la labor.

Caudal por temperatura, es el flujo necesario en función de la temperatura del trabajo se determina a través de: Velocidad mínima (V_m) x Área de la labor (A) x Número de niveles (N) (Carranza y Cresín, 2021). El Caudal por consumo de explosivo, se conceptúa como el volumen de material explosivo empleado en labores tales como detonaciones en el sector minero, desmantelamiento controlado, o edificación de vías y túneles. El flujo necesario para el uso de explosivos se determina a través de: Área de labor (A) x velocidad mínima requerida (V) x Número de niveles (N) (Valarezo, 2020).

Caudal por fugas, hace alusión a la liberación descontrolada de un líquido, gas o material desde su receptáculo o sistema. El flujo necesario en presencia de fugas se determina a través de: 15% x Caudal total (Q_{to}) (Morocho, 2024). Caudal por número de trabajadores, se traduce como el volumen total de aire en relación con la cantidad de trabajadores en un entorno laboral (Morocho, 2024). Caudal de aire requerido, se describe como la acción de establecer el volumen de aire que debe ser proporcionado o extraído en un mecanismo de aireación para preservar una calidad del aire apropiada. Esta se expresa mediante la fórmula: Caudal total (Q_{to}) = Caudal para el número de trabajadores (Q_{tr}) + Caudal para el uso de madera + Caudal para el uso de equipos a petróleo (Q_{te}) + Caudal según la temperatura (Q_{eq}) (Carranza y Cresín, 2021).

Simulación en Software, alude a la aplicación de una herramienta especializada para diseñar, examinar y perfeccionar sistemas de ventilación en excavaciones subterráneas Vera (2021). Ventsim, es un software avanzado diseñado para modelar, simular y gestionar mecanismos de ventilación en explotaciones mineras subterráneas y galerías. Facilita a los técnicos evaluar la circulación de viento, condiciones térmicas, emanaciones, y otros indicadores fundamentales para asegurar condiciones seguras y eficientes en operaciones subterráneas. A través de un entorno 3D interactivo, los usuarios pueden visualizar la red de ventilación, identificar problemas y optimizar los sistemas para reducir costos y mejorar la seguridad Vera (2021).

Tabla 3

Niveles aceptables de concentración de gases generados por voladuras y presentes dentro de la mina.

Tipos de gases	Concentración permitida	
	Límite inferior	Límite superior

Oxígeno (O ₂)	19.5%	23%.5%
Monóxido de carbono (CO)	25 ppm	400 ppm
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	1 ppm	5 ppm
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	1 ppm	1 ppm
Metano (CH ₄)	0.5 %	1%

Nota: Extraído de DS 024-2016-EM modificado por D.S. N° 023-2017-EM

II. METODOLOGÍA

2.1. Enfoque y tipo de investigación

Enfoque: Cuantitativo

Tipo de investigación: Aplicada.

2.2. Diseño de metodológico

El diseño del estudio fue no experimental, dado que se propuso la concepción de un mecanismo de renovación de aire para optimizar el análisis de emanaciones en la operación extractiva.

2.3. Población, muestra y muestreo

La población en esta investigación estuvo conformada por 6 labores dentro de la unidad minera.

Para los criterios de inclusión: se tuvieron en cuenta únicamente aquellas labores que estuvieron activas en las actividades de perforación y voladura; y se excluyeron las labores que no realizaban estas actividades.

La muestra estuvo centrada en la labor “Ruth”, donde se desarrollaban las actividades de perforación y voladura, además de presentaba la problemática de una alta concentración de gases debido a un ineficiente flujo de aire.

El tipo de muestreo empleado fue no probabilístico y por conveniencia, debido a que se consignó esta labor debido a que se contaba con la autorización necesaria del dueño para llevar a cabo el estudio.

2.4. Técnicas e instrumentos de recojo de datos

Técnicas

En el estudio se emplearon diversas herramientas para la recolección de datos, entre ellas la técnica de observación en campo, que consistió en una evaluación especializada para recopilar información sobre las actividades y elaborar resultados. Según Toledo (2020), esta metodología implica observar y documentar el

comportamiento y las interacciones de entidades o procesos en su entorno natural, sin ninguna influencia externa.

Igualmente se utilizó el método de revisión bibliográfica, extrayendo datos de los archivos de documentos en salud, con respecto a la toxicidad de ciertos gases y límites permisibles; además, del registro de precios de los dispositivos, instrumentos y recursos indispensables para la instalación del sistema de ventilación. Guevara et al. (2020), menciona que esta técnica consiste en examinar y evaluar documentos escritos o audiovisuales con el fin de obtener información relevante para el estudio.

Instrumentos

Los instrumentos utilizados para adquirir conocimiento incluyeron la guía de observación en campo, la cual facilitó la recopilación de datos de manera directa insitu de los tipos y concentración de los gases presentes en la labor. Rodríguez (2021), indica que esta herramienta sistematiza y detalla los elementos que el analista tenga que inspeccionar y archivar, asegurando un acercamiento ordenado.

Y la guía de análisis documental, que permitió la acumulación de información en textos de salud ocupacional y reglamentos sobre los límites y efectos de los gases para el desarrollo de resultados. De acuerdo con Rodríguez (2021), esta herramienta establece criterios fundamentales para la revisión de documentos, lo que permite estructurar mejor la información pertinente.

Los autores del estudio elaboraron estos instrumentos, los cuales fueron examinados y autorizados por expertos con maestrías o doctorados en la disciplina correspondiente.

2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

En este estudio se utilizaron diversos métodos para el análisis de datos, destacando el método de procesos, que facilitó una valoración detallada de las labores mineras, abarcando el examen de cada etapa del proceso, la identificación de posibles deficiencias y la propuesta de mejora de un sistema de ventilación. Según Guevara et al. (2020), el método de procesos se centra en examina, decodificar y rescatar conocimiento significativo de las estadísticas para producir inferencias fundamentadas y comprobables.

Asimismo, se empleó el método analítico-sintético para realizar un examen minucioso de los datos recolectados, desglosando los distintos elementos durante el análisis y concepción del mecanismo de renovación de aire en la explotación minera. Posteriormente, esta información fue sintetizada para formular conclusiones sólidas, descubriendo esquemas y direcciones. En armonía con Rodríguez (2021), el método analítico-sintético fusiona la fragmentación exhaustiva de los componentes de una cuestión (enfoque descriptivo) con su síntesis para lograr una visión integral y sugerir respuestas (enfoque constructivo).

Para verificar la hipótesis se aplicó la prueba t de Student, donde se validó los datos obtenidos mediante la evaluación estadística en comparativa de un antes con la información recopilada de la modelación mediante el software Ventsim.

2.6. Aspectos éticos en investigación.

En esta investigación se contemplaron múltiples elementos éticos, iniciando con el postulado de beneficencia, que conlleva el compromiso y honestidad para aportar valor a la organización mediante la mejora en la evacuación de gases, beneficiando así a la empresa con información útil para optimizar sus operaciones. También se empleó el principio de no maleficencia, asegurando la protección y fiabilidad de los datos recopilados sobre la compañía minera. Para la difusión de los resultados, se obtuvo la autorización del dueño previo a divulgar cualquier dato, previniendo posibles daños a la empresa. Asimismo, el principio de justicia se respetó asegurando que la captación y valoración de la información se efectuara de forma honesta y ética, sin manipulación para beneficios personales, fomentando la equidad y neutralidad en la exposición de los hallazgos. Por último, la capacidad de autogestión facilitó al grupo de investigación realizar el estudio de manera independiente, sin interferencias externas durante todo el proceso.

III. RESULTADOS

3.1. Calidad del aire presente dentro de la mina

En base al primer objetivo específico: Diagnosticar el nivel de calidad del aire presente dentro de la mina Nueva Esperanza, Algamarca, 2025, se obtuvieron los siguientes resultados:

Para llegar al objetivo se realizó la medición de la calidad de aire dentro de la mina, utilizando el dispositivo Altair 4X, se midieron las concentraciones en el frente de trabajo y en la entrada tras la voladura, durante un período de cinco días consecutivos, las concentraciones de gases analizadas fueron el Oxígeno (O₂), Monóxido de carbono (CO), Dióxido de nitrógeno (NO₂), Sulfuro de hidrógeno (H₂S) y Metano (CH₄); este conglomerado de resultados se presenta a continuación:

Tabla 4

Niveles de concentración de gases generados por voladuras y presentes dentro de la mina.

Gas	Lugar	Valor Máximo (ppm o %)	Valor Mínimo (ppm o %)
Oxígeno (O ₂)	Entrada	20.2 %	19.5 %
	Frente	19.3 %	18.9 %
Monóxido (CO)	Entrada	84 ppm	46 ppm
	Frente	184 ppm	98 ppm
Dióxido Nitroso (NO ₂)	Entrada	1.0 ppm	0.7 ppm
	Frente	2.7 ppm	1.5 ppm
Sulfuro Hidrógeno (H ₂ S)	Entrada	0.4 ppm	0.1 ppm
	Frente	0.9 ppm	0.2 ppm
Metano (CH ₄)	Entrada	0.0 %	0.0 %

Gas	Lugar	Valor Máximo (ppm o %)	Valor Mínimo (ppm o %)
	Frente	0.0 %	0.0 %

Nota: La tabla representa el resumen de las mediciones captada dentro de mina durante 5 días.

Tabla 5

Diagnostico respecto de los gases en una zona ventilada y los valores máximos y mínimos dentro de la mina.

Tipos de gases	Estado de los gases en área ventilada	Rangos mínimos y máximos de concentración de gases				Diagnóstico
		Ingreso		Frente		
		Valor Max.	Valor Min.	Valor Max.	Valor Min.	
Oxígeno (O ₂)	19.5% a 23.5%	20.20%	19.50%	19.30%	19.1%	Se mantiene dentro del rango aceptable (19.5%–23.5%).
Monóxido de carbono (CO)	50 ppm a 87 ppm	84 ppm	46 ppm	184 ppm	98 ppm	Supera ampliamente el límite superior (50 ppm), riesgo alto de intoxicación.
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	0.1 ppm a 1 ppm	1 ppm	0.7 ppm	2.7 ppm	1.5 ppm	Supera el límite máximo (1 ppm), riesgo respiratorio y ocular.
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	0.01 pm a 0.3 ppm	0.2 ppm	0.1 ppm	0.6 ppm	0.2 ppm	Cercano al límite máximo (0.3 ppm), riesgo irritativo.

Nota: Diagnostico de los niveles y concentraciones de gases medidos dentro de la mina en comparativa de un área ventilada real.

