



# PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL SISTEMA DE VENTILACIÓN Y CONTROL DE GASES EN LA MINA CRUZADA, SUTATAUSA, CUNDINAMARCA.

JUAN CARLOS VELANDIA SALAMANCA

Estudiante

Modalidad: MONOGRAFIA

JURADO

CARMEN FABIOLA ROMERO SANDOVAL

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA

FACULTAD DE SIHGA

Abril de 2025

Colombia, Cundinamarca

## ÍNDICE

<b>PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL SISTEMA DE VENTILACIÓN Y CONTROL DE GASES EN LA MINA CRUZADA, SUTATAUSA, CUNDINAMARCA.</b>	1
<b>ÍNDICE</b>	2
<b>Agradecimientos</b>	4
<b>Resumen</b>	5
<b>Abstract</b>	6
<b>Introducción.</b>	7
1. <b>Formulación del Problema de investigación</b>	8
2. <b>Pregunta Científica</b>	8
3. <b>Objeto de Estudio</b>	9
4. <b>Objetivos</b>	10
<b>Objetivos Específicos</b>	10
5. <b>Marco referencial</b>	11
Estado del Arte	11
Marco Histórico y Geográfico	11
Marco Teórico	12
Marco Conceptual	12
Marco Legal	13
6. <b>Ejecución</b>	14
Diagnóstico de las Condiciones de Ventilación en la Mina	14
7. <b>Metodología de Recolección de Información</b>	21
<b>Cronograma</b>	38
8. <b>Ventilación de minas.</b>	39
9. <b>Conclusiones y Resultados.</b>	49
Resultados	50
10. <b>Recomendaciones y sugerencias.</b>	52
11. <b>Bibliografía</b>	55

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Relación de gases Composición del aire seco.	40
Tabla 2. valores límites permisibles para gases contaminantes	41
Tabla 3. medición de gases en la sección minera	44
Tabla 4. Instrumentos de medición usados en los puntos de muestreo	45
Tabla 5. Equipo Multidetector de Gases de la Mina.	48

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Inspección física conductos de ventilación	14
Figura 2. Inspección física conductos de ventilación	15
Figura 3. Medición flujo de aire	15
Figura 4. Medición concentración de gases	16
Figura 5. Rediseño de conductos	17
Figura 6. Capacitaciones	17
Figura 7. Programa mantenimiento adecuado	18
Figura 8. Programa y capacitaciones	18
Figura 9. Primeros auxilios	19
Figura 10. Distribución de gases en una sección.	43
Figura 11. Polígono Contrato en Virtud de Aporte 106-92	44
Figura 12. distribución de puntos de toma de aforos y esquema red de ventilación	45

## Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la empresa Croas SAS por su invaluable apoyo y colaboración durante la realización de este trabajo de grado. Su disposición para facilitarme información relevante, así como el tiempo dedicado por su personal, han sido fundamentales para el desarrollo y éxito de este proyecto.

Agradezco por su orientación y disposición para compartir su conocimiento y experiencia. Su compromiso y profesionalismo han sido una fuente de inspiración y han enriquecido significativamente este trabajo.

También quiero reconocer a todo el equipo de Croas SAS por su amabilidad y apoyo constante. Su contribución ha sido crucial para llevar a cabo este proyecto y alcanzar los objetivos planteados.

Gracias a Croas SAS, he podido adquirir un conocimiento profundo y práctico que será de gran valor en mi carrera profesional. Su colaboración ha sido una pieza clave en este importante logro académico.

## Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo analizar el control de gases en las minas subterráneas, enfocándose en la mina *La Cruzada*, para proponer un sistema eficiente de ventilación y control de gases. Se exploran las tecnologías actuales de monitoreo y ventilación, evaluando tanto sus fortalezas como sus deficiencias. Se realiza una investigación documental sobre el estado del control de gases en la minería, combinada con encuestas a los trabajadores de la mina para evaluar su percepción sobre los riesgos asociados con los gases en el lugar de trabajo.

El control de gases en la minería subterránea es crucial para prevenir accidentes fatales, tales como explosiones debido a la acumulación de gases como el metano ( $\text{CH}_4$ ) y monóxido de carbono (CO). Se abordan diversas tecnologías aplicadas en la ventilación, tales como sistemas automáticos de monitoreo en tiempo real y sensores de gas multicanal. Además, se analiza la normatividad colombiana en cuanto a la seguridad minera, destacando la necesidad de un control más riguroso en cuanto a la ventilación.

A partir de las encuestas realizadas a los trabajadores, se observó que una parte del personal no tiene un conocimiento profundo sobre el sistema de control de gases ni de los riesgos que estos implican.

Además, las mediciones de gases realizadas en la mina revelaron que ciertos sectores de la mina, especialmente aquellos más profundos, presentan niveles elevados de gases peligrosos, lo que pone en evidencia la necesidad de mejorar la infraestructura de ventilación secundaria.

La propuesta final aboga por optimizar el sistema de ventilación en áreas específicas de la mina, mejorar la capacitación de los trabajadores y adoptar tecnologías más avanzadas de monitoreo en tiempo real.

## Abstract

The objective of this research work is to analyze gas control in underground mines, focusing on the La Cruzada mine, to propose an efficient ventilation and gas control system. Current monitoring and ventilation technologies are explored, assessing both their strengths and weaknesses. Desk research is conducted on the state of gas control in mining, combined with surveys of mine workers to assess their perception of the risks associated with gases in the workplace.

Gas control in underground mining is crucial to prevent fatal accidents, such as explosions due to the accumulation of gases such as methane ( $\text{CH}_4$ ) and carbon monoxide ( $\text{CO}$ ). Various technologies applied in ventilation are addressed, such as automatic real-time monitoring systems and multichannel gas sensors. In addition, Colombian regulations regarding mining safety are analyzed, highlighting the need for more rigorous control in terms of ventilation. From the surveys carried out on the workers, it was observed that a large part of the staff does not have a deep knowledge of the gas control system or the risks that these imply. In addition, gas measurements carried out at the mine revealed that certain sectors of the mine, especially those deeper, have high levels of hazardous gases, highlighting the need to improve secondary ventilation infrastructure.

The final proposal calls for optimizing the ventilation system in specific areas of the mine, improving worker training, and adopting more advanced real-time monitoring technologies.

## Introducción.

La minería subterránea, una de las actividades más riesgosas para los trabajadores, enfrenta una serie de desafíos relacionados con la seguridad, particularmente en lo que respecta a la gestión de los gases presentes en el ambiente. La exposición continua a gases como el metano (CH<sub>4</sub>), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el monóxido de carbono (CO) puede provocar problemas de salud graves, y en concentraciones elevadas, incluso la muerte. Además, la acumulación de estos gases puede generar riesgos de explosión, lo que incrementa el peligro para los trabajadores que operan en las profundidades de la mina.

En Colombia, las normativas y los sistemas de seguridad minera han avanzado en cuanto a la regulación de estos gases, pero la implementación de tecnologías de control y sistemas de ventilación adecuados sigue siendo un desafío. La mina La Cruzada no es ajena a estos riesgos, por lo que es esencial estudiar y proponer mejoras en los sistemas de ventilación para garantizar un entorno de trabajo seguro para los mineros.

Este estudio tiene como objetivo principal diseñar una propuesta de mejora para el sistema de control de gases en la mina La Cruzada. A través de la recolección de información, tanto cualitativa como cuantitativa, se buscará evaluar el estado actual de la ventilación, identificar áreas críticas con niveles peligrosos de gases y proponer soluciones basadas en la innovación tecnológica y el conocimiento de los trabajadores. La importancia de esta investigación radica en la necesidad de adaptar las prácticas mineras a las normativas internacionales de seguridad, así como en la implementación de nuevas tecnologías que puedan prevenir accidentes y mejorar las condiciones laborales en la minería subterránea.

## 1. Formulación del Problema de investigación

La minería subterránea es una de las actividades más peligrosas en términos de seguridad laboral, especialmente por los riesgos asociados con los gases presentes en el ambiente. La acumulación de gases como el metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) constituye una amenaza significativa tanto para la salud de los trabajadores como para la seguridad estructural de la mina, debido a su potencial para causar explosiones y asfixia. A pesar de los avances en los sistemas de ventilación y control de gases, en muchas minas subterráneas, incluido el caso de la mina La Cruzada, persisten deficiencias en la efectividad de los sistemas de ventilación, lo que incrementa los riesgos de exposición a estos gases peligrosos.

En la mina La Cruzada, aunque se han implementado medidas de ventilación y monitoreo de gases, los trabajadores continúan enfrentando riesgos relacionados con la acumulación de gases en zonas específicas, como en las áreas más profundas de la mina, donde la circulación de aire es insuficiente. Además, se ha identificado que el personal carece de formación adecuada sobre los riesgos de los gases y sobre el funcionamiento de los sistemas de ventilación, lo que agrava aún más la situación.

El problema de investigación se centra en la necesidad de mejorar la eficiencia del sistema de ventilación y control de gases en la mina La Cruzada para garantizar un entorno de trabajo seguro y saludable. Esto implica la identificación de las deficiencias actuales del sistema de ventilación y la propuesta de soluciones basadas en tecnologías innovadoras y mejores prácticas en la gestión de los gases peligrosos.

## 2. Pregunta Científica

¿Cómo se puede optimizar el sistema de ventilación y control de gases en la mina *La Cruzada* para mejorar la seguridad de los trabajadores y cumplir con las normativas de seguridad minera?

