



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA**



**LICENCIATURA EN INGENIERÍA  
MINERO-METALURGICA**

**TESIS**

**INVESTIGACIÓN LOGÍSTICA DE ESTACIONES DE SISTEMA DE  
MONITOREO DE GASES EN MINA “LAS CUEVAS”**

Para obtener el título de

**Licenciado en Ingeniería Minero-Metalúrgica**

Presenta

**BRYAN ANTONIO RODRÍGUEZ  
HERNÁNDEZ**

Director

Ing. Roberto Carlos Gallegos Cruz

Codirector

Dr. Martín Reyes Pérez

**Comité tutorial**

Dr. Miguel Pérez Labra.  
Dr. Francisco Raúl Barrientos Hernández.  
Dr. Gustavo Urbano Reyes



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo  
 Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería  
 School of Engineering and Basic Sciences

Mineral de la Reforma, Hgo., a 29 de mayo de 2025

Número de control: ICBI-D/863/2025

Asunto: Autorización de impresión.

**MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO  
 DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH**

Con Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V, Artículo 51 Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio, le comunico que el Jurado asignado al egresado de la Licenciatura en Ingeniería Minero Metalúrgica **Bryan Antonio Rodríguez Hernández**, quien presenta el trabajo de titulación **"INVESTIGACIÓN LOGÍSTICA DE ESTACIONES DE SISTEMA DE MONITOREO DE GASES EN MINA "LAS CUEVAS"**, ha decidido, después de revisar fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; dicho trabajo en la reunión de sinodales, **autorizar la impresión del mismo**, una vez realizadas las correcciones acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

**Presidente:** Dr. Miguel Pérez Labra

**Secretario:** Dr. Gustavo Urbano Reyes

**Vocal:** Dr. Martín Reyes Pérez

**Suplente:** Ing. Roberto Carlos Gallegos Cruz

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente  
 "Amor, Orden y Progreso"

Mtro. Gabriel Vergara Rodríguez  
 Director del ICBI



GVR/YCC

Ciudad del Conocimiento. Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México C.P. 42184  
 Teléfono: 771 71 720 00 Ext. 40001  
 direccion\_icbi@uaeh.edu.mx, vergara@uaeh.edu.mx

"Amor, Orden y Progreso"



uaeh.edu.mx

## **Agradecimientos**

A mis padres: Araceli Rosario Hernández Cruz y Ricardo Rodríguez Rivera, por su amor, cariño, paciencia y esfuerzo. Desde niño he visto el esfuerzo que han realizado por convertir a sus hijos en hombres de bien y capaces de valerse en la vida.

A mis abuelos y hermanos y a mi familia por su apoyo y cariño incondicional, por siempre confiar en mi.

Al ingeniero Roberto Carlos Gallegos Cruz por aceptar ser mi director de tesis, por su tiempo, sus comentarios, su confianza; para poder elaborar un proyecto de calidad.

A la compañía Koura global, por permitirme realizar el presente trabajo, gracias por las facilidades que me brindaron durante mi estancia y por la sincera amistad de los ingenieros y personas que de alguna forma me ayudaron para llevar a buen término mi proyecto de tesis.

A mis compañeros y amigos de universidad por convertirse en mi familia, por todo lo que vivimos y compartimos en esta etapa de nuestras vidas.

A todas mis mascotas: Ruffo, Max, Maya, Kika y en especial a Winter, por ser mis fieles compañeros, por desvelarse junto a mi en las noches de estudio y especialmente por no dejarme solo.

A mis profesores por compartir sus conocimientos y fomentar su excelencia académica.

A la Universidad Autónoma del estado de Hidalgo y al Área Académica de Ciencias de la Tierra, por temprar mi corazón en el camino de la rectitud y complementar mis bases éticas y morales para ser un excelente profesionista al servicio de mi país. De cerebro metalúrgico y corazón minero.

## Índice general

INTRODUCCIÓN.....	IX
RESUMEN .....	XI
<b>CAPÍTULO 1.- METODOLOGÍA DEL PROYECTO. ....</b>	<b>1</b>
3.1    HIPÓTESIS.....	1
1.2.- JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3.- OBJETIVOS .....	3
1.3.1- <i>Objetivo general</i> .....	3
1.3.2- <i>Objetivos específicos</i> .....	3
1.4.- ANTECEDENTES.....	4
1.5.- METODOLOGÍA DEL PROYECTO .....	6
1.6.- UBICACIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO.....	9
<b>CAPÍTULO 2.- MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
2.1.- <i>Gases de mina</i> .....	11
2.1.1 - <i>Leyes de los gases</i> .....	12
2.1.3.- <i>Propiedades de los gases</i> .....	16
2.1.4- <i>Normatividad aplicable al monitoreo de gases</i> .....	19
2.2.- GEOLOGÍA DEL PROYECTO.....	22
2.2.1 - <i>Geología Regional</i> .....	22
2.2.2 - <i>Geología local</i> .....	23
2.2.3 - <i>Columna litológica del proyecto</i> .....	25
2.3 .- MINADO DEL PROYECTO.....	26
2.3.2 - <i>Planeación a corto plazo</i> .....	28
<b>CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL PROYECTO. ....</b>	<b>29</b>
3.1 .- PROCESAMIENTO DE DATOS.....	29
3.1.1 - <i>Elaboración e interpretación de gráficas</i> .....	29
3.2. RESULTADO DEL ANÁLISIS .....	63
<b>CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>
4.1.- PROPUESTA DE POSICIONAMIENTO PARA EL SISTEMA DE MONITOREO FIJO DE GASES.....	69
4.2.- UBICACIONES PROPUESTAS.....	70
4.2.3.- <i>Propuesta de Implementación de Sistemas de Monitoreo Fijo de Gases en la Mina “Las Cuevas”</i> .....	79
<b>CAPÍTULO 5- CONCLUSIÓN .....</b>	<b>82</b>
<b>CAPÍTULO 6.- BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>87</b>

## Índice de tablas

TABLA 1PROGRAMACIÓN DE LAS ACTIVIDADES A DESARROLLAR DURANTE EL PROYECTO.....	7
TABLA 2.- COLUMNA LITOGRAFICA. (ROJO AGUILAR, 2004, PÁG. 14.).....	25
TABLA 3.-MONITOREO DE GASES LUMBRERA L180. REALIZADO EN EXCEL 2019. ....	31
TABLA 4.-MONITOREO DE GASES LUMBRERA L180. REALIZADO EN EXCEL 2019. ....	32
TABLA 5.-MONITOREO DE GASES CRUCERO N°3-L180. REALIZADO EN EXCEL 2019. ....	34
TABLA 6.-MONITOREO DE GASES, EN EL REGRESO L200. REALIZADO EN EXCEL 2019. ....	36
TABLA 7.-MONITOREO DE GASES, EN LA ENTRADA L200. REALIZADO EN EXCEL 2019.....	38
TABLA 8.- MONITOREO DE GASES, RAMPA L220 A L200. REALIZADO EN EXCEL 2019.....	40
TABLA 9.- MONITOREO DE GASES, GALERÍA L220. REALIZADO EN EXCEL 2019 .....	42
TABLA 10.-MONITOREO DE GASES, GALERÍA L340. REALIZADO EN EXCEL 2019 .....	44
TABLA 11.- MONITOREO DE GASES, CRUCERO N°5 L340. REALIZADO EN EXCEL 2019. ....	46
TABLA 12.-MONITOREO DE GASES, GALERÍA L360. REALIZADO EN EXCEL 2019 .....	48
TABLA 13.-MONITOREO DE GASES, CRUCERO N°-1, L360. REALIZADO EN EXCEL 2019.....	50
TABLA 14.-.-MONITOREO DE GASES, CRUCERO N°-1, L360. REALIZADO EN EXCEL 2019. ....	52
TABLA 15.-MONITOREO DE GASES, GALERÍA SE, L380. REALIZADO EN EXCEL 2019.....	54
TABLA 16.-MONITOREO DE GASES, CRUCERO N°14, L380. REALIZADO EN EXCEL 2019. ....	56
TABLA 17.- MONITOREO DE GASES, CRUCERO N°23, L380. REALIZADO EN EXCEL 2019 .....	58
TABLA 18.- MONITOREO DE GASES, CRUCERO N°17, L380. REALIZADO EN EXCEL 2019 .....	60
TABLA 19.- MONITOREO DE GASES, GALERÍA NE, L400. REALIZADO EN EXCEL 2019 .....	62
TABLA 20.- TABLA COMPARATIVA DE LOS TIPOS DE COMUNICACIÓN DE RED .....	67
TABLA 21.- TABLA COMPARATIVA DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE MONITOREO .....	68
TABLA 22.-COMPARATIVA: DRÄGER POLYTRON 8100 EC VS CONSPEC OPTIO-G .....	80

## Índice de imágenes

IMAGEN 1.- UBICACIÓN DE LA SALITRERA, S.L.P.NOTA. REALIZADO POR SALDÍVAR. 4 DE DICIEMBRE DE 2022. UBICACIÓN DE “LA SALITRERA” VÍA MODIFICACIÓN DE GOOGLE MAPS.....	10
IMAGEN 2.-PLANEACIÓN DE DESARROLLO PARA EL CUERPO G. REALIZADA POR EL DEPARTAMENTO DE PLANEACIÓN DE KOURA .	28
IMAGEN 3.-PLANACIÓN DE DESARROLLO PARA EL CUERPO H. REALIZADA POR EL DEPARTAMENTO DE PLANEACIÓN DE KOURA.	29
IMAGEN 4.- ANÁLISIS GRÁFICO, LUMBRERA H, L180. REALIZADO EN EXCEL 2019.....	30
IMAGEN 5.- ANÁLISIS GRÁFICO, CRUCERO N°2, L180. REALIZADO EN EXCEL 2019. ....	32
IMAGEN 6.- ANÁLISIS GRÁFICO, CRUCERO N°3, L180. REALIZADO EN EXCEL 2019. ....	34
IMAGEN 7.- ANÁLISIS GRÁFICO, EN EL REGRESO L200. REALIZADO EN EXCEL 2019. ....	36
IMAGEN 8.- ANÁLISIS GRÁFICO, EN LA ENTRADA L200. REALIZADO EN EXCEL 2019. ....	38
IMAGEN 9.- ANÁLISIS GRÁFICO, RAMPA L220 A L200. REALIZADO EN EXCEL 2019.....	40
IMAGEN 10.-ANÁLISIS GRÁFICO, GALERÍA L220. REALIZADO EN EXCEL 2019. ....	42
IMAGEN 11.- ANÁLISIS GRÁFICO, GALERÍA L340. REALIZADO EN EXCEL 2019. ....	44
IMAGEN 12.- ANÁLISIS GRÁFICO, CRUCERO N°5 L340. REALIZADO EN EXCEL 2019. ....	46
IMAGEN 13.- ANÁLISIS GRÁFICO, GALERÍA L360.REALIZADO EN EXCEL 2019. ....	48
IMAGEN 14.- ANÁLISIS GRÁFICO, CRUCERO N°-1, L360. REALIZADO EN EXCEL 2019.....	50
IMAGEN 15.-ANÁLISIS GRÁFICO, CRUCERO N°-4, L360. REALIZADO EN EXCEL 2019.....	52
IMAGEN 16.- ANÁLISIS GRÁFICO, GALERÍA SE L380. REALIZADO EN EXCEL 2019.....	54
IMAGEN 17.- ANÁLISIS GRÁFICO, CRUCERO N°14, L380. REALIZADO EN EXCEL 2019. ....	56
IMAGEN 18.- ANÁLISIS GRÁFICO, CRUCERO N°23, L380. REALIZADO EN EXCEL 2019. ....	58
IMAGEN 19.- ANÁLISIS GRÁFICO, CRUCERO N°17, L380. REALIZADO EN EXCEL 2019 .....	60
IMAGEN 20.- ANÁLISIS GRÁFICO, GALERÍA NE, L400. REALIZADO EN EXCEL 2019 .....	62

IMAGEN 21.- UBICACIONES DEL SISTEMA DE MONITOREO PARA L180. REALIZADO EN AUTOCAD	
2021.....	71
IMAGEN 22.- UBICACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO PARA L200. REALIZADO EN AUTOCAD	
2021.....	72
IMAGEN 23.- UBICACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO DE L220. REALIZADO EN AUTOCAD 2021	
.....	73
IMAGEN 24.- UBICACIÓN PARA EL SISTEMA DE MONITOREO DE L340. REALIZADO EN AUTOCAD	
2021.....	74
IMAGEN 25.-UBICACIÓN PARA EL SISTEMA DE MONITOREO L360. REALIZADO EN AUTOCAD	
2021.....	75
IMAGEN 26.-UBICACIÓN PARA EL SISTEMA DE MONITOREO DE L380. REALIZADO EN AUTOCAD	
2021.....	77
IMAGEN 27.-.- UBICACIÓN PARA EL SISTEMA DE MONITOREO DE L400. REALIZADO EN AUTOCAD	
2021.....	78
IMAGEN 28.- UBICACIÓN SOBRE LA SECCIÓN DE LA OBRA PARA EL SISTEMA DE MONITOREO.	
NOTA: ALTURA RECOMENDADA PARA EL POSICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE MONITOREO	
DE GASES. DISEÑADO EN AUTOCAD 2021.....	79

## **Anexos**

ANEXO 1.- PLANO DE VENTILACIÓN Y SISTEMA DE MONITOREO DE GASES EN L180. REALIZADO POR R. GALLEGOS, 2024. MODIFICADO EN AUTOCAD 2021 .....	88
ANEXO 2 PLANO DE VENTILACIÓN Y SISTEMA DE MONITOREO DE GASES EN L200. REALIZADO POR R. GALLEGOS, 2024. MODIFICADO EN AUTOCAD 2021 .....	89
ANEXO 3.-PLANO DE VENTILACIÓN Y SISTEMA DE MONITOREO DE GASES EN L220. REALIZADO POR R. GALLEGOS, 2024. MODIFICADO EN AUTOCAD 2021 .....	90
ANEXO 4.-PLANO DE VENTILACIÓN Y SISTEMA DE MONITOREO DE GASES EN L340. REALIZADO POR R. GALLEGOS, 2024. MODIFICADO EN AUTOCAD 2021 .....	91
ANEXO 5.-PLANO DE VENTILACIÓN Y SISTEMA DE MONITOREO DE GASES EN L360. REALIZADO POR R. GALLEGOS, 2024. MODIFICADO EN AUTOCAD 2021. ....	92
ANEXO 6.-PLANO DE VENTILACIÓN Y SISTEMA DE MONITOREO DE GASES EN L380. REALIZADO POR R. GALLEGOS, 2024. MODIFICADO EN AUTOCAD 2021 .....	93
ANEXO 7.-PLANO DE VENTILACIÓN Y SISTEMA DE MONITOREO DE GASES EN L400. REALIZADO POR R. GALLEGOS, 2024. MODIFICADO EN AUTOCAD 2021 .....	94

## **Introducción**

En el ámbito de la industria minera, la seguridad ocupacional es de suma importancia para garantizar la integridad física y la salud de los trabajadores. Uno de los principales riesgos a los que se enfrentan en las minas subterráneas es la presencia de gases tóxicos o inflamables que pueden acumularse en el ambiente laboral y representar una amenaza seria para su bienestar. En este contexto, la elaboración de estadísticas del monitoreo de gases en el interior de la mina y la propuesta de puntos de monitoreo de estaciones fijas se convierten en herramientas fundamentales para prevenir accidentes y proteger la seguridad de los mismos.