La tabla 5 presenta un diagnóstico comparativo de la calidad del aire en la mina, contrastando los rangos permisibles de gases en una zona ventilada con las concentraciones máximas y mínimas registradas en el ingreso y el frente de la labor Ruth. Los resultados evidencian que, mientras el oxígeno (O₂) se mantiene dentro de los límites aceptables, el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) superan considerablemente los valores permitidos, especialmente en el frente de trabajo, donde se registran concentraciones de hasta 184 ppm de CO y 2.7 ppm de NO₂, lo que representa un riesgo elevado de intoxicación y afectación respiratoria para el personal.

3.2. Caudal de aire requerido para mejorar la evacuación de gases en la mina.

En base al segundo objetivo específico: Determinar el caudal de aire para mejorar la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza, se obtuvieron los siguientes resultados:

En primer lugar, fue necesario calcular el caudal ideal de aire limpio, fue fundamental establecer el flujo de ventilación necesario que asegure un ambiente seguro y favorable para el personal; esto implicó definir el volumen de aire fresco indispensable para eliminar los gases generados por las voladuras y preservar niveles adecuados de oxígeno, además de supervisar los niveles de gases y partículas en el área laboral. A continuación, se detallan las fórmulas utilizadas y el procedimiento desarrollado:

Cálculo del caudal mínimo de aire

Fórmula para determinar el caudal mínimo de aire:

$$Q_{rt} = F \times N$$

Donde:

Q_{rt} = Caudal total (m³/min)

F = Caudal mínimo

N = Cantidad de personal

Dato: Para trabajos entre 1500 y 4000 m.s.n.m, el caudal mínimo de aire es de 4 m³/min. (extraído de la tabla 1). La cantidad de trabajadores en la faena es de 8 personas

Aplicación de fórmula:

$$Q_{rt} = F \times N$$

$$Q_{rt} = 4 \text{ m}^3/\text{min} \times 8$$

$$Q_{rt} = 32 \text{ m}^3/\text{min}$$

Cálculo del caudal según el consumo de madera

Fórmula para calcular el flujo de aire basado en el consumo de madera:

$$Q_{ma} = T \times u$$

Donde:

Q_{ma} = Volumen de aire necesario por tonelada producida (m^3/min).

T = Producción en TM

N = Factor de producción

Dato: El índice de producción es de $1 \text{ m}^3/\text{min}$, dado que el uso de madera es reducido y la generación alcanza 11 toneladas métricas (extraído de la tabla 2).

Aplicación de fórmula:

$$Q_{ma} = T \times u$$

$$Q_{ma} = 11 \text{ TM} \times 1$$

$$Q_{ma} = 11 \text{ m}^3/\text{min}$$

Cálculo del caudal por temperatura en la labor

Ecuación para calcular el flujo de aire en función de la temperatura en la faena:

$$Q_{te} = V_m \times A \times N$$

Donde:

Q_{te} = Caudal requerido por temperatura en la labor (m^3/min)

V_m = Velocidad mínima del viento

A = área promedio de la labor

N = Número de niveles con temperatura superior a 23°C

Dato: La velocidad mínima del aire para trabajos con temperaturas superiores a 24 °C debe ser de 30 m³/min.

Aplicación de fórmula:

$$Q_{te} = V_m \times A \times N$$

$$Q_{te} = 30 \text{ m}^3/\text{min} \times 3.1 \text{ m}^2 \times 2$$

$$Q_{te} = 186 \text{ m}^3/\text{min}$$

Cálculo del caudal por consumo de explosivo

Ecuación para calcular el flujo de aire basado en el consumo de explosivo:

$$Q_{ex} = 100 \times a \times A / (0.008 \times t)$$

Donde:

Q_{ex} = Caudal requerido por consumo de explosivo (m³/min)

a = Factor de dilución de gases 0,040 m³/Kg

A = Cantidad de explosivo utilizado

t = tiempo de ventilación en minutos

Dato: Se utiliza un aproximado de 15 Kg.

Aplicación de fórmula:

$$Q_{ex} = 100 \times a \times A / (0.008 \times t)$$

$$Q_{ex} = 100 \times 0.04 \times (0.008 \times 60 \text{ min})$$

$$Q_{ex} = 125 \text{ m}^3/\text{min}$$

Cálculo del caudal por fugas

Ecuación para calcular el flujo de aire debido a fugas:

$$Q_{fu} = 15\% \times Q_{t1}$$

Donde:

Q_{fu} = Caudal requerido por fugas en la labor (m^3/min)

Q_{tl} = Sumatoria de caudales ($Q_{tr} + Q_{te} + Q_{ex} + Q_{ma}$)

Aplicación de fórmula:

$$Q_{fu} = 15\% \times Q_{tl}$$

$$Q_{fu} = 0.15 \times (32 \text{ m}^3/\text{min} + 11 \text{ m}^3/\text{min} + 186 \text{ m}^3/\text{min} + 125 \text{ m}^3/\text{min})$$

$$Q_{fu} = 53.1 \text{ m}^3/\text{min}$$

Cálculo del caudal total requerido

Ecuación para calcular el volumen total de aire necesario en una labor:

$$Q_{to} = Q_{tl} + Q_{fu}$$

Donde:

Q_{to} = Caudal total requerido para la labor

Q_{fu} = Caudal requerido por fugas

Q_{tl} = Sumatoria de caudales ($Q_{tr} + Q_{te} + Q_{ex} + Q_{ma}$)

Aplicación de fórmula:

$$Q_{to} = Q_{tl} + Q_{fu}$$

$$Q_{to} = 354 \text{ m}^3/\text{min} + 53.1 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{to} = 407.1 \text{ m}^3/\text{min}$$

El coeficiente para convertir de metros cúbicos por minuto a pies cúbicos por minuto es 0.0283.

Conversión: $Q_{to} = 14\,385.15 \text{ cfm}$

3.3. Tipo de ventilador de aire para mejorar la evacuación de gases en la mina.

En base al tercer objetivo específico: Determinar el tipo de ventilador de aire para mejorar la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza, se obtuvieron los siguientes resultados:

Requerimientos técnicos para el tipo de ventilador

Según los cálculos realizados en el estudio, el sistema de ventilación debe satisfacer los siguientes requerimientos operacionales:

Tabla 6

Requerimientos técnicos operacionales del sistema de ventilación para la labor Ruth.

Parámetro	Valor Requerido
Caudal total requerido	14,385.15 CFM (407.1 m³/min)
Tipo de labor	Labor Ruth - Mina subterránea
Objetivo principal	Evacuación de gases post-voladura
Configuración	Sistema auxiliar con manga de ventilación

Nota: Parámetros calculados para el diseño del sistema de ventilación principal en la labor Ruth, basados en el caudal total requerido y las condiciones operativas de la mina.

El diagnóstico inicial reveló concentraciones críticas de gases contaminantes que exceden ampliamente los límites permisibles establecidos en la normativa minera peruana:

Tabla 7

Concentraciones críticas de gases contaminantes en el frente de trabajo y límites permisibles.

Gas	Concentración Medida	Límite Permissible
Monóxido de Carbono (CO)	184 ppm	25 - 50 ppm
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	2.7 ppm	1 ppm
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	0.6 ppm	0.1 – 0.3 ppm

Nota: Valores medidos en campo comparados con los límites establecidos en la normativa minera peruana (DS 024-2016-EM modificado por D.S. N° 023-2017-EM).

Se evaluaron diversos modelos de ventiladores axiales disponibles en el mercado peruano e internacional, especialmente diseñados para aplicaciones mineras subterráneas. El análisis comparativo se centra en los tres criterios técnicos fundamentales que determinan la idoneidad del equipo para nuestro proyecto.

Tabla 8

Comparativa de modelos de ventiladores axiales disponibles para minería subterránea.

Modelo	Tipo	Capacidad (CFM)	Diámetro Carcasa
JET FAN 25-17	Axial	5,000 - 24,500	25 pulgadas (63.5 cm)
JET FAN 20-14	Axial	3,500 - 18,000	20 pulgadas (50.8 cm)
JET FAN 30-22	Axial	8,000 - 35,000	30 pulgadas (76.2 cm)
AXIVANE 24	Axial	6,000 - 22,000	24 pulgadas (61 cm)
VENTAX VAX-28	Axial	7,500 - 28,000	28 pulgadas (71.1 cm)
MINE MASTER 22	Axial	4,000 - 16,500	22 pulgadas (55.9 cm)

Nota: Evaluación técnica de ventiladores axiales según capacidad, diámetro y aplicabilidad para el proyecto.

Modelo del ventilador

Tipo axial: Los ventiladores axiales son la opción estándar para la ventilación en minería subterránea debido a su alta eficiencia en el movimiento de grandes volúmenes de aire a través de ductos o mangas de ventilación; su diseño permite un flujo directo paralelo al eje del ventilador, minimizando las pérdidas de presión y maximizando el alcance efectivo.

Ventajas técnicas de los ventiladores axiales para este proyecto:

- Instalación flexible en ductos de diferentes diámetros mediante adaptadores
- Bajo nivel de ruido comparado con ventiladores centrífugos
- Mayor portabilidad y facilidad de reubicación conforme avanza el frente de trabajo
- Menor consumo energético para caudales elevados en baja presión estática
- Mantenimiento simplificado con acceso directo a componentes críticos.

Análisis por capacidad

Este es el criterio más crítico en la selección, ya que el ventilador debe proporcionar un caudal que supere el requerimiento calculado de 14,385.15 CFM, considerando además un factor de seguridad para compensar pérdidas por fricción en ductos, fugas y envejecimiento del equipo.

Tabla 9

Análisis de capacidad de flujo de aire de ventiladores axiales evaluados.

Modelo	Capacidad Máx.	Margen	Evaluación
JET FAN 25-17	24,500 CFM	+70.3%	ÓPTIMO
JET FAN 20-14	18,000 CFM	+25.1%	MARGINAL
MINE MASTER 22	16,500 CFM	+14.7%	INSUFICIENTE
AXIVANE 24	22,000 CFM	+52.9%	ACEPTABLE
VENTAX VAX-28	28,000 CFM	+94.6%	SOBREDIMENSIONADO
JET FAN 30-22	35,000 CFM	+143.3%	EXCESIVO

Nota: Margen de seguridad calculado sobre el caudal requerido de 14,385.15 CFM. permite compensar pérdidas por fricción, fugas y garantizar operación eficiente.

El ventilador JET FAN 25-17 proporciona un margen de seguridad del 70.3% sobre el caudal requerido, lo que representa un equilibrio técnico-económico óptimo. Este margen permite:

1. Compensar pérdidas por fricción: Las mangas de ventilación presentan resistencia al flujo de aire, especialmente en tramos largos y con curvas. Un margen adecuado asegura que el caudal efectivo en el frente de trabajo supere los 14,385 CFM.
2. Tolerar fugas y deterioro: Las mangas desarrollan pequeñas perforaciones con el uso, y las uniones pueden presentar fugas. El margen compensa estas pérdidas operacionales.
3. Adaptabilidad futura: Si las condiciones de ventilación cambian (mayor avance, diferentes condiciones geológicas), el ventilador mantiene capacidad de respuesta.
4. Operación eficiente: El ventilador trabajará al 59-65% de su capacidad máxima, ubicándose en la zona de mayor eficiencia energética de su curva característica.

