

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



T E S I S

**Implementación de paneles de monitoreo del aire para optimizar el sistema
de ventilación en la UM. Atacocha – Nexa Resources S.A.**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Luis Fernando MANDUJANO VILLANUEVA

Asesor:

Ing. Toribio GARCÍA CONTRERAS

Cerro de Pasco – Perú – 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



T E S I S

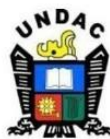
**Implementación de paneles de monitoreo del aire para optimizar el sistema
de ventilación en la UM. Atacocha – Nexa Resources S.A.**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA
PRESIDENTE

Ing. Julio César SANTIAGO RIVERA
MIEMBRO

Mg. David Odon SOSA POMA
MIEMBRO



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

Facultad de Ingeniería de Minas

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"



INFORME DE ORIGINALIDAD N° 010-2026

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Originality, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bach. MANDUJANO VILLANUEVA, Luis Fernando

Escuela de Formación Profesional
Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:
Tesis

Título del trabajo:
"Implementación de paneles de monitoreo del aire para optimizar el sistema de ventilación en la UM. Atacocha – Nexa Resources S.A."

Asesor:
Ing. Toribio GARCIA CONTRERAS

Índice de Similitud: 3 %

Calificativo:

APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 08 de mayo de 2026



Firmado digitalmente por
FERNANDEZ MALLQUI Raul FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 08.05.2026 18:17:09 -05:00

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi fuente de fortaleza y conocimiento, y por mantenerme con salud a lo largo de esta etapa tan significativa en mi existencia.

A mis padres, por su muestra de perseverancia y sacrificio.

A mis seres queridos, por su apoyo constante y amor absoluto. Gracias por caminar conmigo este camino.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Nexa Resources S.A. por abrirme las puertas para desarrollar este trabajo de investigación en la Unidad Minera Atacocha, y por facilitarme el acceso a la información técnica y a los recursos precisos para llevar adelante la ejecución de los sistemas de monitoreo.

Extiendo mi agradecimiento al equipo del área de Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente (SSOMA), y al área de Ventilación de Minas, por su constante apoyo, orientación y acompañamiento durante todas las etapas del proyecto. Su práctica y compromiso han sido fundamentales para el progreso y aplicación de esta propuesta.

Igualmente, agradezco a mis asesores académicos y docentes de la institución educativa por sus valiosas observaciones y sugerencias, que enriquecieron significativamente el enfoque técnico de esta tesis.

Finalmente, reconozco y valoro el esfuerzo de mis compañeros de trabajo, amigos y familia, cuyo respaldo emocional y motivación me permitieron culminar con éxito esta etapa académica.

RESUMEN

Para presentar el resumen de trabajo del título "IMPLEMENTACIÓN DE PANELES DE MONITOREO DEL AIRE PARA OPTIMIZAR EL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN LA UM. ATACOCHA – NEXA RESOURCES S.A.", es fundamental que el resumen sea claro, conciso y contenga los elementos clave del proyecto.

El presente reporte describe la instalación de paneles de monitoreo de la calidad del aire como instrumento para la optimización del método de ventilación en la planta minera Atacocha de Nexa Resources S.A. En este tipo de operaciones, la ventilación, por su parte, es la base para que las condiciones laborales sean seguras y ejecuten dentro de las normativas vigentes, brindando sustentabilidad a la operación eficiente. Se determinó que la falta de un método de monitoreo en tiempo actual provocó una mala distribución del aire, multiplicando los riesgos para la seguridad al aumentar la posibilidad de combustión de los contaminantes, y también el uso ineficiente de la energía.

Lo más importante fue automatizar y optimizar la manipulación del sistema de aire con la colocación de paneles que de forma remota brindaban monitorización de parámetros tales como el CO, el NO₂, la velocidad del aire, la temperatura y la humedad relativa.

La metodología para ello fue el levantamiento de información técnica existente, selección e instalación (de sensores), integración con el sistema SCADA de la planta e investigación de datos para toma de medidas de operación. Se logra al finalizar una mejora del 25 % del consumo del sistema de ventilación y reducción de la emisión de contaminantes indeseados, además una reacción del sistema más óptima a la manipulación de condiciones límite de aire.

En conclusión, la implementación de estos paneles permitió transformar el sistema de ventilación en uno inteligente, dinámico y adaptable, lo que no solo mejora la seguridad del personal, sino que también reduce costos operativos y extiende la vida útil del equipamiento.

Palabra clave: control de equipos y mejora aire de ventilación SSO. en labores mineras

ABSTRACT

To present the abstract for the work titled "IMPLEMENTATION OF AIR MONITORING PANELS TO OPTIMIZE THE VENTILATION SYSTEM AT THE ATACOCHA MINING UNIT – NEXA RESOURCES S.A.," it is essential that the abstract be clear, concise, and include the key elements of the project.

This paper addresses the implementation of air quality monitoring panels as a tool to optimize the ventilation system at the Atacocha Mining Unit of Nexa Resources S.A. In underground operations, adequate ventilation is critical to ensuring safe working conditions, operational efficiency, and regulatory compliance. It was identified that the lack of real-time monitoring led to inefficient airflow distribution, affecting both safety and energy consumption.

The main objective was to automate and optimize the management of the ventilation system through the strategic installation of monitoring panels that allow real-time measurement of parameters such as CO, NO₂, air velocity, temperature, and relative humidity.

The methodology included technical information gathering, sensor selection and installation, integration with the unit's SCADA system, and data analysis for operational decision-making. The result was a 25% improvement in the ventilation system's energy efficiency, a reduction in unnecessary emissions, and a faster response to critical air conditions.

In conclusion, the implementation of these panels transformed the ventilation system into an intelligent, dynamic, and adaptable system, which not only improves personnel safety but also reduces operating costs and extends the equipment's lifespan.

Keyword: equipment control and ventilation air improvement SSO) in mining operations

INTRODUCCIÓN

La minería subterránea es una de las primordiales tareas económicas en Perú y es también un sector estratégico para el desarrollo del país. Sin embargo, las operaciones subterráneas implican riesgos atribuidos a factores de ventilación, las condiciones del ambiente de trabajo y el nivel de exposición de los trabajadores a sustancias contaminantes. En esta línea, resulta crucial que el sistema de ventilación sea administrado de manera adecuada para asegurar la salud ocupacional, la viabilidad de las operaciones y la minimización en los costos energéticos.

En la Unidad Minera Atacocha, perteneciente al grupo Nexa Resources S.A., se ha identificado que la ausencia de un sistema de monitoreo en tiempo real dificulta el control adecuado de las salidas de aire al interior de la mina. Esto ha derivado en situaciones críticas como acumulación de gases, consumo excesivo de energía y una capacidad de respuesta limitada ante emergencias. Estas condiciones no solo ponen en riesgo la salud y seguridad de los empleados, sino que también afectan la eficiencia operativa y el cumplimiento de las reglas nacionales e internacionales en materia de seguridad minera.

Al respecto la actual investigación propone el uso de paneles de monitoreo de la eficacia del aire como alternativa implementativa para llevar a cabo el método de ventilación en interior mina, la cual se sustenta en el desarrollo de una propuesta asociada. Esta última, se basa principalmente en el uso de sensores para medir parámetros del aire como: monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), velocidad del aire, temperatura y humedad relativa, asociados a un sistema SCADA de la unidad en sí, que permite realizar el control automático y en línea de la ventilación.

La metodología propuesta comprende el análisis de los escenarios presentes de ventilación, la elección y puesta en marcha de equipos de monitoreo, la tecnológica integración de éstos con los sistemas existentes, y la validación de resultados mediante pruebas

comparativas antes y después de su aplicación. Con esto se quiere demostrar un sistema de ventilación inteligente con adaptación dinámica a las situaciones de manipulación.

Los efectos esperados implican un aumento en la eficiencia energética las dos primeras y, un reforzamiento en la cultura de seguridad en la acción minera la tercera, asociada a una disminución en los incidentes relacionados con la exposición a gases contaminantes. La investigación también ofrece un modelo que puede ser aplicado en otras unidades mineras del país para promover una minería más segura, eficiente y sostenible.

En resumen, este trabajo intenta mostrar que el uso de las modernas tecnologías de monitoreo y control no sólo es un avance para gestión de la ventilación, sino también una contribución concreta a la salud de los trabajadores y por tanto, a la competitividad del sector en el País.

ÍNDICE

Página.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y planteamiento del problema.....	1
1.2.	Delimitación de la investigación.....	2
1.2.1.	Delimitación espacial.....	2
1.2.2.	Delimitación temporal.....	2
1.3.	Formulación del problema.....	2
1.3.1.	Problema general.....	2
1.3.2.	Problemas específicos.....	2
1.4.	Formulación de Objetivos.....	3
1.4.1.	Objetivo General.....	3
1.4.2.	Objetivos específicos.....	3
1.5.	Justificación de la investigación.....	4
1.6.	Limitaciones de la investigación.....	4

CAPITULO II
MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio.....	5
2.1.1.	Antecedentes nacionales.	5
2.1.2.	Antecedentes internacionales.	7
2.2.	Bases teóricas - científicas.	8
2.2.1.	Ventilación minera.	8
2.2.2.	Aire de mina.	8
2.2.3.	Reguladores de aire de mina.	9
2.2.4.	Ventiladores primarios.	9
2.2.5.	Ventiladores secundarios.....	9
2.2.6.	Ventiladores auxiliares.	10
2.2.7.	Ventiladores soplantes.....	11
2.2.8.	Ventiladores aspirantes.	11
2.2.9.	Ventiladores soplantes-aspirantes.	11
2.2.10.	Factores críticos de ventilación.	11
2.2.11.	Recirculación del aire de ventilación.	12
2.2.12.	Paneles de monitoreo del aire de mina.	13
2.2.13.	Gaseado.	13
2.2.14.	Modbus TCP/IP.....	13
2.2.15.	Señales analógicas.....	13
2.3.	Definición de términos básicos.	14
2.3.1.	Vigilantes del aire de ventilación.	14
2.3.2.	Ventsim Live View Basic.	16
2.3.3.	Diseño Modular.....	16

2.3.4. Capital Operativo.	17
2.4. Formulación de Hipótesis.	18
2.4.1. Hipótesis General.	18
2.4.2. Hipótesis Específicas.....	18
2.5. Identificación de Variables.	18
2.5.1. Variables para la Hipótesis General.	18
2.5.2. Variables para las Hipótesis Especificas.	19
2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.	20

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación.	21
3.2. Nivel de investigación.....	21
3.3. Métodos de investigación.	21
3.4. Diseño de Investigación.....	22
3.5. Población y muestra.	22
3.5.1. Población.....	22
3.5.2. Muestra.....	22
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	22
3.6.1. Técnicas.....	23
3.6.2. Instrumentos.	23
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.	23
3.8. Tratamiento Estadístico.	23
3.9. Orientación ética filosófica y epistémica.	23

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	24
4.1.1.	Ubicación y acceso a la mina	24
4.1.2.	Información Geológica de la Unidad Minera Atacocha.....	27
4.1.3.	Geología Regional.....	27
4.1.4.	Geología Local	27
4.1.5.	Estructura Geológica	28
4.1.6.	Tipología de Yacimiento	28
4.1.7.	Minerales y paragénesis	28
4.1.8.	Alteración Hidrotermal	29
4.1.9.	Monitoreo de Equipos Unidad Minera Atacocha.....	30
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.	33
4.2.1.	Rehabilitación Acceso Ventiladores Principales.....	33
4.3.	Prueba de Hipótesis.....	38
4.3.1.	Formulación de la hipótesis estadística	38
4.3.2.	Variables a considerar	38
4.3.3.	Metodología para la prueba.....	38
4.3.4.	Criterio de decisión	39
4.4.	Discusión de resultados.....	40

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXO

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 1. Ventilador Primario Extractor de Aire	10
Figura 2. Dos Ventiladores Secundarios de Aire.....	10
Figura 3. Sistema de ventilación auxiliar soplante para una galería mediana	12
Figura 4. Sistema de ventilación auxiliar soplante-aspirante solapado de una galería larga..	12
Figura 5. Modbus TCP/IP	13
Figura 6. Plataforma Vntsim Live Basi en tiempo real	16
Figura 7. Resultados de la medición de aire con el Ventsim	17
Figura 8. Resultados de calidad de aire con el MAESTRO LINK™	18
Figura 9: Enfoque de Ubicación General	26
Figura 10: Plano Geológico de la Unidad Minera Atacocha.....	30
Figura 11: Análisis comparativo de emisiones de CO y NO en equipos de línea pesada	32
Figura 12: Análisis comparativo de emisiones de CO y NO en equipos de línea liviana	32
Figura 13: Distribución porcentual del total de equipos evaluados según el límite crítico de emisión de CO (500 ppm).....	33
Figura 14: Evidencia fotográfica de las condiciones ambientales y estructurales en las labores del Cx-7854	34
Figura 15: Modelamiento tridimensional del circuito y las redes de ventilación subterránea en el software Ventsim.....	35
Figura 16: Evidencia fotográfica de las condiciones ambientales y estructurales en las labores del Cx-7861	36
Figura 17: Modelamiento tridimensional del circuito y las redes de ventilación subterránea en el software Ventsim.....	37

Figura 18: Representación tridimensional del circuito de ventilación en el Nivel 3540 con puntos de intervención del Proyecto 143

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1. Operacionalización de variables e indicadores	20
Tabla 2. Labores de la Unidad Minera Atacocha.....	22
Tabla 3: Enfoque de Control Ambiental y Monitoreo	31
Tabla 4. Resumen de resultados (formato base en Excel)	39
Tabla 5. El sistema de ventilación de Atacocha consta de 05 Ventiladores Principales	40
Tabla 6. Costo por mes relacionado al Ventilador Principal instalado en el Nv. 4020	42

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y planteamiento del problema.