### 3. Objeto de Estudio

El objeto de estudio de esta investigación es el sistema de ventilación y control de gases en la mina subterránea La Cruzada. Este sistema incluye tanto los mecanismos de ventilación utilizados para garantizar el flujo de aire limpio y libre de contaminantes en las galerías de la mina, como las tecnologías de monitoreo y detección de gases peligrosos (como metano, monóxido de carbono, dióxido de carbono, entre otros). La investigación se centrará en evaluar la eficacia de dicho sistema para minimizar los riesgos relacionados con la acumulación de gases peligrosos y garantizar condiciones de trabajo seguras para los trabajadores subterráneos.

El estudio abarcará los siguientes aspectos clave:

**Evaluación del sistema de ventilación:** Analizar la estructura actual del sistema de ventilación, incluyendo el caudal de aire, los puntos de inyección y salida, y la capacidad para llegar a las zonas más profundas y alejadas de la mina donde existen mayores riesgos de acumulación de gases.

**Monitoreo de gases:** Estudiar los métodos y equipos utilizados para medir la concentración de gases como el metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) y otros gases tóxicos, con énfasis en la precisión de los equipos y la frecuencia de las mediciones.

**Capacitación y procedimientos operativos:** Analizar los protocolos y procedimientos actuales relacionados con la medición de gases y la respuesta ante la detección de niveles peligrosos, así como la capacitación del personal en cuanto a los riesgos asociados con los gases y el uso de equipos de seguridad y monitoreo.

**Comparación con normativas y estándares internacionales:** Comparar el sistema de ventilación y control de gases de la mina *La Cruzada* con las normativas internacionales y las mejores prácticas en la industria minera, con el fin de identificar posibles brechas y áreas de mejora.

Este objeto de estudio permitirá identificar las fortalezas y debilidades del sistema de ventilación y control de gases en la mina La Cruzada y sugerir posibles soluciones y mejoras para

optimizar la seguridad minera.

## 4. Objetivos

### Objetivo General

Proponer un diseño para la mejora del sistema de ventilación y control de gases en la mina subterránea La Cruzada, con el fin de garantizar un ambiente laboral seguro y saludable para los trabajadores, minimizando los riesgos asociados con la acumulación de gases peligrosos.

### Objetivos Específicos

- Evaluar la eficacia del sistema de ventilación actual en la mina La Cruzada, identificando sus principales fortalezas y debilidades en la gestión del flujo de aire y control de gases.
- Analizar las tecnologías de monitoreo y detección de gases en la mina, evaluando su precisión, frecuencia de medición y efectividad para detectar niveles peligrosos de gases como el metano ( $\text{CH}_4$ ), monóxido de carbono (CO), y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).
- Investigar las normativas y mejores prácticas internacionales en el control de gases en minas subterráneas, comparando su aplicación en la mina La Cruzada con los estándares internacionales.
- Estudiar la percepción de los trabajadores de la mina La Cruzada sobre los riesgos asociados con los gases y la efectividad de las medidas de seguridad implementadas.
- Proponer mejoras tecnológicas y operativas para optimizar el sistema de ventilación y monitoreo de gases en la mina, basadas en los resultados obtenidos de la evaluación y comparación con las mejores prácticas.
- Desarrollar un plan de capacitación para el personal de la mina en el uso adecuado de equipos de monitoreo de gases y la implementación de procedimientos de seguridad para reducir los riesgos relacionados con la exposición a gases peligrosos.

## 5. Marco referencial

### Estado del Arte

La minería subterránea, especialmente en las minas de carbón, representa un alto riesgo para los trabajadores debido a la presencia de gases peligrosos como metano (CH<sub>4</sub>), monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H<sub>2</sub>), que pueden provocar explosiones y otras emergencias. Las empresas mineras frecuentemente carecen de sistemas adecuados para la detección y control de estos gases, lo que aumenta la probabilidad de accidentes fatales.

Las explosiones en minas de carbón son procesos en los que se liberan grandes cantidades de energía de manera rápida debido a la combustión de mezclas de gases combustibles, aire y polvo de carbón. Estas explosiones generan ondas de choque que se propagan a alta velocidad, incrementando los daños y riesgos dentro de la mina (McPherson, 1993; Castro & Martínez, 2000).

Diversos estudios han identificado los gases combustibles comunes en las minas y sus propiedades explosivas (Cheng y Yang, 2011; Coward y Jones, 1952). A pesar de los avances en tecnología de detección y control de gases, muchas minas en países como Colombia aún operan con prácticas tradicionales que no garantizan la seguridad de los trabajadores, lo cual resulta en altas tasas de accidentes y mortalidad.

### Marco Histórico y Geográfico

La mina "La Cruzada" está ubicada en la vereda de Peñas de Boquerón del municipio de Sutatausa, provincia de Ubaté, en el departamento de Cundinamarca, Colombia. Sutatausa es uno de los mayores productores de carbón de la provincia. Las coordenadas geográficas de la mina son: Latitud N 5°12'2.37" y Longitud O 73°51'38.98".

“El sistema de ventilación en una mina subterránea juega un papel crucial en la eliminación de gases peligrosos. Un sistema de ventilación bien diseñado no solo minimiza la concentración de gases

explosivos como el metano, sino que también asegura un ambiente saludable para los trabajadores al reducir las concentraciones de CO<sub>2</sub> y otros compuestos nocivos” (Gómez, 2018).

La región andina de Colombia, que incluye los departamentos de Boyacá y Cundinamarca, es rica en yacimientos de carbón. La minería en esta área ha evolucionado con el tiempo, pero aún enfrenta desafíos significativos en términos de seguridad y salud ocupacional.

### Marco Teórico

La minería subterránea en Cundinamarca y Boyacá presenta riesgos conocidos y documentados, así como desafíos para la identificación y control de riesgos. La inhalación de gases peligrosos es un problema crítico, exacerbado por la falta de implementación de nuevas tecnologías de detección y control.

“La minería subterránea presenta varios riesgos para los trabajadores, especialmente relacionados con la acumulación de gases como el metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO). Estos gases no solo representan un riesgo explosivo, sino también un riesgo para la salud a largo plazo si no se controlan adecuadamente” (Rodríguez, 2020).

El proyecto propuesto se centra en el diseño de un sistema de control para reducir las emanaciones de dióxido de carbono en las minas de Sutatausa. La implementación de este sistema busca mejorar la salud y seguridad laboral, reducir accidentes y aumentar la productividad.

La normativa vigente en Colombia, como la Ley 685 de 2001 (Código de Minas) y el Decreto 1886 de 2015 (Reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas), establece las obligaciones de las empresas mineras en términos de seguridad y salud. La Agencia Nacional de Minería (ANM) es la entidad encargada de la fiscalización y promoción de la seguridad minera en el país.

### Marco Conceptual

La elección de un sistema de control para reducir los gases en minas de carbón es crucial para la seguridad de los trabajadores. Los términos clave incluyen:

- **Identificación del peligro:** Proceso para determinar la existencia y características de un peligro.
- **Peligro:** Fuente, situación o acto con potencial de causar daño.
- **Riesgo:** Combinación de la probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos y la severidad del daño.
- **Ventilación:** Proceso de llevar aire fresco a los frentes mineros y evacuar aire viciado.
- **Límite permisible:** Concentración máxima de agentes de riesgo aceptable para la salud de los trabajadores.

## Marco Legal

El marco legal relevante para este proyecto incluye:

- **Resolución 0491 de 2020:** Requisitos de seguridad para trabajos en espacios confinados.
- **Decreto 035 de 1994:** Disposiciones en materia de seguridad minera.
- **Decreto 1886 de 2015:** Reglamento de seguridad en labores mineras subterráneas.
- **Decreto 944 de 2022:** Modifica el reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas.
- **Decreto 1295 de 1994:** Organización del sistema general de riesgos profesionales.
- **Ley 685 de 2001:** Código de minas.
- **Decreto 2090 de 2003:** Actividades de alto riesgo para la salud.
- **Resolución 2400 de 1979:** Disposiciones sobre seguridad en establecimientos de trabajo.
- **Decreto 0472 de 2015:** Criterios de graduación de multas por infracción a normas de seguridad y salud en el trabajo.

Este marco referencial proporciona una base sólida para la investigación y el desarrollo del sistema de control propuesto, alineando el proyecto con las normativas y conocimientos actuales sobre seguridad en la minería subterránea.

“En Colombia, la normatividad minera establece claras pautas para el control de gases y la

ventilación de minas subterráneas, destacando la necesidad de adoptar tecnologías avanzadas y procedimientos sistemáticos para la detección y ventilación de gases peligrosos” (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2021).

## 6. Ejecución

### Diagnóstico de las Condiciones de Ventilación en la Mina

**Revisión Documental:** Se recopilaron datos históricos y se revisaron las normativas aplicables sobre ventilación en minas de carbón, asegurando que el sistema cumpla con las regulaciones vigentes.

**Inspección Inicial:** Se realizó una inspección física de la mina para evaluar el estado de los conductos de ventilación, ventiladores y compuertas. Se identificaron puntos críticos donde la circulación de aire es insuficiente o la concentración de gases peligrosos es elevada.

Figura 1. Toma de áreas de la las vías.



Fuente: datos de estudio

Figura 2. Inspección medición de gases.



Fuente: datos de estudio

Medición de Parámetros: Se midió el flujo de aire, la concentración de gases (metano, dióxido de carbono, monóxido de carbono, oxígeno, ácido sulfhídrico y gases nitrosos) y las condiciones de temperatura y humedad en diversas áreas de la mina.