Este proyecto se centra en la toma de lecturas de concentraciones de gases tanto en las rampas principales como en las secundarias de las obras mineras, utilizando equipos especializados de medición. Estas lecturas se utilizarán como base para la elaboración de estadísticas detalladas que permitan identificar patrones de concentración de gases y áreas de riesgo dentro de la mina. Además, se propondrá una logística para la instalación de puntos de mediciones fijos, equipados con sensores de gases, con el objetivo de establecer un sistema de monitoreo continuo y en tiempo real.

Para facilitar la implementación de estas propuestas, se plasmó en AutoCAD como una representación visual de la distribución de los puntos de monitoreo de gases dentro de la mina, teniendo en cuenta factores como la topografía, la estructura de la mina y las áreas de mayor actividad laboral.

Este capítulo aborda la base teórica y metodológica utilizada en el proyecto. Se describe la hipótesis central, los objetivos específicos y generales, y el diseño del estudio que guiará el análisis. Además, se detallan los antecedentes y la justificación de la elección de tecnologías de monitoreo, así como la metodología empleada para la recolección y análisis de datos. La ubicación y área de estudio son descritas, ofreciendo un contexto sobre la mina "Las Cuevas"

y las condiciones específicas que influyen en la implementación de la logística de sistema de monitoreo de gases.

En este capítulo 2, se presenta una revisión de la teoría relacionada con los gases de mina y su comportamiento bajo condiciones subterráneas. Se analizan las leyes y propiedades de los gases, así como la normatividad aplicable para su monitoreo. Además, se describe la geología del proyecto, tanto a nivel regional como local, lo cual es crucial para entender las dinámicas de circulación de gases en la mina. Este marco teórico proporciona el fundamento necesario para las decisiones tomadas en la selección y ubicación de los sensores de monitoreo.

En el capítulo 3 se explica el proceso de recolección y análisis de datos. Se detalla el uso de equipos como el detector multigas (MSA ALTAIR 4xr), y el anemómetro (KESTREL 5500), los cuales fueron fundamentales para la medición precisa de las concentraciones de gases y temperaturas en la mina. El desarrollo del proyecto también incluye la elaboración de gráficos y estadísticas que reflejan las concentraciones de gases a lo largo del tiempo, permitiendo identificar patrones y tomar decisiones informadas sobre la ubicación de los puntos de monitoreo fijo.

En el capítulo 4 se presentan los resultados del análisis y se propone la ubicación óptima para los sistemas de monitoreo fijo de gases en la mina "Las Cuevas". Se comparan diferentes tecnologías de sensores y sistemas de comunicación, destacando la selección del sistema Conspec OPTIO-G como la opción más adecuada por su robustez, precisión y adaptabilidad a las condiciones específicas de la mina. La conclusión resume la importancia de este proyecto para la seguridad y la operación eficiente de la mina, destacando la relevancia de contar con un sistema de monitoreo a futuro que garantice la seguridad de los trabajadores y la sostenibilidad operativa.

## Resumen

Durante el desarrollo de este proyecto, se abordaron los desafíos de seguridad y operación en la minería subterránea relacionados con la acumulación de gases tóxicos y la ventilación de minas. A lo largo de la investigación, se realizaron mediciones de las concentraciones de gases en diversos puntos críticos dentro de la mina "Las Cuevas", utilizando tecnología de monitoreo portátil como el detector multigas MSA ALTAIR 4xr C/sensor y el anemómetro KESTREL 5500 para registrar la temperatura y humedad.

Se comenzó identificando los riesgos asociados con la presencia de gases como el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), los cuales pueden alcanzar niveles peligrosos en un entorno de mina subterránea si no se gestionan adecuadamente. Para ello, se llevaron a cabo una serie de mediciones en rampas principales y secundarias, así como en diversas galerías y cruceros. Las lecturas obtenidas se analizaron para detectar patrones de fluctuación y correlación entre las concentraciones de gases y las condiciones atmosféricas, como la temperatura y la humedad. Esto permitió identificar las áreas de mayor riesgo dentro de la mina.

Con base en los datos recolectados, se propuso una estrategia para la instalación de un sistema de monitoreo de gases fijo. La propuesta incluyó la ubicación estratégica de sensores en puntos clave de la mina, teniendo en cuenta la estructura y topografía del lugar, así como las áreas con mayor actividad laboral y potencial riesgo. Se analizaron diferentes tecnologías disponibles en el mercado, incluyendo sistemas como el Dräger Polytron 8100 EC y el Conspec OPTIO-G. Tras una evaluación comparativa, se determinó que el Conspec OPTIO-G era la mejor opción para el entorno específico de la mina "Las Cuevas" debido a su capacidad para medir múltiples gases, su robustez en condiciones difíciles y su facilidad de instalación y mantenimiento.

Además, se desarrolló un planos de ventilación apoyados por planeación para la implementación del sistema de monitoreo fijo, que incluyó la representación gráfica en AutoCAD de la disposición de los sensores dentro de la mina. Esta planificación fue un punto clave para asegurar una cobertura completa y eficiente, permitiendo un monitoreo en tiempo real y una rápida respuesta ante situaciones adversas

Este proyecto abordó de manera integral los aspectos de monitoreo de gases y ventilación en un entorno de minería subterránea, proporcionando soluciones prácticas y efectivas para una mejora operativa y de seguridad dentro de la mina. La metodología utilizada, basada en datos reales y análisis comparativos, permitió seleccionar el sistema de monitoreo fijo más adecuado para las necesidades específicas del proyecto, contribuyendo así a la mitigación de riesgos, protección del personal así como, una mejora en la gestión operativa y de producción en mina "Las Cuevas".

palabras clave: minería subterránea, ventilación de minas, monitoreo de gases, planeación

# **Capítulo 1.- Metodología del proyecto.**

## **3.1 Hipótesis**

La implementación de una logística para un sistema de monitoreo de gases en minas subterráneas, basado en la recopilación y análisis de datos, así como en el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas de seguridad, tiene el potencial de mejorar significativamente la seguridad laboral en “Mina Las Cuevas”. Al elaborar estadísticas detalladas sobre la presencia de gases en diferentes áreas de la mina, este proyecto permitirá identificar tendencias, áreas de riesgo y patrones de concentración, lo que a su vez posibilitará la adopción de medidas preventivas y correctivas adecuadas para mitigar posibles riesgos.

Además, al proponer la ubicación estratégica de estaciones fijas de monitoreo, el proyecto enfoca la atención en puntos estratégicos basados en las normas de la Secretaría de Trabajo y Previsión Social. Este enfoque no solo redundará en una mayor seguridad para los trabajadores, sino que también podría resultar en una reducción de los costos asociados a accidentes laborales, al prevenir situaciones de emergencia y evitar daños a la infraestructura minera.

Al seguir las normas oficiales mexicanas de seguridad, se garantizará que el monitoreo de gases se realice de acuerdo con estándares rigurosos, lo que aumentará la confianza tanto de los trabajadores como de las autoridades regulatorias. Esta conformidad normativa no solo fortalecerá la seguridad en el lugar de trabajo, sino que también mejorará la reputación de la empresa en cuanto a su compromiso con la seguridad y el cumplimiento normativo.

## **1.2.- Justificación**

La implementación de una logística para un sistema de monitoreo fijo de gases en la mina subterránea “Las Cuevas” es una iniciativa clave tanto para mejorar la seguridad como para incrementar la productividad de las operaciones mineras. Este proyecto permitirá la recopilación y análisis continuo de datos sobre la presencia de gases en diferentes áreas de la mina, lo cual es esencial para identificar tendencias, áreas de riesgo y patrones de concentración.

Desde el punto de vista de la productividad, el monitoreo fijo de gases ofrece múltiples beneficios. En primer lugar, la información en tiempo real sobre la calidad del aire permitirá una mejor planificación y coordinación de las actividades mineras, minimizando tiempos de inactividad y optimizando el uso de equipos y personal. Esto es crucial para mantener la continuidad operativa y maximizar la eficiencia.

Además, la detección temprana de condiciones peligrosas permite una respuesta rápida y precisa, evitando interrupciones prolongadas y costosas. Esto se traduce en una reducción de los tiempos de parada no planificados, lo cual es vital para mantener altos niveles de productividad y cumplimiento de los cronogramas de producción.

La ubicación estratégica de las estaciones de monitoreo, basada en análisis de datos detallados, también permitirá una asignación más eficiente de los recursos de ventilación y mantenimiento. Esto no solo mejora la seguridad, sino que también optimiza el consumo de energía y reduce costos operativos.

Adicionalmente, al cumplir con las normas oficiales mexicanas de seguridad para minas subterráneas, la implementación de este sistema de monitoreo reforzará la seguridad y el bienestar de sus trabajadores. Esta percepción positiva puede contribuir a atraer y retener talento calificado, lo cual es un factor importante para la productividad a largo plazo.

En resumen, la implementación de un sistema de monitoreo fijo de gases en la mina “Las Cuevas” no solo es una medida esencial para proteger la vida y la salud de los trabajadores, sino

también una inversión estratégica para optimizar la productividad y eficiencia de las operaciones mineras, garantizar la continuidad operativa, y reducir costos a largo plazo.

### **1.3.- Objetivos**

#### **1.3.1- Objetivo general**

Diseñar una logística integral mediante el monitoreo fijo de gases en la mina subterránea "Las Cuevas," con el propósito de mejorar la seguridad ocupacional y la eficiencia operativa. Esto a través de la identificación precisa de áreas de riesgo y la implementación de tecnologías para la vigilancia continua y en tiempo real de las condiciones ambientales, asegurando la protección del personal y la optimización de las operaciones mineras.

#### **1.3.2- Objetivos específicos**

1. Realizar la toma de lecturas de concentraciones de gases mediante monitoreo manual en las áreas operativas y rampas principales de la mina, para elaborar una base de datos y gráficos estadísticos que incluya el análisis de los niveles de gases en cada área de trabajo.
2. Configurar la propuesta de los puntos de monitoreo de gases en las diferentes áreas de la mina mediante la ubicación estratégica de sensores, y plasmar esta propuesta en planos elaborados en AutoCAD, para garantizar una visualización clara y precisa del diseño de monitoreo de gases que optimice la seguridad y eficiencia operativa en la mina.

## 1.4.- Antecedentes

En las últimas décadas, la implementación de sensores para monitorear gases en las minas subterráneas ha experimentado un notable crecimiento, impulsada por el deseo de mejorar la seguridad y la salud de los trabajadores en este sector. Las condiciones de trabajo en las minas, caracterizadas por la presencia de gases tóxicos y potencialmente explosivos como el metano y el monóxido de carbono, han llevado a la adopción de tecnologías avanzadas que permiten una detección y control más precisos de estos peligros. Estos sistemas de monitoreo no solo han contribuido a reducir los accidentes y enfermedades profesionales, sino que también han facilitado el cumplimiento de normativas ambientales y de seguridad laboral más estrictas, subrayando el compromiso de la industria minera con la protección de sus empleados y el entorno.

Una de las redes de sensores inalámbricos más utilizadas fue Redes de sensores inalámbricos que sus iniciales en español serían, WSN (Wireless Sensor Networks) que, al interconectar nodos con la ayuda de un router, cubre los frentes de explotación. Albarracín, M. (2014) implementa un protocolo ZigBee ( es un estándar que define un conjunto de protocolos para el armado de redes inalámbricas de corta distancia y baja velocidad de datos.), que, junto con los geosensores WSN, proporciona un sistema inalámbrico para la monitorización y detección de gases explosivos con acceso web en tiempo real. Este sistema está conformado por módulos organizados en una red de sensores distribuidos en los túneles internos de las galerías 1 y 2 de la mina Sona Morca, ubicada en el Centro Regional Minero en la ciudad de Sogamoso, Colombia. A partir de la instalación de tarjetas modulares se permite la lectura del gas metano ( $\text{CH}_4$ ) con un sensor TGS 2611 con un rango de detección de 500-10,000 ppm y uno del gas dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) con un sensor CDM 4161 con un rango de detección de 400-40,000 ppm.

Mina Las Cuevas es un proyecto de mina subterránea de fluorita ( $\text{CaF}_2$ ) la cual pertenece a la compañía Koura, compañía minera la cual está enfocada en la explotación de depósitos de Fluorita, en la región centro de San Luis Potosí, en México. Actualmente en mina las cuevas no se

cuenta con un sistema de monitoreo de gases fijo, más sin embargo se realiza monitoreo manual por parte del área de ventilación de mina utilizando equipos de monitoreo de gases portátil como el equipo MSA ALTAIR 4xr C/sensor (imagen 1) y un anemómetro Kestrel 5500 (imagen 2) con frecuencia diaria de medición.