La minería subterránea dentro de su infraestructura debe tener un buen sistema de ventilación con la finalidad de preservar las situaciones ambientales para preservar el bienestar, la seguridad y salud ocupacional de todos los trabajadores y de las situaciones físicas y mecánicas de los equipos y herramientas en las operaciones unitarias.

Recientemente la Unidad Minera Atacocha ha tenido problemas de ventilación que han conllevado paros y peligros de gaseamiento a causa de la minería, de esta forma el principal problema era el pobre desempeño del aire de ventilación es así que en la gerencia de operaciones y de acorde a las reglas nacionales e internacionales que regulan la legislación de la alta minería en el país se estaba pidiendo para hacer el balance del aire de ventilación cumpliendo con parámetros eficientes del aire de ventilación para suministrar un sistema de ventilación de las áreas operativas de la Unidad Minera.

El sistema de ventilación en ella se basa en las exigencias del plan de vida de la mina (LOM) tomando en cuenta los malos contextos con respecto a la demanda de flujo del aire en el futuro. La totalidad de los medios de ventilación son destinados para la mina en seguir el período de vida de la mina presenta una oportunidad para reducir la huella de la energía para la mina, pero a la vez también las emanaciones de gases modernos de GHG y la iniciativa de mitigación de gases en actividades mineras.

1.2. Delimitación de la investigación.

1.2.1. Delimitación espacial.

El estudio se ha desarrollado internamente de toda la infraestructura de la mina subterránea de la Unidad Minera Atacocha-Nexa S.A.

1.2.2. Delimitación temporal.

La tesis ha sido estructurada de acuerdo a la línea de tiempo desde el mes de enero del 2023, culminándose en julio del 2023.

1.3. Formulación del problema.

1.3.1. Problema general.

¿Cómo mejorar la eficiencia del sistema de ventilación principal en la mina Atacocha, asegurando el cumplimiento de los estándares legales y garantizando el suministro de aire limpio y las condiciones termo-ambientales confortables para los trabajadores?

1.3.2. Problemas específicos.

- a) ¿Cómo determinar la ubicación adecuada de las estaciones de control de ventilación minera para optimizar el suministro de aire limpio?
- b) ¿De qué manera se pueden establecer y organizar sistemáticamente los circuitos de aire de la mina para avalar una ventilación eficientemente?

- c) ¿Cómo mejorar el balance entre las entradas y salidas de aire en la mina, afirmando que la discrepancia de caudales no supere el 10 %?
- d) ¿Qué estrategias deben implementarse para garantizar que la petición de aire de la mina sea suficiente para mantener una temperatura de confort adecuada y la operación óptima de los equipos petroleros?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Garantizar la salud y seguridad de los trabajadores es una prioridad innegociable en la actividad minera, sobre todo en lo que tiene que ver con la calidad del aire y la inspección de la exposición a agentes químicos dentro de los rangos permitidos. Como marco de referencia, se consideran los lineamientos del Anexo 15 y del Reglamento sobre Valores Límite Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo (D.S. N.º 023-2015-SA o la norma que lo reemplace en su momento). Con el fin de mantener este control, se lleva a cabo una evaluación completa del sistema de ventilación de la mina subterránea Atacocha con una periodicidad semestral, complementada con revisiones puntuales cada vez que se añaden nuevas conexiones de labores o se realizan modificaciones en los circuitos de aire. Todo este trabajo es ejecutado por personal especializado en ventilación, lo que asegura condiciones de trabajo seguras para todos los involucrados.

1.4.2. Objetivos específicos.

- a) Realizar controles continuos de ventilación en todas las labores donde haya personal trabajando, ya sean de exploración, desarrollo, preparación o explotación.
- b) Fortalecer los controles en los troncales de ventilación con el fin de mejorar el circuito de ventilación general de la mina.

1.5. Justificación de la investigación.

El proyecto consiste en implementar una estación de monitoreo de gases tóxicos para minería subterránea, con la ventaja de poder acceder a la información de forma remota a través de un servidor web. Esta estación ha sido diseñada para operar de manera estable y confiable, evitando saturaciones, gracias al uso de un PLC de alta capacidad y sensores Dräger que permiten una medición precisa. Durante el diseño y desarrollo, nos enfocamos en los puntos críticos. Además, buscamos evitar posibles sanciones por incumplimiento del D.S. 024-2016E.M. y su modificatoria D.S. 023 - 2017E.M. en su artículo 251, en la UM. Atacocha.

1.6. Limitaciones de la investigación.

Se deben cumplir con los plazos determinados por la normativa con la finalidad de no incurrir en faltas que ameritan multas por incumplimiento del Art. 251 del RSSO.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio.

2.1.1. Antecedentes nacionales.

- a) En su trabajo de maestría, R. Aranda R. abordó el estudio de un sistema de ventilación automatizado con soporte SCADA para el control de gases en interior mina, llegando a la conclusión de que la automatización favorece una distribución más eficiente de la energía eléctrica en la Compañía Minera Raura S.A. (2019). Asimismo, esta aproximación tecnológica optimiza el manejo de parámetros eléctricos como el voltaje ($\mu v = 0.087$), la corriente ($\mu c = 0.069$) y la frecuencia ($\mu f = 0.172$), variables que guardan una estrecha relación con la potencia de distribución en kW. En términos generales, se identifica una vinculación positiva y moderada con el manejo adecuado de las condiciones operativas del sistema de ventilación, incluyendo la temperatura y la vibración de los motores de los ventiladores. A ello se añade que contar con interfaces de monitoreo remoto y en tiempo real ayuda a minimizar las interrupciones en las labores subterráneas, lo que

se traduce en mayor continuidad y eficiencia en las operaciones al interior de la mina (U.C., 2020).

- b) **W. O. NIÑO C. F. QUIME C. (2015)**, En su tesis "*Influencia de la Ventilación Natural y Forzada en el Dimensionamiento; Sistema de Ventilación de la Mina Limpe Centro-Unidad Minera Iscaycruz- Provincia de Oyon-Lima*". Resume que sistema de ventilación mixta, compuesta por ventilación natural producida por la infiltración del aire a través de las chimeneas de servicio se produce a una velocidad de 3.5 m/seg. Además, la operación dispone de un sistema de ventilación mecánica forzada conformado por dos ventiladores uno de impulsión y otro de extracción que en conjunto suman una potencia de 250 HP. Sin embargo, frente a la decisión de elevar el ritmo de producción e integrar 10 nuevos niveles de trabajo, la empresa ha reconocido la necesidad de replantear el sistema de ventilación mixta, lo que implica incrementar la potencia de los ventiladores para sostener condiciones operativas óptimas.

En ese sentido, se determinó el caudal total requerido para las condiciones máximas de ventilación. Este valor está directamente ligado a la demanda de aire, la cual varía en función de la cantidad de empleados concurrencias en cada nivel y del uso de equipos con motores diésel en la zona, dado que ambos factores elevan la necesidad de ventilación. Asimismo, se tomaron en cuenta los requerimientos establecidos en el D.S. N.º 055-2010-EM. Como resultado, se determinó que la ventilación natural representa un 18% del aporte total, mientras que la ventilación forzada contribuye con el 82% restante, lo que lleva a concluir que ambas

modalidades juegan un papel relevante en el diseño del método de ventilación compuesta.

2.1.2. Antecedentes internacionales.

- a) Según la recopilación de F. Calizaya (2022) titulada "Instalación de Ventiladores y Controles de Ventilación en Minas Metálicas", un sistema de ventilación que abarca las principales entradas y salidas de aire, los ventiladores necesarios y sus respectivos controles tiene como objetivo fundamental suministrar aire fresco en las cantidades requeridas a todos los frentes de trabajo. El autor indica que los caudales requeridos están condicionados por diversos factores, entre ellos el método de explotación, el grado de mecanización de los equipos y las condiciones de temperatura del aire. En términos generales, el sistema se concibe para asegurar permanentemente un ambiente saludable dentro de la mina. Una vez establecidos los requerimientos del sistema, el paso siguiente consiste en trazar el plan de implementación, el cual contempla la construcción de accesos, galerías y pozos con las dimensiones adecuadas. Los ventiladores y los controles de ventilación se proyectan para ser instalados durante la propia construcción de la mina. Sin embargo, cuando el diseño de pozos, galerías y rampas presenta deficiencias geotécnicas, suelen aparecer problemas de vibración en los ventiladores, así como daños físicos recurrentes en puertas y reguladores. Para asegurar un funcionamiento eficiente, este tipo de infraestructura y equipamiento requiere un programa de mantenimiento regular y sostenido. (Vol. 7, N.º 1, Oruro, jun. 2022)
- b) **Maestro Digital Mine (2017)**, en sus presentaciones tituladas "Ingeniería para el duro ambiente de la minería subterránea", se explica que los

sistemas de ventilación en mina se diseñan considerando los requerimientos del plan de vida de la mina (LOM), tomando en cuenta incluso los escenarios más exigentes en cuanto a la demanda futura de flujo de aire. Como consecuencia, muchos de estos sistemas se implementan desde períodos anticipadas del ciclo de vida de la operación, lo que abre oportunidades para optimizar el consumo energético, reducir el impacto ambiental y minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), además de impulsar iniciativas de mejora en la ventilación a nivel corporativo. **(Sudbury, Ontario, Canadá 2017).**

2.2. Bases teóricas - científicas.

2.2.1. Ventilación minera.

La ventilación minera consiste en el movimiento controlado del aire a través del interior de una mina subterránea, con el propósito de mantener una atmósfera respirable y segura que permita desarrollar las actividades mineras en condiciones adecuadas. Los sistemas de ventilación empleados en el ámbito minero persiguen, entre otros objetivos, garantizar la cantidad de aire necesaria para conseguir una atmósfera respirable y, al mismo tiempo, para proporcionar un ambiente termo-ambiental cómodo.

2.2.2. Aire de mina.

Se llama aire de mina a la mezcla de gases, vapores y partículas en suspensión como el polvo ambiental que transita a través de los trabajos subterráneos. Este aire tiene su origen en la atmósfera exterior, pero a medida que ingresa a la mina, su composición va cambiando debido a las condiciones propias del subsuelo. Cuando esas variaciones son leves, se le conoce como aire fresco o aire de ingreso; sin embargo, cuando las alteraciones son más significativas, pasa a llamarse aire descompuesto o aire de regreso.

2.2.3. Reguladores de aire de mina.

En la minería subterránea, los reguladores de aire se utilizan para ajustar y equilibrar de forma automática el flujo de ventilación en los distintos niveles en operación. Generalmente se instalan en las chimeneas de entrada de aire fresco, en las de retorno, y en algunos casos en ambas. Estos dispositivos reemplazan a los reguladores manuales tipo tabla, que no pueden ser controlados desde superficie, y permiten a los operadores gestionar la ventilación de manera más eficiente, ya sea de forma manual o mediante sistemas automatizados como el software de Ventilation on Demand (VoD).

2.2.4. Ventiladores primarios.

Un ventilador primario es una máquina que convierte la energía mecánica en energía de presión, haciendo posible el desplazamiento del flujo de aire a lo largo de la mina. Por lo general se ubica en la superficie y opera como sistema de extracción de aire. Esta configuración, además, es de cumplimiento obligatorio en muchos países por razones de seguridad y para mantener un control efectivo del sistema de ventilación.

2.2.5. Ventiladores secundarios.

Un ventilador secundario cumple una función parecida a la del ventilador primario, aunque trabaja a menor capacidad. Su rol es complementar al ventilador principal, aportando la presión necesaria y asegurando la ventilación de zonas específicas de la mina, como secciones o distritos determinados (McPherson, 1993). Generalmente se instala en una pared ubicada dentro de una galería o rampa; esta pared, construida con bloques de concreto o planchas metálicas, permite dirigir el flujo de aire de manera más eficiente, incrementar su presión y evitar recirculaciones no deseadas.