Figura 3. Medición flujo de aire



Fuente: datos de estudio

Figura 4. Medición concentración de gases



Fuente: datos de estudio

**Análisis de Datos:** Los resultados obtenidos se compararon con los estándares de seguridad. Se identificaron desviaciones significativas que indican áreas con ventilación deficiente o niveles de gases peligrosos por encima de lo permitido.

**Simulación y Modelado:** Se utilizó software de simulación para modelar el comportamiento del sistema de ventilación en diferentes escenarios, lo que permitió validar el sistema y detectar posibles fallos o ineficiencias.

**Informe y Recomendaciones:** Se elaboró un informe que resume los hallazgos y se propusieron mejoras en el sistema de ventilación, tales como la instalación de ventiladores adicionales y el rediseño de conductos para optimizar el flujo de aire.

Figura 5. Rediseño de conductos



Fuente: datos de estudio

Monitoreo y Capacitación: Se implementó un sistema de monitoreo continuo para garantizar la seguridad en la mina. Además, se propusieron programas de capacitación para los trabajadores en el uso y mantenimiento adecuado del sistema de ventilación.

Figura 6. Capacitaciones



Fuente: datos de estudio

Figura 7. Programa mantenimiento adecuado



Fuente: datos de estudio

Figura 8. Programa y capacitaciones



Fuente: datos de estudio

Figura 9. Primeros auxilios



Fuente: datos de estudio

Este diagnóstico está enfocado en garantizar la seguridad de los trabajadores y optimizar la eficiencia operativa en la mina subterránea de carbón. Se busca identificar y mitigar riesgos asociados con la ventilación deficiente, que podrían comprometer la salud de los mineros y la continuidad de las operaciones.

En primer lugar, el diagnóstico tiene como objetivo evaluar la capacidad del sistema de ventilación para mantener un ambiente de trabajo seguro. Esto incluye la verificación de que el flujo de aire sea suficiente para diluir y expulsar gases peligrosos, como el metano, dióxido de carbono y el monóxido de carbono, que suelen acumularse en las galerías subterráneas. Un sistema de ventilación adecuado no solo previene explosiones, sino que también protege a los trabajadores de intoxicaciones y asfixia.

Además, el diagnóstico considera la eficiencia operativa del sistema de ventilación, evaluando si este permite mantener condiciones de trabajo óptimas sin interrupciones. La eficiencia del sistema se mide no sólo en términos de seguridad, sino también en su capacidad para apoyar el desarrollo de las operaciones mineras de manera continua y sin contratiempos. Un sistema de ventilación bien diseñado y mantenido reduce el tiempo de inactividad, mejora la productividad y disminuye los costos operativos al evitar la necesidad de paradas imprevistas para corregir problemas relacionados con la ventilación.

Fernando, H. R. (2017). Las condiciones de trabajo son consustanciales con el proceso de trabajo y hacen referencia al conjunto de factores que actúan sobre un individuo en relación de trabajo, determinando su actividad y provocando una serie de consecuencias, tanto para el propio individuo como para la empresa. "sección 5". (Diagnóstico Integral De Las Condiciones De Trabajo Y Salud. Ecoe Ediciones., n.d.)

Finalmente, se busca proporcionar recomendaciones que fortalezcan tanto la seguridad como la eficiencia. Estas recomendaciones pueden incluir mejoras en la infraestructura de ventilación, la adopción de nuevas tecnologías para el monitoreo de gases, y la implementación de prácticas operativas que aseguren un flujo de aire constante y adecuado en todas las áreas de la mina.

## 7. Metodología de Recolección de Información

### **Tipo de Investigación**

Se adoptó un enfoque mixto en el que se combinaron métodos cuantitativos (medición de gases, análisis de concentraciones) y cualitativos (percepción de los trabajadores, entrevistas). Este enfoque permitió obtener una visión integral de la situación de la mina en términos de seguridad y control de gases. Enfoque Cuantitativo

### **Definición del Problema:**

- Identificar las áreas de la mina con mayor riesgo de emanación de gases.
- Medir las concentraciones de dióxido de carbono y otros gases peligrosos.

### **Recolección de Datos:**

- Instalación de sensores y equipos de monitoreo en diferentes puntos de la mina.
- Registro de datos durante un período específico para obtener una muestra representativa.

### **Análisis de Datos:**

- Utilización de herramientas estadísticas para analizar las concentraciones de gases.
- Identificación de patrones y correlaciones entre las condiciones de la mina y las concentraciones de gases.

### **Validación de Resultados:**

- Comparación de los datos obtenidos con estándares internacionales y normativas locales.
- Evaluación de la efectividad de las medidas de control implementadas.



## **Enfoque Cualitativo**

### **Entrevistas y Encuestas:**

- Realización de entrevistas semiestructuradas con trabajadores y administradores de la mina.
- Aplicación de encuestas para recolectar información sobre la percepción de los riesgos y la efectividad de las medidas de control.
- Entrevistas a expertos en seguridad minera y responsables de las operaciones de ventilación para conocer las técnicas y tecnologías utilizadas.

Encuestas:

Evaluar la percepción de los trabajadores sobre la seguridad y los riesgos asociados a los gases en la mina La Cruzada.

Colaborador: Higuera Jairo M

Fecha: 12 Feb / 25.

¿Cuánto tiempo lleva trabajando en la mina La Cruzada?

a) Menos de 1 año

b) 1 a 5 años

c) Más de 5 años

¿Conoce los equipos utilizados para el monitoreo de gases en la mina?

a) Sí

b) No

c) No estoy seguro

¿Sabe utilizar los equipos de control de gases que se manejan en la mina?

a) Sí

b) No

¿Está al tanto de los riesgos asociados con la acumulación de gases en la mina (como Oxígeno, Dióxido de carbono, metano, etc.)?

a) Sí

b) No

¿Con qué frecuencia se realiza un monitoreo de gases en las zonas donde trabaja?

a) Diariamente

b) Semanalmente

c) Mensualmente

d) Nunca

¿Siente que las medidas de ventilación en la mina son suficientes para mantener un ambiente de trabajo seguro?

a) Sí

b) No

c) No estoy seguro

¿Ha experimentado alguna vez una situación en la que la acumulación de gases haya representado un riesgo para su salud o seguridad?

a) Sí

b) No

c) No recuerdo

¿Cree que un sistema de control de gases más eficiente podría mejorar la seguridad en la mina?

a) Sí

b) No

c) No estoy seguro

¿Conoce los equipos utilizados para el monitoreo de gases en la mina?

a) Sí

b) No

c) No estoy seguro

¿Está familiarizado con las normativas de seguridad que deben cumplirse en relación con la ventilación y el control de gases?

a) Sí

b) No

c) No estoy seguro

¿Cree que sus compañeros de trabajo afectan el sistema de ventilación como por ejemplo dañar ductos o ventiladores?

a) Sí

b) No

c) No recuerdo

¿Qué sugerencias tendría para mejorar el sistema de control de gases y ventilación en la mina?

Evaluar la percepción de los trabajadores sobre la seguridad y los riesgos asociados a los gases en la mina La Cruzada.

Colaborador: JORGE NORIEGA

Fecha: 12-02-2025

¿Cuánto tiempo lleva trabajando en la mina La Cruzada?

a) Menos de 1 año

b) 1 a 5 años

c) Más de 5 años

¿Conoce los equipos utilizados para el monitoreo de gases en la mina?

a) Sí

b) No

c) No estoy seguro

¿Sabe utilizar los equipos de control de gases que se manejan en la mina?

a) Sí

b) No

¿Está al tanto de los riesgos asociados con la acumulación de gases en la mina (como Oxígeno, Dióxido de carbono, metano, etc.)?

a) Sí

b) No

¿Con qué frecuencia se realiza un monitoreo de gases en las zonas donde trabaja?

a) Diariamente

b) Semanalmente

c) Mensualmente

d) Nunca

¿Siente que las medidas de ventilación en la mina son suficientes para mantener un ambiente de trabajo seguro?

a) Sí

b) No

c) No estoy seguro

¿Ha experimentado alguna vez una situación en la que la acumulación de gases haya representado un riesgo para su salud o seguridad?

- a) Sí ✓
- b) No
- c) No recuerdo

¿Cree que un sistema de control de gases más eficiente podría mejorar la seguridad en la mina?

- a) Sí ✓
- b) No
- c) No estoy seguro

¿Conoce los equipos utilizados para el monitoreo de gases en la mina?

- a) Sí ✓
- b) No
- c) No estoy seguro

¿Está familiarizado con las normativas de seguridad que deben cumplirse en relación con la ventilación y el control de gases?

- a) Sí ✓
- b) No
- c) No estoy seguro

¿Cree que sus compañeros de trabajo afectan el sistema de ventilación como por ejemplo dañar ductos o ventiladores?

- a) Sí ✓
- b) No
- c) No recuerdo

¿Qué sugerencias tendría para mejorar el sistema de control de gases y ventilación en la mina?

Evaluar la percepción de los trabajadores sobre la seguridad y los riesgos asociados a los gases en la mina La Cruzada.