La presencia de gases peligrosos como el metano, el monóxido de carbono, el dióxido de carbono, óxido nítrico y el sulfuro de hidrógeno en las minas subterráneas representa un riesgo significativo para la salud y la seguridad de los trabajadores. Estos gases pueden ser tóxicos, explosivos o ambos, y su acumulación puede llevar a situaciones peligrosas. La implementación de un sistema de monitoreo fijo en la mina Las Cuevas permitirá una detección más rápida y precisa de estos gases, mejorando la seguridad de los trabajadores y reduciendo el riesgo de accidentes (Chart Industries, 2023; Industrial Scientific Corporation, 2017).



*Imagen 1.- MSA ALTAIR 4xr C/sensor. imagen obtenida de MSA safety*



*Imagen 2.-Kestrel 5500. Imagen obtenida de Kestrel.*

### **1.5.- Metodología del proyecto**

Para poder desarrollar un plan a corto plazo del proyecto de mina “Las Cuevas” es necesario analizar y monitorear la concentración de gases en interior de la mina por medio de un multidetector de gases (MSA ALTAIR 4xr C/sensor) se realizará un monitoreo de manera semanal según lo marcado en la NOM-032-STPS-2008 dando lecturas de O<sub>2</sub>, CO y NO<sub>2</sub>, también se utilizara una anemómetro psicrómetro KESTREL 5500 para monitorear los datos de la temperatura, velocidad del aire y humedad de cada uno de los lugares.

De los monitoreos realizados en el proyecto de mina se obtendrán ciertas lecturas de concentración de gases en áreas específicas, con las cuales se realizará una base de datos y la representación de estos datos mediante gráficas por medio de Microsoft Excel para representar el comportamiento de los gases alrededor de la mina.

Se realizará un procesamiento estadístico de los gráficos que se elaboren y se realizará una correlación interpretación de los datos obtenidos. Con este procesamiento de los datos se buscará

el posicionamiento ideal del monitoreo de gases en el proyecto, tomando en consideración las recomendaciones de la NOM-023-STPS-2012 para el posicionamiento de los sensores.

Se utilizará el software AutoCad 2021 para la creación de planos en los cuales se plasmara la ubicación de los puntos de monitoreo propuestos según las condiciones de las áreas tomando en cuenta: el estadístico de las mediciones de monitoreo manual, planeación a corto plazo de la mina, tránsito de equipos y uso de las galerías y rampas de la mina.

Para cada una de estas actividades se realizó un cronograma en el cual se plasma la distribución de los tiempos en cada una de los procesos a llevar para efectuar este proyecto, como se muestra en la tabla 1.

*Tabla 1.- Programación de las actividades a desarrollar durante el proyecto*

<b>NOMBRE DE LA TAREA</b>	<b>ESTADO</b>	<b>ASIGNADA A</b>	<b>FECHA DE INICIO</b>	<b>FECHA DE FINALIZACIÓN</b>	<b>DURACIÓN (días)</b>
Inducción de seguridad Orbia	Completo	Bryan Rodriguez	03/04	03/09	5
Reconocimiento de las obras en mina (Recorridos)	Completo	Bryan Rodriguez	03/11	03/29	18
Elaboración de graficos de los resultados obtenidos en las mediciones (comportamiento de los gases )	Completo	Bryan Rodriguez	04/01	07/31	121
Investigacion documental sobre sistemas de monitoreo en mineria (documentación técnica)	Completo	Bryan Rodriguez	04/01	07/31	121
Elaboración de propuesta puntos de monitoreo fijos en el software AutoCAD	Completo	Bryan Rodriguez	07/01	07/30	29
Elaboración documental del proyecto (Redaccion, objetivos, desarrollos, conclusiones y recomendaciones)	Completo	Bryan Rodriguez	07/01	07/30	29
Elaboración de presentación para exposición propuesta a servicios tecnicos	completo	Bryan Rodriguez	07/29	08/06	8
Revisión proyecto final por jefe de área	Completo	Bryan Rodriguez	08/05	08/06	1
Presentación de proyectos ante	Completo	Bryan Rodriguez	08/08	08/09	1

Durante la primera semana del desarrollo del proyecto, en marzo, se llevó a cabo una inducción y cursos de seguridad proporcionados por la unidad minera “Las Cuevas” para poder acceder al interior de la mina.

En la segunda semana de marzo, se programó realizar recorridos dentro de la mina para familiarizarnos con las áreas de trabajo. Una vez completado el reconocimiento de las zonas, durante el mes de abril y las tres primeras semanas de Julio, se llevó a cabo un monitoreo utilizando detectores multigas (MSA ALTAIR 4xr C/sensor) y con un anemómetro (Kelstrel 5500) a lo largo de las rampas principales, secundarias y obras mineras. Simultáneamente, al finalizar cada semana, se descargaron los datos en una hoja de cálculo Excel para llevar un registro y analizar el comportamiento de los gases a través de gráficas desarrolladas en el mismo Excel.

En el mes de julio, se inició con la elaboración de propuestas para la ubicación de los sistemas de monitoreo, teniendo en cuenta la arquitectura de la mina y considerando su proyección a corto plazo.

A la par en el mes de julio, se redactaron los aspectos formales del proyecto y se preparó la presentación oral del mismo, la cual se programó para agosto. El proyecto concluirá en agosto de 2024.

El gerente de servicios técnicos y el jefe de ventilación estratégica tienen la responsabilidad de dirigir, organizar y controlar las acciones establecidas en el proyecto “Logística de estaciones de monitoreo fijo de gases en mina” en armonía con las políticas, normativas, directivas y procedimiento de la empresa. Son unos de los más interesados en los resultados que se pueden

obtener de este proyecto, debido a que este proyecto servirá como sustento teórico y como base del proyecto a la posterior etapa de planeación a largo plazo de mina “Las Cuevas”.

Para poder desarrollar este proyecto es de vital importancia que el departamento de ventilación pueda proporcionar la información sobre los circuitos de ventilación que cuenta la concesión minera. Los datos que son necesarios obtener de la base de datos de ventilación son la ubicación de ventiladores, contrapozos de extracción e inyección de aire, así como, circuitos de flujo de los gases.

El jefe de seguridad y el jefe de ventilación del proyecto son los responsables de la administración de los servicios preventivos de seguridad para el cumplimiento de salud y seguridad vigentes. Para el diseño del proyecto es de suma importancia la aplicación de las NOM-010-STPS-2014, NOM-015-STPS-2001, NOM-023-STPS-2012, NOM-032-STPS- y las áreas de seguridad y ventilación cuentan con la experiencia en cumplimiento con las normas.

## **1.6.- Ubicación y área de estudio**

Mina Las Cuevas es un proyecto de mina subterránea de fluorita la cual pertenece a la compañía Koura, compañía minera la cual está enfocada en la explotación de depósitos de Fluorita, en la región centro de San Luis Potosí, en México.

“Las Cuevas”, se encuentra ubicado en el poblado de La Salitrera, perteneciente al municipio de Villa de Zaragoza, que se localiza en el estado de San Luis Potosí; situado a 51 km al sureste de San Luis Potosí.

El acceso al poblado de La salitrera, Villa de Zaragoza, S.L.P., se efectúa por tierra a través de una carretera pavimentada que parte de la ciudad de San Luis potosí, rumbo a la ciudad de

Rioverde, Valles y Tampico, en la que a la altura del Km 23, hay una desviación a una carretera pavimentada que conduce al poblado de la Salitrera. Como puntos intermedios están los poblados de Villa de Zaragoza, la Cieneguilla, El puerto del Ranchito y Ranchito de Juárez.



*Imagen 3.- Ubicación de La Salitrera, S.L.P. Nota. Realizado por Saldívar. 4 de diciembre de 2022. Ubicación de “La Salitrera” vía modificación de google maps.*

## Capítulo 2.- Marco teórico

### 2.1.- Gases de mina

Para comprender un poco más el proyecto primero debemos de entender ¿Qué es un gas? Los fluidos amorfos que ocupan todo el espacio de su contenedor. (*Diario Oficial De La Federación,2014*).

Es esencial en nuestra vida diaria para cocinar, calentar hogares, producir energía y fabricar productos químicos. Además, se utiliza en medicina y es fundamental en la investigación científica. Veneramos al gas por su versatilidad, importancia en nuestras vidas y contribución al avance del conocimiento. Sin embargo, no siempre los gases nos benefician, hay algunos que nos intoxican.

En el entorno minero, la presencia de gases es una preocupación constante debido a su potencial impacto en la salud y la seguridad de los trabajadores. Entre los gases más comunes presentes en las minas se encuentran el monóxido de carbono (CO), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), el oxígeno (O<sub>2</sub>) y varios gases combustibles.

### 2.1.1 .- Leyes de los gases

En la minería subterránea, el comportamiento de los gases es un aspecto crítico para la seguridad y eficiencia de las operaciones. La comprensión de las principales leyes que rigen los gases es fundamental para prever y manejar las condiciones en el subsuelo. Las leyes de los gases y su aplicación en el contexto minero, abordando aspectos como la ventilación, presión y temperatura, y el manejo de gases tóxicos. Estas leyes no solo proporcionan una base teórica, sino que también tienen aplicaciones prácticas para el control de concentraciones de gases y la prevención de riesgos en el entorno minero subterráneo.

#### Ley de Boyle (Isotérmica)

La ley de Boyle es de particular relevancia para la comprensión del comportamiento de los gases en espacios confinados. Esta ley, formulada por Robert Boyle (1662), establece que, a una temperatura constante, el volumen de un gas es inversamente proporcional a su presión; es decir, cuando la presión aumenta, el volumen del gas disminuye, y viceversa.

La fórmula que describe esta relación es  $P_1 V_1 = P_2 V_2$ . En las operaciones mineras subterráneas, donde las temperaturas suelen mantenerse relativamente constantes debido a la estabilidad térmica del entorno, los cambios en la presión pueden tener un impacto significativo en el volumen de los gases presentes.

Esto es crucial para la seguridad minera, ya que variaciones en la presión podrían alterar las concentraciones de gases tóxicos o inflamables, afectando directamente la calidad del aire. Entender y aplicar la Ley de Boyle en la planificación de la ventilación y monitoreo de gases permite anticipar y mitigar riesgos. Boyle, R. (1662). *The spring and weight of the air*. H. Hall.

### Ley de Charles (Isobárica):

En la minería subterránea, la ley de Charles juega un papel importante en la comprensión de cómo las variaciones de temperatura afectan el comportamiento de los gases. Esta ley, establecida por Jacques Charles, indica que, a presión constante, el volumen de un gas es directamente proporcional a su temperatura absoluta, expresada en la fórmula  $(V1/T1) = (V2/T2)$ . En un entorno minero, donde las temperaturas pueden variar considerablemente, esta relación es esencial para prever cómo esos cambios impactan el volumen de los gases presentes. Esto, a su vez, influye en la ventilación y en la concentración de contaminantes en el aire. Por lo tanto, aplicar la Ley de Charles en la planificación de la ventilación permite ajustar los sistemas para mantener un ambiente seguro y minimizar la exposición a gases peligrosos. Charles, J. (1787). *Sur les volumes des gaz à différentes températures.*

### Ley de Gay-Lussac (Isocórica)

En la minería subterránea, la Ley de Gay-Lussac es fundamental para entender cómo la temperatura afecta la presión de los gases en espacios confinados. Esta ley, propuesta por Joseph Louis Gay-Lussac, establece que a volumen constante, la presión de un gas es directamente proporcional a su temperatura absoluta, según la fórmula  $(P1/T1) = (P2/T2)$ . En las minas, donde el volumen de los espacios confinados es constante, un incremento en la temperatura puede provocar un aumento significativo en la presión de los gases. Esto puede representar un peligro si no se gestionan adecuadamente las condiciones térmicas y la ventilación. Aplicar la Ley de Gay-Lussac en la planificación operativa permite prever estos cambios y tomar medidas preventivas para mantener la seguridad de los trabajadores. Gay-Lussac, J. L. (1809). *Mémoire sur la combinaison des substances gazeuses*

## Ley de Avogadro

La ley de Avogadro es vital para estimar y controlar la cantidad de gases presentes en un volumen dado. Esta ley, formulada por Amedeo Avogadro, establece que a temperatura y presión constantes, volúmenes iguales de todos los gases contienen el mismo número de moléculas, lo cual se expresa en la fórmula  $(V_1/n_1) = (V_2/n_2)$ . Estas relaciones son importantes en la minería para calcular y gestionar la concentración de gases tóxicos en espacios confinados, asegurando que se mantengan dentro de niveles seguros. Aplicarla permite optimizar los sistemas de ventilación y monitoreo, garantizando que la cantidad de gas en un área específica no supere los límites seguros establecidos. (Avogadro, A. (1811). Essay on a manner of determining the relative masses of the elementary molecules of bodies, and the proportions by which they enter into these compounds. *Journal de Physique, de Chimie et d'Histoire Naturelle*, 73, 58-76.)

## Ecuación de Estado de los Gases Ideales

La ecuación de estado de los gases ideales es una herramienta fundamental para calcular y predecir el comportamiento de los gases bajo diversas condiciones. Esta ecuación, que relaciona la presión, volumen, temperatura y cantidad de un gas ideal, se expresa mediante la fórmula  $PV = nRT$ . En la minería, esta ecuación es utilizada para evaluar cómo los gases presentes en la mina se comportarán frente a cambios en la presión o temperatura, para mantener la seguridad y eficiencia en las operaciones mineras. Aplicar esta ecuación permite a los ingenieros mineros anticipar y gestionar posibles riesgos asociados con las variaciones en las condiciones ambientales de la mina. (Clapeyron, B. P. E. (1834). Memoir on the Motive Power of Heat. *Journal de l'École Polytechnique*, 14, 153-190.)