Descarte:

- Modelos insuficientes (MINE MASTER 22, JET FAN 20-14): Con márgenes inferiores al 30%, no compensan adecuadamente pérdidas operacionales y dejan escaso espacio para contingencias.
- Modelos sobredimensionados (JET FAN 30-22, VENTAX VAX-28): Márgenes superiores al 90% implican inversión inicial excesiva, mayor consumo energético operando en rangos ineficientes, y sobrecarga económica injustificada.

Análisis por diámetro de la carcasa

El diámetro del ventilador determina directamente su compatibilidad con las mangas de ventilación estándar y las dimensiones de la labor minera. Un diámetro inadecuado genera problemas de instalación, pérdidas por transiciones inadecuadas, o costos excesivos en adaptaciones.

Tabla 10

Evaluación de diámetros de carcasa de ventiladores y su compatibilidad con mangas de ventilación estándar.

Modelo	Diámetro	Evaluación
JET FAN 25-17	25" (63.5 cm)	ÓPTIMO: Compatible con mangas estándar de 24"-26". Relación diámetro-caudal equilibrada.
JET FAN 20-14	20" (50.8 cm)	LIMITADO: Diámetro pequeño para el caudal requerido. Genera mayores velocidades y pérdidas.
MINE MASTER 22	22" (55.9 cm)	INSUFICIENTE: Capacidad limitada ya descarta este modelo independientemente del diámetro.
AXIVANE 24	24" (61 cm)	ACEPTABLE: Diámetro similar al JET FAN 25-17, pero con menor capacidad máxima.
VENTAX VAX-28	28" (71.1 cm)	EXCESIVO: Requiere mangas de mayor diámetro (28"-30"), menos disponibles y más costosas.
JET FAN 30-22	30" (76.2 cm)	INAPROPIADO: Diámetro muy grande. Mangas especiales, adaptadores complejos, mayor peso y dificultad de instalación.

Nota: El diámetro de 25 pulgadas ofrece compatibilidad con mangas comunes, velocidad de aire óptima y facilidad de instalación en galerías de pequeña minería.

Consideraciones del diámetro:

El diámetro de 25 pulgadas del JET FAN 25-17 ofrece las siguientes ventajas operacionales:

- Compatibilidad estándar: Las mangas de ventilación de 24" y 26" son las más comunes en el mercado peruano, facilitando la adquisición y reemplazo.
- Velocidad óptima: A 14,500 CFM en manga de 25", la velocidad de aire es aproximadamente 12-15 m/s, dentro del rango eficiente que minimiza pérdidas por fricción.
- Portabilidad: El diámetro de 25" permite un ventilador transportable sin requerir equipos de izaje especializados (peso aproximado 180-220 kg).
- Espacio en labor: La sección de 25" se instala fácilmente en galerías típicas de pequeña minería (2.5m x 2.5m), dejando espacio para tránsito y operaciones.

Matriz de decisión multicriterio

Para formalizar la selección, se aplicó un análisis multicriterio ponderado considerando los tres parámetros técnicos evaluados más factores complementarios relevantes:

Tabla 11

Matriz de decisión multicriterio para la selección del ventilador axial.

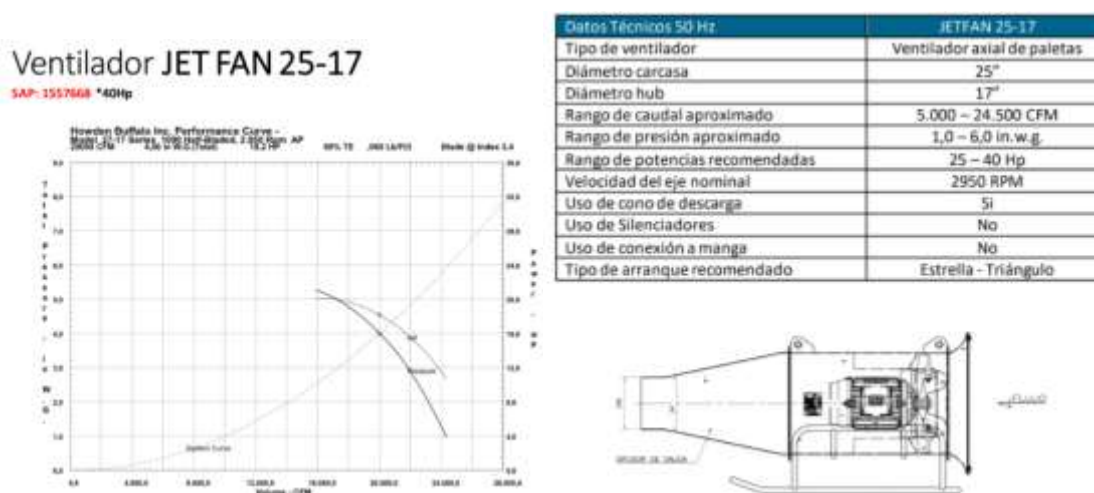
Criterio	Criterio de decisión
Capacidad de flujo de aire	Criterio que determina la efectividad del sistema
Diámetro de carcasa	Impacta directamente en compatibilidad y eficiencia
Costo de inversión	Viabilidad económica del proyecto (minería artesanal)
Disponibilidad en mercado	Facilita adquisición y soporte técnico
Eficiencia energética	Costos operativos a largo plazo

Nota: Criterios ponderados para la selección final del ventilador, priorizando capacidad de flujo, diámetro, costo, disponibilidad y eficiencia energética.

De esta manera, se sintetiza la elección del ventilador propuesto, como se visualiza en la figura 1, es un ventilador de tipo axial de 5,000 a 24,500 cfm de capacidad con un diámetro de carcasa de 25 pulgadas y una potencia de 25 – 40 HP.

Figura 1

Ventilador propuesto para el sistema de ventilación.



Nota: La figura representa los datos y descripción del fabricante acerca del ventilador Jet Fan 25-17.

3.4. Tiempo de ventilación para mejorar la evacuación de gases.

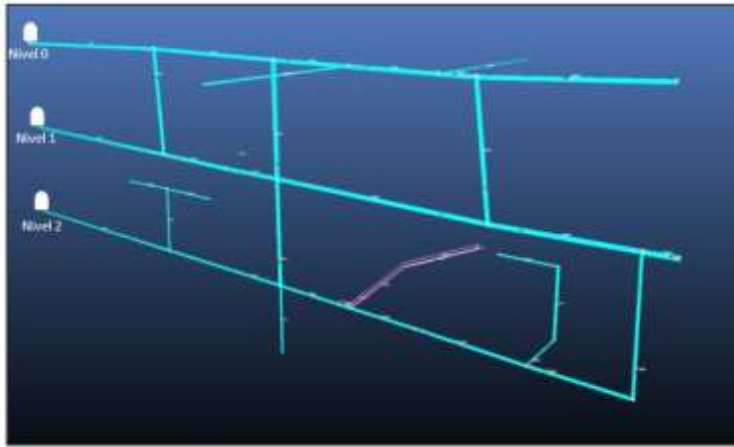
En base al cuarto objetivo específico: Determinar el tiempo de ventilación para mejorar la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza, se obtuvieron los siguientes resultados:

Se llevó a cabo un estudio y simulación del flujo de aire empleando el software VentSim, ingresando inicialmente los datos clave de la mina, la configuración de las galerías y la posición de la labor; asimismo, se definieron los parámetros esenciales para realizar la simulación y observar la distribución del aire en el interior de la mina, así como el caudal en cada sección y la evacuación de los gases en la labor de interés.

En primer lugar, en la figura 2, es posible observar la concepción de la unidad minera, que se distribuye en 3 niveles donde trabajan diferentes contratas; la labor que se observa de color rosado es la zona de estudio y donde existe el problema de acumulación de gas (labor Ruth).

Figura 2

Diseño de la unidad minera y con sus diferentes niveles.

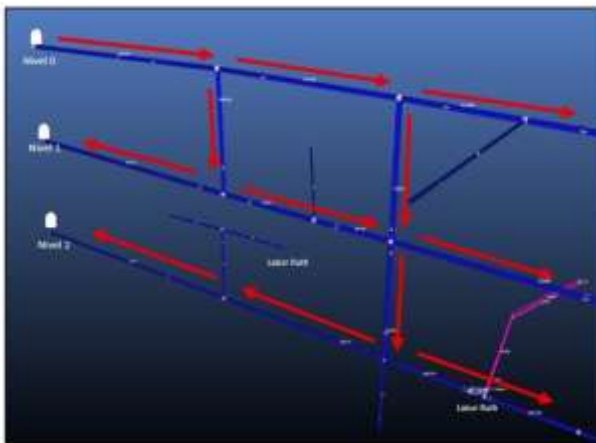


Nota: Se aprecia como está estructurado la mina, con sus niveles, subniveles, labores en general.

Como se puede observar en la figura 3, en el software se configuró con la siguiente distribución y flujo de aire, que tiene como propósito configurar las características del movimiento del aire y establecer los lugares de ingreso y salida del mismo.

Figura 3

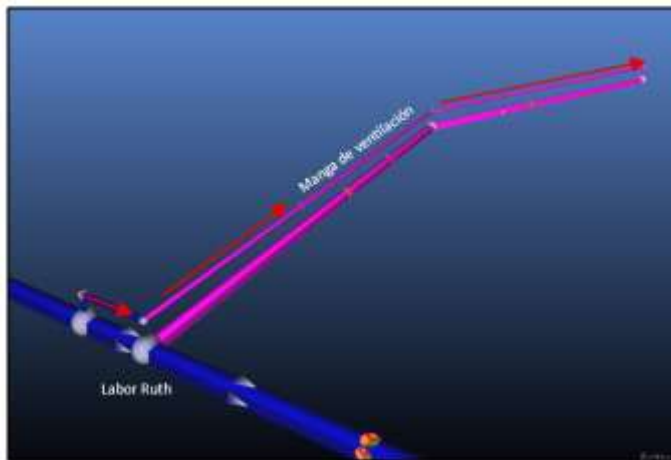
Flujo y dirección del aire de la unidad de minera.



Debido al avance que tiene ya necesita un ventilador para eliminar los gases residuales generados por la detonación, por ello se procedió a construir en el simulador, una manga de ventilación para posteriormente realizar la instalación de un ventilador que cumpla con el objetivo, que corresponde al tiempo de ventilación requerido que permita la evacuación de los gases acumulados.

Figura 4

Propuesta de la instalación de la manga de ventilación en la labor.