Colaborador: Hilady Esperanza Ramirez Duran

Fecha: 12 Febrero 2025

¿Cuánto tiempo lleva trabajando en la mina La Cruzada?

a) Menos de 1 año

b) 1 a 5 años

c) Más de 5 años

¿Conoce los equipos utilizados para el monitoreo de gases en la mina?

a) Sí

b) No

c) No estoy seguro

¿Sabe utilizar los equipos de control de gases que se manejan en la mina?

a) Sí

b) No

¿Está al tanto de los riesgos asociados con la acumulación de gases en la mina (como Oxígeno, Dióxido de carbono, metano, etc.)?

a) Sí

b) No

¿Con qué frecuencia se realiza un monitoreo de gases en las zonas donde trabaja?

a) Diariamente

b) Semanalmente

c) Mensualmente

d) Nunca

¿Siente que las medidas de ventilación en la mina son suficientes para mantener un ambiente de trabajo seguro?

a) Sí

b) No

¿Ha experimentado alguna vez una situación en la que la acumulación de gases haya representado un riesgo para su salud o seguridad?

a) Sí

b) No

c) No recuerdo

¿Cree que un sistema de control de gases más eficiente podría mejorar la seguridad en la mina?

a) Sí

b) No

c) No estoy seguro

¿Conoce los equipos utilizados para el monitoreo de gases en la mina?

a) Sí

b) No

c) No estoy seguro

¿Está familiarizado con las normativas de seguridad que deben cumplirse en relación con la ventilación y el control de gases?

a) Sí

b) No

c) No estoy seguro

¿Cree que sus compañeros de trabajo afectan el sistema de ventilación como por ejemplo dañar ductos o ventiladores?

a) Sí

b) No

c) No recuerdo

¿Qué sugerencias tendría para mejorar el sistema de control de gases y ventilación en la mina?

Cuidado con los ductos de ventilación en los frentes de trabajo.

Evaluar la percepción de los trabajadores sobre la seguridad y los riesgos asociados a los gases en la mina La Cruzada.

Colaborador: Javier Guetavita Nieto

Fecha: 12-02-2025

¿Cuánto tiempo lleva trabajando en la mina La Cruzada?

a) Menos de 1 año

b) 1 a 5 años

c) Más de 5 años

¿Conoce los equipos utilizados para el monitoreo de gases en la mina?

a) Sí

b) No

c) No estoy seguro

¿Sabe utilizar los equipos de control de gases que se manejan en la mina?

a) Sí

b) No

¿Está al tanto de los riesgos asociados con la acumulación de gases en la mina (como Oxígeno, Dióxido de carbono, metano, etc.)?

a) Sí

b) No

¿Con qué frecuencia se realiza un monitoreo de gases en las zonas donde trabaja?

a) Diariamente

b) Semanalmente

c) Mensualmente

d) Nunca

¿Siente que las medidas de ventilación en la mina son suficientes para mantener un ambiente de trabajo seguro?

a) Sí

b) No

c) No estoy seguro

¿Ha experimentado alguna vez una situación en la que la acumulación de gases haya representado un riesgo para su salud o seguridad?

- a) Sí
- b) No
- c) No recuerdo

¿Cree que un sistema de control de gases más eficiente podría mejorar la seguridad en la mina?

- a) Sí
- b) No
- c) No estoy seguro

¿Conoce los equipos utilizados para el monitoreo de gases en la mina?

- a) Sí
- b) No
- c) No estoy seguro

¿Está familiarizado con las normativas de seguridad que deben cumplirse en relación con la ventilación y el control de gases?

- a) Sí
- b) No
- c) No estoy seguro

¿Cree que sus compañeros de trabajo afectan el sistema de ventilación como por ejemplo dañar ductos o ventiladores?

- a) Sí
- b) No
- c) No recuerdo

¿Qué sugerencias tendría para mejorar el sistema de control de gases y ventilación en la mina?

No apagar los ventiladores para evitar los gases

Evaluar la percepción de los trabajadores sobre la seguridad y los riesgos asociados a los gases en la mina La Cruzada.

Colaborador: Juan Guillermo Aldana

Fecha: 12 feb 2025

¿Cuánto tiempo lleva trabajando en la mina La Cruzada?

Menos de 1 año

b) 1 a 5 años

c) Más de 5 años

¿Conoce los equipos utilizados para el monitoreo de gases en la mina?

Sí

b) No

c) No estoy seguro

¿Sabe utilizar los equipos de control de gases que se manejan en la mina?

a) Sí

No

¿Está al tanto de los riesgos asociados con la acumulación de gases en la mina (como Oxígeno, Dióxido de carbono, metano, etc.)?

Sí

b) No

¿Con qué frecuencia se realiza un monitoreo de gases en las zonas donde trabaja?

Diariamente

b) Semanalmente

c) Mensualmente

d) Nunca

¿Siente que las medidas de ventilación en la mina son suficientes para mantener un ambiente de trabajo seguro?

a) Sí

b) No

¿Ha experimentado alguna vez una situación en la que la acumulación de gases haya representado un riesgo para su salud o seguridad?

a) Sí

b) No

c) No recuerdo

¿Cree que un sistema de control de gases más eficiente podría mejorar la seguridad en la mina?

a) Sí

b) No

c) No estoy seguro

¿Conoce los equipos utilizados para el monitoreo de gases en la mina?

a) Sí

b) No

c) No estoy seguro

¿Está familiarizado con las normativas de seguridad que deben cumplirse en relación con la ventilación y el control de gases?

a) Sí

b) No

c) No estoy seguro

¿Cree que sus compañeros de trabajo afectan el sistema de ventilación como por ejemplo dañar ductos o ventiladores?

a) Sí

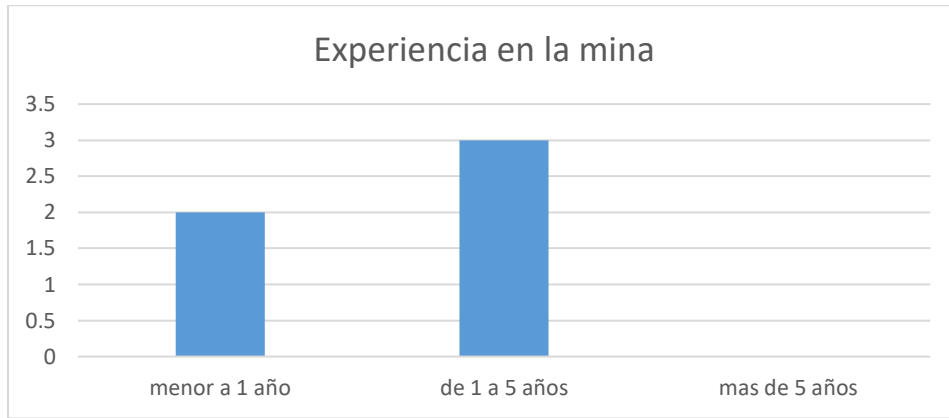
b) No

c) No recuerdo

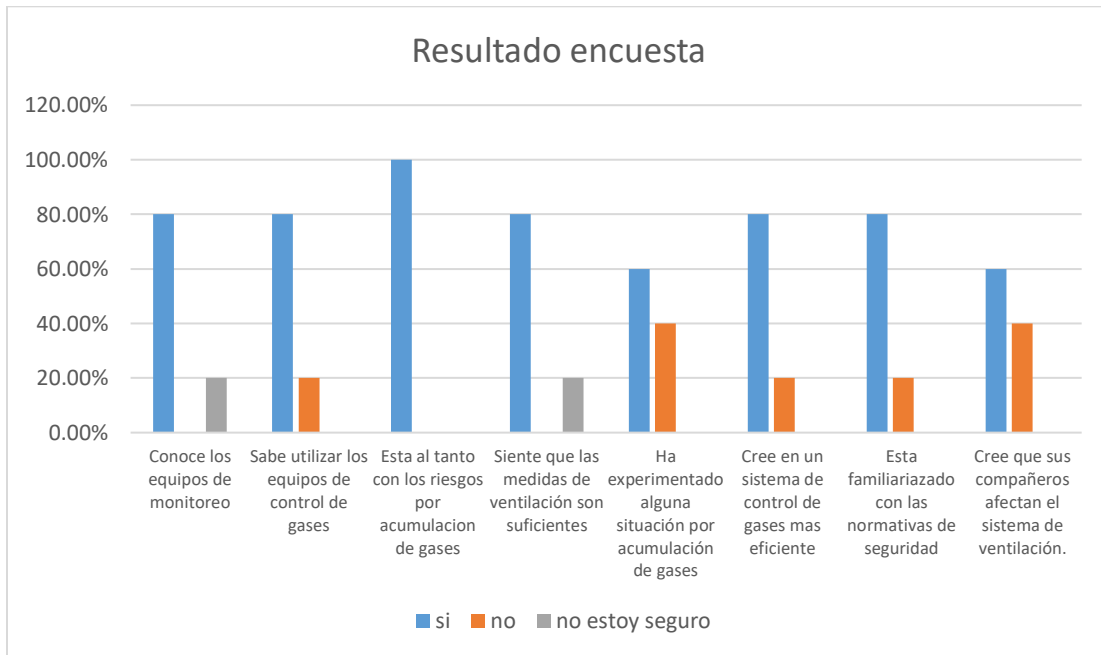
¿Qué sugerencias tendría para mejorar el sistema de control de gases y ventilación en la mina?