## Comportamiento de los Gases en Minería Subterránea

En la minería subterránea, comprender el comportamiento de los gases es necesario para mantener la seguridad y eficiencia operativa. Los gases presentes en mina Las Cuevas, como el monóxido de carbono (CO), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), pueden representar serios riesgos para la salud de los trabajadores si no se manejan adecuadamente. Uno de los aspectos fundamentales para controlar estos gases es la ventilación, que se utiliza para diluir y remover las concentraciones de gases nocivos.

La aplicación de las leyes de los gases es crucial en este contexto, ya que ayudan a entender cómo los cambios en la presión, temperatura y volumen pueden afectar la concentración de estos gases dentro de la mina (Boyle, 1662; Charles, 1787; Gay-Lussac, 1809; Avogadro, 1811; Clapeyron, 1834).

La presión y temperatura dentro de una mina subterránea están influenciadas por la profundidad y las condiciones estacionales. A medida que se desciende en la mina, la presión aumenta y la temperatura puede variar, lo que a su vez afecta el comportamiento de los gases. Los cambios en las temperaturas externas también pueden influir en las condiciones internas de la mina, alterando la densidad y el movimiento de los gases, lo que hace crucial el monitoreo y control constante de estas variables (Gay-Lussac, 1809; Charles, 1787).

El monitoreo y detección de gases tóxicos como el CO y el NO<sub>2</sub> son esenciales para prevenir problemas de salud. La ventilación y otros métodos de control se diseñan teniendo en cuenta las leyes de los gases para asegurar que los niveles de concentración se mantengan dentro de los límites seguros. Además, el manejo de estas emisiones es una parte integral de la estrategia de seguridad en la minería subterránea, que busca minimizar los riesgos asociados con la presencia de estos gases (Boyle, 1662; Avogadro, 1811).

El escape y difusión de los gases son otros aspectos críticos a considerar en el diseño de sistemas de ventilación. Los gases tienden a moverse de áreas de alta concentración a áreas de baja concentración, un fenómeno explicado por las leyes de los gases. Comprender este comportamiento es fundamental para diseñar sistemas de ventilación eficientes que eviten la acumulación de gases peligrosos. Además, en caso de una fuga, es crucial prever cómo los gases se comportarán, lo que permite diseñar medidas de seguridad efectivas para proteger a los trabajadores en situaciones de emergencia. (Clapeyron, 1834; Gay-Lussac, 1809).

### **2.1.3.- Propiedades de los gases**

El monóxido de carbono (CO) es un gas que se produce principalmente por la combustión incompleta del carbón, tanto en actividades humanas como en fuentes naturales. En el contexto minero, este gas es de particular preocupación debido a su presencia en las minas subterráneas, como resultado de las operaciones con maquinaria y explosivos. El CO es un gas incoloro, inodoro e insípido, lo que lo hace especialmente peligroso ya que su detección sin instrumentos adecuados es prácticamente imposible. Su densidad es de  $1.14 \text{ g/cm}^3$ , lo que le permite mezclarse fácilmente con el aire en los ambientes de trabajo subterráneo. (Clavijo G, 2020)

D

Desde el punto de vista de la seguridad laboral, el monóxido de carbono es considerado un gas asfixiante y extremadamente tóxico, con efectos adversos sobre la salud que incluyen dolor de cabeza, náuseas, mareos, y en concentraciones elevadas, puede resultar fatal. En las minas, es crucial mantener los niveles de CO dentro del Valor Límite Exponencial (VLE), que varía entre 25 ppm y 50 ppm, para proteger a los trabajadores de los efectos nocivos de este gas. El control y

monitoreo constante de las concentraciones de CO en la mina "Las Cuevas" es, por tanto, una prioridad para asegurar un entorno de trabajo seguro y saludable.

El dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) es un gas altamente reactivo que se forma como subproducto de la combustión a altas temperaturas, siendo particularmente común en la minería subterránea debido a las voladuras y el uso de maquinaria pesada que opera con diesel. Este gas tiene una densidad de 1.45 g/cm<sup>3</sup>, lo que lo hace ligeramente más pesado que el aire, y se caracteriza por su color marrón rojizo y su fuerte olor acre, lo que facilita su identificación en ambientes mineros. (Clavijo G, 2020)

En términos de seguridad laboral, el **NO<sub>2</sub>** es un gas tóxico que puede causar graves problemas respiratorios. Su **VLE** (Valor Limite Exponencial) varía entre 0.2 ppm y 1 ppm, con un umbral superior de hasta 5 ppm, que no debe ser excedido para evitar riesgos significativos a la salud. La exposición al NO<sub>2</sub> puede causar irritación en la nariz y garganta, irritación ocular, opresión en el pecho, y en casos de exposición prolongada o a altas concentraciones, puede llevar a bronquitis aguda y muerte. Debido a estos riesgos, es fundamental en la mina "Las Cuevas" mantener un control estricto de las concentraciones de NO<sub>2</sub>, asegurando que se mantengan dentro de los límites permitidos para proteger la salud de los trabajadores.

El **oxígeno (O<sub>2</sub>)** es un gas esencial para la vida y se encuentra naturalmente en el aire. En el contexto de la minería subterránea, su monitoreo es crucial, ya que tanto su deficiencia como su exceso pueden representar serios riesgos para la salud de los trabajadores. El oxígeno es incoloro e inodoro, con una densidad de 1.43 g/cm<sup>3</sup>, lo que le permite mezclarse uniformemente en el aire. (Clavijo G, 2020)

En condiciones normales, el oxígeno en el aire se encuentra en un rango de 20.8% a 21%. Sin embargo, una disminución de este nivel a 19.5% indica una deficiencia de oxígeno, y a 16% se considera un nivel crítico que puede llevar a la asfixia. Por otro lado, un enriquecimiento de oxígeno

a 23.5% puede aumentar significativamente el riesgo de incendios y explosiones en ambientes subterráneos. Aunque el oxígeno es un gas benigno en su estado natural, su concentración debe mantenerse dentro de los límites seguros para evitar peligros asociados tanto a la hipoxia como a la hiperoxia. Por lo tanto, en la mina "Las Cuevas", es fundamental mantener un control riguroso de los niveles de oxígeno para asegurar la seguridad y bienestar de los trabajadores.

Además de estos gases específicos, las minas también pueden contener una variedad de gases combustibles como el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el hidrógeno ( $\text{H}_2$ ). El metano es incoloro e inodoro y puede ser explosivo cuando se mezcla con el aire en ciertas concentraciones. El hidrógeno, es incoloro, inodoro y tiene una densidad mucho menor que la del aire, lo que le permite ascender rápidamente. Ambos gases representan un riesgo significativo de explosión si no se controlan adecuadamente.(Clavijo G, 2020).

La ventilación adecuada y el monitoreo continuo de la calidad del aire son medidas fundamentales para mitigar los riesgos asociados con la presencia de estos gases en las minas. La gestión de los gases en el entorno minero es crucial para garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores. La identificación, monitorización y control de gases como el  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_2$  y los gases combustibles son elementos fundamentales de la gestión de riesgos en este contexto, con el objetivo de prevenir accidentes y proteger la vida de quienes trabajan en las minas subterráneas.

## 2.1.4- Normatividad aplicable al monitoreo de gases

NOM-023-STPS-2012

En México, la minería subterránea es una actividad esencial que enfrenta importantes desafíos en términos de seguridad laboral, particularmente en el monitoreo de gases peligrosos. Para mitigar estos riesgos, las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), emitidas por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS), proporcionan un marco regulatorio clave. La NOM-023-STPS-2012 es una de las normativas más relevantes en este contexto, titulada "Condiciones de seguridad y salud en los trabajos en minas subterráneas y minas a cielo abierto" (Diario Oficial de la Federación, 2012). Esta norma tiene como objetivo establecer las condiciones de seguridad y salud que deben observarse en los centros de trabajo donde se realicen actividades de minería subterránea y minería a cielo abierto.

En lo que respecta al monitoreo de gases, la NOM-023-STPS-2012 es particularmente significativa, ya que especifica las medidas de seguridad y salud que deben adoptarse para proteger a los trabajadores de los riesgos derivados de la exposición a gases tóxicos, explosivos y asfixiantes en las minas subterráneas. La norma incluye la obligación de monitorear regularmente la concentración de gases peligrosos como el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y otros, para garantizar un ambiente de trabajo seguro y minimizar los riesgos asociados a la inhalación de estos gases.

NOM-010-STPS-2014.

La seguridad laboral incluye el control riguroso de la exposición a agentes químicos contaminantes, lo cual es regulado por las NOM-STPS. Una de las normas clave en este contexto es la NOM-010-STPS-2014, titulada "Agentes químicos contaminantes del ambiente laboral - Reconocimiento, evaluación y control" (Diario Oficial de la Federación, 2014). Esta norma tiene

como objetivo establecer las disposiciones necesarias para el reconocimiento, evaluación y control de la exposición a agentes químicos contaminantes en el ambiente laboral.

Aunque la NOM-010-STPS-2014 no se limita exclusivamente a la minería, es crucial para el monitoreo de cualquier ambiente laboral donde exista riesgo de exposición a agentes químicos. La norma proporciona los límites permisibles de exposición para diferentes sustancias químicas y establece los procedimientos necesarios para su monitoreo y control. En el contexto de la minería subterránea, esta normativa es esencial para garantizar que los niveles de gases tóxicos, como el monóxido de carbono (CO), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y otros, se mantengan dentro de límites seguros, protegiendo así la salud.

NOM-032-STPS-2008.

En el ámbito de la minería subterránea, la seguridad es una prioridad, especialmente en minas de carbón, donde el riesgo de explosiones y acumulaciones peligrosas de gases es considerable. La **NOM-032-STPS-2008**, titulada "Seguridad para minas subterráneas de carbón" (SEGOB, 2008), se enfoca en establecer las condiciones de seguridad y salud en el trabajo que deben observarse en este tipo de minas para prevenir riesgos derivados de la explotación del carbón.

Esta norma es particularmente relevante para el **monitoreo de gases** en minas subterráneas de carbón, ya que enfatiza la necesidad de vigilar de manera constante gases como el metano (CH<sub>4</sub>), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Estos gases presentan un alto

riesgo debido a su potencial explosivo y la posibilidad de acumularse en concentraciones peligrosas. La NOM-032-STPS-2008 establece procedimientos y requisitos específicos para la detección y control de estos gases, asegurando así un entorno laboral más seguro y mitigando los riesgos asociados con la minería de carbón.

### **NOM-015-STPS-2001.**

En la minería subterránea, las condiciones térmicas extremas pueden tener un impacto significativo en la seguridad y salud de los trabajadores, así como en el comportamiento de los gases peligrosos presentes en la mina. La NOM-015-STPS-2001, titulada "Condiciones térmicas elevadas o abatidas – Condiciones de seguridad e higiene" (Diario Oficial de la Federación, 2001), establece las condiciones de seguridad e higiene necesarias para prevenir riesgos a la salud de los trabajadores que están expuestos a temperaturas extremas.

Aunque esta norma se centra en las condiciones térmicas, es especialmente relevante para el monitoreo de gases en la minería subterránea, donde la temperatura puede influir significativamente en la concentración y comportamiento de gases peligrosos. Las variaciones térmicas pueden afectar la presión y densidad de los gases, lo que a su vez altera su distribución en la mina. Esto subraya la importancia de un monitoreo constante y la implementación de medidas de control para asegurar que los gases permanezcan dentro de límites seguros, protegiendo así a los trabajadores en ambientes térmicamente extremos.

## **Procedimientos y Tecnologías de Monitoreo**

En las minas subterráneas, el control de gases peligrosos requiere tanto tecnologías adecuadas como procedimientos operativos bien definidos. Entre las principales tecnologías utilizadas se encuentran los sistemas de monitoreo continuo, que permiten detectar en tiempo real la presencia de gases tóxicos o explosivos. Complementando esta tecnología, los trabajadores deben portar detectores personales que emiten alertas inmediatas en caso de exposición a concentraciones peligrosas. Por otro lado, un procedimiento esencial es mantener un sistema de ventilación eficiente, encargado de diluir y evacuar los gases nocivos del ambiente. Finalmente, es indispensable implementar protocolos de seguridad específicos que regulen la medición, el control y la respuesta ante cualquier indicio de presencia de gases peligrosos, garantizando así la integridad del personal y la operación segura de la mina

## **2.2.- Geología del proyecto**

### **2.2.1.- Geología Regional**

#### Geología de La Salitrera

Santa Rosa de La Salitrera se localiza dentro de la provincia geológica conocida como la Mesa Central, una región caracterizada por una importante actividad volcánica y tectónica (Rodríguez Ríos & Tristan González, 2013). En esta zona predominan las rocas ígneas, especialmente las de composición andesítica y riolítica, formadas durante los periodos Oligoceno y Mioceno. La estratigrafía está compuesta principalmente por ignimbritas, tobas y flujos de lava, lo que refleja una intensa historia volcánica. Desde el punto de vista estructural, la región muestra evidencias de deformación tectónica, como fallas y pliegues, producto de procesos geodinámicos activos. Además, se han identificado manifestaciones de mineralización, destacando la presencia de minerales industriales como la barita y la fluorita, así como depósitos metálicos relacionados con procesos hidrotermales.

### **2.2.2 .- Geología local**

Al yacimiento de Las Cuevas se le ha asignado un origen hidrotermal (epitermal).

Los espacios abiertos y la zona de debilidad formadas por procesos de brechamiento, fallas, fisuras y cavidades, así como el factor de la solubilidad y composición de las rocas encajonantes, influyeron para la formación de los yacimientos de fluorita. (Rojo Aguilar, 2004). Los fluidos mineralizantes reemplazaron y rellenaron las cavidades y espacios abiertos, los que fueron recogidos por controles estructurales y químicos.

Los yacimientos de fluorita son una serie de cuerpos de grandes dimensiones del orden de los 300 a 600m de largo, 50m a 200m de ancho y 200 m a 500 m de profundidad con contenidos de 70 a 90% de fluoruro de calcio ( $\text{CaF}_2$ ) con gangas de calcita, pocas de sílice, encajonada con caliza en mucho menor grado en rocas volcánicas y brechas. (Rojo Aguilar, 2004).