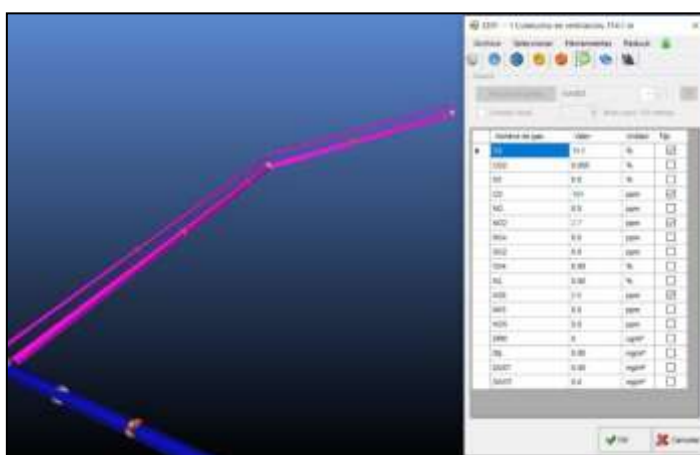


Nota: Se aprecia la labor Ruth, la manga de ventilación instalada y la dirección del flujo de aire.

De esta manera, se le indicó al software, el porcentaje de gases descritos en la Tabla 4, donde se especifica los tipos de gases y sus concentraciones; además se configuró puntos de control con el fin de supervisar los niveles de gases. al frente de la labor y en la entrada, Con la finalidad de medir la eficacia de la ventilación de la labor.

Figura 5

Nivel y concentración de los gases en el simulador.

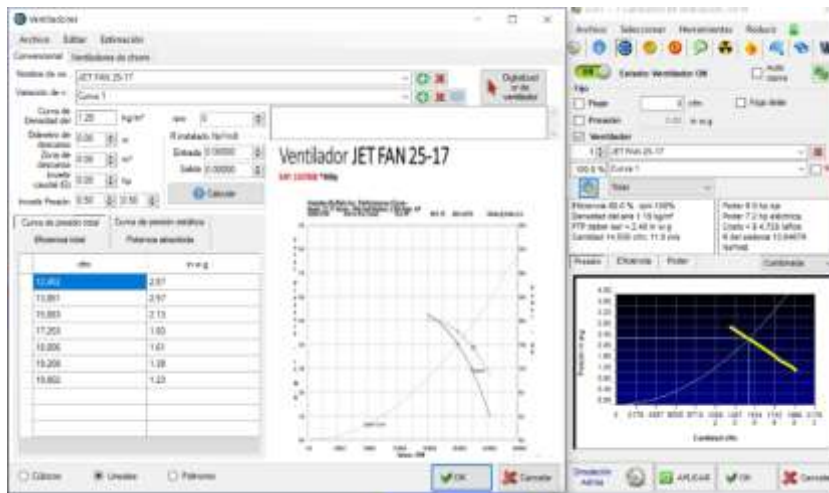


Nota: Se aprecia la configuración en el software indicando el nivel y concentración de los gases para simular.

Como se muestra en la Figura 6, se procedió a digitalizar el ventilador en el simulador, con los datos que proporciona el fabricante como se parecía en la Figura 5, de manera que al realizar el sistema de ventilación con información real.

Figura 6

Digitalización del ventilador propuesto en el software.

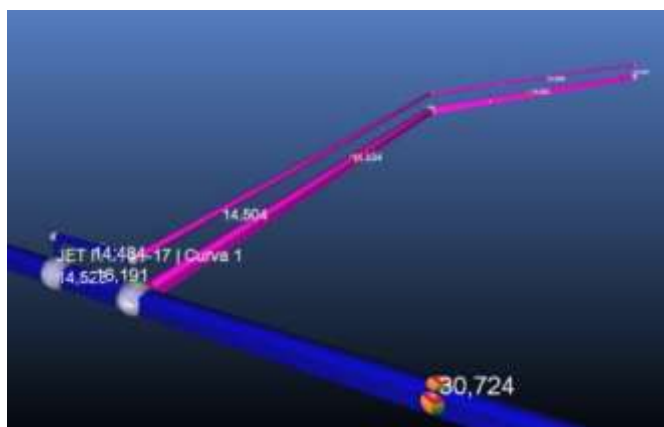


Nota: El gráfico representa como se introduce el equipo ventilador Jet Fan 25-17 para simulación en el software.

Posteriormente la representación gráfica, tal como se muestra en la Figura, con los datos configurados en el software se realizó la modelación como se visualiza en la Ilustración 7, donde el número 14, 504, da referencia al cual de aire que proporciona el ventilador a la labor, cumpliendo con el aire requerido calculado.

Figura 7

Simulación del sistema de ventilación en el software Ventsim.

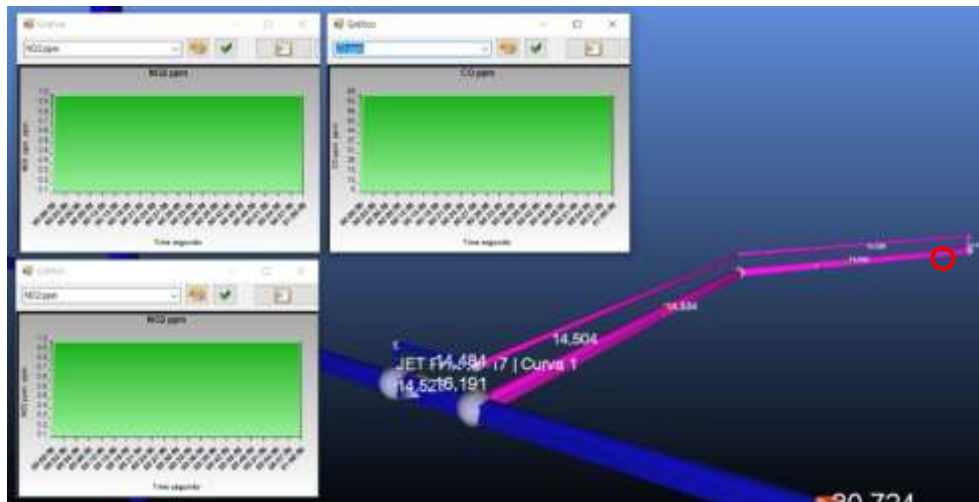


Nota: Se presenta la simulación e instalación del sistema de ventilación en el software.

También, en la Figura 8 se muestra la concentración de gases luego de la simulación con el ventilador en 1hr de uso; marcando aproximadamente: 68 ppm de CO y 1 ppm de NO₂. Logrando así, disminuir la concentración de los gases y llegando al objetivo de mejorar la evacuación de los mismos.

Figura 8

Concentración de gases después de la simulación.



Nota: La figura representa la simulación de la concentración de los gases después de 1 hr. de ventilación.

Finalmente, en la Figura 9 y 10, se observa como quedaría instalado el sistema de ventilación propuesto a escala; donde se aprecia que la labor tiene una de dimensión de 2.1m x 1.8m, también se visualiza la ubicación de la manga de ventilación de forma circular con un diámetro de 0.8 m y un trabajador con una estatura promedio de 1.8 m teniendo en cuenta el casco.

Figura 9

Vista frontal del sistema de ventilación.

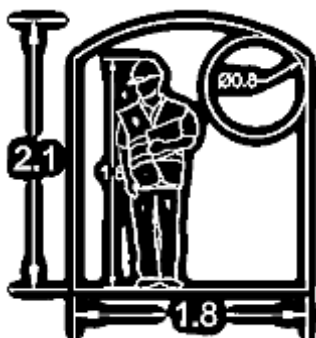
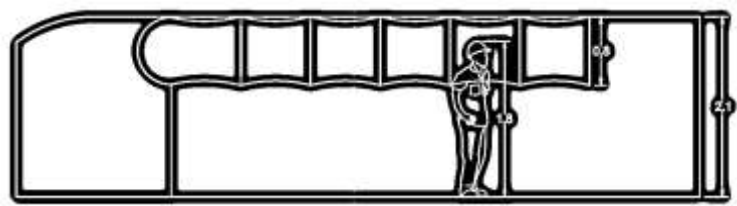


Figura 10

Vista de perfil del sistema de ventilación.



Prueba de hipótesis t-student

De acuerdo a los datos que el software Ventsim proporciona, se analizó el aumento de caudal y la acumulación de gases para determinar su relación y dar repuesta la prueba de hipótesis.

Tabla 12

Análisis descriptivo.

Estadísticas de muestras				
	Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Caudal de aire (CFM)	7375,00	60	4366,062	563,656
Acumulación de Gas (ppm)	100,13	60	24,255	3,131

Nota: Datos descriptivos de la muestra.

Tabla 13*Análisis estadístico.***Prueba de muestras**

				95% de intervalo de confianza de la diferencia							
		Desviación	Media de error	Inferior	Superior						
Media		estándar	estándar								
Caudal de aire (CFM) -											
Acumulación de Gas	7274,867	4389,085	566,628	6141,046	8408,688	12,839	59	,000			
(ppm)											

Nota: prueba t-student de la muestra.**La regla de decisión:**

Si el valor estadístico p es mayor que 0.05, se confirma la hipótesis nula. En cambio, si p es menor o igual a 0.05, se desecha la hipótesis nula y se adopta la propuesta alterna.

Decisión estadística:

El análisis estadístico reveló un $p < 0.005$, lo que valida la aceptación de la hipótesis alternativa: sugiriendo que la implementación del sistema de ventilación aumenta de manera significativa el caudal de aire mejorando la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza, respaldado por valor de significancia de 0.00.

IV. DISCUIÓN

En respuesta del objetivo general, la implementación del sistema de ventilación principal demostró ser técnicamente efectivo y económicamente viable para mejorar la evacuación de gases; el análisis inicial de calidad del aire reveló concentraciones críticas de monóxido de carbono (hasta 184 ppm) y dióxido de nitrógeno (hasta 2.7 ppm) que superaban los límites permisibles, confirmando la imperiosa demanda de mejorar el sistema de ventilación. Para address this, se calculó un caudal total requerido de 407.1 m³/min (14,385.15 CFM), considerando factores como oxigenación para personal (32 m³/min), control térmico (186 m³/min), dilución de gases de explosivos (125 m³/min) y un 15% adicional por fugas del sistema (53.1 m³/min). La simulación en Ventsim validó la efectividad del ventilador axial JET FAN 25-17 seleccionado, que redujo las concentraciones de CO a 68 ppm y NO₂ a 1 ppm tras una hora de operación, acercándose a los límites normativos. Este diseño no solo garantiza condiciones seguras para los trabajadores, sino que optimiza la productividad al minimizar interrupciones por acumulación de gases, cumpliendo integralmente con el objetivo de mejorar la evacuación de gases mediante un sistema sostenible y financieramente rentable.