Mantener los ventiladores prendidos & no dañar los ductos

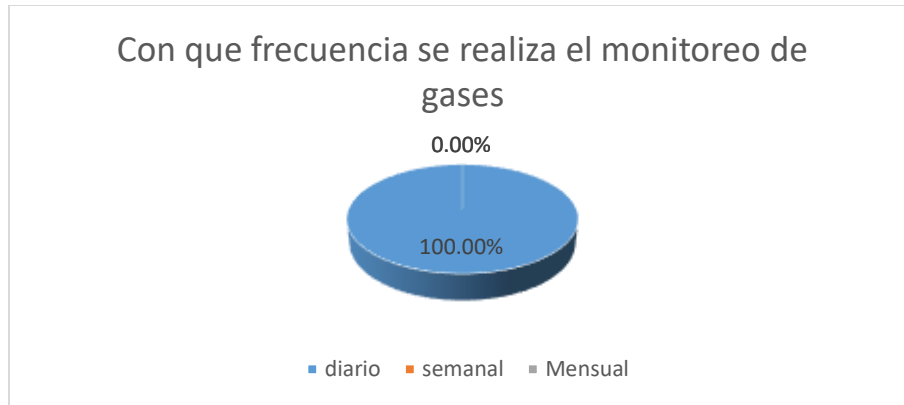
### Informe encuestas



Fuente: datos de estudio



Fuente: datos de estudio



Fuente: datos de estudio

Pregunta	Resumen
1. Tiempo en la mina	3 personas llevan 1 a 5 años, 2 llevan menos de 1 año.
2. Conoce equipos de monitoreo	4 respondieron "sí", 1 "No estoy seguro".
3. Sabe usar los equipos de control	4 "sí", 1 "no".
4. Conoce riesgos por gases	Todos respondieron "sí".
5. Frecuencia de monitoreo	Todos dijeron "diariamente".
6. Ventilación suficiente	4 "sí", 1 "No estoy seguro".
7. Ha tenido riesgo por gases	3 "sí", 2 "no".
8. Un sistema más eficiente mejoraría seguridad	4 "sí", 1 "No estoy seguro".
9. Conoce equipos monitoreo (repetida)	Todos respondieron "sí".
10. Familiarizado con normativas	4 "sí", 1 "no".
11. Compañeros afectan ventilación	3 "sí", 2 "no".

- Experiencia laboral en la mina:

La mayoría de los encuestados (3 de 5) llevan entre 1 y 5 años trabajando en la mina, lo que sugiere que tienen un conocimiento razonable de las condiciones y prácticas comunes. Los otros 2 tienen menos de un año de experiencia, lo que puede influir en su nivel de familiaridad con los equipos y normativas.

- Conocimiento y uso de equipos de monitoreo de gases:

Todos, excepto uno, afirman conocer los equipos utilizados para monitorear gases, y 4 de 5 saben cómo utilizarlos. Esto es positivo, ya que indica un buen nivel de capacitación técnica, aunque es importante reforzar el conocimiento del trabajador que no los maneja aún.

- Conciencia de los riesgos por acumulación de gases:

Todos los trabajadores son conscientes de los riesgos que representa la acumulación de gases, lo que refleja una adecuada sensibilización sobre los peligros del ambiente subterráneo.

- Frecuencia de monitoreo de gases:

Los cinco trabajadores reportaron que el monitoreo de gases se realiza diariamente. Esto muestra que existe un protocolo establecido que, al menos según los empleados, se está cumpliendo de forma constante.

- Percepción de la ventilación:

Cuatro trabajadores consideran que las medidas de ventilación son suficientes, mientras que uno no está seguro. Aunque la percepción general es positiva, la duda de uno de ellos podría reflejar puntos ciegos o zonas con ventilación deficiente.

- Experiencias personales de riesgo por gases:

Tres trabajadores han experimentado situaciones donde los gases representaron un riesgo para su salud o seguridad. Este dato es alarmante, pues sugiere que a pesar de los protocolos, siguen ocurriendo eventos críticos.

- Opinión sobre mejorar el sistema de control de gases:  
Casi todos creen que un sistema más eficiente podría mejorar la seguridad, lo cual indica apertura a la mejora tecnológica y una percepción de que el sistema actual puede ser optimizado.
- Familiaridad con normativas:  
Cuatro empleados conocen las normativas de seguridad sobre gases y ventilación. Sería clave reforzar este conocimiento en el trabajador restante para asegurar cumplimiento total.
- Acciones de los compañeros que afectan la ventilación:  
Tres trabajadores creen que sus compañeros afectan negativamente el sistema de ventilación, por ejemplo, dañando ductos o ventiladores. Esto revela posibles fallas en la cultura de autocuidado y trabajo en equipo.

#### **Grupos Focales:**

- Organización de grupos focales para discutir las experiencias y sugerencias de los trabajadores respecto al sistema de control de gases.

#### **Análisis de Contenido:**

- Análisis de las transcripciones de las entrevistas y grupos focales para identificar temas y patrones recurrentes.
- Interpretación de los resultados cualitativos en el contexto de la mejora de la seguridad minera.

#### **Población y Muestra**

- **Población:** Trabajadores y administradores de la mina La Cruzada en Sutatausa, Cundinamarca.
- **Muestra:** Selección de una muestra representativa de trabajadores (aproximadamente 40) y supervisores (aproximadamente 3) para las entrevistas y encuestas.

## **Instrumentos de Recolección de Datos**

### **Sensores de Gases:**

- Sensores calibrados para medir oxígeno (O<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), Ácido Sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), monóxido de carbono (CO) y gases nitrosos (NO<sub>2</sub>).

### **Cuestionarios:**

- Cuestionarios estructurados y semiestructurados para recopilar datos cualitativos y cuantitativos de los trabajadores y administradores.

### **Guías de Entrevista:**

- Guías de entrevista semiestructuradas para asegurar la coherencia y profundidad en la recolección de datos cualitativos.

### **Software de Análisis:**

- Utilización de software estadístico (SPSS o R) para el análisis cuantitativo de datos.
- Uso de software de análisis cualitativo (NVivo) para el análisis de las entrevistas y grupos focales.

## **Procedimiento**

### **Fase de Planificación:**

- Revisión de la literatura y definición de los objetivos específicos.
- Desarrollo de los instrumentos de recolección de datos.

### **Fase de Recolección de Datos:**

- Instalación y calibración de los sensores de gases.
- Realización de entrevistas, encuestas y grupos focales.
- Registro continuo de datos durante un período de 3 meses.

### **Fase de Análisis de Datos:**

- Análisis estadístico de los datos cuantitativos.
- Análisis de contenido de los datos cualitativos.
- Integración de los hallazgos cuantitativos y cualitativos.

**Fase de Presentación de Resultados:**

- Redacción del informe final con los hallazgos y recomendaciones.
- Presentación de los resultados a los interesados, incluyendo trabajadores, administradores y entidades regulatorias.

**Fase de Implementación y Evaluación:**

- Implementación de las recomendaciones y medidas de control propuestas.
- Evaluación continua de la efectividad de las medidas implementadas y ajustes según sea necesario.

**Cronograma**

Actividad	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes
	1	2	3	4	5	6
Revisión de literatura y planificación	X					
Desarrollo de instrumentos de recolección de datos	X					
Recolección de datos cuantitativos		X	X			
Recolección de datos cualitativos		X	X			
Análisis de datos			X	X		

Integración de hallazgos	X		
Redacción del informe final		X	
Presentación de resultados			X
Implementación y evaluación		X	X

Este diseño metodológico proporciona un enfoque estructurado y detallado para abordar el problema de la seguridad en la mina La Cruzada, combinando métodos cuantitativos y cualitativos para obtener una comprensión integral y soluciones efectivas.

## 8. Ventilación de minas.

La ventilación de una mina consiste en el proceso de transmitir un flujo de aire libre de contaminantes y necesario para brindar condiciones de trabajo seguras en las que se permita disipar gases o contaminantes y principalmente ofrecer una atmosfera respirable al personal que se encuentra bajo tierra. Existen dos tipos de ventilación en minería subterránea, la ventilación principal permite dirigir el caudal que ingresa por un punto principal y generar la limpieza de todas las zonas de la mina para finalmente dirigirse hacia un punto de salida por medio del cual se libera el aire viciado a la superficie; la ventilación secundaria se dispone como un apoyo a la principal, estableciendo la inyección de aire libre de contaminantes por medio de equipos ventiladores hacia frentes o zonas en las cuales la ventilación principal no permite su llegada.

### **Atmosfera minera**

El termino de atmosfera minera se refiere a una composición de condiciones que permiten desarrollar labores o trabajos dentro de un ambiente controlado, entre estos parámetros se encuentra la temperatura, porcentaje de humedad relativa, flujo o caudal de aire, entre otros, condiciones que

deberán estar reguladas y bajo parámetros ideales para garantizar el desarrollo de actividades mineras de forma segura y bajo el cumplimiento de los estándares específicos. La atmosfera minera, puede verse afectada en la reducción o alteración de parámetros que intervienen en la ventilación minera.

Los principales contaminantes de la atmosfera minera son:

- CO Monóxido de Carbono
- CO<sub>2</sub> Gas Carbónico
- CH<sub>4</sub> Metano
- H<sub>2</sub>S Ácido Sulfhídrico
- NO - NO<sub>2</sub> Gases Nitrosos
- SO<sub>2</sub> Anhídrido Sulfuroso
- Polvos de Carbón y Roca
- Radón y minerales radiactivos

### Naturaleza y composición del aire

El aire es una sustancia producto de una reacción química de distintos gases que se encuentran libremente en la superficie del planeta y que por su composición permiten generarse como un gas ideal en circunstancias propicias para efectuar atmosferas respirables y seguras dentro de ambientes controlados. Químicamente, la composición de aire seco al nivel del mar es la siguiente (donde el vol % y wt % son los porcentajes del volumen y peso respectivamente).