Siendo depósitos de reemplazamiento, notando muy bien las características típicas de este tipo de depósitos, caballos aislados de caliza, restos fósiles reemplazados; también rellenaron las cavidades características en la caliza de la formación El Doctor.

La temperatura de formación del depósito de fluorita fue  $130^\circ\text{C}$ , teniendo como control estructural principal a fallas normales, La Consentida y la Esperanza de rumbo NW  $60^\circ$  SE; estas fallas en las cercanías de las rocas volcánicas presentan fuerte caolinización y argilización con abundantes óxidos ferrosos.

Como consecuencia de la pureza del contenido de fluoruro en los depósitos principales, el mineral en bruto puede considerarse como de grado metalúrgico, sin más beneficio que la separación de forma manual de las pocas impurezas y la separación de los finos por medio de cribado. (Rojo Aguilar, 2004.)

Una porción de los cuerpos minerales contiene fluorita de tipo a morfo de grano fino, que se intemperiza dando una roca de color gris claro. La fluorita pierde su color sobrepasando los 155°C, espato flúor de Las Cuevas múltiple en coloración, parece haber sido originado a temperaturas muy debajo de 175°C. (Rojo Aguilar, 2004)

Un rasgo que caracteriza los depósitos de Las Cuevas es su textura de tipo caja, lo anterior da evidencia del proceso de brechamiento seguido por una marcada corrosión de la generación de los minerales más jóvenes, los repetidos procesos de brechamiento seguidos por la corrosión parcial, y subsecuente depósitos de fluorita, dieron como resultado el desarrollo de la característica textura de caja con sus innumerables que sugieren áreas de intensa lixiviación, en el interior de la brecha caliza fracturada y que éstas proporcionaron los conductos necesarios para el depósito de las soluciones finales de fluorita. (Rojo Aguilar, 2004).

## 2.2.3.- Columna litológica del proyecto

Tabla 1.- Columna litográfica. (Rojo Aguilar, 2004, Pág. 14.)

<b>COLUMNA ESTRATIGRÁFICA</b>	
Qa	<b>ALUVIÓN.-</b> Depósitos de origen aluvial, formado por pequeñas terrazas en las margenes de los cauces y pequeños abanicos en las desembocaduras.
Qcl	<b>COLUVIÓN.-</b> Depósitos de acumulación en la pendiente de las laderas.
<b>ROCAS VOLCÁNICAS</b>	
Tbc	<b>BASALTO CABRAS.-</b> Flujo de lava de composición andesítica de color café oscuro.
Tip	<b>LATITA PORTEZUELO.-</b> Se trata de un derrame lávico de color café grisáceo, con textura porfírica, con abundancia de óxido de hierro (magnetita)
Tae	<b>ANDESITA ESTANCO.-</b> Formado de varios flujos, andesita y basaltos vesiculares.
Toc	<b>TRAQUITA OJO CLALIENTE.-</b> Consiste de una serie de flujos de lava, de color gris claro a café rojizo con 5-10% de fenocristales de sanidino y poco cuarzo.
Tdp2	<b>MIEMBRO SUPERIOR.-</b> Es una serie de derrames lávicos de composición andesítica a basáltica todos separados por vitrificados basales.
Tpd1	<b>MIEMBRO INFERIOR.-</b> Lo forman cuando menos seis flujos de lava de composición dacítica de roca de color rojizo, de 10-15% de fenocristales de 2-6 mm.
Tot	<b>IGNIMBRITA EL ORGANO.-</b> Flujo de cenizas de composición riolítica de textura porfírica bien soldada, y con pómez colapsada y algunos fragmentos líticos.
Tva3	<b>MIEMBRO SUPERIOR.-</b> Flujo de lava de composición dacítica, de color gris rosáceo con 15% de fenocristales de sanidino, plagioclasa y biotita.
Tva2	<b>MIEMBRO MEDIO.-</b> Fragmentos de rocas andesíticas de 2 cm. a 2 m de diámetro de angulares a subangulares sin clasificación.
Tva1	<b>MIEMBRO INFERIOR.-</b> Flujos de lava de composición andesítica, a veces lajosos gris oscuro a verdoso, en matriz fina.
Tas	<b>ANDESITA SALITRERA.-</b> Flujo de lava de composición andesítica, base de la secuencia volcánica de la parte W del area, de color gris oscuro a verdoso con 15% de fenocristales de plagioclasas zonadas.
<b>ROCAS INTRUSIVAS</b>	
Tpv	<b>INTRUSIVO PALO VERDE.-</b> Granito alcalino, seriado, granóido 20% fenocristales, ortoclasa plagioclasa, cuarzo en matriz con entrecimiento gráfico, biotita, hastingsita y riebeckita. Silicificado (Tpv)
<b>ROCAS SEDIMENTARIAS</b>	
Tc	<b>FORMACIÓN DE CENICERA.-</b> Conglomerados de fragmentos de caliza y sedimentos limo-arcillosos.
Kes	<b>FORMACIÓN SOYATAL.-</b> Intercalación de calizas color oscuro en estratos delgados a medianos y capas delgadas de limolitas de color amarillento, rojizo y morado y algunos pequeños nódulos y lentes de pedernal.
Kid	<b>FORMACIÓN DOCTOR.-</b> Calizas arrecifales en estratos gruesos y aun hasta bancos con desarrollo de karst superficial, con abundante fauna de miliólidos.
<b>ROCAS METAMÓRFICAS</b>	
Tms	<b>CALIZAS RECRISTALIZADAS.-</b> Caliza bien recristalizada con manchones y diques de roca skarnitizada, color verdoso, muy cloritizada y franjas de sílice blanco en el contacto.

## **2.3 .- Minado del proyecto**

El método de explotación de “Tumbe por Subniveles con Barrenación en Abanico” utilizado en la Compañía Minera Las Cuevas consiste en un sistema subterráneo diseñado para incrementar la productividad, mejorar la selectividad del mineral, y reducir costos operativos.

### Características del Método de Tumbes por Subniveles

El método de Tumbes por Subniveles es una técnica de explotación minera subterránea que se adapta bien a diversas condiciones geológicas. Es especialmente adecuado para vetas anchas o angostas que presentan un buzamiento muy pronunciado, así como para mantos de gran potencia y chimeneas. También se puede aplicar eficazmente en depósitos con forma tabular o lenticular y profundidad variable, lo que lo hace versátil en diferentes contextos mineros.

Este método puede configurarse principalmente de dos maneras, dependiendo de las características del yacimiento. Por un lado, los rebajes transversales se utilizan en vetas anchas y requieren la presencia de pilares de costilla que proporcionan soporte lateral durante la operación. Por otro lado, los rebajes longitudinales son más comunes en vetas angostas y se desarrollan con subniveles paralelos al rumbo del depósito, lo que permite un mejor seguimiento del cuerpo mineral.

El proceso de explotación inicia con el desarrollo de obras subterráneas. Primero, se construye una rampa de acceso que conecta la superficie con el nivel de acarreo general. A continuación, se desarrollan galerías perimetrales y cruceros que atraviesan el cuerpo mineral en cada nivel. Estas estructuras deben tener secciones amplias para permitir el tránsito de maquinaria de gran capacidad. Además, en los subniveles se trazan calles y contracalles, dejando pilares intermedios para mantener la estabilidad del macizo rocoso.

La siguiente etapa es la barrenación y voladura, donde se perforan abanicos tanto en los cruceros como en los subniveles, con una separación de 2.7 metros entre líneas. Esta distancia permite un adecuado control de la fragmentación del mineral. Los abanicos se cargan con una combinación de explosivos de bajo y alto poder, lo que optimiza la eficiencia del tumbe y minimiza el daño en la roca circundante.

Una vez fragmentado, el mineral es extraído mediante equipos especializados. En la fase de rezagado y acarreo, se emplean cargadores frontales (scooptram) para recoger el material roto y trasladarlo a camiones de volteo, que lo conducen hasta las estaciones de carga. Finalmente, el mineral es extraído a superficie mediante malacates y alimentado a las plantas de trituración, donde se inicia su procesamiento.

Entre las principales ventajas de este método destacan su disposición inmediata del mineral después de la voladura, lo cual acelera la continuidad operativa. Asimismo, ofrece una alta flexibilidad, ya que permite adaptar las operaciones a distintas condiciones geológicas y requerimientos de producción. Otra ventaja significativa es la reducción de costos, debido a un menor desarrollo de obras. Además, el método permite un mejor control de calidad, ya que mejora la selectividad del mineral y facilita el cumplimiento de los estándares requeridos por los clientes.

En cuanto a los equipos utilizados, el método requiere de jumbos electrohidráulicos para la perforación de barrenaciones largas, cargadores frontales para el rezagado del mineral, camiones de volteo para su transporte, y malacates para el izaje a superficie. Esta combinación de maquinaria especializada permite una operación eficiente y segura.

En resumen, el método de tumbe por subniveles con barrenación en abanico destaca por su eficiencia, adaptabilidad y capacidad para reducir costos operativos, al tiempo que asegura una mayor selectividad en la extracción del mineral.

### 2.3.2 .- Planeación a corto plazo

Los objetivos de producción para 2024 – 2025 están enfocados en planes de mediano plazo. Debido a los compromisos comerciales y a los volúmenes de producción previstos para 2024-2025, se requiere contar con el desarrollo para acceder de forma segura a las zonas de producción.

El desarrollo total previsto es de 12,600 metros lineales de avance, así como 20,000 metros cúbicos de voladura (cortes) para trabajos permanentes para servicios y estaciones de carga. El plan de desarrollo 2024 incluye los niveles L380, L400, L420 y L440 para el yacimiento G, y L160, L180, L200 y L220 para el yacimiento H.

6,140 metros de desarrollo serán efectuados en el cuerpo G (nivel 400,420 y 440) (ilustración 2).

6,460 metros serán desarrollados en el cuerpo H (nivel 160, 180, 200 y 220). (ilustración 3).

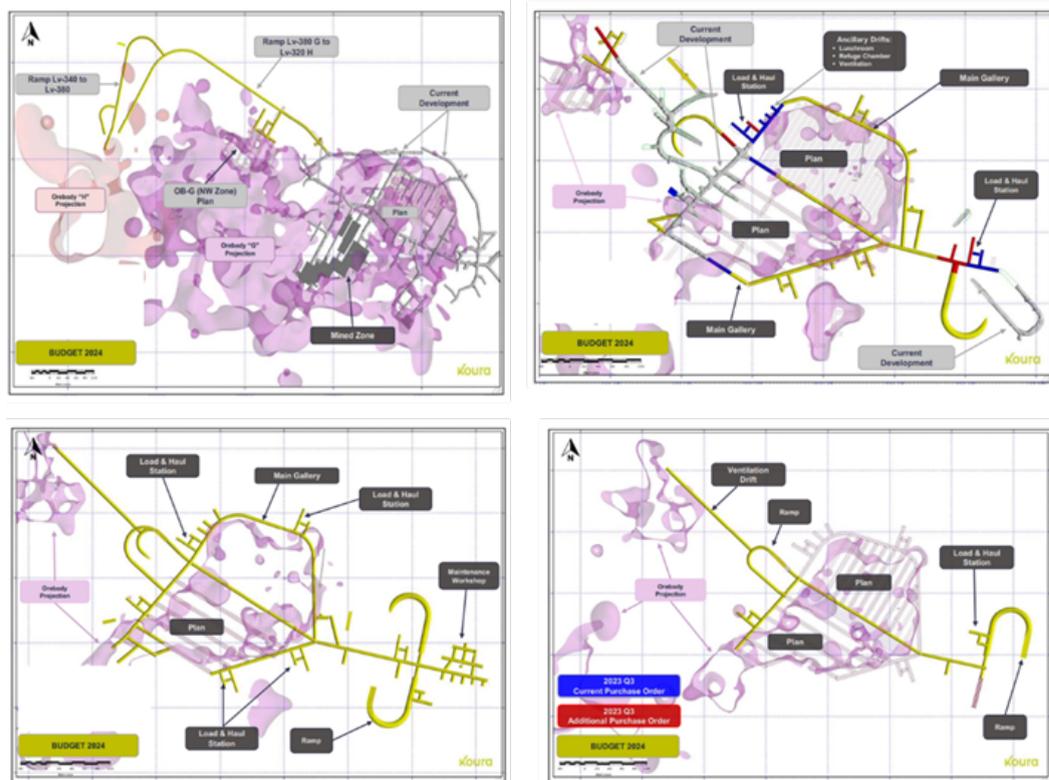


Imagen 4.-Planeación de desarrollo para el cuerpo G. Realizada por el departamento de planeación de Koura .

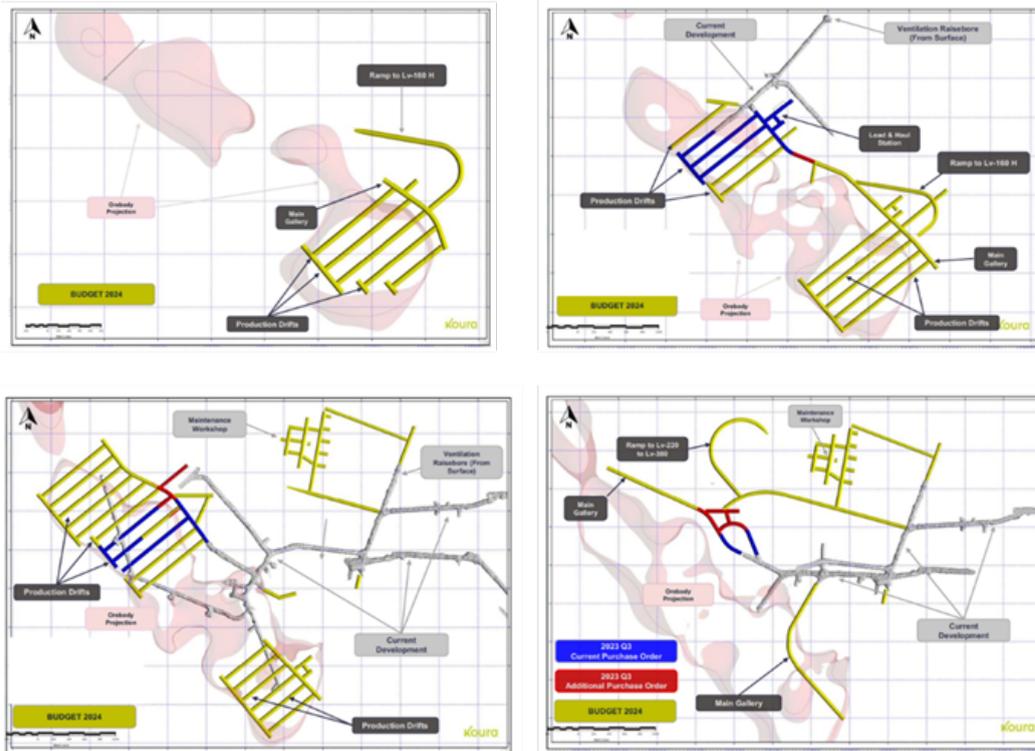


Imagen 5.-Planeación de desarrollo para el cuerpo H. Realizada por el departamento de planeación de Koura.