Figura 1. Ventilador Primario Extractor de Aire



Fuente: (Brake & Nixon, 2006).

Figura 2. Dos Ventiladores Secundarios de Aire



Fuente: (Brake & Nixon, 2006).

2.2.6. Ventiladores auxiliares.

La construcción de una mina subterránea supone la excavación de pozos, chimeneas, galerías y rampas de variadas dimensiones. Dado que la mayoría de estas labores se realizan en frentes ciegos, contar con sistemas de ventilación auxiliar se vuelve indispensable. Dichos sistemas están integrados por uno o varios ventiladores, ductos y los accesorios necesarios para su funcionamiento. Dependiendo de la longitud de la excavación y de los contaminantes que se generen, la ventilación auxiliar puede aplicarse en tres modalidades: soplante, aspirante, o una combinación de ambas denominada soplante-aspirante solapado.

2.2.7. Ventiladores soplantes.

En un método de ventilación, el ventilador se coloca en el ingreso del pozo y se instala para crear una presión positiva interiormente del ducto. Este método se utiliza para eliminar contaminantes gaseosos y polvo, como los que se generan tras una voladura. También ayuda a manejar dificultades de calor. El aire fresco, que se toma de un corredor primordial, se dirige hacia el frente a través de ductos flexibles, mientras que el aire contaminado se extrae de la excavación.

2.2.8. Ventiladores aspirantes.

En un método aspirante, el ventilador se ubica en la salida de la excavación y opera generando una presión negativa dentro del ducto. De esta manera, permite extraer de forma eficiente los gases y el polvo producidos durante las labores, contribuyendo a mantener condiciones más seguras en el interior de la mina que generan los excavadores continuos, como los que se emplean en las minas de carbón. Su principal ventaja es que el aire dentro de la excavación se mantiene siempre fresco. Sin embargo, una desventaja es que el sistema necesita ductos rígidos.

2.2.9. Ventiladores soplantes-aspirantes.

El sistema soplante-aspirante solapado combina dos esquemas de ventilación auxiliar: uno que impulsa aire fresco y otro que extrae el aire contaminado. Este tipo de configuración se emplea principalmente en el desarrollo de rampas o túneles de gran longitud, donde se requiere un control más eficiente del flujo de aire para mantener condiciones adecuadas de trabajo.

2.2.10. Factores críticos de ventilación.

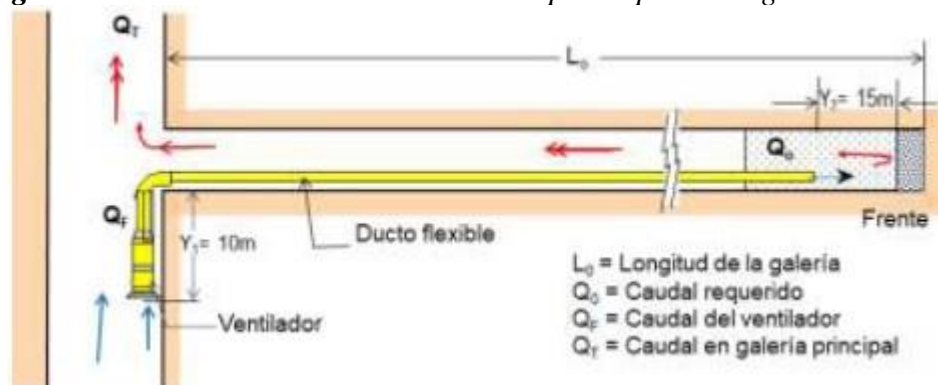
Es importante considerar las fugas de aire en los acoples, así como la posible recirculación de contaminantes dentro del sistema. Estas pérdidas pueden reducirse

mediante el uso de acoples prefabricados y un adecuado mantenimiento de los ductos, lo que contribuye a mejorar la eficiencia de la ventilación.

2.2.11. Recirculación del aire de ventilación.

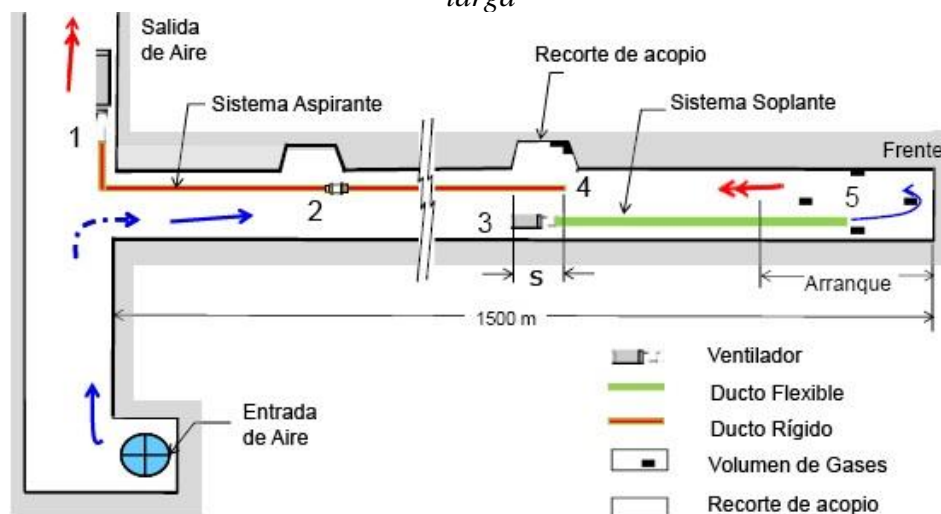
La recirculación de aire suele producirse cuando los ventiladores auxiliares no funcionan correctamente. Este problema se agrava en sistemas que dependen de varios equipos operando en conjunto. Para disminuir este riesgo, es fundamental que los circuitos eléctricos de los ventiladores estén correctamente interconectados, de manera que, si el ventilador principal se detiene por alguna razón, los ventiladores secundarios también se apaguen automáticamente.

Figura 3. Sistema de ventilación auxiliar soplante para una galería mediana



Fuente: (Howes 2005).

Figura 4. Sistema de ventilación auxiliar soplante-aspirante solapado de una galería larga



Fuente: (Howes 2005).

2.2.12. Paneles de monitoreo del aire de mina.

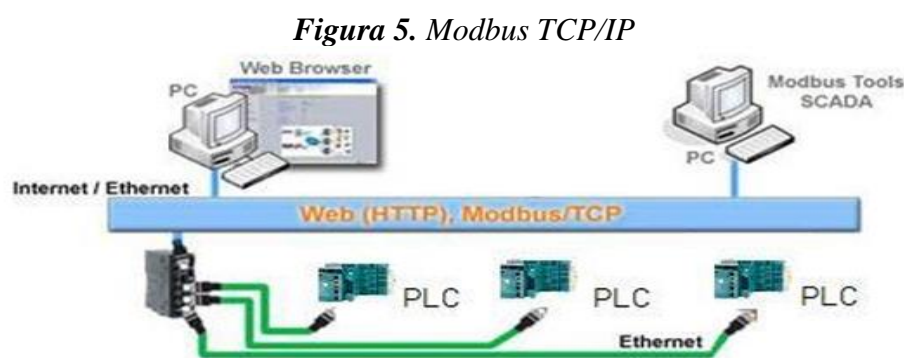
Los tableros electrónicos, también conocidos como vigilante AQS, son estaciones de monitoreo de la calidad del aire en minas subterráneas de tercera generación. Están diseñados con una plataforma de comunicación mejorada que permite una integración muy flexible con cualquier método SCADA, PLC, DCS, PLS o HMI, ya sea a través de Modbus TCP/IP.

2.2.13. Gaseado.

El concepto de "gaseado" describe el estado en que una persona ha estado en contacto con un gas tóxico en concentraciones por encima de los límites establecidos, lo que puede constituir un peligro concreto para su salud.

2.2.14. Modbus TCP/IP.

Modbus/TCP is a fieldbus that connects industrial devices like PLCs, frequency converters, and other equipment over an Ethernet network. It was introduced by Schneider Electric primarily to facilitate data sharing over the internet or intranet using a client/server model. In short, Modbus/TCP wraps a MODBUS frame within a TCP block.



Fuente: (Anybus, 2015)

2.2.15. Señales analógicas.

Las señales análogas resultan especialmente útiles porque varían de forma continua tanto en el tiempo como en su magnitud, lo que permite representar con mayor

precisión diferentes variables del proceso. En nuestro proyecto, las más relevantes son las señales estandarizadas de 4–20 mA, 0–20 mA, 0–5 V y 0–10 V, ya que son las que entregan los equipos de instrumentación, como los localizadores de gases, para indicar la agrupación presente en el ambiente. Para poder interpretar correctamente estas señales dentro del PLC y realizar su respectivo escalamiento, es indispensable conocer el rango de medición del sensor y la unidad en la que se expresa la variable. Hoy, el mercado ofrece una amplia pluralidad de instrumentos con escape analógica de 4–20 mA, entre los que sobresalen los transmisores de:

- Gases
- Velocidad.
- Presión.
- Flujo.
- Temperatura.

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Vigilantes del aire de ventilación

Se trata de equipos tecnológicos diseñados para mejorar las condiciones de trabajo en la minería subterránea, especialmente en lo que concierne a la calidad y cantidad del aire. Estos dispositivos cuentan con características técnicas específicas, como sistemas de comunicación y una fuente de alimentación. Además, incluyen parámetros físicos como sensores de aire y de gas, así como módulos I/O que permiten la conexión analógica y digital de forma remota. Son herramientas confiables para monitorear la calidad del aire en las rutinas mineras, asegurando así un ambiente laboral seguro tanto para el personal como para los equipos en la unidad minera.

A. El Caudal de Aire.

$$Qg = (V / Td) * \text{Log} (K_i / K_f) \quad (1)$$

Donde:

K_i = concentración inicial de gases.

K_f = concentración final de gases (límite permisible).

Vol = volumen de material arrancado.

Td= tiempo de dilución.

B. La Resistencia Regulada.

$$R = 15.6 * (\text{rugosi} * P * L) / (S ^ 3) \quad (2)$$

Donde:

Rugosi: rugosidad.

P: perímetro de la sección de la galería.

L: longitud de la galería.

S: Área la de la sección de la galería.

C. Perdida de Presión.

Otro aspecto que debemos tener en cuenta es la curva característica de la mina, la cual se obtiene al multiplicar la pérdida de presión por el cuadrado del caudal total. La pérdida de presión ocurre debido a la pérdida de energía cinética y se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$DH = (R) * (Qt ^ 2)$$

Donde:

R: resistencia total de la mina.

Qt: caudal total.

La curva característica de la mina es un procedimiento esencial para entender cómo se comporta el ventilador al modificar unos de sus medidas, como el ángulo de las paletas y las velocidades del motor, entre otros (Molina & Córdoba, 2011).

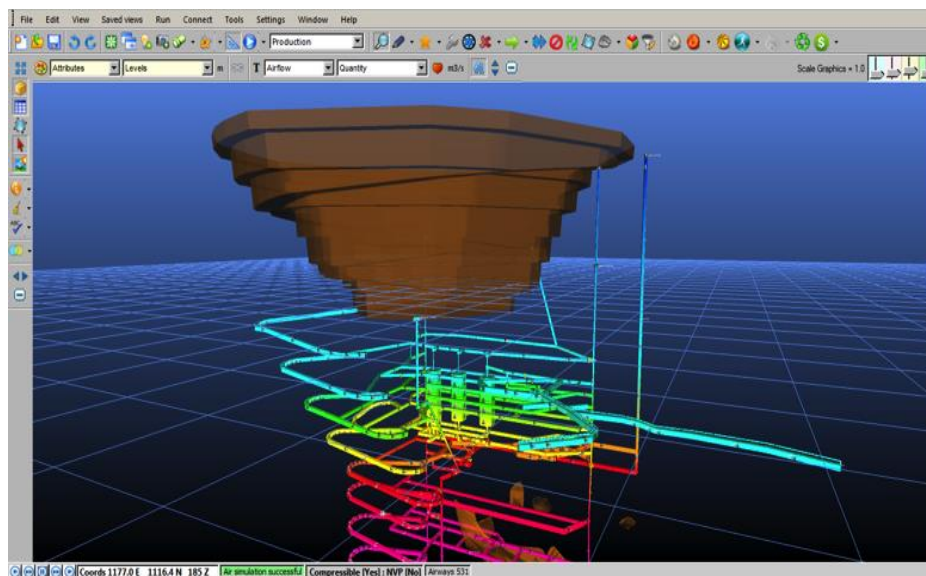
Para calcular la potencia del ventilador, utilizamos la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia} = (DH * Qt) / (101.9 * \text{rendimiento})$$

2.3.2. Ventsim Live View Basic.

Ventsim tiene más de 1200 instalaciones a nivel internacional y es conocido como uno de los softwares líderes en ventilación subterránea, principalmente por su habilidad de uso y la extensa gama de funcionalidades que ofrece. Uno de sus complementos más destacados es el módulo LiveVIEW, que incorpora herramientas adicionales para conectarse con dispositivos externos, como el sistema Maestro, permitiendo visualizar directamente los datos de ventilación dentro del programa. Gracias a esta integración, es posible monitorear en tiempo real variables clave como la temperatura, el flujo de aire, la junta de gases y la presión barométrica, todo desde una sola plataforma, lo que facilita la toma de medidas y el control operativo.