Haciendo una comparativa de los resultados y metodología trabajada en este estudio, se citó las investigaciones de Lizana y Suxe (2022), Escobar y Rodas (2020) donde respondieron a la misma problemática de la evacuación de gases y la simulación demostró que el sistema reduce las concentraciones, alineándose con los mismos objetivos. Por otro lado, Canuza y Pérez (2023), Zavala (2022), Urday (2020), realizaron igual un análisis inicial de calidad del aire como diagnóstico y su diseño de ventilación en rescencia fue la solución directa a las deficiencias de caudal que ellos identificaron. Y Merlé (2023), usó el software Ventsim con el fin de replicar la propagación de gases, tales como la reducción de CO a 68 ppm (vs. 71 ppm de Merlé) valida cuantitativamente el enfoque.

Al responder el primer objetivo de este estudio, respecto al análisis de la calidad del aire dentro de la mina, que fue realizado con el equipo multigás Altair 4X durante cinco días consecutivos, se obtuvo un escenario donde las concentraciones de gases generados por las voladuras presentan variaciones significativas, superando en varios casos los umbrales máximos autorizados por la regulación vigente de seguridad (DS 024-2016-EM). Los resultados indican que, si bien el oxígeno (O₂) se mantuvo generalmente

dentro del rango aceptable (19.5% - 23.5%), en el frente de trabajo se registraron valores mínimos de hasta 18.9%, muy cercanos al límite inferior que garantiza la seguridad de los trabajadores. Por otro lado, el monóxido de carbono (CO) mostró las desviaciones más críticas, con concentraciones en el frente que oscilaron entre 98 ppm y 184 ppm, superando consistentemente el límite superior de 50 ppm establecido para el ingreso y, en la mayoría de las situaciones, el umbral de exposición de 400 ppm para situaciones de corta duración. El dióxido de nitrógeno (NO₂) también presentó niveles preocupantes en el frente de trabajo, con picos de hasta 2.7 ppm, por encima del límite máximo permitido de 1 ppm para exposición prolongada. El sulfuro de hidrógeno (H₂S), si bien en menor medida, mostró concentraciones de hasta 0.9 ppm, igualando o superando en ocasiones su límite máximo de 1 ppm.

En comparativa con lo obtenido, los estudios de Lizana y Suxe (2022), Escobar y Rodas (2020) y Atalaya (2022) muestran una relación, ya que estos estudios abordan exactamente la misma problemática, que es la acumulación de gases tóxicos (CO y NO₂) post-voladura, donde abordan este problema con el mismo objetivo de diseñar sistemas para evacuarlos rápidamente, que son el siguiente paso lógico de su investigación. Los resultados de Lizana y Suxe (evacuación 40% más rápida) y Escobar y Rodas (evacuación en 35 min) son soluciones concretas para el peligroso ambiente que midieron en el frente de trabajo inmediatamente después de la voladura. De igual manera Morocho (2024), Canuza y Pérez (2023) y Merlé (2023), que comparten el mismo objetivo central: evaluar y optimizar un mecanismo de renovación de aire para dispersar y eliminar emanaciones nocivas producidas por voladuras (específicamente CO y NO₂, los mismos gases problemáticos en sus resultados). La metodología de medir caudales y concentraciones de gases para diagnosticar el problema es idéntica.

Al responder el segundo objetivo específico, dirigido a determinar el caudal de aire requerido para mejorar la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza, se realizó un cálculo integral que consideró múltiples factores operativos y normativos. El proceso incluyó la determinación del caudal mínimo para la oxigenación del personal (32 m³/min), el requerido por consumo de madera (11 m³/min), el necesario para el control térmico (186 m³/min), el asociado a la dilución de gases generados por explosivos (125 m³/min) y un 15% adicional por fugas del sistema (53.1 m³/min). La sumatoria de estos componentes arrojó un caudal total de 407.1 m³/min (14,385.15 CFM), el cual constituye el flujo volumétrico de aire fresco necesario para garantizar una dilución y evacuación

efectiva de los contaminantes, asegurando condiciones atmosféricas seguras dentro de la labor Ruth. Este cálculo fundamenta técnicamente la dimensión del sistema de ventilación a implementar.

Comparando este resultado, la determinación del caudal de aire requerido (407.1 m³/min o 14,385.15 CFM) se alinea con estudios previos en contextos similares; por ejemplo, Canuza y Pérez (2023) identificaron en su análisis un caudal disponible de 14,500 m³/h ($\approx$ 241.6 m³/min), considerablemente inferior al calculado en este trabajo, lo que evidencia que las necesidades de la mina Nueva Esperanza son mayores debido a sus condiciones específicas de concentración de gases y dimensiones de la labor. Asimismo, Vera (2021) reportó un déficit de caudal, pasando de 4,237.76 CFM a un requerimiento de 21,000 CFM, mientras que Zavala (2022) logró incrementar el flujo en un 25% (de 9,500 a 11,875 m³/h). En comparación, el caudal calculado en esta investigación (14,385.15 CFM) se sitúa en un rango intermedio, pero con la particularidad de integrar factores detallados como fugas del sistema (15% adicional), control térmico y dilución de explosivos, ofreciendo así un enfoque más integral y adaptado a las condiciones operativas y de seguridad de la labor Ruth. Estos contrastes refuerzan la premisa de que el dimensionamiento del caudal no es universal, sino que debe derivarse de un diagnóstico específico que considere las variables críticas de cada entorno minero.

En respuesta del tercer objetivo específico, orientado a determinar el tipo de ventilador de aire para mejorar la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza, se realizó un análisis técnico comparativo de diversos modelos de ventiladores axiales disponibles en el mercado minero. Tomando como base el caudal total requerido de 14,385.15 CFM (407.1 m³/min), calculado a partir de los factores operacionales y normativos, se evaluaron modelos como el JET FAN 25-17, JET FAN 20-14, AXIVANE 24, VENTAX VAX-28 y MINE MASTER 22. La selección se sustentó en criterios clave de capacidad de flujo, diámetro de carcasa, eficiencia energética, disponibilidad en el mercado peruano y relación costo-beneficio. El ventilador axial JET FAN 25-17 fue identificado como la opción óptima, al ofrecer un caudal máximo de 24,500 CFM —lo que proporciona un margen de seguridad del 70.3% sobre el requerimiento calculado—, un diámetro de carcasa de 25 pulgadas compatible con mangas de ventilación estándar, y una operación en el rango de mayor eficiencia energética. Este hallazgo se alinea con estudios previos como los de Cornejo (2024) y Ramírez (2021), quienes destacan la idoneidad de los ventiladores axiales en minería subterránea por su alta portabilidad,

facilidad de instalación y eficacia en la dilución de gases. La elección del JET FAN 25-17 no solo responde técnicamente a las necesidades de caudal y configuración espacial de la labor Ruth.

En comparativa con los resultados obtenidos, la selección del ventilador axial JET FAN 25-17 se encuentra técnicamente respaldada por investigaciones previas en contextos mineros similares; por un lado, Cornejo (2024) evidenció en la mina Andaychagua que un ventilador axial de 60,000 CFM logró una reducción promedio del 3.47% en la concentración de gases nocivos, destacando la eficacia de este tipo de equipos en la dilución de contaminantes en frentes confinados, este antecedente valida la decisión de emplear un ventilador axial en el presente estudio, aunque a una escala adaptada a las dimensiones y caudal requerido (14,385.15 CFM) de la labor Ruth. En este sentido, Ramírez (2021) reportó en la mina San Jorge que la instalación de ventiladores axiales de alta presión incrementó el flujo de aire en un 35% y redujo significativamente los niveles de CO y NO₂, reforzando la idoneidad de esta tecnología para mejorar la calidad del aire en galerías subterráneas. La coincidencia en los hallazgos, respecto a la eficiencia de los ventiladores axiales para optimizar la ventilación y evacuación de gases, confirma que la selección del JET FAN 25-17 se alinea con experiencias exitosas documentadas en la literatura, adaptando sus características técnicas a las necesidades específicas de la mina.

Al responder al cuarto objetivo específico, dirigido a determinar el tiempo de ventilación necesario para mejorar la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza, se desarrolló y simuló un sistema de ventilación auxiliar mediante el software Ventsim. Los resultados demostraron que, tras una hora de operación continua del ventilador axial JET FAN 25-17, las concentraciones de gases en el frente de trabajo se redujeron drásticamente: el monóxido de carbono (CO) descendió de un máximo de 184 ppm a 68 ppm, y el dióxido de nitrógeno (NO₂) pasó de 2.7 ppm a 1 ppm, acercándose así a los límites permisibles establecidos en la normativa. La simulación confirmó que el ventilador es capaz de suministrar un caudal efectivo de 14,504 CFM a la labor Ruth, superando ligeramente el requerimiento calculado de 14,385.15 CFM. Adicionalmente, la prueba estadística t-Student aplicada a los datos de simulación arrojó una significancia ($p < 0.005$) que valida que el aumento del caudal de aire, producto del sistema implementado, mejora significativamente y en un tiempo operativo viable (1 hora) la evacuación de los gases acumulados tras las voladuras.

Al comprar este resultado, se alinea y complementa con los hallazgos previos reportados en el estudio de Menéndez et al. (2022), mediante modelos matemáticos, establecieron que tiempos de ventilación óptimos de 30 a 60 minutos permiten diluir gases tóxicos por debajo de los límites permisibles, este antecedente corrobora la importancia de definir un tiempo mínimo operativo; la simulación en Ventsim mostró que se requiere 1 hora (60 minutos) para reducir significativamente concentraciones particularmente elevadas (CO de 184 ppm a 68 ppm), sugiriendo que el tiempo necesario puede variar según la carga contaminante inicial y las características del circuito. En este mismo contexto, Solier (2023) identificó que la mejora del sistema de ventilación reduce el tiempo de evacuación de aire viciado de 2.5 horas a 1.66 horas (33.3% menos) con un aproximado 1 hr de ventilación, este resultado es coherente con lo obtenido, ya que ambos estudios demuestran que la adecuada configuración del sistema, en este caso, con un ventilador axial de capacidad calculada, permite lograr metas de calidad del aire.

V. CONCLUSIONES

La implementación del sistema de ventilación principal para la mina Nueva Esperanza se confirma como una solución técnica y económicamente viable, logrando reducir significativamente las concentraciones de gases tóxicos (CO a 68 ppm y NO₂ a 1 ppm) mediante un caudal calculado de 407.1 m³/min; y con la prueba de hipótesis se justifica el resultado del sistema de ventilación.

El diagnóstico inicial evidenció condiciones críticas en el frente de trabajo, con niveles de CO (hasta 184 ppm) y NO₂ (hasta 2.7 ppm) que exceden los límites permisibles, junto a oxígeno en mínimos peligrosos (18.9%). Estos resultados validan la urgencia de implementar un mecanismo de ventilación efectivo para resguardar el bienestar del personal operativo y acatar la Normativa 024-2016-EM.