## Capítulo 3: Desarrollo del proyecto.

### 3.1 .- Procesamiento de datos

#### 3.1.1 .- Elaboración e interpretación de gráficas.

Durante un periodo de tiempo se estuvo muestreando diferentes puntos de la mina donde se considera de mayor importancia para observar el comportamiento que tiene los gases y cómo son afectados por la humedad, temperatura y equipos de operación, en este caso se analizaron todos estos factores con el fin de realizar un análisis gráfico, el cual representará de manera más precisa el comportamiento de los gases en áreas de trabajo y los resultados fueron los siguientes.

#### Análisis gráfico en la lumbrera H en el nivel 180

Gases: Se observa que la concentración de oxígeno (O<sub>2</sub>) se mantiene constante en 20.8% Este

mismo comportamiento de estabilidad se presenta en el monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO2).

Condiciones atmosféricas del área: Se observa un pico de humedad el 14/03/24 (88.9%). La temperatura varía entre 17°C y 25°C, con un promedio de 20.36°C. La temperatura muestra un aumento significativo el día 07/05/24 (25°C).

### Interpretación

Los comportamientos que se observan de estabilidad en los gases es debido a que la lumbrera H es la entrada de aire fresco al nivel, por tal motivo es que el aire que ingresa no presenta contaminantes.

Las condiciones atmosféricas del área son atribuidas a las condiciones con mayor humedad relativa en el periodo de tiempo observado. Debido a la cercanía que tiene la lumbrera H con superficie y la influencia de las condiciones atmosféricas del exterior.

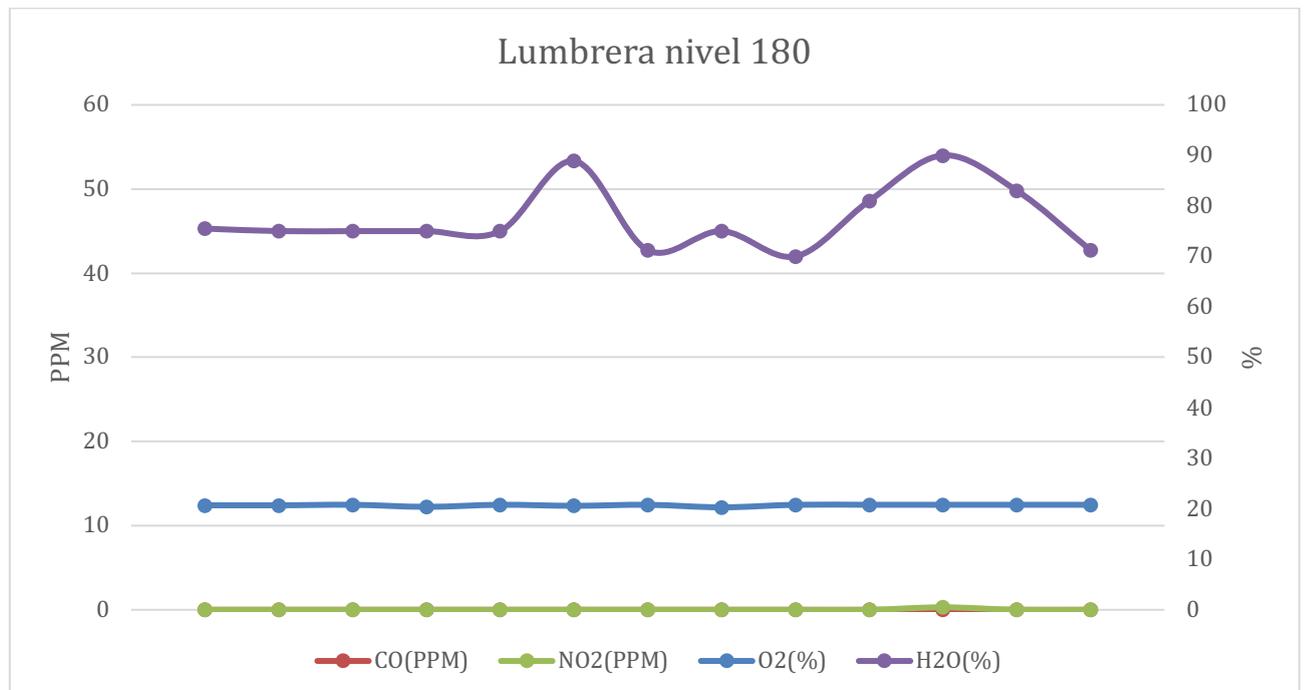


Imagen 6.- Análisis gráfico, lumbrera H, L180. Realizado en Excel 2019.

*Tabla 2.-Monitoreo de gases lumbrera L180. Realizado en Excel 2019.*

N°	FECHA	O <sub>2</sub> (%)	CO(PPM)	NO <sub>2</sub> (PPM)	H <sub>2</sub> O(%)	T°C
1	07/02/24	20.7	0	0	75.5	19.6
2	14/02/24	20.7	0	0	75	21
3	21/02/24	20.8	0	0	75	17
4	27/02/24	20.4	0	0	75	18.5
5	05/03/24	20.8	0	0	75	18
6	14/03/24	20.6	0	0	88.9	21.5
7	20/03/24	20.8	0	0	71.2	21
8	10/04/24	20.3	0	0	75	18.5
9	07/05/24	20.8	0	0	70	25
10	12/06/24	20.8	0	0	81	21
11	10/07/24	20.8	0	0.3	90	21
12	17/07/24	20.8	0	0	83	19.5
13	31/07/24	20.8	0	0	71.2	20

### **Análisis gráfico del crucero n° 2 en el nivel 180**

Gases: Se presentan variaciones en las concentraciones de CO y NO<sub>2</sub> las cuales son coincidentes en los mismos días de medición. Esto se debe a que en esos días se encontraba una mayor cantidad de equipos laborando en el área, más de lo normal. Proporcionado el acumulamiento de gases en las áreas de trabajo.

Condiciones atmosféricas del área: La humedad presenta aumentos en sus valores a partir del día 27 de febrero hasta el día 20 de Marzo. Esto se atribuye a la operación de equipos que liberan vapor junto con otros gases.

#### **Interpretación:**

Hay una clara relación entre el aumento de la temperatura y las concentraciones de CO y NO<sub>2</sub>. Las altas temperaturas generalmente coinciden con picos en las concentraciones de estos gases, lo cual se atribuye a la actividad de maquinaria en la zona. Similarmente, la humedad tiende a ser más alta en los mismos periodos donde se registran altos niveles de CO y NO<sub>2</sub>, lo que se debe a la

operación de equipos que también liberan vapor y gases de combustión.

Las concentraciones de CO y NO2 aumentan con la temperatura y la humedad, influenciadas por la actividad de maquinaria. Estos picos, aunque en rangos seguros, requieren monitoreo continuo para prevenir riesgos, utilizando principios de la ley de gases ideales y difusión de gases para entender estos comportamientos.

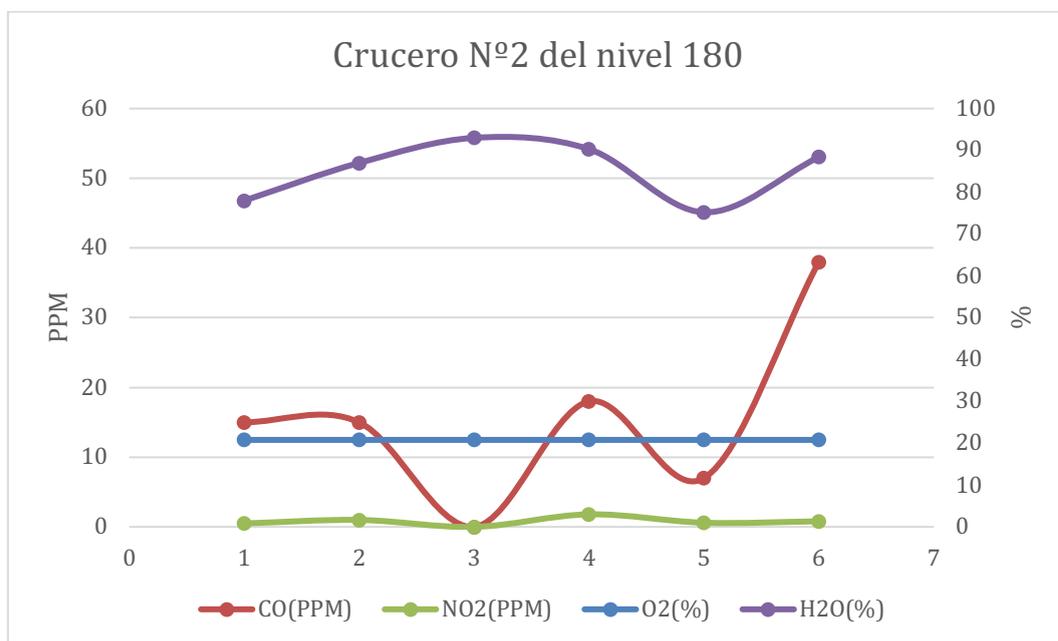


Imagen 7.- Análisis gráfico, cruceo n°2, L180. Realizado en Excel 2019.

Tabla 3.-Monitoreo de gases lumbrera L180. Realizado en Excel 2019.

N°	FECHA	O <sub>2</sub> (%)	CO(PPM)	NO <sub>2</sub> (PPM)	H <sub>2</sub> O(%)	T°C
1	14/02/24	20.8	15	0.5	78	22.1
2	27/02/24	20.8	15	1	87	26.1
3	14/03/24	20.8	0	0	93	25.7
4	20/03/24	20.8	18	1.8	90.3	28
5	10/04/24	20.8	7	0.6	75.2	25.5
6	12/06/24	20.8	38	0.8	88.4	27.9

### **Análisis gráfico del crucero n° 3 en el nivel 180**

**Gases:** Se observa un comportamiento de variabilidad en el monóxido (CO) y óxidos nitrosos (NO<sub>2</sub>) en el tiempo observado, más sin embargo no existe un rango elevado de variabilidad de los datos. Los valores no presentan un riesgo elevado para las actividades operativas, a excepción de las 3.2 ppm de NO<sub>2</sub> del día 21 de febrero. El Oxígeno no presenta mucha variación y no se presentó en concentraciones que pongan en riesgo al personal.

**Condiciones atmosféricas:** La humedad presenta aumentos durante el mismo tiempo que en los puntos más altos de CO y NO<sub>2</sub>. La temperatura tiene algunos cambios de variación desde los 23 hasta los 29 °C.

#### **Interpretación:**

Existe una clara relación entre el aumento de la temperatura y las concentraciones de CO y NO<sub>2</sub>. En relación a la temperatura generalmente coinciden con picos en las concentraciones de estos gases, lo cual son atribuidos al incremento de actividad de maquinaria en la zona. Así mismo el incremento de equipos tiende a liberar vapor y gases de combustión. La tendencia de incremento de la temperatura está relacionada al incremento de equipos en el área en las últimas fechas.

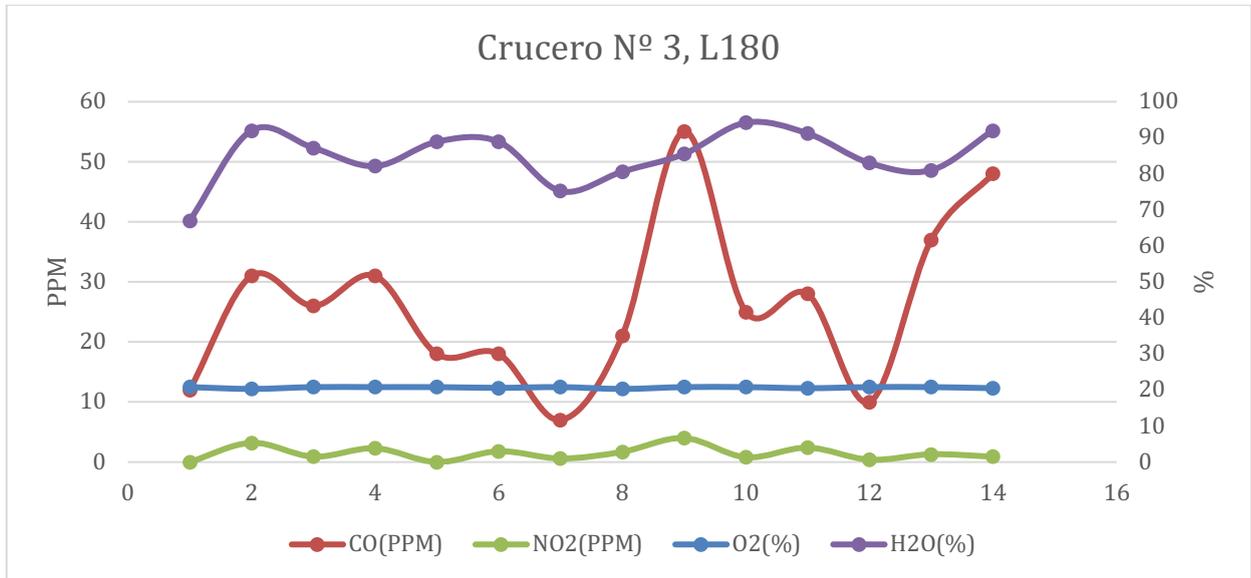


Imagen 8.- Análisis gráfico, crucero n°3, L180. Realizado en Excel 2019.