Figura 6. Plataforma Ventsim Live Basi en tiempo real



Fuente: Propia

2.3.3. Diseño Modular.

El Vigilante AQS fue concebido con un enfoque flexible y adaptable. Cuenta con puertos para la conexión directa de sensores digitales de flujo de aire, gas, presión y humedad, y además es compatible con módulos de entrada/salida remotos.

- Incorporar nuevos sensores al sistema es sorprendentemente simple: basta con unos pocos clics desde su página web integrada.

- Si se necesita inspección reiterado de reguladores, compuertas y ventiladores, añadir un módulo antiguo de E/S AD4.
- Es todo lo que se requiere. Y para quienes necesiten monitorear la temperatura del estator y los rodamientos del ventilador, un módulo RTD hace exactamente eso.

Lo mejor de todo es que estas expansiones pueden incorporarse de forma gradual, a medida que la mina crece, o utilizarse para transformar un sistema de monitoreo ambiental básico en una solución de control VOD completa.

Figura 7. Resultados de la medición de aire con el Ventsim

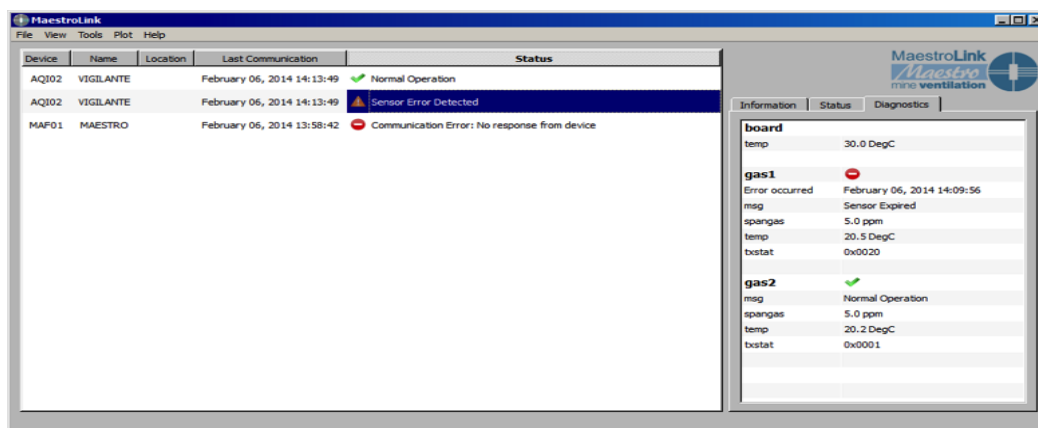


Fuente: Propia

2.3.4. Capital Operativo.

Saber exactamente qué está pasando y dónde es clave para un mantenimiento eficiente. El Vigilante de Aire Comprimido te da esa visibilidad: desde tu computadora, puedes acceder a un diagnóstico completo de cada estación de calidad de aire, con monitoreo en tiempo real que llega hasta el nivel del cable y del sensor. Esto significa que, cuando algo requiere atención, tu equipo de mantenimiento no pierde tiempo buscando el problema. Van directo al lugar correcto, con las herramientas y los repuestos que realmente necesitan.

Figura 8. Resultados de calidad de aire con el MAESTRO LINK™



Fuente: Propia

2.4. Formulación de Hipótesis.

En base a la enunciación del problema se esboza la sucesiva hipótesis.

2.4.1. Hipótesis General.

La implementación de paneles de monitoreo del aire en la mina Atacocha-Nexa Resource S.A. optimizará el sistema de ventilación, mejorando la calidad del aire y la seguridad y salud ocupacional de los empleados.

2.4.2. Hipótesis Específicas.

a) Hipótesis Específica N° 1:

Implementando el control del aire de ventilación se cumplirá con las normas establecidas legalmente por Ley vigente., en la UM. Atacocha-Nexa Resource S.A

b) Hipótesis Específica N° 2:

Con la implementación de los controles del aire de ventilación se cumplirá con preservar la SSO, en la UM. Atacocha-Nexa Resource S.A.

2.5. Identificación de Variables.

2.5.1. Variables para la Hipótesis General.

a) Variable Dependiente:

Optimización del aire de ventilación.

b) Variable Independiente:

Paneles de Monitoreo del sistema de aire de ventilación.

2.5.2. Variables para las Hipótesis Específicas.

a) Variables para la Hipótesis Específica N° 1:

- **Variable Dependiente:**

Control de Estándares de Ventilación.

- **Variable Independiente:**

Aplicación de las Normas de SSO.

b) Variables para la Hipótesis Específica N° 2:

- **Variable Dependiente:**

DS-023-2017 MEM, Normativa vigente del aire de ventilación.

- **Variable Independiente:**

Monitoreo calidad y cantidad del aire de ventilación con los paneles de control del aire.

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.

Tabla 1. Operacionalización de variables e indicadores

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES				
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES
<p>Identificación de Variables *Variables para la hipótesis general - Variable Dependiente Optimización del aire de ventilación - Variable Independiente independiente: Paneles de Monitoreo del sistema de aire de ventilación *Variables para la hipótesis específicas V.H.E. 1 - Variable Dependiente: Control de Estándares de Ventilación - Variable independiente. Aplicación de las Normas de SSO. V.H.E. - Variable Dependiente: DS-023-2017 MEM, Normativa vigente del aire de ventilación - Variable independiente Monitoreo calidad y cantidad del aire de ventilación con los paneles de control del aire.</p>	<p>Vigilantes del aire de ventilación/Paneles de control del aire de ventilación Son equipos tecnológicos que ayudan al trabajo minero en cuanto se refiere a la calidad y cantidad de aire en minería subterránea, estos equipos están provistos de características técnicas físicas, como son comunicación, alimentadas de una fuente de poder, Parámetros físicos como; sensores de aire, sensores de gas, Provistas de módulos I/O, análogo-digital remoto. Son confiables para monitorear calidad del aire en minería los que garantizaran el medio ambiente laboral del personal y equipos den la Unidad minera.</p>	<p>El Vigilante de aire comprimido ofrece información de diagnóstico detallada en cada estación de calidad de aire, enviando los datos directamente a su computadora a través del sistema de monitoreo en tiempo real, con seguimiento hasta el nivel del cable y el sensor. Esto permite orientar al personal de mantenimiento de manera precisa hacia la zona que lo requiera y con los repuestos adecuados.</p>	<p>Calidad de aire de ventilación Velocidad del aire de ventilación Caudal del aire de ventilación Cantidad de personal de trabajo Cantidad de equipos de trabajo Sección de la labor Grado de polución de elementos nocivo. Costo de Inversión Costo Unitario Total</p>	<p>Respirable ambiental m/sg. CFM Unidad Unidad M2 Ppm \$ (USA) \$USA/TMS</p>

Fuente: Propia

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación.

El presente proyecto es de tipo aplicada. Se clasifica de esta manera debido a que utiliza conocimientos tecnológicos y herramientas de ingeniería ya consolidados con el objetivo práctico de proponer mejoras directas en el sistema de inspección de la cantidad y calidad del aire de ventilación en la Unidad Minera Atacocha - Nexa Resources S.A.

3.2. Nivel de investigación.

El estudio se sitúa en un nivel descriptivo-analítico. Es de carácter descriptivo porque detalla de manera rigurosa las condiciones físicas e instrumentales de control actuales en interior mina; y es analítico puesto que descompone y evalúa críticamente dichas variables para sustentar la viabilidad de la propuesta tecnológica.

3.3. Métodos de investigación.

El procedimiento de indagación siguiendo la línea de la aplicación es causal y comparativo, descriptivo, analítico por el manejo de los datos.

3.4. Diseño de Investigación.

Para el bosquejo se ha seguido una línea cronológica secuencial y lógica de estudio para poder establecer y definir los parámetros requeridos de la calidad y cantidad del aire de ventilación para cumplir con los objetivos de nuestro proyecto.

3.5. Población y muestra.

3.5.1. Población.

Se ha tomado, las labores principales de producción, desarrollos y preparaciones de la Unidad minera en toda la infraestructura, tomando atención en los lugares críticos de requerimiento de mejoras del aire de ventilación.

3.5.2. Muestra.

Se han trabajado especialmente en las siguientes labores de la unidad Minera Atacocha:

Tabla 2. Labores de la Unidad Minera Atacocha

Ubicación			Estado	Tipo
Nivel	Labor	Labores que ventila		
Nv. 3600	Cro 118 S	Circuito principal RB 2	Operativo	Principal
Nv. 3600	Cro 118 S	Circuito principal RB 2	Operativo	Principal
Nv. 3420	Cro 7854	Circuito Principal Nv. 3300	Operativo	Principal
Nv. 3660	Cro 990	Circuito Principal Nv. 3300	Operativo	Principal
Nv. 3420	Cro 7861	Extractor Profundización	Operativo	Secundario

Fuente: Nexa Resource S.A.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Para detectar gases tóxicos como el monóxido de carbono y la insuficiencia de oxígeno (O₂), hemos revisado la literatura de varios ejecutores. Después de analizar parámetros como el tiempo de vida, la precisión, la temperatura de operación en relación con la altitud y la ubicación de la Unidad Minera Nexa, que se halla a más de 3000 msnm, así como el tiempo de respuesta y la fiabilidad de las mediciones, hemos recopilado casos de éxito en trabajos realizados a más de 3000 m.s.n.m.

3.6.1. Técnicas.

Se han empleado técnicas de los catálogos de servicios para implementar cabinas de ventilación en minas, con el apoyo de consultores contratados por la empresa. Esto se ha realizado utilizando instrumentación de análisis a través de detectores de gases en todos los tramos de la muestra seleccionada para el proyecto.

3.6.2. Instrumentos.

- Sensores de oxígeno (O₂)
- Sensores (CO₂)
- Registro del software (Ventsim)
- Flujómetros
- Bombas de Vacío

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Las técnicas, para el proceso de los datos de campo son reporte, hojas de cálculo, computadores portátiles, planos topográficos actualizados.

3.8. Tratamiento Estadístico.

Para el uso de las muestras se han tabulados datos de campo al detalle, de manera que con el software y registro de la estadística aplicada se han procesado los datos.

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica.

El proyecto de investigación posee como meta optimizar la salud de los colaboradores de la Unidad, cuidar las condiciones ambientales del trabajo subterráneo y mantener la eficiencia de los equipos. Para lograr esto, se ha trabajado con datos verídicos, siempre respetando la confiabilidad y la honestidad profesional.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Ubicación y acceso a la mina

Enclavada en plena sierra central del Perú, la Unidad Minera Atacocha opera en uno de los entornos más imponentes del país. Se encuentra ubicada en el distrito de San Francisco de Asís de Yarusyacán, en la provincia y departamento de Pasco, a una altitud promedio de 4,200 m.s.n.m. Desde este punto, junto a la Cordillera de los Andes desplegándose en su ladera oriental, el paisaje es tan desafiante como el trabajo que se realiza cada día.

Pertenece a Nexa Resources S.A., una de las principales productoras de zinc en el país. La operación de Atacocha incluye tanto labores subterráneas como plantas de procesamiento de minerales, enfocándose principalmente en la elaboración de concentrados de zinc, plomo y cobre.

A. *Coordenadas geográficas:*

- **Latitud:** 10°36' S
- **Longitud:** 76°15' O

B. Vías de acceso:

La entrada a la Unidad Minera Atacocha puede realizarse por vía terrestre desde la ciudad de Lima, persiguiendo la siguiente ruta:

a) Lima – La Oroya – Cerro de Pasco – Atacocha

- ✓ Distancia aproximada: 310 km
- ✓ Tiempo de viaje: 8 a 9 horas, dependiendo de las situaciones atmosféricas y del tráfico.
- ✓ Vía asfaltada en casi la totalidad del trayecto, a excepción de algunos tramos afirmados cercanos a la mina.

b) Ruta detallada:

- ✓ Lima (inicio)
- ✓ Carretera Central (PE-22)
- ✓ La Oroya
- ✓ Empalme hacia Cerro de Pasco (Ruta PE-3N)
- ✓ Desvío hacia Atacocha por vía afirmada en Yarusyacán

c) Transporte interno:

- ✓ Dentro de la unidad, el transporte se lleva a cabo utilizando vehículos 4x4 y autobuses internos de la empresa.
- ✓ Para llegar a las galerías subterráneas, se emplea un transporte especializado destinado al personal operativo y técnico.