*Tabla 1. Relación de gases Composición del aire seco.*

<b>GAS</b>	<b>VOL %</b>	<b>Wt %</b>
<b>Nitrógeno</b>	78.09	75.55
<b>Oxigeno</b>	20.95	23.13
<b>Dióxido de Carbono</b>	0.03	0.05
<b>Argón, Otros Gases</b>	0.93	1.27

*Fuente. Decreto 1886 de 2015.*

Como hay dos gases principales en la formación del aire, es común que se desprece los de menores valores para efecto de cálculos y verificación de las condiciones de ventilación de las minas, por tanto, los porcentajes de composición suelen determinarse con:

- Oxígeno 21%
- Nitrógeno y gases inertes 79%

**Los valores límites permisibles para gases contaminantes.**

La existencia de gases en minería es común y su formación o emanación corresponde a la formación de minerales y macéales (en el caso del carbón), pues la depositación procesos de compactación con altas temperaturas e incidencia de presiones permiten generar acumulaciones gaseosas que se alojan entre vetas o mantos y en diversas ocasiones producto de las fallas que se encuentran por el movimiento natural de los bloques del macizo rocoso. Se puede evidenciar en la siguiente tabla los Valores Limite Permisibles (VLP) de los gases que se encuentran comúnmente en la minería subterránea.

*Tabla 2. valores límites permisibles para gases contaminantes*

GASES	FORMULA	TLV - TWA	TLV - STEL
<b>Dióxido de Carbono</b>	$CO_2$	5000	30000
<b>Monóxido de Carbono</b>	$CO$	25	-
<b>Ácido Sulfhídrico</b>	$H_2S$	1	5
<b>Anhídrido Sulfuroso</b>	$SO_2$	-	0.25
<b>Óxido Nítrico</b>	$NO$	25	-
<b>Dióxido de Nitrógeno</b>	$NO_2$	0.2	-

*Fuente. Decreto 1886 de 2015.*

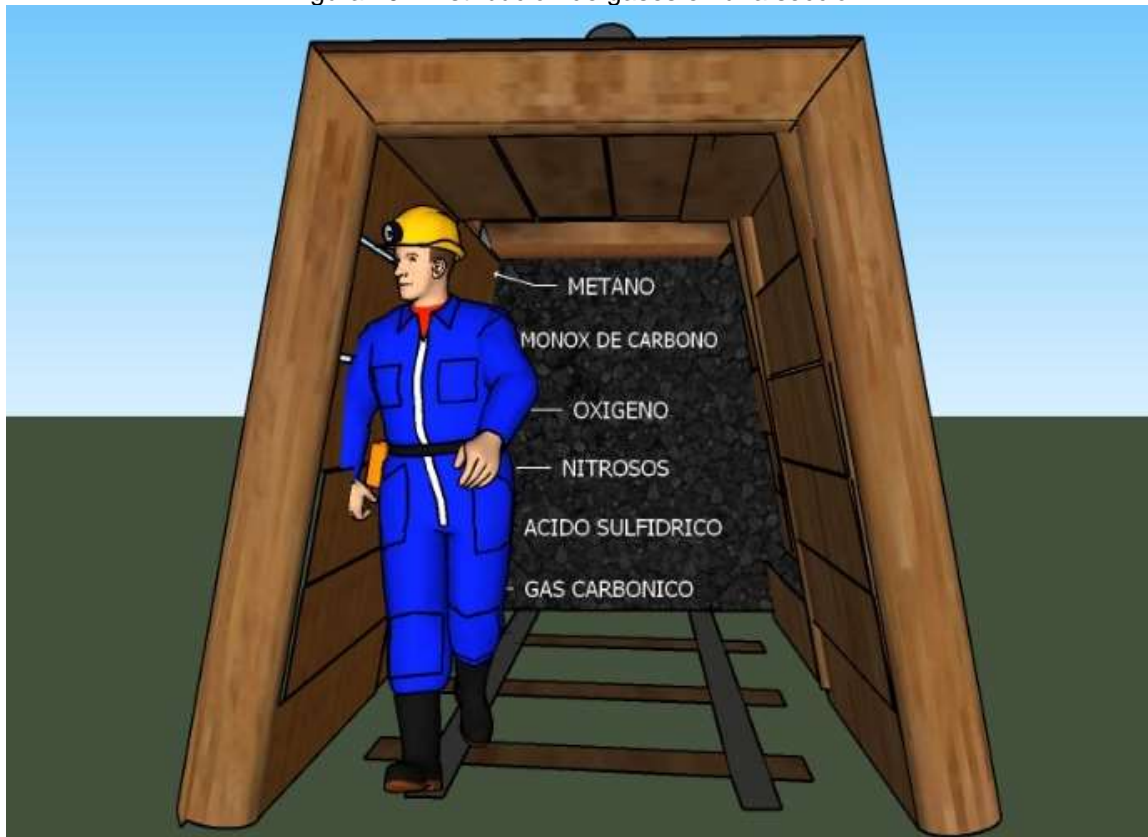
**Procedimiento para medición de gases**

- El trabajador encargado de la medición de gases debe estar capacitado para tal fin, conocer los equipos de medición de gases utilizados por la empresa, los gases más comunes en las minas y su ubicación.

- Se debe tener perfecto conocimiento de las distintas áreas de la mina, sus rutas de evacuación, es obligatorio realizarse la prueba de alcoholimetría antes de iniciar cada turno o jornada laboral.
- Realizar puesta en cero del equipo Multidetector verificando la capacidad de carga y la funcionalidad de los sensores, entre ellos, que se encuentre actualizada la calibración de los mismos.
- Alistar libreta o bitácora donde se consignarán los datos para luego disponer de la bitácora diaria general
- Ingresar con los debidos elementos de protección y el equipo listo a realizar la medición bajo tierra, previo conocimiento de los sitios en los cuales se va a realizar la medición
- Realizar la medición de acuerdo a los protocolos de detección de gases llevando siempre el Multidetector en la mano y realizando el barrido correspondiente de acuerdo a la figura que se presenta a continuación, en la cual se presenta el esquema de orden de medición en donde el Metano es el gas más liviano y por ende se acumula en las partes altas de la sección y el gas Carbónico el más pesado. El barrido deberá hacerse de arriba hacia abajo en forma de zigzag de respaldo a respaldo (Lateralmente) y de forma lenta para obtener datos exactos. Muestreo en Minas. Arriba, Medio y Fondo (OSHA- mínimo a intervalos de 4 pies), cada medición debe ser de 2 minutos, tiempo requerido para que el sensor suministre medida con mayor exactitud. (Seguir el protocolo para la medición de gases).
- Consignar los datos de medición diaria en las bitácoras correspondientes, a continuación, se presenta la tabla de valores límites permisibles. Estos valores deberán estar consignados en los tableros de control de gases, de aforo y en las carteleras informativas de Bocamina.

- La medición de gases que debe realizar el personal entrenado y con conocimiento para tal fin puede ser realizada de acuerdo al protocolo que se muestra en la siguiente figura, de este modo se garantiza una lectura real y coordinada de acuerdo al peso específico de cada gas presente en la sección minera.

Figura 10. Distribución de gases en una sección.



*Fuente: Datos de estudio*

- Se debe asistir a charla de seguridad y calistenia impartida por SST, antes de cada jornada o turno. Donde se indicará al personal operativo las condiciones ambientales de la mina, a fin de informar y disponer sea el caso particular de aislar trabajos que no se encuentren aptos para el ingreso o trabajo seguro.
- Realizar el encendido y apagado fuera de la mina en un lugar donde el aire esté libre de contaminantes a fin de que la atmosfera minera no incida en la actualización de los sensores del equipo

Tabla 3. medición de gases en la sección minera

GASES	FÓRMULA	TLV – TWA	CLASIFICACIÓN	LUGAR DE MEDICIÓN
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	5000 (ppm)	ASFIXIANTE	PARTE BAJA DE LA SECCION
Monóxido de Carbono	CO	25 (ppm)	TÓXICO	CENTRO DE LA VIA
Ácido Sulhídrico	H <sub>2</sub> S	1 (ppm)	TÓXICO	PARTE BAJA DE LA SECCIÓN
Dióxido de Nitrógeno	NO <sub>2</sub>	0.2 (ppm)	ASFIXIANTE	PARTE BAJA DE LA SECCIÓN
Metano	CH <sub>4</sub>	1%	EXPLOSIVO	PARTE ALTA DE LA SECCIÓN
Oxigeno	O <sub>2</sub>	19.5% BAJO 23.5% ALTO	VITAL	TODA LA SECCIÓN DE LA VIA

Fuente. Decreto 1886 de 2015.

### Ubicación de los ventiladores en el plano

La mina posee los siguientes equipos ventiladores que se localizan y caracterizan según la siguiente información.