Tabla 4.-Monitoreo de gases crucero n°3-L180. Realizado en Excel 2019.

N°	FECHA	O <sub>2</sub> (%)	CO(PPM)	NO <sub>2</sub> (PPM)	H <sub>2</sub> O(%)	T°C
1	07/02/24	20.8	12	0	67	23
2	21/02/24	20.3	31	3.2	92	28
3	05/03/24	20.8	26	0.9	87.2	24.5
4	14/03/24	20.8	31	2.3	82.1	27.5
5	20/03/24	20.8	18	0	88.9	26.4
6	21/03/24	20.6	18	1.8	88.9	26.4
7	10/04/24	20.8	7	0.6	75.2	25.5
8	12/06/24	20.3	21	1.7	80.6	29.6
9	07/05/24	20.8	55	4	85.5	28.2
10	12/06/24	20.8	25	0.8	94.2	27
11	10/07/24	20.5	28	2.4	91.2	28.6
12	15/07/24	20.8	10	0.4	83	27
13	17/07/24	20.8	37	1.3	81	27.2
14	31/07/24	20.5	48	0.9	92	24.5

## **Análisis gráfico del nivel 200 en el regreso**

Gases: Los niveles de CO alcanzan un máximo de 57 PPM, lo cual supera el umbral de alerta mínima de 50 PPM. Se puede observar una variación constante en la concentración de CO en el ambiente del área, teniendo como valor mínimo 0 ppm y como máximo las 57 ppm. El valor más elevado de NO<sub>2</sub> de 3.5 PPM el día 3 es alarmante pues sobrepasa la alarma mínima de 2.5 PPM. Los niveles de oxígeno se mantienen mayormente estables y dentro de un rango seguro.

Condiciones atmosféricas del área: Las condiciones presentadas en la humedad y temperatura del área presentan una variación mínima no alarmante en sus valores. En este caso la humedad se encuentra en un rango de 78 a 88 % de humedad y la temperatura de 24.5 a 30 °C.

Interpretación:

La variación en la humedad y la temperatura puede impactar la percepción de la calidad del aire. Las fluctuaciones en los niveles de CO están relacionadas con el tránsito de maquinaria y otras actividades operativas. Cuando la zona se encuentra fuera de operación las concentraciones de gases llegan a valores mínimos, debido a la no operación y movimiento de equipos.

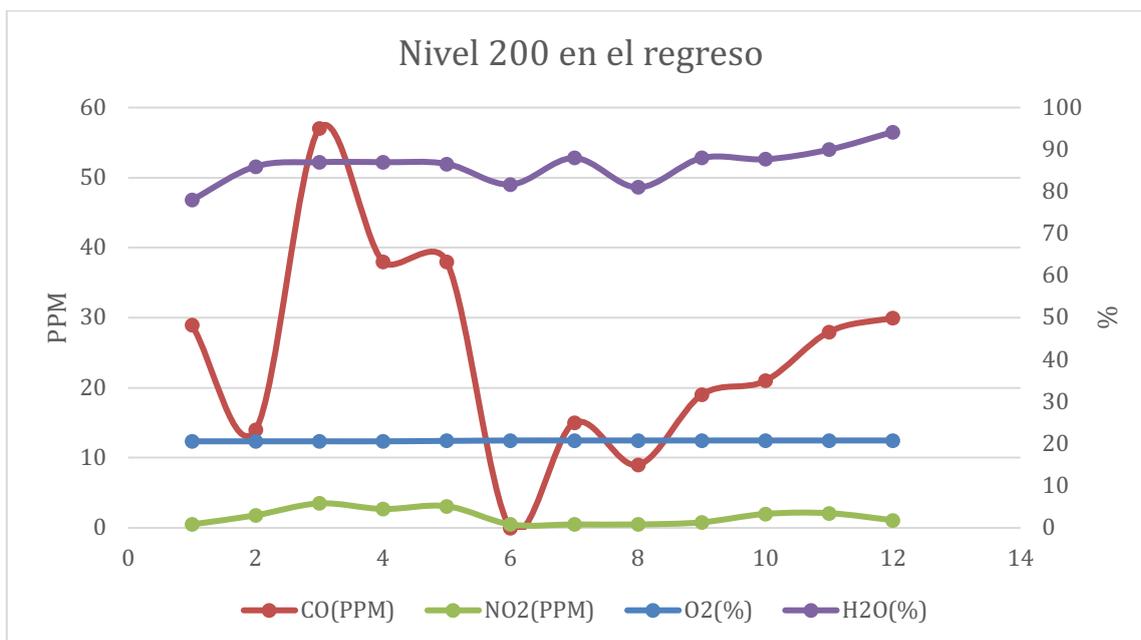


Imagen 9.- Análisis gráfico, en el regreso L200. Realizado en Excel 2019.

Tabla 5.-Monitoreo de gases, en el regreso L200. Realizado en Excel 2019.

Nº	FECHA	O <sub>2</sub> (%)	CO(PPM)	NO <sub>2</sub> (PPM)	H <sub>2</sub> O(%)	T°C
1	07/02/24	20.6	29	0.5	78	27.2
2	14/02/24	20.6	14	1.8	86	28.1
3	21/02/24	20.6	57	3.5	87	30
4	27/02/24	20.6	38	2.7	87	31.1
5	05/03/24	20.7	38	3.1	86.6	30.8
6	14/03/24	20.8	0	0.5	81.7	25
7	20/03/24	20.8	15	0.5	88	28
8	10/04/24	20.8	9	0.5	81	24.5
9	21/05/24	20.8	19	0.8	88	25
10	12/06/24	20.8	21	2	87.7	25.8
11	10/07/24	20.8	28	2.1	90	24.2
12	17/07/24	20.8	30	1.1	94.2	25.3

## **Análisis gráfico del nivel 200 en la entrada.**

Gases: La concentración de gases alcanza un máximo de 42 PPM de monóxido de carbono (CO) presentando fluctuaciones significativas los días 27 de Febrero y 5 de Marzo, sin sobrepasar el umbral máximo, sin embargo también presenta descensos significativos de concentración los días 14 y 20 de marzo. El valor más elevado del óxido nitroso se encuentra en 2.1 PPM el día 27 de Febrero, no sobrepasa el límite máximo permisible y a partir de ahí se mantiene en un rango estable de concentración en el medio ambiente del área de trabajo.

condiciones atmosféricas del área: La humedad relativa muestra una tendencia generalmente estable en un rango del 79 al 86 % de humedad. La temperatura presenta una variación en el rango de los 22 a los 28.6 °C. Sin embargo, ambos parámetros no indican un problema para la seguridad del personal.

Interpretación:

Los picos en las concentraciones de CO coinciden con incrementos en la temperatura, especialmente los días 27 y 5 de febrero. Esto debido a que la actividad de maquinaria, que emite CO, aumentó en estos días, incrementando la temperatura y la concentración de gases.

La concentración de NO<sub>2</sub> también muestra un comportamiento similar, con aumento que coincide con los incrementos de temperatura debido a la presencia de maquinaria de operación respectivamente .

La humedad relativa muestra una relación inversa con las concentraciones de CO en algunos puntos, demostrando que la humedad llega a influir en la dispersión de estos gases.

Estos datos indican que la actividad de maquinaria y las condiciones ambientales, como la temperatura, juegan un papel crucial en las concentraciones de gases. Es crucial monitorear continuamente estas variables para prevenir riesgos y tomar decisiones operativas informadas.

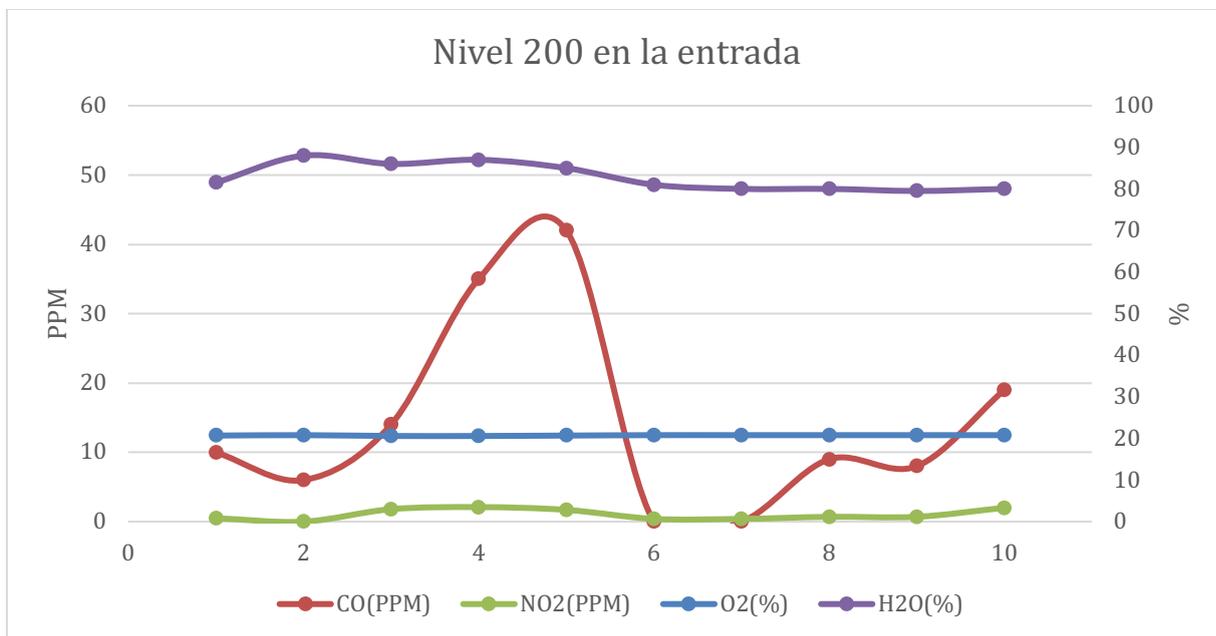


Imagen 10.- Análisis gráfico, en la entrada L200. Realizado en Excel 2019.

Tabla 6.-Monitoreo de gases, en la entrada L200. Realizado en Excel 2019.

N°	FECHA	O <sub>2</sub> (%)	CO(PPM)	NO <sub>2</sub> (PPM)	H <sub>2</sub> O(%)	T°C
1	07/02/24	20.7	10	0.5	81.5	22
2	14/02/24	20.8	6	0	88	25.6
3	21/02/24	20.6	14	1.8	86	28.6
4	27/02/24	20.6	35	2.1	87	28.1
5	05/03/24	20.7	42	1.7	85	27.6
6	14/03/24	20.8	0	0.4	81	25.1
7	20/03/24	20.8	0	0.4	80	25
8	10/04/24	20.8	9	0.7	80	26
9	07/05/24	20.8	8	0.7	79.5	24.1
10	21/05/24	20.8	19	2	80	25

### **Análisis gráfico de la rampa 220 a 200.**

Gases: La concentración de monóxido de carbono (CO) alcanza un máximo de 24 PPM, presentando fluctuaciones significativas los días 7 de mayo y 12 de junio. Aunque no sobrepasa el umbral máximo, se observa una tendencia al alza en el final del periodo. El óxido nitroso (NO<sub>2</sub>) presenta un valor máximo de 0.9 PPM el día 14 de febrero, manteniéndose en un rango seguro durante todo el periodo.

Condiciones atmosféricas del área: La humedad relativa muestra una tendencia estable, fluctuando entre el 70% y el 90%. La temperatura varía entre 22°C y 27.5°C, condiciones que no representan un riesgo para la seguridad del personal.

#### **Interpretación:**

La rampa 220 A 200 muestra fluctuaciones en las concentraciones de CO y NO<sub>2</sub>, con incrementos de CO que coinciden con los aumentos en la temperatura, especialmente en los días 5, 10 y 11 de marzo, debido a la mayor actividad de maquinaria en la zona. La concentración de NO<sub>2</sub> se mantiene en niveles bajos y seguros, con incrementos leves que también coinciden con los aumentos de temperatura.

La humedad relativa tiene una relación inversa con las concentraciones de CO en algunos puntos, indicando que la humedad puede influir en la dispersión de estos gases. Sin embargo, el NO<sub>2</sub> no muestra una correlación fuerte con la humedad.

La tendencia general de la temperatura es ligeramente ascendente, con un aumento notable hacia el final del periodo, debido a la falta de ventilación adecuada.