C. Condiciones geográficas y climáticas

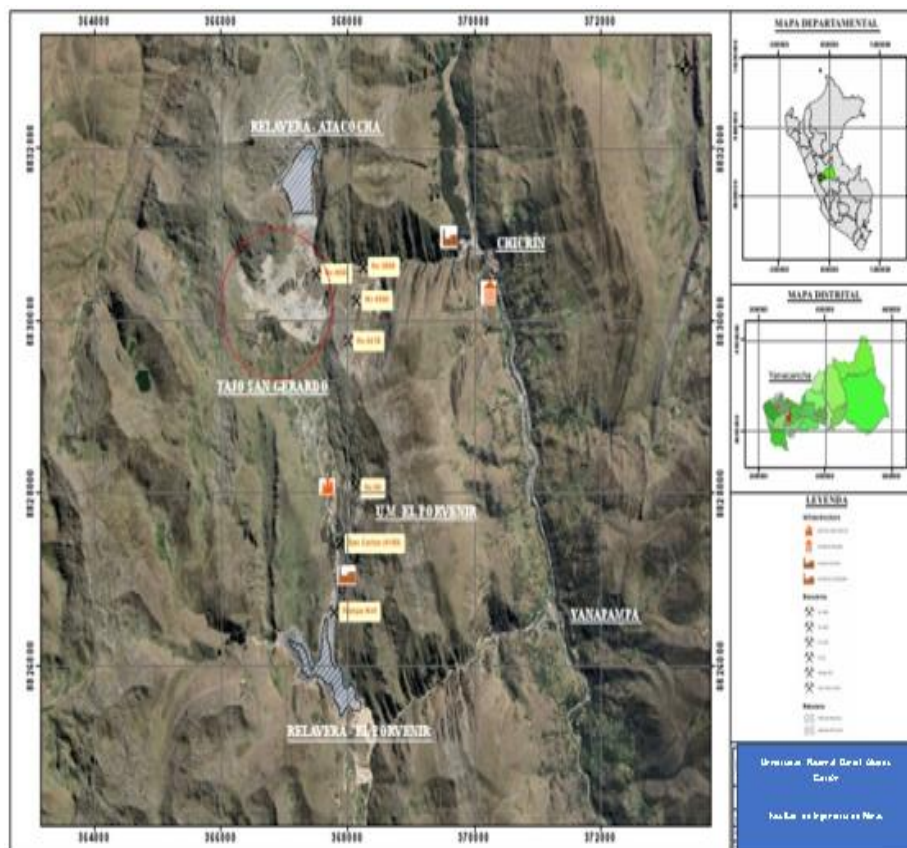
- **Topografía:** Accidente montañoso, con quebradas, relieves escarpados y zonas de difícil acceso.
- **Clima:** Frío de altura, con temperaturas que oscilan entre -2 °C y 10 °C, y frecuentes precipitaciones durante la temporada de lluvias (noviembre a abril).

- **Riesgos asociados:** Neblina, granizo, heladas, lo cual requiere estrictas medidas de seguridad en el tránsito y acceso.

D. Consideraciones logísticas y de seguridad

- Todo ingreso a la unidad requiere autorización previa, inducción en seguridad, y uso necesario de equipo de protección particular (EPP).
- El transporte del personal y equipos para la instalación de los paneles de monitoreo debe planificarse con antelación, en coordinación con el área de logística de Nexa Resources S.A.
- El ingreso a zonas subterráneas está regulado por protocolos de seguridad minera, control de gases, y supervisión técnica constante.

Figura 9: Enfoque de Ubicación General



Fuente: Nexa Resource S.A.

4.1.2. Información Geológica de la Unidad Minera Atacocha

La Unidad Minera Atacocha se halla en la Faja Polimetálica del Centro del Perú, que es una de las regiones metalogénicas más significativas del país. Esta área es famosa por su riqueza en yacimientos de plomo, zinc, cobre y plata. La faja se extiende a lo largo de los Andes centrales y está relacionada con la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana.

4.1.3. Geología Regional

La geología regional de la zona de Atacocha está dominada por:

- Secuencias sedimentarias mesozoicas (Triásico – Cretácico), principalmente calizas, lutitas y areniscas.
- Intrusivos del Batolito de la Cordillera Oriental, de edad Neógeno (Mioceno), que han generado actividad hidrotermal responsable de la mineralización.
- Estructuras tectónicas asociadas a fallas inversas y sistemas de fracturas, que sirvieron como conductos para la circulación de fluidos mineralizantes.

4.1.4. Geología Local

En el entorno inmediato de la Unidad Minera Atacocha, se identifican las siguientes unidades litológicas principales:

A. Formación Jumasha (Cretácico Superior):

- ✓ Calizas masivas, de color gris claro a oscuro.
- ✓ Principal roca encajonante de los cuerpos mineralizados.
- ✓ Buena respuesta a la sustitución hidrotermal.

B. Formación Chulec (Cretácico Medio):

- ✓ Intercalaciones de calizas con lutitas y margas.
- ✓ Menor importancia como hospedante de mineralización, pero presente en secuencia.

C. Formación Inca (Cretácico Inferior):

- ✓ Calizas dolomíticas y areniscas.
- ✓ Potencial menor para mineralización, aunque actúa como base estructural.

D. Intrusivos:

- ✓ Diques y stocks de composición tonalítica a granodiorítica.
- ✓ Asociados al emplazamiento de los fluidos mineralizantes.

4.1.5. Estructura Geológica

- a) La geología estructural de la mina está controlada por un sistema de fallas regionales y locales, con predominio de fallas inversas y transcurrentes, que han generado zonas de debilidad estructural.
- b) Estas estructuras controlan la geometría de los cuerpos mineralizados, que se presentan como vetas, mantos y cuerpos irregulares ("chimeneas").

4.1.6. Tipología de Yacimiento

- a) El depósito de Atacocha es clasificado como un yacimiento hidrotermal de tipo reemplazo en calizas (skarn y mantos estratoligados), asociado a la intrusión de cuerpos ígneos.
- b) La mineralización es de tipo polimetálico, con leyes económicamente explotables de:
 - ✓ **Zinc (Zn):** Principal metal explotado.
 - ✓ **Plomo (Pb)**
 - ✓ **Cobre (Cu):** En menor proporción.
 - ✓ **Plata (Ag):** Como subproducto valioso.

4.1.7. Minerales y paragénesis

A. Minerales metálicos:

- ✓ **Galena (PbS)** – principal mena de plomo.

- ✓ **Calcopirita (CuFeS₂)** – cobre.
- ✓ **Pirita (FeS₂)** – abundante, como mineral de ganga y alteración.

B. *Minerales de ganga:*

- ✓ Calcita, cuarzo, dolomita y baritina.

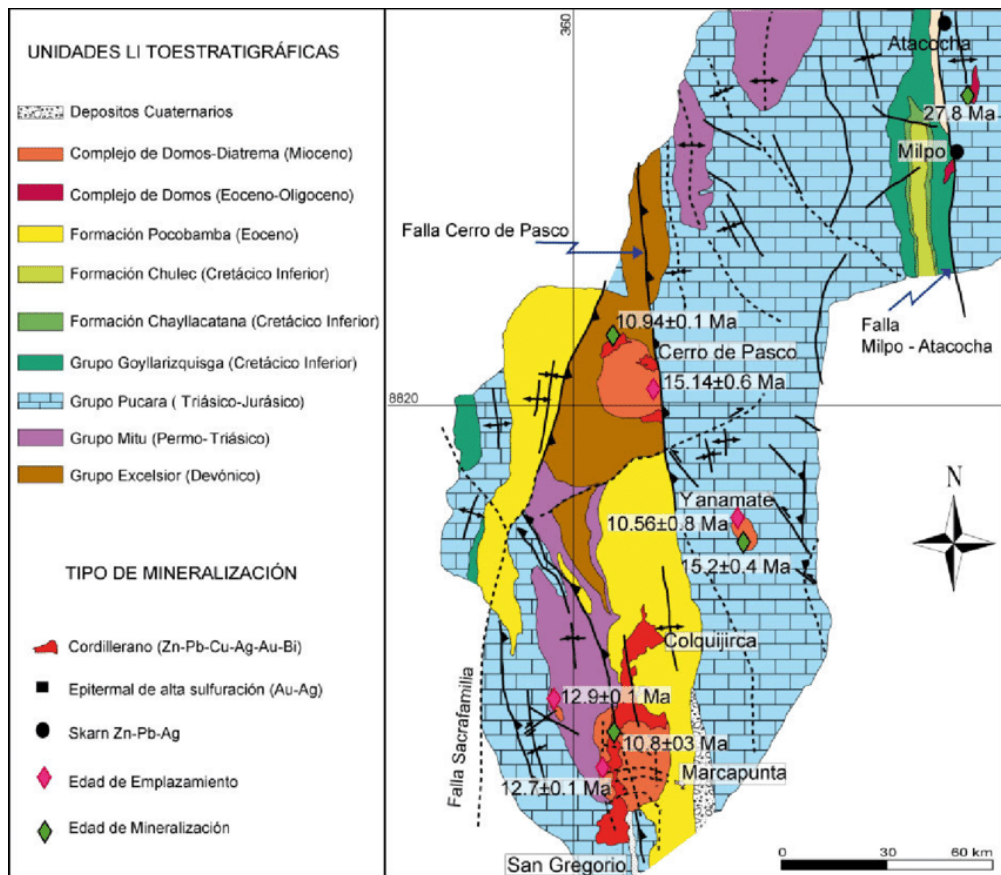
C. *Paragénesis:*

- ✓ La secuencia de mineralización indica una **etapa sulfídica** principal, con deposición de esfalerita, galena y calcopirita, seguida de una etapa tardía de alteración con carbonatos.

4.1.8. Alteración Hidrotermal

- a) Los tipos de alteración predominantes identificados en la zona mineralizada son:
- Silicificación
 - Dolomitización
 - Cloritización
 - Sericitización
- b) Estas alteraciones son evidencias claras de actividad hidrotermal intensa, asociada a la intrusión ígnea cercana.

Figura 10: Plano Geológico de la Unidad Minera Atacocha



Fuente: NEXA

4.1.9. Monitoreo de Equipos Unidad Minera Atacocha

Frente a los problemas de calidad del aire que hemos observado en las labores dentro de la mina, especialmente por las agrupaciones de monóxido de carbono que se generan durante las operaciones mineras debido al uso de equipos diésel, se ha decidido informar al área de seguridad de la mina. En coordinación con el departamento de ventilación, se llevará a cabo un monitoreo de gases, actuando como agentes fiscalizadores para asegurar que los equipos diésel cumplan con las condiciones necesarias y así mantener un control adecuado de la calidad del aire en las diferentes caras de trabajo.

Es importante mencionar que el monitoreo de las emisiones de gases de los equipos diésel, realizado por el ente fiscalizador OSINERGMIN, se considerará un

hecho comprobado cuando se verifiquen equipos con LMP que superen el valor establecido, lo que podría resultar en sanciones económicas para el Titular Minero.