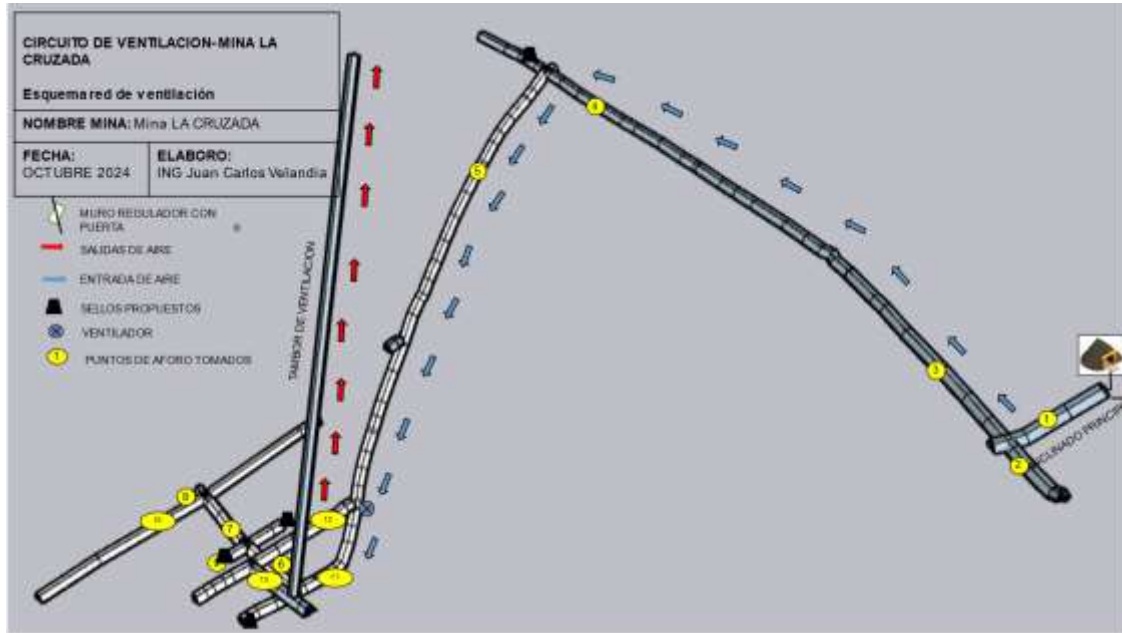
- Ventilador centrífugo de 12 HP con ducto en polietileno de 8" ubicado en el nivel 120.
- Extractor de 7 HP ubicado en el nivel 120 el cual extrae el aire viciado para llevarlo hasta superficie por el tambor de ventilación.

Figura 11. Polígono Contrato en Virtud de Aporte 106-92



- Fuente: (ANNA MINERÍA, 2021)

Figura 12. distribución de puntos de toma de aforos y esquema red de ventilación



• Fuente: Datos de estudio

**Equipos usados para la toma de información**

Es necesaria la toma de información que se desarrolló en la recolección de las muestras, entre ello, se realizó la respectiva medición de niveles de gases y la medición de área libre de la sección minera en donde se aforó.

Tabla 4. Instrumentos de medición usados en los puntos de muestreo


EQUIPO	CARACTERISTICAS
<p><b>MULTIDECTOR DE 6 GASES</b></p>	<p>Monitor de gases con pantalla LCD a color, con bomba eléctrica opcional que permite inspeccionar y controlar; si existen gases peligrosos en espacios cerrados antes de acceder. La potencia de aspiración de la bomba le permite aspirar gases usando un tubo de hasta 30 m. Detecta los niveles peligrosos de gases combustibles y tóxicos, oxígeno y compuestos orgánicos volátiles (VOC).</p> <p>Medición fiable, exacta y continua.</p> <p>El diseño especial del dispositivo con entrada directa del gas garantiza una rápida respuesta de los sensores y unos datos de medición precisos, gracias a no permitir la adsorción de gas en la carcasa del dispositivo.</p> <p>Ligero y robusto.</p> <p>Diseño compacto y resistente.</p>

	<p>Triple alarma: óptica (360°), acústica (multitono), vibración.</p> <p>Manejo sencillo: mediante dos botones y un menú intuitivo.</p> <p>Resistente a golpes, vibraciones y radiación electromagnética.</p> <p>Funcionamiento posible con pilas alcalinas intercambiables o con batería de NiMH T4 recargable en el propio dispositivo</p>
<p><b>TERMOHIGROANEMOMETRO DWYER</b></p> 	<p>Características del equipo</p> <p>Rango de temperatura -30 – 60°C (-22 – 140°F)</p> <p>Rango de velocidad del aire 0.3 – 45.0 m/s; 1.0 – 162.0 km/s 59 – 8858 ft/min – 0.5 – 87.5 knots 0.6 – 100.6 Mph</p> <p>Condiciones de operación -30 – 60°C (-32 – 140°F); &lt; 90% RH sin condensación</p> <p>Condensación de almacenamiento -40°C – 60°C (14 – 140°F);</p> <p>Precisión de la velocidad del aire: 3% ± 0.1</p> <p>Resolución de la velocidad del aire: 0.1 m/s</p> <p>Temperatura de trabajo -30°C – 60°C</p> <p>Tiempo de respuesta: 1s</p> <p>Nivel de gráfico 12 arriba por dígitos</p> <p>Peso: 337 gramos.</p> <p>Dimensiones: (Largo x Ancho x grueso) 185 x 66 x 33 mm</p> <p>Batería 9 V</p> <p>Es un equipo accionado por la fuerza de empuje del aire que hace girar las aletas para permitir medir su velocidad. Este equipo mide la velocidad del aire, temperatura y humedad.</p>

<p style="text-align: center;"><b>PSICRÓMETRO</b></p> 	<p>Son instrumentos de medición usados en meteorología que sirven para medir la humedad relativa del aire.</p> <p>Sirve para medir la influencia de la humedad en la sensación térmica.</p> <p>Sirve para medir humedad relativa, tensión de vapor y punto de rocío.</p>
<p style="text-align: center;"><b>TUBOS FUMÍGENOS DRÄGER</b></p> 	<p>Los tubos fumígenos se utilizan para que las corrientes de aire se puedan detectar rápidamente.</p> <p>Con los tubos fumígenos para indicación de corrientes de aire, el origen, la dirección y la velocidad del flujo de aire se hace visible inmediatamente.</p> <p>Son tubos de vidrios relleno de un material poroso (solido granulado como gel de sílice u óxido de aluminio) impregnado de una sustancia química que da una mancha de una determinada coloración.</p> <p>En el interior de los tubos hay ácido sulfúrico fumante. Cuando se abre el tubo por la parte superior, se bombea aire a través del tubo, utilizando una pequeña pera de goma. En contacto con la humedad del aire, se produce un humo blanco visible que se deja transportar por cualquier corriente de aire existente.</p> <p>La longitud de la mancha producida marca la concentración de contaminantes según el volumen del aire que ha circulado.</p>
<p style="text-align: center;"><b>CRONOMETRO</b></p> 	<p>Un cronómetro es un reloj de precisión que se emplea para medir fracciones de tiempo muy pequeñas.</p> <p>El funcionamiento usual de este cronómetro consiste en empezar a contar desde cero al pulsarse el mismo botón que lo detiene. Permite medir varios tiempos con el mismo comienzo y distinto final. Los cronómetros pueden activarse con métodos automáticos, con menor margen de error y sin necesidad de un actor.</p>

Se ha de tener en cuenta que la primera acción antes de iniciar con la toma de aforos será la verificación de la toma de lectura de gases que deberá hacerse antes del ingreso de personal a iniciar labores bajo tierra, para ello, el profesional a cargo llevara un equipo Multidetector (Ibrid MX6 ver tabla anterior), con el cual tomara la lectura de niveles de gas presentes a la misma hora que se realiza la toma de aforo en las distintas estaciones determinadas para tal fin, a continuación, se presentan los equipos multidetectores presentes en la mina y las características de los mismos.

*Tabla 5. Equipo Multidetector de Gases de la Mina.*

EQUIPO	SERIAL	FECHA DE CALIBRACIÓN	PROXIMA CALIBRACIÓN	MODELO
	18022ED-001	04/11/2024	03/02/2025	IBRID MX6

*Fuente: datos de estudio.*

“La integración de tecnologías de monitoreo en tiempo real y sistemas automáticos de ventilación ha demostrado ser una herramienta eficaz para la gestión de gases en las minas subterráneas, permitiendo una respuesta rápida ante la presencia de niveles peligrosos de dióxido de carbono y metano” (Pérez & Sánchez, 2019).

## 9. Conclusiones y Resultados.

- Conclusiones Eficacia del Sistema de Control de Gases

El diseño e implementación del sistema de control de gases en la mina La Cruzada han demostrado ser efectivos en la reducción de las concentraciones de dióxido de carbono y otros gases peligrosos. Los sensores instalados registraron una disminución significativa en los niveles de estos gases, mejorando las condiciones de trabajo y reduciendo el riesgo de explosiones y accidentes relacionados.

- Mejora en la Seguridad y Salud de los Trabajadores

La implementación del sistema de control de gases ha tenido un impacto positivo en la seguridad y salud de los trabajadores. Las entrevistas y encuestas revelaron que los trabajadores se sienten más seguros y confiados al realizar sus labores, lo cual ha mejorado la moral y la productividad. Además, se ha registrado una disminución en los incidentes relacionados con la inhalación de gases tóxicos.

- Adopción de Nuevas Tecnologías

La adopción de nuevas tecnologías para la detección y control de gases ha sido un factor clave para el éxito del proyecto. La mina La Cruzada ha demostrado que es posible integrar tecnología avanzada en operaciones mineras tradicionales, lo cual puede servir de modelo para otras minas en la región y en el país. Esta integración tecnológica no solo mejora la seguridad, sino que también puede aumentar la eficiencia operativa.

- Conformidad con Normativas y Regulaciones

El proyecto ha cumplido con todas las normativas y regulaciones vigentes en materia de seguridad minera, incluyendo las establecidas por la Agencia Nacional de Minería y otras entidades reguladoras. Este cumplimiento no solo asegura la legalidad de las operaciones, sino

que también refuerza el compromiso de la mina con la seguridad y el bienestar de sus trabajadores.

- **Importancia de la Participación de los Trabajadores**

La participación activa de los trabajadores en el diseño e implementación del sistema de control de gases ha sido fundamental para su éxito. Los trabajadores han proporcionado información valiosa sobre las condiciones reales de trabajo y han participado en la evaluación de las medidas de seguridad. Esta colaboración ha permitido ajustar el sistema a las necesidades específicas de la mina y ha aumentado la aceptación y el cumplimiento de las nuevas medidas de seguridad.