La determinación del caudal de aire requerido, calculado en 407.1 m³/min (14,385.15 CFM), constituyó el fundamento técnico esencial para dimensionar el sistema de ventilación de la mina, el valor obtenido a partir de la integración de los requerimientos de oxigenación, control térmico, dilución de gases de explosivo y compensación por fugas, garantiza que el flujo suficiente para evacuar los contaminantes y mantener condiciones seguras en la labor Ruth. Por lo tanto, el cálculo del caudal no solo responde al objetivo específico planteado, sino que estableció el parámetro operativo central.

La determinación del tipo de ventilador óptimo permitió seleccionar el modelo axial JET FAN 25-17, el cual no solo satisface el caudal requerido de 14 385.15 CFM con un margen de seguridad del 70.3%, sino que también presentó un diámetro de carcasa compatible con las mangas de ventilación estándar y una eficiencia energética adecuada al contexto de la pequeña minería; esta elección se fundamentó en el análisis técnico multicriterio y respaldada por experiencias previas documentadas, garantizando así una solución viable y efectiva para mejorar la evacuación de gases en la labor.

La simulación en Ventsim demostró que un tiempo de ventilación de una hora, empleando el ventilador JET FAN 25-17, reduce drásticamente las concentraciones de gases tóxicos en el frente de trabajo (CO de 184 ppm a 68 ppm y NO₂ de 2.7 ppm a 1 ppm), acercándolas a los límites permisibles; este resultado, validado estadísticamente ($p < 0.005$), confirmó que el sistema diseñado no solo es técnicamente eficaz, sino que opera en un intervalo temporal viable y seguro, optimizando las condiciones de aire tras cada voladura y minimizando los riesgos para el personal.

VI. RECOMENDACIONES

La falta de monitoreo es extremadamente peligrosa, se recomienda la adquisición de un equipo detector multigás portátil (similar al Altair 4X, pero buscando opciones más económicas o en el mercado de segunda mano certificado). Establecer un protocolo obligatorio de medición de oxígeno (O_2), monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO_2) antes y después de cada voladura, y especialmente antes de que los mineros reingresen al área, es crucial para prevenir intoxicaciones y accidentes fatales. La calibración periódica del equipo es esencial.

Muchos problemas surgen del uso excesivo de explosivos, ya que genera gases nitrosos, por ello se recomienda capacitar al personal en técnicas de voladura controlada, calculando la cantidad justa y necesaria de explosivo para la tarea, lo que reduce la generación de gases tóxicos. Además, se debe asegurar un tiempo de ventilación suficiente después de cada detonación, utilizando el sistema auxiliar recomendado, y nunca permitir el reingreso al área hasta que el monitoreo confirme que los niveles de CO y NO_2 están por debajo de los límites de seguridad.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Atalaya, J. (2022). *Diseño de un sistema de ventilación para reducir gases tóxicos en la mina subterránea Nazareno Ady S.R.L., Cajamarca, 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/31891/Atalaya%20Rodriguez%2c%20Jose%20Wayner.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Anampa, R. y Cruz, A. (2023). *Modelización del sistema de ventilación mediante el software Ventsim en el Pique 8261 de la AMA Pepas de Oro de Pampamarca, Apurímac - 2023* [Tesis, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1376/T_1376.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ASHRAE. (2016). *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* (1.a ed.). ASHRAE Standard 62.1. https://upgreengrade.ir/admin_panel/assets/images/books/25223276727.pdf

Auccapuma Llalli, C. (2025). *Propuesta del sistema de ventilación y simulación con el software Ventsim en las operaciones de la mina Milagros, empresa minera American Real Estate S. A. C. Andahuaylas - 2024* [Tesis de grado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. Repositorio Institucional UNAMBA. <https://repositorio.unamba.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e4955f69-7629-48a7-be01-77f125f27398/content>

Bokwala, B., et al. (2019). Optimization of the Ventilation Circuit under Ventsim Software 4.8.6.1: Application to the Kinsenda Underground Mine. *International Journal of Scientific Research*, 8(5), 2319-7064. <https://www.ijsr.net/archive/v8i5/24051905.pdf>

Canuza, D., & Perez, J. (2023). *Análisis de ventilación de mina aplicado en la empresa Grumintor S.A.* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo]. Repositorio de la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/19461/1/53T0065.pdf>

Carranza, J., & Crespín, H. (2021). *Diseño de una red de ventilación para evacuar los gases producidos en la mina crucero, empresa de mineros artesanales Parcoy*

Retamas S.A. [Proyecto de investigación, Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI]. Repositorio UCT. <https://es.scribd.com/document/541844627/Proyecto-de-Ventilacion-Crespin-15-10-2021-2-4>

Cornejo Santos, D. J. (2024). *Impacto del ventilador axial en la disipación de gases nocivos del Nivel 1200 – Mina Andaychagua, Volcan S.A.A. - 2020* [Tesis de grado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio Institucional UNDAC. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/4163/1/T026_71308426_T.pdf

Escobar, B., & Rodas, G. (2020). *Diseño de una red de ventilación para optimizar la evacuación de los gases producidos por voladura - Unidad de Producción Pallasca* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/60839/Escobar_G_BA-Rodas_EGC-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Guevara, G., Verdesoto, A., & Castro, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, 4(3), 860-878. <https://www.recimundo.com/index.php/es/article/view/860/1363>

Gómez de la Torre Hernández, A. (2021). *Sistema de ventilación para optimizar las operaciones en la integración de dos unidades de producción en una empresa minera La Libertad 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional de la Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/30801/Gomez%20de%20la%20Torre%20Hernandez%2c%20Arturo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

González, Y., & Martín, U. (2020). Metodología cualitativa para enfocar la mirada cuantitativa. *Revista de Metodología de Ciencias Sociales*, 43, 147-162. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6922586.pdf>

Huamaní, J. (2020). *Mejoramiento del sistema de ventilación subterránea de la mina cóndor IV, minera el palacio del cóndor s.a.c.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6659/T010_73710184_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Lizana, J., & Suxe, L. (2022). *Diseño De Ventilación Para Evacuar Gases De Voladura En La Mina Sheridan Mining Exploration El Combe* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/107150/Lizana_EJJ-Suxe_SLY-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Llacho, U., & Vargas, A. (2020). *Estudio del sistema de ventilación para el control de agentes químicos y físicos, U.O. Pallancata – veta Pablo – 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio de la Universidad Tecnológica del Perú. https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/3417/Ubaldo%20Llacho_Armando%20Vargas_Tesis_Titulo%20Profesional_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mallma Muñoz, B. (2023). *Implementación del software ventsim para optimizar el sistema de ventilación en el nivel Caira 4 de la mina Huinac Huaraz - 2023* [Tesis de grado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. Repositorio Institucional UNAMBA. <https://repositorio.unamba.edu.pe/server/api/core/bitstreams/342badfb-74be-48dc-9b9f-f402e7cbfe83/content>

Mejía Flores, M. A., Morales Chacha, K. M., & Chacha Borja, D. R. (2020). Ventilation system for underground work of the Company PRODUMIN S.A. *Conciencia Digital*, 3(2.2), 164-177. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i2.2.1253>

Menéndez Rodríguez, J., Fernández-Oro, J. M., Álvarez de Prado, L., Loredó Pérez, J., & Bernardo-Sánchez, A. (2022). *Modelos matemáticos para el análisis de la dilución de gases tóxicos producidos en las voladuras de avance de galerías mineras a partir del sistema de ventilación* [Ponencia]. Simposio Internacional en Ventilación de Minas Iberoamericano (SIVM). https://www.researchgate.net/profile/Javier-Menendez-3/publication/364936065_Modelos_matematicos_para_el_analisis_de_la_dilucion_de_gases_toxicos_producidos_en_las_voladuras_de_avance_de_galerias_mineras_a_partir_del_sistema_de_ventilacion/links/635f941f6e0d367d91e29f1c/Modelos-matematicos-para-el-analisis-de-la-dilucion-de-gases-toxicos-producidos-en-las-voladuras-de-avance-de-galerias-mineras-a-partir-del-sistema-de-ventilacion.pdf

Merlé, N. (2023). *Emisión de gases tóxicos en voladuras subterráneas: concentración, propagación y dilución en función del tipo de ventilación mediante la aplicación de métodos analíticos y numéricos y análisis de optimización de los ciclos de*

Pozo Bulnes, C. A., & Ari Uturunco, J. A. N. (2023). *Modelamiento y diagnóstico del circuito actual de ventilación en una mina subterránea y propuesta de mejora* [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional de la Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/25925>

Ramírez Neyra, C. (2021). *Sistema de ventilación en el nivel 2735 de la mina San Jorge – Sayapullo – La Libertad 2020* [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/94f078b9-07cb-4180-abfa-20532a972411/content>

Rebolledo, C., & Reyes, C. (2019). *Propuesta de ventilación para minera blanco iii, comuna de los vilos* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Federico Santa María Sede Viña Del Mar – José Miguel Carrera]. Repositorio de la Universidad Técnica Federico Santa María. <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/46926/3560901064324UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ricse, R. (2021). *Diseño del circuito de ventilación para evacuar los gases, humo y polvo en suspensión en las labores de la galería principal en la mina artesanal Aurex-Acopalca, Pasco 2018* [Tesis de pregrado, Universidad del Pacífico]. Repositorio de la Universidad del Pacífico. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8706/4/IV_FIN_110_TE_Ricse_Ramos_2021.pdf

Rivera, G. (2020). *Análisis del circuito de ventilación mediante simulación con ventsim de una mina subterránea de carbón artesanal en la provincia de Arauco, región del Biobío* [Tesis de pregrado, Universidad de Concepción]. Repositorio de la Universidad de Concepción. <http://repositorio.udec.cl/jspui/bitstream/11594/4630/1/Tesis%20Analisis%20del%20circuito%20de%20ventilacion.pdf>

Rodriguez, C. (2021). Diseños de investigación experimental. *Ciencia América*, 10(1), 1-14. <https://www.cienciamerica.edu.ec/index.php/uti/article/view/356/698>

Rusulo, D. (2019). *Optimización del sistema de ventilación como un método de control de la calidad del aire en la mina san Rafael, de la región puno* [Tesis de maestría,

Universidad nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio de la Universidad nacional de San Agustín de Arequipa. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/2272fb2b-b967-4e21-8a0a-4af5a145bbad/content>

Rumbo Minero. (2021, 17 de mayo). *Sistemas de Ventilación en Minería: Aire de calidad y bienestar en cada jornada*. <https://www.rumbominero.com/revista/informes/sistemas-de-ventilacion-en-mineria-aire-de-calidad-y-bienestar-en-cada-jornada/>

Seguridad Minera. (2021, 17 de mayo). *Métodos y planeación de ventilación de minas subterráneas*. Revista Seguridad Minera. <https://revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/metodos-y-planeacion-de-ventilacion-de-minas-subterraneas/>