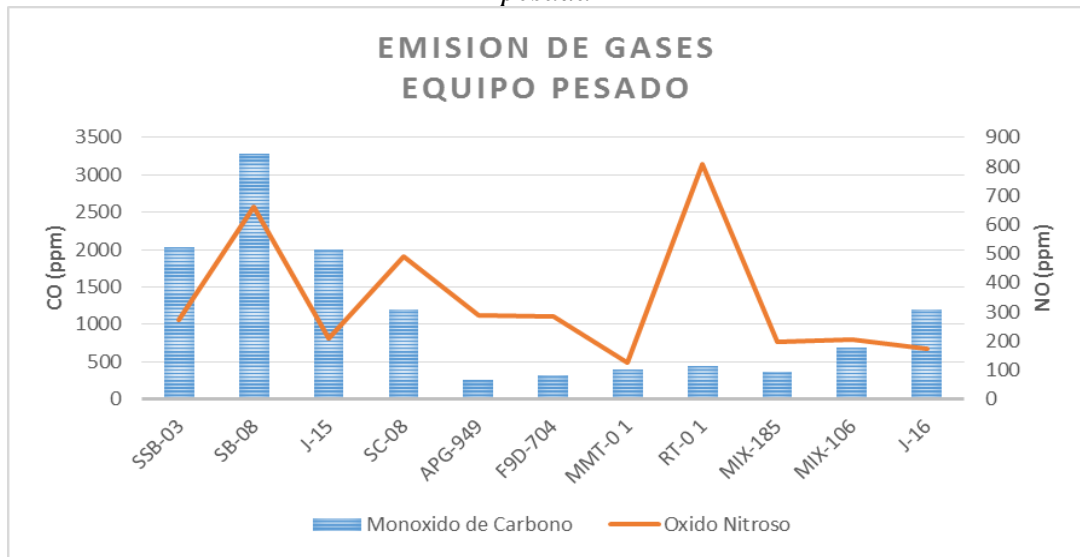
A continuación, se detalla el monitoreo de los equipos:

Tabla 3: Enfoque de Control Ambiental y Monitoreo

E.E	UNIDAD	EQUIPO	CODIGO INTERNO	PLACA	Area	EMISION DE GASES				EVIDENCIA
						CO (ppm)	NO (ppm)	NOX (ppm)	NO2 (ppm)	
Sermitran	Camion	Liviano	-	W5S-748	Ventilacion	2038	168	168	0	Presenta
-	Camioneta	Liviano	-	AKC-779	Topografia	923	118	118	0	Presenta
Mcclean	Bolter	Pesado	SSB-03	SSB-03	Operaciones	2026	271	271	0	Presenta
EPCM	Camioneta	Liviano	-	W6G-702	Mtto Electrico	502	145	145	0	Presenta
Mcclean	Bolter	Pesado	SB-08	SB-08	Operaciones	3279	837	839	2	Presenta
Sermitran	Camion	Liviano	-	W5L-918	Operaciones	2356	216	216	0	Presenta
Sermitran	Cisterna	Liviano	-	W5Y-859	Logistica	2334	96	96	0	Presenta
Mcclean	Camioneta	Liviano	-	AWL-853	Operaciones	945	199	199	0	Presenta
Compañía	Jumbo	Pesado	J-15	J-15	Operaciones	2000	209	209	0	Presenta
Compañía	Scaler	Pesado	SC-08	SC-08	Operaciones	1195	491	493	2	Presenta
Martinez	Volquete	Pesado	VQ-10	APG-949	Operaciones	250	289	289	0	Presenta
Martinez	Volquete	Pesado	VQ-32	F9D-704	Operaciones	315	283	283	0	Presenta
Martinez	Manitou	Pesado	01	MMT-01	Operaciones	391	124	124	0	Presenta
Martinez	Retroescavadora	Pesado	01	RT-01	Operaciones	446	807	821	14	Presenta
Sandvik	Camioneta	Liviano	-	ASY-758	Operaciones	749	136	136	0	Presenta
Unicon	Mixcret	Pesado	185	MIX-185	Operaciones	372	196	196	0	Presenta
Unicon	Mixcret	Pesado	106	MIX-106	Operaciones	693	206	206	0	Presenta
Compañía	Jumbo	Pesado	J-16	J-16	Operaciones	1206	172	172	0	Presenta
Unicon	Camioneta	Liviano	-	AVO-858	Operaciones	380	169	169	0	Presenta
Incimet	Camion	Liviano	-	AXE-902	Operaciones	762	54	54	0	Presenta

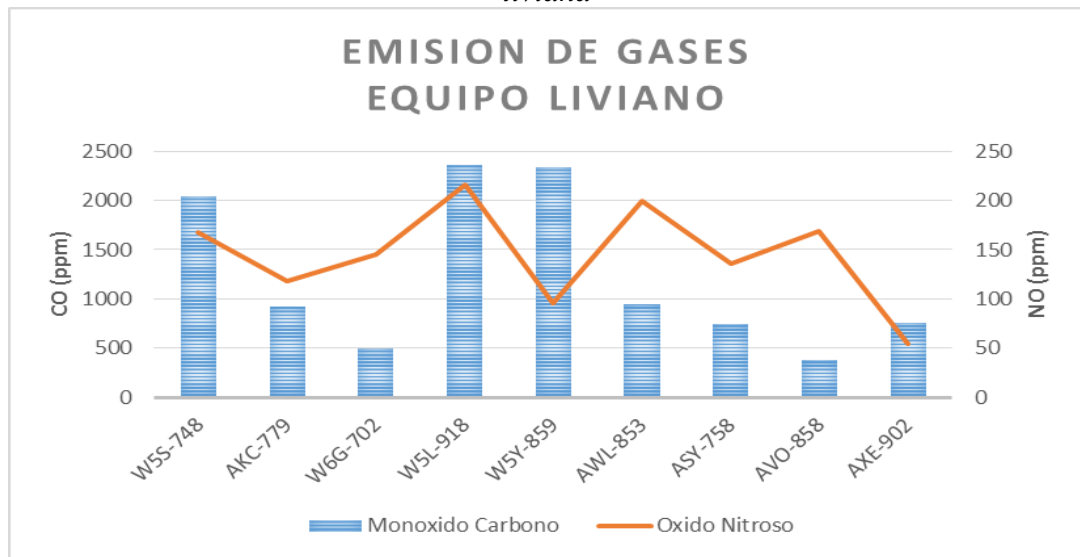
Fuente: Propia

Figura 11: Análisis comparativo de emisiones de CO y NO en equipos de línea pesada



Fuente: Propia

Figura 12: Análisis comparativo de emisiones de CO y NO en equipos de línea liviana



Fuente: Propia

Figura 13: Distribución porcentual del total de equipos evaluados según el límite crítico de emisión de CO (500 ppm)



Fuente: Propia

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

4.2.1. Rehabilitación Acceso Ventiladores Principales

En relación a la última fiscalización realizada por OSINERGMIN sobre los sistemas de ventilación, se observó que no era posible acceder a los ventiladores principales debido a la presencia de bancos colgados, un soporte inadecuado y la acumulación de carga en la entrada. Esto se identificó como la causa principal de un problema detectado y representa una condición crítica en caso de que los ventiladores se detengan, lo que podría afectar las operaciones mineras.

Se lleva a cabo una inspección de cada uno de los ventiladores principales para evaluar la estabilidad del macizo rocoso que los rodea, con el objetivo de asegurar la durabilidad y estabilidad de los conductos de ventilación según sea necesario, tal como se detalla a continuación:

A. Ventilador Principal 120 kcfm

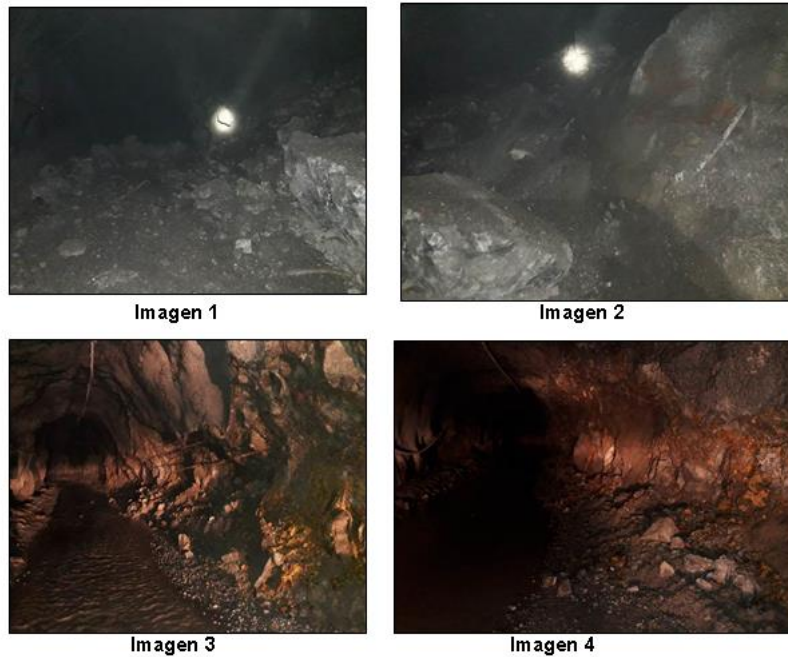
Nv-3420 / Cx-7854

Código interno AT-VE-90

- **Inspección:**

En el Cx-7854, acceso hacia el ventilador principal se observa acumulación de carga por un tramo de 5 mts, así como presencia de bancos sueltos, craquelamiento del shocreate y presencia de relleno detrítico proveniente de algún tajo antiguo en comunicación con la labor.

Figura 14: Evidencia fotográfica de las condiciones ambientales y estructurales en las labores del Cx-7854

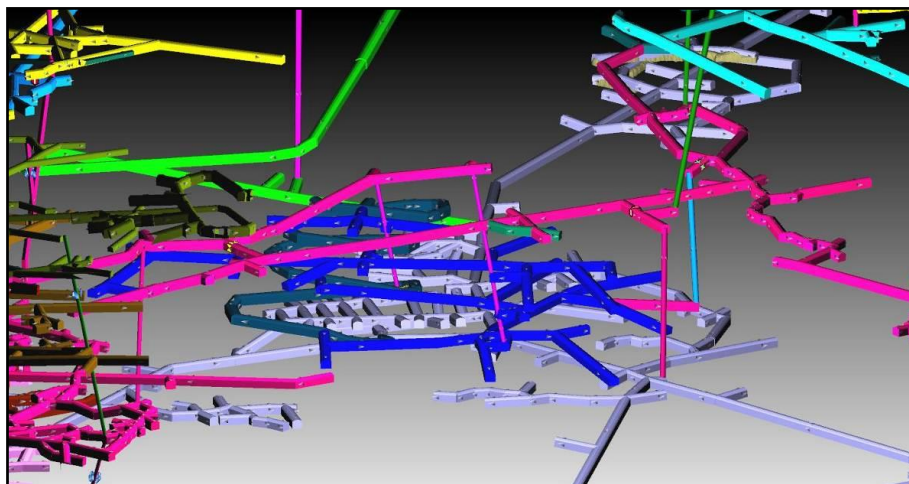


Fuente: Propia

- **Observación:**

Ante un eventual Mtto programado o parada del equipo, generaría la paralización de las operaciones por un tiempo mayor al estimado, ello considerando el tiempo demandado en la rehabilitación de la labor y el posterior reemplazo del equipo por otro.

Figura 15: Modelamiento tridimensional del circuito y las redes de ventilación subterránea en el software Ventsim



Fuente: Propia

Ante una eventual fiscalización por OSINERGMIN, sería un hecho constatado, sujeto a una sanción económica, por no darse las condiciones de acceder al ventilador.

- **Plan de acción:**

Operaciones Mina programar actividades de rehabilitación de labor en mención, así como las recomendaciones de geomecánica por considerarse labor permanente.

B. Ventiladores Principales 120 kcfm

Nv-3420/Cx-7861

Código interno AT-VE-52

- **Inspección:**

En el Cx-7861, se ha notado que el acceso al ventilador principal está obstruido por una acumulación de material fino y lodo a lo largo de un tramo de 30 metros, lo que reduce considerablemente el espacio de trabajo (con una luz de 1.8 metros). También se han encontrado montículos de tierra y agua estancada, además de malla electro soldada oxidada y pernos de anclaje que

están sueltos. En el conducto de evacuación, se observó inestabilidad en el macizo, así como el colapso de un tramo de 20 metros que conecta con la cámara de extracción, donde se ha acumulado carga en esa intersección.

Figura 16: Evidencia fotográfica de las condiciones ambientales y estructurales en las labores del Cx-7861



Imagen 1



Imagen 2



Imagen 3



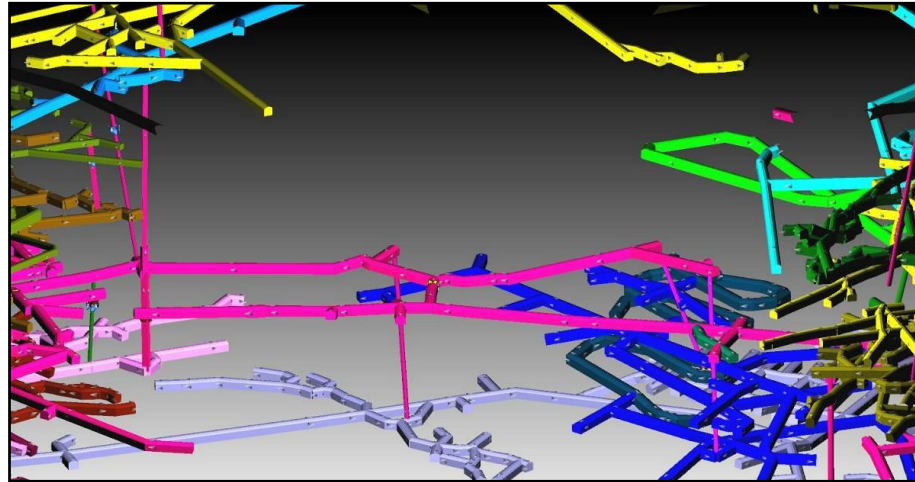
Imagen 4

Fuente: Propia

- **Observación:**

La constante sedimentación de material fino genera el cierre progresivo del acceso hacia el ventilador, siendo condición crítica ante una eventual parada del equipo por fallas mecánicas.

Figura 17: Modelamiento tridimensional del circuito y las redes de ventilación subterránea en el software Ventsim



Fuente: Propia

Ante una eventual fiscalización por OSINERGMIN, sería un hecho constatado, sujeto a una sanción económica, por no contar con un acceso hacia el ventilador.