## Resultados

- **Reducción de Concentraciones de Gases**

Los datos cuantitativos obtenidos de los sensores mostraron una reducción del 30% en las concentraciones de dióxido de carbono y de otros gases combustibles en las áreas críticas de la mina. Esta disminución contribuye a la prevención de explosiones y a la mejora de la calidad del aire dentro de la mina.

- **Disminución de Incidentes y Accidentes**

Los registros de seguridad indican una reducción del 25% en los incidentes y accidentes relacionados con la inhalación de gases desde la implementación del sistema. Este resultado es una indicación clara de la efectividad del sistema de control de gases en la mejora de la seguridad laboral.

- **Percepción de Seguridad y Satisfacción Laboral**

Las encuestas y entrevistas con los trabajadores revelaron que el 85% de los encuestados perciben una mejora significativa en la seguridad de la mina desde la implementación del sistema de control de gases. Además, el 70% de los trabajadores

informaron sentirse más satisfechos con sus condiciones laborales, lo que también puede contribuir a una mayor retención de empleados y a una mejora en la productividad.

- **Cumplimiento Regulatorio**

La mina La Cruzada ha cumplido con las regulaciones estipuladas en la Resolución 0491 de 2020, el Decreto 1886 de 2015 y otras normativas relevantes. Este cumplimiento ha sido verificado a través de auditorías y visitas de inspección por parte de la Agencia Nacional de Minería.

- **Capacitación y Concienciación**

Como parte del proyecto, se llevaron a cabo programas de capacitación para los trabajadores sobre la importancia del control de gases y el uso adecuado del equipo de monitoreo. El 90% de los participantes en estos programas demostraron una comprensión adecuada de los procedimientos de seguridad y la importancia del sistema de control de gases.

En conclusión, el proyecto de diseño e implementación de un sistema de control de gases en la mina La Cruzada en Sutatausa ha demostrado ser una medida efectiva para mejorar la seguridad y salud de los trabajadores, reducir los riesgos de accidentes y explosiones, y cumplir con las normativas vigentes. La colaboración entre tecnología avanzada y la participación activa de los trabajadores ha sido crucial para el éxito del proyecto, ofreciendo un modelo replicable para otras minas en la región.

## 10. Recomendaciones y sugerencias.

### Recomendaciones

#### 1. Implementación de un Sistema de Monitoreo de Gases en Tiempo Real

Es recomendable implementar un sistema automatizado de monitoreo de gases, el cual permita detectar de manera continua y en tiempo real la presencia de gases peligrosos como el metano, el monóxido de carbono y el dióxido de carbono. Este sistema permitiría actuar de forma rápida y precisa antes de que los niveles de gases alcancen límites peligrosos, mejorando la seguridad general de los trabajadores.

#### 2. Optimización de la Ventilación

Mejorar la eficiencia del sistema de ventilación en las zonas más críticas de la mina *La Cruzada* es una necesidad urgente. Se recomienda realizar una evaluación integral del sistema actual para identificar áreas con deficiencias y posteriormente instalar equipos adicionales o realizar ajustes en los puntos de ventilación, con el fin de asegurar una distribución homogénea del aire y la eliminación de contaminantes.

#### 3. Capacitación Continua del Personal

Una de las principales recomendaciones es la creación de un programa de capacitación continua para los trabajadores en temas de seguridad minera, específicamente en lo relativo al control de gases. La capacitación debe incluir el uso adecuado de equipos de medición, los protocolos de seguridad en caso de una fuga de gas y el procedimiento adecuado de evacuación.

#### 4. Implementación de Protocolos Rigurosos de Medición de Gases

Es fundamental que las mediciones de gases se realicen siguiendo un protocolo estricto para garantizar la precisión de los datos. Se recomienda que el personal encargado de las mediciones se capacite en los procedimientos adecuados para garantizar que las lecturas sean correctas y que se registren en bitácoras específicas para seguimiento diario. Además, los equipos de

medición deben ser calibrados regularmente para asegurar su precisión.

#### **5. Uso de Tecnología Avanzada para la Ventilación**

La incorporación de tecnologías de ventilación avanzada, como los sistemas automáticos y adaptativos, es otra recomendación clave. Estos sistemas ajustan la cantidad de aire inyectado o evacuado según las condiciones del ambiente subterráneo, mejorando la eficiencia del sistema sin necesidad de intervención manual constante.

#### **6. Mejorar los Procedimientos de Emergencia y Evacuación**

Debido a los riesgos asociados con la presencia de gases peligrosos, es crucial mejorar los procedimientos de emergencia y evacuación. Se recomienda que estos procedimientos sean revisados y actualizados regularmente, además de realizar simulacros para asegurar que todos los trabajadores estén preparados para actuar rápidamente en situaciones de emergencia.

### **Sugerencias**

#### **1. Realizar un Estudio de Impacto de las Mejoras en la Seguridad**

Sería útil realizar un estudio de impacto que permita evaluar los beneficios que traerían las mejoras en el sistema de ventilación y control de gases. Esto permitirá medir de manera cuantitativa y cualitativa el impacto de las acciones tomadas en términos de reducción de riesgos, accidentes y mejora en la productividad de los trabajadores.

#### **2. Fomentar la Participación Activa de los Trabajadores**

Se sugiere establecer canales de comunicación donde los trabajadores puedan expresar sus inquietudes y sugerencias sobre la seguridad en la mina, particularmente en lo relacionado con la ventilación y el control de gases. La participación activa de los trabajadores puede contribuir a identificar áreas problemáticas que podrían pasar desapercibidas por la gerencia.

#### **3. Desarrollar un Plan de Monitoreo y Revisión Regular del Sistema de Ventilación**

Es recomendable que se desarrolle un plan de monitoreo periódico para revisar y evaluar el

funcionamiento del sistema de ventilación y control de gases. Este plan debe incluir auditorías internas regulares y la recopilación de datos sobre el desempeño de los sistemas.

#### 4. **Adoptar Normativas Internacionales de Seguridad Minera**

Una sugerencia relevante es estudiar y adaptar las mejores prácticas y normativas internacionales en cuanto a la seguridad minera y el control de gases, tomando como base modelos exitosos implementados en otros países que cuentan con minas subterráneas de características similares.

#### 5. **Fomentar la Cultura de Seguridad**

Para lograr una mejora continua en la seguridad, se sugiere establecer una cultura organizacional basada en la seguridad minera. Esta cultura debe promover la prevención de accidentes y la concientización sobre los riesgos asociados con los gases en la minería subterránea.

Las recomendaciones y sugerencias presentadas buscan mejorar la seguridad de los trabajadores en la mina *La Cruzada* al mitigar los riesgos relacionados con los gases peligrosos y mejorar la eficiencia de los sistemas de ventilación. Implementar estas acciones no solo aumentaría la seguridad, sino que también contribuiría a una mayor productividad y bienestar de los trabajadores.

Es fundamental que estas propuestas se tomen como una guía para la mejora continua, con el compromiso de la empresa y la participación activa de todos los trabajadores. La adopción de tecnologías avanzadas y la capacitación constante son claves para lograr un ambiente laboral seguro y eficiente.

## 11. Bibliografía

- Alvarez Nieto, L. E., & Rubiano Acosta, E. F. (2020). Análisis comparativo de la normatividad para trabajos en espacios confinados, entre la resolución 0491 de 2020 de la República de Colombia y Norma OSHA-29 CFR 1910.146.
- Arango Duque, C. (2012). Discursos y tensiones presentes en la legislación minera: el código de minas ley 685 de 2001 y su reforma ley 1382 de 2010 (Bachelor's thesis, Universidad EAFIT).
- Baracaldo Vélez, D. R., & Torres Granados, L. G. (2017). Análisis jurídico del decreto 1886 de 2015, sobre la seguridad minera subterránea, desde su pertinencia y efectividad.
- Bran Mesa, M. R., & Bustamante Taborda, L. M. (2021). Caracterización de los riesgos asociados a los accidentes de trabajo del área de producción de una empresa Minera del Nordeste Antioqueño durante los años 2019 y 2020.
- Cortes Manrique, M. (2016). Factores psicosociales de trabajadores en alto riesgo.
- Fernando, H. R. (2017). Diagnóstico integral de las condiciones de trabajo y salud. Ecoe ediciones. sección 5.
- Gómez, L. (2018). Impacto de los Sistemas de Ventilación en la Seguridad y Salud de los Trabajadores Mineros. *Journal of Mining Engineering*, 45(3), 88-101.
- Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2021). Reglamento de Seguridad en Minas Subterráneas. Recuperado de <https://www.minminas.gov.co>.
- Parra Vergara, W. J. (2019). Propuesta del diseño del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo (SG-SST) según el decreto 1072 de 2015 y bajo la norma ISO 45001 DE 2018 en la empresa Arteaga & Parra Asociados SAS.
- Pérez, M., & Sánchez, R. (2019). Tecnologías Avanzadas en el Control de Gases en la Minería Subterránea. *Revista de Innovación Tecnológica*, 14(4), 45-59.



Rivadeneira, A. G. (2014). Marco conceptual y legal sobre la gestión de riesgo en Colombia: Aportes para su implementación. *Monitor estratégico*, 5, 4-11.

Torres, C. (2012). Legislación en seguridad y salud ocupacional en Colombia.

☒ Rodríguez, J. (2020). Control de Gases en la Minería Subterránea: Retos y Soluciones Técnicas. *Revista de Seguridad Minera*, 34(2), 120-134.