Solier Ramos, J. E. (2023). *Evaluación del sistema de ventilación principal y sus indicadores en la unidad minera Andaychagua* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/4e6e1433-0d19-43ab-af73-4a9a494b67b4/content>

Soler & Palau Sistemas de Ventilación, S.L.U. (2021, 17 de mayo). *Aplicación de la ventilación en la minería subterránea*. Soler & Palau. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/aplicacion-de-la-ventilacion-en-la-mineria-subterranea/>

Tejeda Romero, R. C., & Mucha Gomez, F. (2022). *Evaluación de las condiciones de ventilación para la actualización del sistema integral de ventilación Unidad Minera Yauricocha* [Tesis de grado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/077f72cb-b200-4587-8046-6390fa270a28/content>

Toledo, N. (s.f.). *Técnicas de investigación cualitativas y cuantitativas* [Diapositivas de PowerPoint]. Core. <https://core.ac.uk/download/pdf/80531608.pdf>

Valarezo, M. (2020). *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 [Tesis de pregrado, Universidad Del Azuay]. Repositorio de la Universidad Del Azuay. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/10146/1/15776.pdf>

Vásquez, J. D. R. (2021). *Evaluación del sistema de ventilación en una mina subterránea en la provincia de Cajabamba - Cajamarca 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/29005/INFORME%20DE%20TESIS_JAQUELINE%20DEL%20ROCIO%20VASQUEZ%20VASQUEZ_pdf_total.pdf?sequence=14&isAllowed

Vera Warthon, E. R. (2021). *Implementación y simulación del sistema de ventilación con el software ventsim visual en la Mina San Valentín s.a. – Curahuasi – Apurímac - 2019* [Tesis de grado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. Repositorio Institucional UNAMBA. <https://repositorio.unamba.edu.pe/server/api/core/bitstreams/dbc5d0c8-dc34-48f7-b7bb-b10e9a189e30/content>

Zavala, L. (2022). *Evaluación del sistema de ventilación para mejorar deficiencia de aire en mina Antapite de empresa Sierra Antapite S.A.C. 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Del Centro Del Perú]. Repositorio de la Universidad Nacional Del Centro Del Perú. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/8298/T010_72870964_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Zavaleta, E. (2023). *Optimización del sistema de ventilación en la mina Sheridan Mining Explorations El Combe E.I.R.L. – Algamarca, 2023* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional De Trujillo]. Repositorio de la Universidad Nacional De Trujillo. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/dd911e29-0e0c-4c31-b277-1eb90ab4b445/content>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Dimensiones	Metodología
¿De qué manera la implementación de un sistema de ventilación mejorará la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza, Algamarca, 2025?	Implementar un sistema de ventilación para mejorar la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza, Algamarca, 2025.	La implementación de un sistema de ventilación mejorará significativamente la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza, Algamarca, 2025.	Variable Independiente Sistema de ventilación	Caudal de aire Tipo de ventilador Tiempo de ventilación	Tipo: Aplicada. Enfoque: Cuantitativo. Diseño: Preexperimental. Población: 6 labores de la mina nueva esperanza Muestra: Labor “Ruth”. Técnicas de recolección de datos: Técnica de observación de campo y Técnica de análisis documental. Instrumentos de recolección de datos: Guía de observación de campo y Guía de análisis documental. Método de análisis: Método de procesos y método analítico-sintético.
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas			
¿Cuál es el nivel de calidad del aire presente de la mina Nueva Esperanza?	Diagnosticar el nivel de calidad del aire presente dentro de la mina Nueva Esperanza				
¿De qué manera el caudal de aire mejorará la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza?	Determinar el caudal de aire para mejorar la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza	El caudal de aire mejorará significativamente la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza.	Variable Dependiente Evacuación de los gases	Concentración de gases	
¿De qué manera el tipo de ventilador mejorará la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza?	Determinar el tipo de ventilador de aire para mejorar la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza	El tipo de ventilador mejorará significativamente la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza.			
¿De qué manera el tiempo de ventilación mejorará la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza?	Determinar el tiempo de ventilación para mejorar la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza	El tiempo de ventilación mejorará significativamente la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza			

Anexo 2. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTO
Variable independiente: Sistema de ventilación	Gástelo (2021) El sistema de ventilación es el proceso técnico y metodológico mediante el cual se planifica, dimensiona y establece la configuración de los componentes necesarios para garantizar la circulación adecuada de aire en un espacio determinado.	Se aplica un sistema de ventilación tomando en cuenta el caudal de aire requerido, el tipo de ventilador y el tiempo de ventilación	Caudal de aire	Caudal por altura (m.s.m)	VENTSIM
				Caudal por consumo de madera	
				Caudal por temperatura	
			Tipo de ventilador	Caudal por consumo de explosivo	
				Caudal por fugas	
Variable dependiente: Evacuación de los gases	Valencia (2022) Nos indica que la minería subterránea, el proceso de extracción y excavación, produce agentes contaminantes, tales como vapores, que constituyen un peligro mortal para los trabajadores. Estas emanaciones derivan de la explosión de materiales detonantes y pueden conducir a una asfixia letal.	Se mide la concentración de gases luego de implementar el sistema de ventilación utilizando la herramienta VENTZIM	Concentración de Gases	Caudal por número de trabajadores	VENTSIM
				Caudal de aire requerido	
				Modelo del ventilador	
				Capacidad de flujo de aire	
				Diámetro de la carcasa	
Variable dependiente: Evacuación de los gases	Valencia (2022) Nos indica que la minería subterránea, el proceso de extracción y excavación, produce agentes contaminantes, tales como vapores, que constituyen un peligro mortal para los trabajadores. Estas emanaciones derivan de la explosión de materiales detonantes y pueden conducir a una asfixia letal.	Se mide la concentración de gases luego de implementar el sistema de ventilación utilizando la herramienta VENTZIM	Concentración de Gases	Duración de operación por turno	VENTSIM
				Frecuencia de uso	
				Tiempo de ventilación	
				post-voladura	
Variable dependiente: Evacuación de los gases	Valencia (2022) Nos indica que la minería subterránea, el proceso de extracción y excavación, produce agentes contaminantes, tales como vapores, que constituyen un peligro mortal para los trabajadores. Estas emanaciones derivan de la explosión de materiales detonantes y pueden conducir a una asfixia letal.	Se mide la concentración de gases luego de implementar el sistema de ventilación utilizando la herramienta VENTZIM	Concentración de Gases	Nivel de Oxígeno (O2)	VENTSIM
				Nivel de Monóxido de carbono (CO)	
				Nivel de Dióxido de nitrógeno (NO2)	
				Nivel de Sulfuro de hidrógeno (H2S)	
				Nivel de Metano (CH4)	

Anexo 3. Instrumentos de recolección de datos

Instrumento de observación de campo			
Objetivo: Recopilar datos acerca de la calidad de aire e información de campo.			
Dimensiones	Indicador	Subindicador	Descripción
Caudal de aire	Caudal por altura (m.s.n.m)	Ubicación de la labor sobre el nivel del mar	
	Caudal por consumo de madera	Producción en TM	
		Cuadros de madera	
	Caudal por temperatura	Temperatura de las labores	
	Caudal por consumo de explosivo	Tipo de explosivo	
		Densidad del explosivo	

		Cantidad de explosivo	
	Caudal por número de trabajadores	Cantidad de trabajadores en la labor	
Gases	Tipo de gas	Identificación de los gases den la labor	
	Concentración del gas	Concentración de los tipos de gases encontrados en la labor	

Diseño de mina (Plano):

Instrumento de análisis documental			
Objetivo: Recopilar datos acerca de la calidad de aire apropiado y costos del sistema de ventilación en documentos indexados.			
Dimensiones	Indicador	Subindicador	Descripción
Caudal de aire	Caudal de aire requerido	Fluctuación de aire de una labor ventilada	
Gases	Límites permisibles de los gases	Sintomatología (salud)	
		Concentración máxima permisible	
		Riesgos y enfermedades ocupacionales	
Costos	Costo de instalación	Cotización del equipo	
		Cotización de herramientas	
		Cotización de servicio (personal)	

Anexo 4. Carta de autorización de la empresa.

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Algamarca 17 de diciembre del 2024

Sres.

Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI,

Breitner Diaz Rodríguez - Decano de la Facultad de Ingeniería;

Reciban un cordial saludo;

Me es grato dirigirme a ustedes para manifestarle que dentro de nuestra política como empresa brindamos el apoyo al estudiante que se está formando profesionalmente, motivo por lo cual recibimos al estudiante de la carrera de ingeniería de minas de la UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TRUJILLO BENEDICTO XVI, a quien detallo a continuación:

Apellidos y Nombres: CARLOS JAIMITO RUDAS CAJA

DNI: 75689181

Autorizando al estudiante para que tenga acceso y utilicen la información de mi empresa con la responsabilidad y cautela que amerita, para que realice su proyecto de tesis, por lo cual se les dará las facilidades para concretar dicho trabajo. Sin otro particular, me despido de ustedes muy cordialmente.

Atentamente



ING. WANSORCIO SPI
GERENTE DE OPERACIONES MINA
Ing. Wan Seyni Ramirez Malca
GERENTE DE OPERACIONES MINA
CIP Nº 251451

Firma

Anexo 5: aplicación de la metodología 5 PORQUE para determinar el problema general y específicos.

Preguntas específicas	Importancia
¿Cuál es la calidad del aire presente en la mina?	Para identificar los contaminantes presentes y sus concentraciones actuales.
¿Cuál es el flujo de aire requerido para las operaciones mineras?	Para asegurar una dilución y remoción efectiva de los contaminantes y un suministro adecuado de oxígeno.
Pregunta	
¿De qué manera la implementación del sistema de ventilación principal mejora la evacuación de gases en la mina Nueva Esperanza?	¿Como mejorar la evacuación de gases mediante un software de aire y la dispersión de gases bajo diferentes escenarios y diseños. Permiten predecir el comportamiento del flujo de aire y la dispersión de gases.
¿Cuál será el costo estimado para la instalación del nuevo sistema de ventilación?	Para determinar la viabilidad económica del proyecto y planificar el presupuesto necesario.