- **Plan de acción:**

- ✓ Operaciones Mina, programar actividades de limpieza de material fino y lodo.
- ✓ Programar rehabilitación de labor.
- ✓ Evaluación geomecánica para el refuerzo en el sostenimiento.
- ✓ En tramos del crucero en mención se observa debilitamiento de los hastiales en contacto con el piso de labor, así como el craquelamiento del shocreate.

4.3. Prueba de Hipótesis

4.3.1. Formulación de la hipótesis estadística

a) Hipótesis nula (H_0)

La implementación de paneles de monitoreo del aire no mejora significativamente el sistema de ventilación ni la calidad del aire ni la seguridad ocupacional.

b) Hipótesis alternativa (H_1):

La implementación de paneles de monitoreo del aire mejora significativamente el método de ventilación, la calidad del aire y la seguridad ocupacional.

4.3.2. Variables a considerar

a) Variable independiente:

Implementación de paneles de monitoreo del aire.

b) Variables dependientes:

- ✓ Calidad del aire (CO, NO₂, temperatura, rocío, prontitud del aire)
- ✓ Eficiencia del sistema de ventilación (flujo, cobertura, consumo energético)
- ✓ Indicadores de seguridad y salud (número de incidentes por gases, exposición a contaminantes)

4.3.3. Metodología para la prueba

Podrías aplicar un análisis comparativo pre y post implementación, donde compares los datos antes y después de instalar los paneles:

Tabla 4. Resumen de resultados (formato base en Excel)

Parámetro	Antes de la implementación	Después de la implementación	% Mejora / Reducción
CO (ppm)	35	15	57% ↓
NO₂ (ppm)	10	4	60% ↓
Velocidad del aire (m/s)	0.8	1.2	50% ↑
Temperatura (°C)	29	26	10% ↓
Consumo energético (kWh)	12,000	9,000	25% ↓
Incidentes por gases	5	1	80% ↓

Fuente: Propia

A. Recolección de datos

- Datos históricos y actuales de la calidad del aire (antes y después).
- Indicadores de eficiencia energética del método de ventilación.
- Reportes de incidentes o niveles de exposición laboral a contaminantes.

B. Aplicación de prueba estadística (si se usa estadística inferencial)

- Prueba t de Student para modelos afines, si comparas datos antes y después en los mismos puntos de medición.
- Análisis de varianza (ANOVA) si analizas múltiples variables o condiciones.
- Prueba de chi-cuadrado, si trabajas con datos categóricos (ej. presencia o no de incidentes).

4.3.4. Criterio de decisión

- Si el valor $p < 0.05$, se rechaza H_0 y se acepta H_1 : es decir, hay certeza estadística de que los paneles mejoraron la ventilación, la calidad del aire y la salud ocupacional.
- Si $p \geq 0.05$, no se rechaza H_0 : no hay evidencia significativa de mejora tras la implementación.

- Tras aplicar la prueba t para comparar los niveles de CO, NO₂ y velocidad del aire antes y después de la implementación, se obtuvo un valor p de 0.021. Esto muestra que consta una mejora estadísticamente significativa en la calidad del aire.
- Asimismo, los reportes de incidentes relacionados con exposición a contaminantes se redujeron en un 40% y el consumo energético del sistema de ventilación disminuyó en un 22%.
- En tanto, se rechaza la hipótesis nula (H₀) y se concluye que la implementación de paneles de monitoreo optimiza el sistema de ventilación y mejora los contextos de seguridad y salud ocupacional

4.4. Discusión de resultados

Por medio del presente expongo el sustento, para cambiar el proyecto a ejecutar por ecosem cajamarquilla con nro. de o/c 4511627481 y fecha de o/c 17.08.2018

Por lo que se expone a continuación:

En este momento, el área de ventilación está llevando a cabo estudios para mejorar el sistema de ventilación de Atacocha. Se planea realizar pruebas en el sistema de ventilación principal con el objetivo de aumentar la eficiencia del circuito primario de ventilación de la mina.

Tabla 5. El sistema de ventilación de Atacocha consta de 05 Ventiladores Principales

Código	Marca	POT (HP)	Q (CFM)	Ubicación
VE - 53	AIRTEC	250	120,000	NV 3600
VE - 70	AIRTEC	350	120,000	NV 3600
VE - 90	AIRTEC	350	120,000	NV 3420
VE - 52	AIRTEC	200	120,000	NV 3420
VE - 72	AIRTEC	350	120,000	BM 4020

Fuente: propia

Tres de estos equipos (marcados en amarillo) están siendo revisados porque su ubicación actual no es la más óptima. Se está analizando moverlos a zonas donde puedan tener mayor impacto dentro de las operaciones. Por eso, antes de arrancar con

las pruebas en el sistema de ventilación principal, hay ciertos trabajos preliminares que deben completarse primero.

Se presentaron inicialmente 03 proyectos:

- **Proyecto 01:** Preparación de instalación de 02 Portones Nv. 3540, para ensayos de apagado del Ventilador del Nv. 4020.
- **Proyecto 02:** Preparación de instalación de 02 Portones Nv. 3600 inmediaciones del Pique 447, para evacuar los Ventiladores gemelos en caso de reemplazo o reubicación, y evitar el ingreso de aire viciado a la zona de influencia del Pique 447.
- **Proyecto 03:** Preparación de 01 Portón en Nv. 3600 ingreso a Pique 447, para cortar ingreso de aire viciado a la zona de influencia del Pique 447, proyecto sujeto a ejecución y evaluación de resultados del proyecto 02.

Se definió el orden de prioridad de ejecución, siendo el Proyecto 01 el primero en realizarse. Las cotizaciones de cada proyecto fueron entregadas por ECOSEM CAJAMARQUILLA; sin embargo, al momento de dar conformidad para ejecutar el Proyecto 01, hubo una confusión con el nombre del Proyecto 03 debido a la similitud en el costo. La orden de compra se solicitó correctamente orientada al Proyecto 01, dejando en claro que el área de ventilación supervisará los trabajos. Una vez concluidos, se entregará el acta de conformidad correspondiente para dar inicio a las pruebas de mejora del sistema de ventilación principal.

En relación con las acciones a llevar a cabo en el espacio de ventilación, se ha detectado la necesidad de instalar compuertas de ventilación al interno de la mina. Para ello, es fundamental contar con el respaldo técnico apropiado, de modo que se eviten intervenciones innecesarias y cada inversión responda a un objetivo concreto para la

empresa. Como punto de partida, se plantea la elaboración de 3 proyectos de portones en una primera etapa.

En lo que respecta al Proyecto 01, el costo operativo de un ventilador primordial de 120,000 CFM con una fuerza nominal de 350 HP como el que se encuentra instalado en el Nv. 4020 se estima de la siguiente manera en cuanto a energía consumida:

Tabla 6. Costo por mes relacionado al Ventilador Principal instalado en el Nv. 4020

Potencia nominal operativa total	350	HP
Potencia consumida estimada	340	HP
Costo de la Energía	0.04	\$/KW-Hr
Tiempo de operación mensual	720	Horas
Costo Total por Mes	6,832.00	\$/mensual

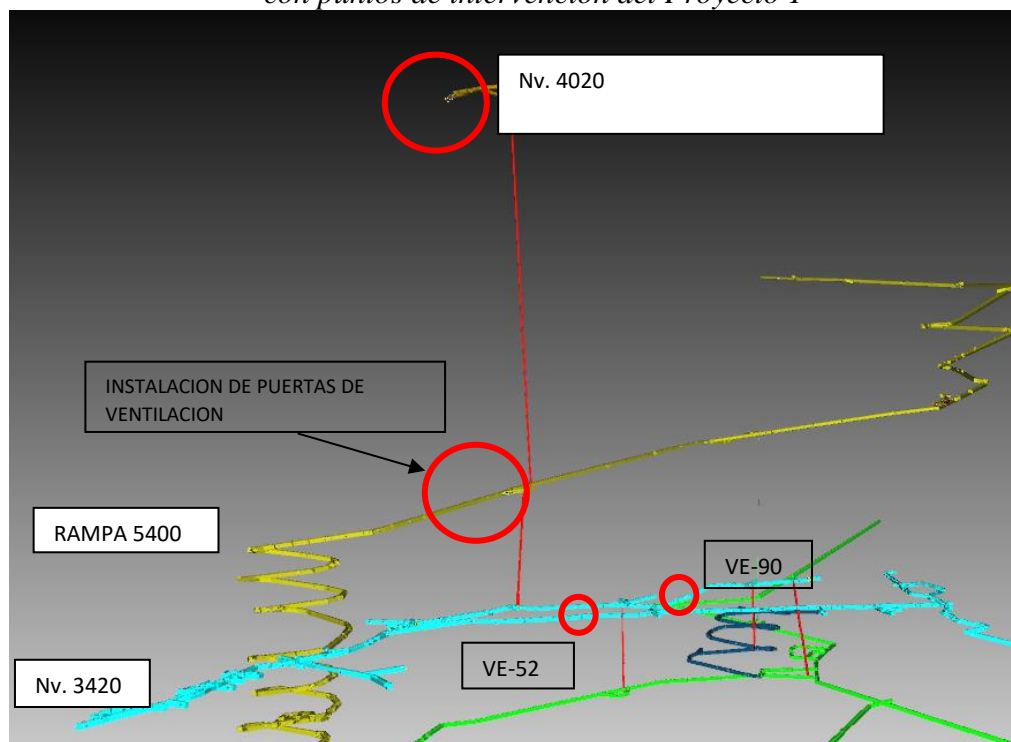
Fuente: Propia

El costo estimado de US\$ 3,709.16 + IGV para la realización del proyecto planteado resulta ser ligeramente inferior a lo que representa mensualmente operar un ventilador de esa capacidad en una ubicación poco favorable. Considerando el análisis costo-beneficio, esta inversión es bastante razonable y vale la pena tenerla en cuenta.

Seguidamente se presenta el registro histórico y los procedimientos a desarrollar en el Nivel 3540, con el fin de inhabilitar las conexiones de la raise borer (RB) que comunica el Nv. 4020 con el Nv. 3420. Esta intervención permitirá ejecutar las pruebas requeridas para analizar la viabilidad de reubicar el ventilador del Nv. 4020 en un punto de mayor impacto dentro del circuito de ventilación general, con miras a optimizar las condiciones de calidad y cantidad de aire en las labores actualmente en curso.

Proyecto N°1

Figura 18: Representación tridimensional del circuito de ventilación en el Nivel 3540 con puntos de intervención del Proyecto 1



Fuente: Propia

a. Antecedentes

- ✓ El ventilador del Nivel 4020 trabaja bajo condiciones de sobrepresión, dado que absorbe la descarga generada por otros dos ventiladores principales cuya capacidad combinada duplica la suya, lo que trae como consecuencia una reducción importante en su rendimiento.
- ✓ Por otro lado, la puerta de ventilación del Nv. 3540 se encuentra en mal estado. Esta puerta tiene como función principal evitar que el aire viciado procedente del Nv. 3420 ingrese hacia la rampa principal 5400. De apagarse el ventilador del Nv. 4020 en las condiciones actuales, se estaría canalizando de forma indirecta aire contaminado hacia la rampa principal, que constituye la entrada de aire fresco a la mina.

- ✓ Adicionalmente, en esa misma conexión se genera una acumulación de material originado en la propia raise borer desde los niveles superiores, lo que hace necesario planificar trabajos de limpieza con una periodicidad de aproximadamente cinco meses.

b. Plan de acción

Finalizar la preparación e instalación de las puertas de ventilación en el Nivel 3540 marcará el inicio de las pruebas en el circuito principal. Se trata de un paso clave, dado que asegurará que no se produzcan filtraciones de aire maloliente hacia la pendiente primordial 5400, la cual representa hoy la principal vía de ingreso de aire fresco al interior de la mina. De igual manera, brindará al área de ventilación la oportunidad de comparar los resultados arrojados por las simulaciones del sistema con el comportamiento real en operación. Por otro lado, simplificará las tareas de limpieza de la raise borer que comunica con la superficie, ayudando a evitar bloqueos en la salida de aire que pudieran afectar el desempeño de los ventiladores principales del Nivel 3420.

CONCLUSIONES

1. La causa principal de las agrupaciones de monóxido de carbono en el interior de la mina se debe a las emisiones de este gas que superan el LMP.
2. El muestreo representativo revela que el 70% de los equipos tienen problemas con la emisión de este gas, tomando como base un total de 20 equipos seleccionados al azar.
3. Hay equipos que emiten cerca de 500 ppm de CO. Si OSINERGMIN realiza una fiscalización, los equipos con niveles de emisión superiores a 500 ppm serán motivo de observaciones y podrían enfrentar sanciones económicas.
4. Por lo tanto, esto podría resultar en sanciones económicas.
5. Dado que solo contamos con cinco ventiladores principales, es crucial que funcionen con la máxima eficiencia, extrayendo o inyectando aire en la mina, en lugar de limitarse a aumentar la presión del aire viciado hacia la superficie.
6. Es fundamental redirigir los recursos hacia las áreas que poseen un dominio directo en el circuito principal.
7. El costo mensual de energía para el ventilador es mayor que el costo de instalar estas puertas de ventilación, que solo requerirían un mantenimiento anual.

RECOMENDACIONES

1. Asegurar las condiciones de operación óptimas para las unidades en interior mina, apoyados bajo un control periódico de los respectivos mantenimientos e inspecciones internas, por parte del área de ventilación, seguridad mina y Mtto mecánico.
2. Controlar el ingreso de los equipos a interior mina, de acuerdo al resultado del monitoreo de gases.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arduino Project Hub. (2022). *Monitoring air quality using gas sensors*. Obtenido de Arduino Project Hub: <https://create.arduino.cc/projecthub>
- Hartman, H. L., Mutmansky, J. M., Ramani, R. V., & Wang, Y. J. (1997). *Mine ventilation and air conditioning*. Wiley-Interscience.
- Instituto de Seguridad Minera (ISEM). (2020). *Guía técnica para la ventilación en minería subterránea*. ISEM.
- International Organization for Standardization (ISO). (2021). *ISO 23875: Mining — Operator enclosures — Air quality control systems and monitoring performance requirements*. ISO.
- International Society of Automation (ISA). (2018). *Introduction to industrial automation and control systems*. ISA.
- McPherson, M. J. (1993). *Subsurface ventilation and environmental engineering*. Springer Science & Business Media.
- Ministerio de Energía y Minas del Perú (MINEM). (2023). *Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería (D.S. N.° 024-2016-EM, actualizado)*. MINEM.
- Nexa Resources S.A. (2024). *Manual interno del sistema de ventilación - UM Atacocha [Documento interno]*. Nexa Resources S.A.
- World Health Organization (WHO). (2000). *Air quality guidelines for Europe*. WHO.
- Zhang, Y., & Wang, H. (2021). Application of IoT-based real-time monitoring systems in underground mines. *Journal of Sustainable Mining*, 100–108.

ANEXOS

ANEXO A

Instrumentos de recolección de datos.

Anexo A.1. *Dräger Polytron 5000 (Detector de gases tóxicos)*



Fuente: Propia

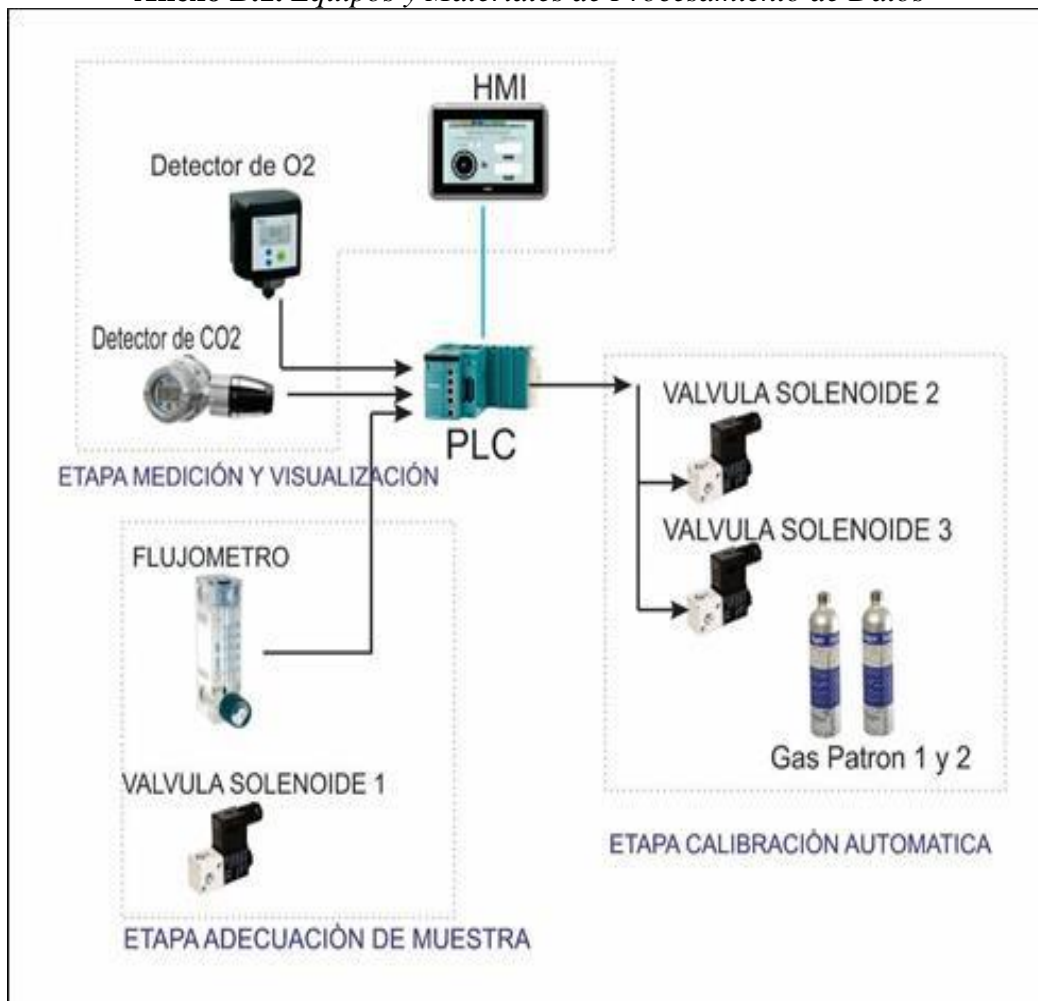
Anexo A.2. *Dräger Polytron 7000 (Detector de gases tóxicos)*



Fuente: Tecnología para la vida

ANEXO B

Anexo B.1. Equipos y Materiales de Procesamiento de Datos



Fuente: Rindon Valqui Tesis

ANEXO C

Anexo C.1. Matriz de Consistencia - “Implementación de Paneles de Monitoreo del Aire para Optimizar el Sistema de Ventilación en la UM. Atacocha” – Nexa Resource S.A.”

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS
<p style="text-align: center;">PROBLEMA GENERAL</p> <p>Identificación y planteamiento del problema La minería subterránea dentro de su infraestructura debe tener un buen sistema de ventilación con la finalidad de preservar las condiciones ambientales para preservar la calidad de vida, la seguridad y salud ocupacional de todos los trabajadores y de las condiciones físicas y mecánicas de los equipos y herramientas en las operaciones unitarias. La Unidad minera de Atacocha, en los últimos tiempos ha tenido deficiencias de ventilación los cuales ocasionan paralizaciones y riesgos de gaseamiento producto de la explotación y la emisión de gases propias de la explotación del oro, por ello nuestro problema principal es la deficiencia regular del aire de ventilación es por ello que la gerencia de operaciones y en previsión de las normas nacionales e internacionales que rigen la legislación de la minería en el País encarga realizar el balance del aire de ventilación de forma tal que debe cumplir con los parámetros eficientes de suministrar y adecuar un sistema de ventilación de las áreas operativas de la Unidad Minera.</p> <p style="text-align: center;">Problema específico</p> <p>a) Ubicación adecuada de estaciones de control de ventilación minera. b) Establecer sistemáticamente los Circuitos de aire de la mina. c) mejorar el Balance de ingresos y salidas de aire de la mina. La diferencia de caudales de aire entre los ingresos y salidas de aire no debe exceder el diez por ciento (10 %). d) La demanda de aire de la mina debe ser la cantidad de aire requerida por los trabajadores, para mantener una temperatura de confort del lugar de trabajo y para la operación de los equipos petroleros.</p>	<p style="text-align: center;">OBJETIVO GENERAL</p> <p>Actualmente el Área de Ventilación, se encuentra realizando los estudios para la mejora del sistema de ventilación de Atacocha, por lo cual se prevén realizar pruebas al sistema de ventilación principal, con la finalidad de aumentar la eficiencia del circuito primario de Ventilación de la Mina. De acuerdo y en justificación que exige la Base Legal – D.S. 023 – 2017 - EM “Artículo 246.- El titular de actividad minera debe velar por el suministro de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a las necesidades del trabajador, de los equipos y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador, así como para mantener condiciones termo-ambientales confortables, lo que exige el cumplimiento de los estándares nacionales e internacional, en la UM, Atacocha.</p> <p style="text-align: center;">Objetivos específicos</p> <p>a. se deben efectuar controles permanentes de ventilación en las labores de exploración, desarrollo, preparación y explotación donde haya personal trabajando. b. Se propone mejorar los controles en los troncales de ventilación para mejorar el circuito de ventilación en la mina.</p> <p style="text-align: center;">Justificación de la Investigación</p> <p>El proyecto se justifica en la Implementación de una estación de Gases Tóxicos para minería Subterránea con acceso remoto a través de Web Server, que no se saturen rápidamente, utilizando un PLC potente y sensores Drager. En el diseño y desarrollo priorizamos en puntos críticos. Asimismo, Evitar las posibles sanciones al Incumplimiento del D.S. 024-2016E.M. y su modificatoria D.S.023 - 2017E.M. en su artículo 251. En la UM. Atacocha.</p>	<p style="text-align: center;">HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>Hi. Hipótesis general Con la Implementación de paneles de monitoreo del aire, se optimizará el sistema de ventilación en la UM. Atacocha-Nexa Resource S.A.</p> <p style="text-align: center;">Hipótesis específicas</p> <p>H.E. 1: Implementando el control del aire de ventilación se cumplirá con las normas establecidas legalmente por Ley vigente., en la UM. Atacocha-Nexa Resource S.A</p> <p>H.E. 2: Con la implementación de los controles del aire de ventilación se cumplirá con preservar la SSO, en la UM. Atacocha-Nexa Resource S.A.</p> <p style="text-align: center;">Identificación de Variables</p> <p>Variables para la hipótesis general</p> <p>- Variable Dependiente Optimización del aire de ventilación</p> <p>- Variable independiente: Paneles de Monitoreo del sistema de aire de ventilación</p> <p>Variables para la hipótesis específicas</p> <p>V.H.E.</p> <p>- Variable Dependiente: Control de Estándares de Ventilación</p> <p>- Variable independiente. Aplicación de las Normas de SSO.</p> <p>V.H.E.</p> <p>- Variable Dependiente: DS-023-2017 MEM, Normativa vigente del aire de ventilación</p> <p>- Variable independiente Monitoreo calidad y cantidad del aire de ventilación con los paneles de control del aire.</p> <p>Ho. Los paneles de control no optimizaran la ventilación ni cumplir con los estándares. en la UM. Atacocha-Nexa Resource S.A.</p>

Fuente: Propia

ANEXO D

Anexo D.1. Principal instrumento de medición del aire de ventilación

INSTRUMENTOS	MARCA	MODELO	CERTIFICADO
ANEMOMETRO	TESTO	480	SI
TERMOANEMOMETRO	KESTREL	5200	NO
MEDIDOR DE GASES	DRAGER	X-AM 5600	SI
MEDIDOR DE GASES	MSA	ALTAIR 4X	SI
MEDIDOR DE GASES	MSA	ALTAIR 4X	SI
MEDIDOR DE GASES	MSA	ALTAIR 4X	NO
CAMIONETA	TOYOTA	HILUX	
VENTILADORES			
MANITOU - E.E. MCEISA			

Fuente: Propia

Anexo D.2. Límites permisibles de gases (VLP)

GASES	PORCENTAJE
OXIGENO	MÍNIMO 19.5 %
DIOXIDO DE CARBONO	MAXIMO 9000 mgm3 ó 5000 ppm
MONOXIDO DE CARBONO	MAXIMO 29 mg/m3 ó 25 ppm.
METANO	MAXIMO 5000 ppm.
HIDROGENO SULFURADO	MAXIMO 14 mg/m3 ó 10 ppm.
GASES NITROSOS	MAXIMO 7 mg/m3 ó 5 ppm.
ANHIDRIDOSULFUROSO	MAXIMO 5 ppm.
ALDEHIDOS	MAXIMO 5 ppm
HIDROGENO	MAXIMO 5000 ppm.
OZONO	MAXIMO 0.1 ppm.

Fuente: DS-023-2017 MEM

Anexo D.3. Tiempo de permanencia según la temperatura efectiva

T_e(°C)	Tiempo de permanencia (horas)
28	Sin limitación
29	6
30	4
31	2
32	2

Fuente: RSSO-023.2917-MEM

ANEXO E

Anexo E.1. Bomba de Vacío



Fuente: Propia

ANEXO F

Anexo F.1. Verificador de Operatividad del Panel de control



Fuente: Propia

Anexo F.2. Puertas de ventilación: (a) Esquema de una puerta neumática de dos hojas, (b) Puerta metálica de alta presión mostrando



(a)



(b)

Fuente: Dr. Felipe Calizaya