Anexo 6: Efectos de niveles oxígeno (O₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Sulfuro de Hidrogeno (H₂S), Monóxido de Carbono (CO) y Dióxido de Carbono (CO₂)

Efectos de los niveles de oxígeno (O₂)	
Nivel	Efectos
23.5%	Nivel Máximo de Seguridad (Riesgo de incendio)
20.8%	Oxígeno óptimo en el aire
19.5%	Nivel mínimo de aire
17%	Se deteriora la capacidad de discernimiento
16%	Manifestaciones iniciales de Deficiencia de Oxígeno
16% – 12%	Ventilación pulmonar y frecuencia cardiaca aceleradas
14% - 10%	Cansancio y complejidad para inhalar
10% - 6%	Malestar estomacal, regurgitación, incapacidad para desplazarse y pérdida del conocimiento
6%	Espasmos musculares, asfixia, cesa la función respiratoria y cardiaca instantes después.
5% - 3%	Duración de supervivencia: 3 – 5 minutos

Nota: Efectos de los niveles de oxígeno (O₂)

Efectos de los niveles de Dióxido de Nitrógeno (NO₂)	
Nivel	Efectos
0.2 – 1 ppm	Se percibe por su penetrante fragancia picante
1 ppm	Umbral de contacto permitido
5 - 10 ppm	Escozor en las fosas nasales y la laringe
20 ppm	Molestia ocular
50 ppm	Contacto máximo permitido durante un intervalo de treinta minutos
100 - 200 ppm	Constricción torácica, inflamación bronquial severa y fallecimiento como resultado de una inhalación extendida

Nota: Efectos de los niveles de Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

Efectos de los niveles de Sulfuro de Hidrogeno (H₂S)	
Nivel	Efectos
0.2 ppm	Mínima fragancia detectable
1 ppm	Inicia molestia ocular; umbral autorizado de contacto
5 - 10 ppm	Arranque tusivo; escozor en los ojos; desaparición de la capacidad olfativa transcurridos 2-5 minutos.
20 ppm	Pérdida del conocimiento; cese de la respiración; fallecimiento entre 30 minutos y 1 hora.
50 ppm	Contacto máximo permitido durante un lapso de treinta minutos.

100 - 200 ppm	Pérdida de la conciencia; paro respiratorio; fallecimiento en pocos minutos, incluso tras trasladar al afectado a un espacio exterior.
---------------	--

Nota: Efectos de los niveles de Sulfuro de Hidrogeno (H₂S)

Efectos de los niveles de Monóxido de Carbono (CO)	
Nivel	Efectos
25 ppm	Umbral de Tolerancia Admisible
400 ppm	Molestia craneal en un período de 2 a 3 horas.
1600 ppm	Cefalea, vértigo, náuseas a los 20 minutos; desvanecimiento y deceso en 60 minutos 6400 ppm
6400 ppm	Cefalea y vértigo entre 1 y 2 minutos; pérdida del conocimiento y fallecimiento entre 10 y 15 minutos.
12800 ppm	Consecuencias instantáneas; desvanecimiento del conocimiento; riesgo vital en 1 a 3 minutos incluso tras trasladar al individuo a un espacio abierto.

Nota: Efectos de los niveles de Monóxido de Carbono (CO)

Efectos de los niveles de Dióxido de Carbono (CO₂)	
Nivel	Efectos
0.03%	No ocurre efecto alguno, proporción habitual en el aire
0.3% - 0.5%	Los niveles reducidos generan una elevación del ritmo de respiración y cefalea.

0.5 %	El intercambio gaseoso respiratorio se incrementa en un cinco por ciento del Límite de Exposición Permisible.
1 %	Se manifiestan las señales iniciales, por ejemplo, percepción de temperatura elevada y sudoración, disminución de la concentración en los detalles, agotamiento, inquietud, pérdida de vigor, inestabilidad en las articulaciones de las piernas.
2 %	La respiración pulmonar se incrementa en un cincuenta por ciento, cefalea después de múltiples horas de contacto
5% - 10%	Falta de aire y agotamiento intensos hasta el grado de consumir todas las energías con solo inhalar y cefalea severa. La inhalación continua del 5% puede generar afecciones médicas permanentes.

Nota: Efectos de los niveles de Dióxido de Carbono (CO₂)

Anexo 6. Fotos





Anexo 7. Reporte de Turnitin



19% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 13% Fuentes de Internet
- 4% Publicaciones
- 16% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Fuentes principales

13%		Fuentes de Internet
4%		Publicaciones
16%		Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2024-07-18	4%
2	Internet	repositorio.uct.edu.pe	2%
3	Trabajos del estudiante	POSGRADO on 2025-12-03	<1%
4	Internet	repositorio.unamba.edu.pe	<1%
5	Internet	buleria.unileon.es	<1%
6	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%
7	Trabajos del estudiante	POSGRADO on 2025-08-25	<1%
8	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
9	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2025-12-23	<1%
10	Internet	repositorio.unap.edu.pe	<1%
11	Internet	hdl.handle.net	<1%

12	Internet	repositorio.autonoma.edu.pe	<1%
13	Internet	repositorio.unheval.edu.pe	<1%
14	Internet	repositorio.upn.edu.pe	<1%
15	Internet	repositorio.undac.edu.pe	<1%
16	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnológica de los Andes on 2025-11-19	<1%
17	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac on 2026-01-12	<1%
18	Trabajos del estudiante	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas on 2025-07-12	<1%
19	Internet	dspace.unitru.edu.pe	<1%
20	Internet	repositorio.unsch.edu.pe	<1%
21	Trabajos del estudiante	PREGRADO on 2025-09-30	<1%
22	Trabajos del estudiante	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas on 2025-05-19	<1%
23	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2022-07-19	<1%
24	Internet	apirepositorio.unh.edu.pe	<1%
25	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac on 2025-02-14	<1%

26	Internet	repositorio.uns.edu.pe	<1%
27	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac on 2025-02-06	<1%
28	Trabajos del estudiante	lasallemx on 2024-10-19	<1%
29	Trabajos del estudiante	Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2021-11-16	<1%
30	Trabajos del estudiante	Universidad Privada Antenor Orrego 2025 on 2025-07-16	<1%
31	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Moquegua on 2025-07-27	<1%
32	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Moquegua on 2025-12-15	<1%
33	Internet	repositorio.uncp.edu.pe	<1%
34	Publicación	Salas Apaza, Alex Mario. "Contenido de metales pesados e índices de biodegrada..."	<1%
35	Trabajos del estudiante	Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2024-12-01	<1%
36	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Trujillo on 2025-10-09	<1%
37	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Ingeniería on 2026-01-11	<1%
38	Trabajos del estudiante	POSGRADO on 2026-01-10	<1%
39	Internet	doczz.net	<1%

40	Trabajos del estudiante	uncedu on 2025-05-13	<1%
41	Publicación	CAD INGENIEROS SRL. "DIA del Proyecto de Instalación del Grifo de Elizabeth Elsa ...	<1%
42	Trabajos del estudiante	POSGRADO on 2025-08-21	<1%
43	Trabajos del estudiante	PREGRADO on 2025-10-01	<1%
44	Internet	repositorio.uladech.edu.pe	<1%
45	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2023-06-19	<1%
46	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac on 2026-01-14	<1%
47	Trabajos del estudiante	Universidad San Marcos on 2025-12-16	<1%
48	Internet	renati.sunedu.gob.pe	<1%
49	Internet	vsip.info	<1%
50	Trabajos del estudiante	Universidad Catolica San Antonio de Murcia on 2023-07-04	<1%
51	Trabajos del estudiante	Universidad De Cuenca on 2024-05-15	<1%
52	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Moquegua on 2025-07-26	<1%
53	Internet	liceu.uab.es	<1%

54	Internet	www.coursehero.com	<1%
55	Internet	www.researchgate.net	<1%
56	Trabajos del estudiante	Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2024-07-30	<1%
57	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Santa María on 2025-12-01	<1%
58	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2022-07-20	<1%
59	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2025-07-25	<1%
60	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac on 2025-02-19	<1%
61	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnológica de los Andes on 2026-01-14	<1%
62	Trabajos del estudiante	University of Gujrat on 2025-10-06	<1%
63	Internet	dspace.esPOCH.edu.ec	<1%
64	Internet	repositorio.unjbg.edu.pe	<1%
65	Internet	repositorioacademico.upc.edu.pe	<1%
66	Trabajos del estudiante	uazuay on 2024-04-29	<1%
67	Trabajos del estudiante	unap on 2025-04-21	<1%

68	Trabajos del estudiante uni on 2024-12-02	<1%
69	Internet www.reincisol.com	<1%

Anexo 8: Reporte de escritura de inteligencia artificial.

*% detectado como IA

La detección de IA incluye la posibilidad de que haya falsos positivos. Aunque cierto texto en esta entrega se generó probablemente con IA, los puntajes inferiores al umbral del 20 % no aparecen porque tienen una mayor probabilidad de falsos positivos.

Precaución: Se necesita revisión.

Es esencial comprender los límites de la detección de IA antes de tomar decisiones acerca del trabajo del estudiante. Te alentamos a obtener más información acerca de las funciones de detección de IA de Turnitin antes de usar la herramienta.

Aviso legal

Nuestra evaluación de escritura con IA está diseñada para ayudar a los académicos a identificar texto que podrían haberse preparado mediante una herramienta de IA generativa. Es posible que nuestra evaluación de escritura con IA no siempre sea precisa (existe la posibilidad de que identifique erróneamente redacciones probablemente generadas por humanos como generadas por IA, y redacciones probablemente generadas por IA como generadas por humanos), por lo que no debe usarse como único fundamento para aplicar sanciones a un estudiante. Para determinar si es un caso de deshonestidad académica, se necesita de un escrito mayor y el juicio humano, junto con la aplicación de las políticas académicas específicas de la organización.

Preguntas frecuentes

¿Cómo debería interpretar los falsos positivos y el porcentaje de escritura con IA de Turnitin?

El porcentaje que se muestra en el reporte de escritura con IA es la cantidad del texto calificado en la entrega que el modelo de detección de escritura con IA de Turnitin determina se generó probablemente con IA desde un modelo de lenguaje de gran tamaño.

Los falsos positivos (que marcan incorrectamente alertas de texto escrito por humanos como generado con IA) son una posibilidad en los modelos de IA.

Los puntajes de detección de IA inferiores al 20 %, que no aparecen en reportes nuevos, tienen una mayor probabilidad de ser falsos positivos. Para reducir la probabilidad de malinterpretación, no se atribuye ningún puntaje o resaltado y se indican con un asterisco en el reporte (*%).

El porcentaje de escritura con IA no debe ser el único fundamento para determinar si ha ocurrido una mala conducta. El revisor/instructor debería usar el porcentaje como un medio para iniciar una conversación formativa con sus estudiantes o usarlo para examinar el ejercicio entregado según las políticas de la escuela.

¿Qué significa 'texto calificado'?

Nuestro modelo sólo procesa texto calificado en la forma de escritura de formato largo. La escritura de formato largo se refiere a los enunciados individuales en párrafos que constituyen una parte más grande del trabajo escrito, como un ensayo, una disertación, un artículo, etc. El texto calificado que se ha determinado que se generó probablemente con IA se resaltarán en color cian en la entrega.

El texto no calificado, como viñetas, bibliografías comentadas, etc., no se procesará y puede crear disparidad entre los puntos destacados de la entrega y el porcentaje mostrado.