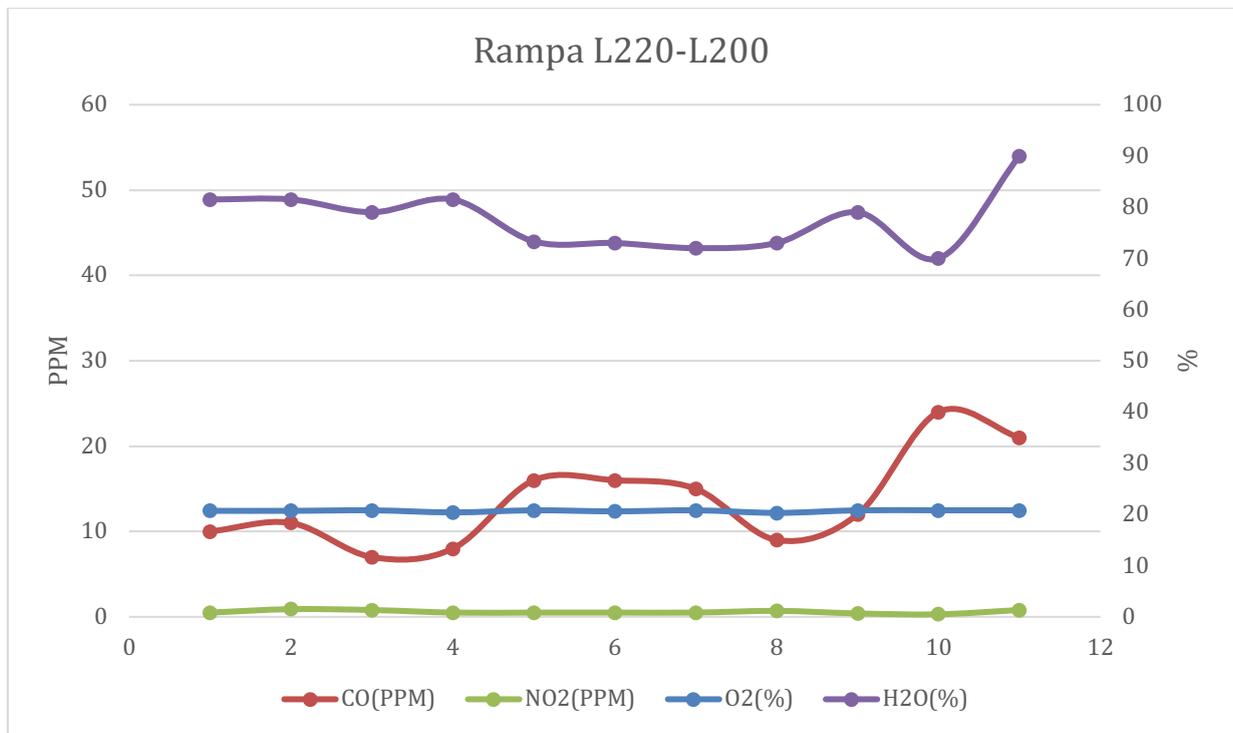


Imagen 11.- Análisis gráfico, rampa L220 a L200. Realizado en Excel 2019.

Tabla 7.- Monitoreo de gases, rampa L220 a L200. Realizado en Excel 2019.

Nº	FECHA	O <sub>2</sub> (%)	CO(PPM)	NO <sub>2</sub> (PPM)	H <sub>2</sub> O(%)	T°C
1	07/02/24	20.7	10	0.5	81.5	22
2	14/02/24	20.7	11	0.9	81.5	22
3	21/02/24	20.8	7	0.8	79	25
4	27/02/24	20.4	8	0.5	81.5	24.8
5	05/03/24	20.8	16	0.5	73.3	25.4
6	14/03/24	20.6	16	0.5	73	25
7	20/03/24	20.8	15	0.5	72	25
8	10/04/24	20.3	9	0.7	73	24.8
9	30/04/24	20.8	12	0.4	79	25
10	07/05/24	20.8	24	0.3	70	27.5
11	12/06/24	20.8	21	0.8	90	26.8

## **Análisis gráfico de la galería del nivel 220**

Gases: La concentración de monóxido de carbono (CO) alcanza un máximo de 24 PPM, presentando fluctuaciones significativas los días 7 de mayo y 12 de junio. Aunque no sobrepasa el umbral mínimo, se observa una tendencia a la baja en el final del periodo. El óxido nitroso (NO<sub>2</sub>) presenta un valor máximo de 1.1 PPM el día 12 de junio, manteniéndose en un rango seguro durante todo el periodo.

Condición atmosférica del área: La humedad relativa muestra una tendencia estable, fluctuando entre el 73% y el 89%. La temperatura varía entre 24.2°C y 28°C, condiciones que no representan un riesgo para la seguridad del personal.

### Interpretación

La galería del nivel 220 muestra fluctuaciones en las concentraciones de CO y NO<sub>2</sub>, con incrementos significativos de CO que coinciden con los aumentos en la temperatura, especialmente los días 7 de mayo y 12 de junio. Estos picos se atribuyen a la mayor actividad de maquinaria en la zona y a un aumento de humedad en el área.

La humedad relativa muestra una relación inversa con las concentraciones de CO en algunos puntos, indicando que la humedad influye en la dispersión de estos gases. Sin embargo, el NO<sub>2</sub> no muestra una correlación fuerte con la humedad. La tendencia general de la temperatura es ligeramente ascendente, con un aumento notable hacia el final del periodo.

La galería del nivel 220 muestra que la actividad de maquinaria, la ventilación parcial y las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, influyen significativamente en las concentraciones de gases. Monitorear continuamente estas variables es crucial para prevenir riesgos y tomar decisiones operativas informadas

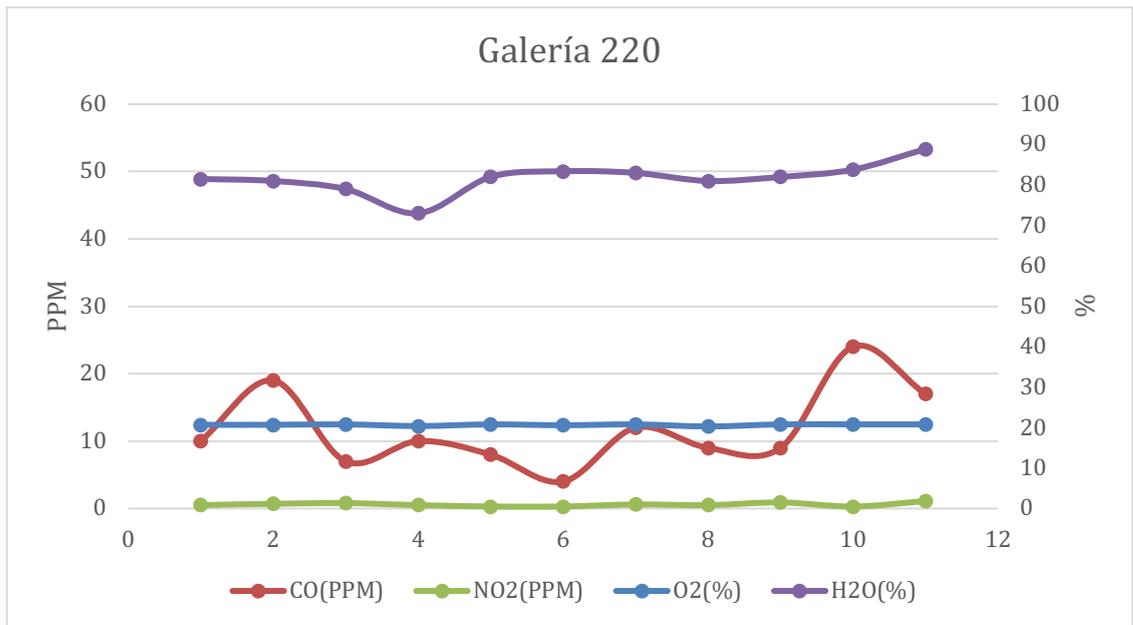


Imagen 12.-Análisis gráfico, Galería L220. Realizado en Excel 2019.

Tabla 8.- Monitoreo de gases, galería L220. Realizado en Excel 2019

N°	FECHA	O <sub>2</sub> (%)	CO(PPM)	NO <sub>2</sub> (PPM)	H <sub>2</sub> O(%)	T°C
1	07/02/24	20.7	10	0.5	81.5	24.5
2	14/02/24	20.7	19	0.7	81	24.5
3	21/02/24	20.8	7	0.8	79	25.6
4	27/02/24	20.4	10	0.5	73	26
5	05/03/24	20.8	8	0.3	82	25
6	14/03/24	20.6	4	0.3	83.4	24.2
7	20/03/24	20.8	12	0.6	83	25.5
8	10/04/24	20.3	9	0.5	81	24.2
9	30/04/24	20.8	9	0.9	82	25.2
10	07/05/24	20.8	24	0.3	83.8	27.5
11	12/06/24	20.8	17	1.1	88.9	28

## **Análisis gráfico de la galería del nivel 340**

Gases: La concentración de monóxido de carbono (CO) alcanza un máximo de 50 PPM el día 29 de abril, presentando fluctuaciones significativas a lo largo del periodo. El óxido nitroso (NO<sub>2</sub>) presenta un valor máximo de 2.3 PPM el 21 de febrero, manteniéndose en un rango seguro durante todo el periodo.

Condiciones atmosféricas del área: La humedad relativa fluctúa entre el 72% y el 95.6%, con una tendencia general a la estabilidad. La temperatura varía entre 24.5°C y 28.2°C, condiciones que no representan un riesgo para la seguridad del personal.

Interpretación:

La galería del nivel 340 muestra fluctuaciones en las concentraciones de CO y NO<sub>2</sub>, con incrementos significativos de CO que coinciden con los aumentos en la temperatura, especialmente el día 29 de abril. Estos picos se atribuyen a la mayor actividad de maquinaria en la zona y a problemas de ventilación.

La humedad relativa muestra una relación inversa con las concentraciones de CO en algunos puntos, indicando que la humedad influye en la dispersión de estos gases. Sin embargo, el NO<sub>2</sub> no muestra una correlación fuerte con la humedad.

La tendencia general de la temperatura es ligeramente ascendente, con un aumento notable hacia el final del periodo.

La galería del nivel 340 muestra que la actividad de maquinaria, la ventilación parcial y las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, influyen significativamente en las concentraciones de gases. En particular, la reinversión del circuito de ventilación contribuyó a la recirculación del aire viciado en los picos más altos. Monitorear continuamente estas variables es crucial para prevenir riesgos y tomar decisiones operativas informadas

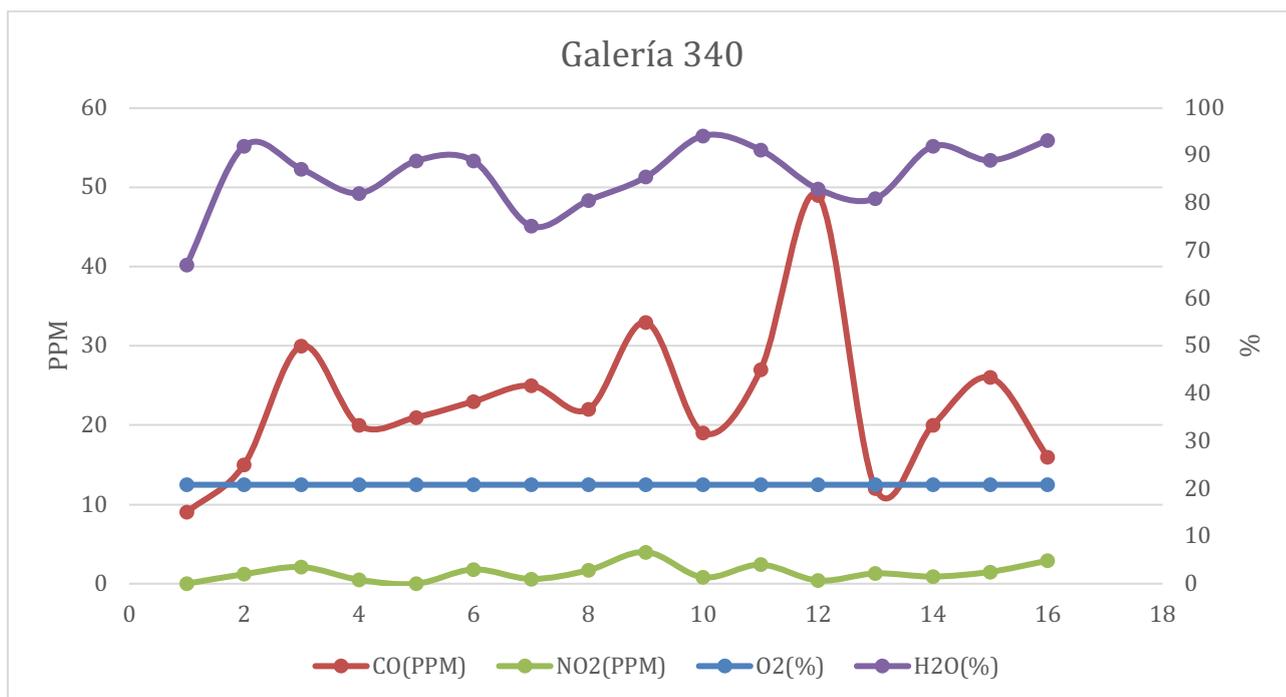


Imagen 13.- Análisis gráfico, galería L340. Realizado en Excel 2019.

Tabla 9.-Monitoreo de gases, galería L340. Realizado en Excel 2019

Nº	FECHA	O <sub>2</sub> (%)	CO(PPM)	NO <sub>2</sub> (PPM)	H <sub>2</sub> O(%)	T°C
1	07/02/24	20.8	9	0	67	23
2	14/02/24	20.8	15	1.2	92	28
3	21/02/24	20.8	30	2.1	87.2	24.5
4	27/02/24	20.8	20	0.5	82.1	27.5
5	05/03/24	20.8	21	0	88.9	26.4
6	14/03/24	20.8	23	1.8	88.9	26.4
7	20/03/24	20.8	25	0.6	75.2	25.5
8	25/04/24	20.8	22	1.7	80.6	29.6
9	07/05/24	20.8	33	4	85.5	28.2
10	15/06/24	20.8	19	0.8	94.2	27
11	21/05/24	20.8	27	2.4	91.2	28.6
12	29/05/24	20.8	49	0.4	83	27
13	05/06/24	20.8	12	1.3	81	27.2
14	12/06/24	20.8	20	0.9	92	24.5
15	25/06/24	20.8	26	1.5	89	27
16	15/07/24	20.8	16	2.9	93.2	26.8

## **Análisis gráfico del crucero N°5 del nivel 340**

Gases: La concentración de monóxido de carbono (CO) alcanza un máximo de 38 PPM el día 21 de febrero, presentando fluctuaciones significativas a lo largo del periodo. El óxido nitroso (NO<sub>2</sub>) presenta un valor máximo de 2.8 PPM el 29 de mayo, manteniéndose en un rango seguro durante la mayor parte del periodo.

Condiciones atmosféricas del área: La humedad relativa fluctúa entre el 72% y el 91%, con una tendencia general a la estabilidad. La temperatura varía entre 23.8°C y 29.6°C, condiciones que no representan un riesgo para la seguridad del personal.

### **Interpretación:**

Los picos en las concentraciones de CO coinciden con incrementos en la temperatura, especialmente el día 21 de febrero. Estos picos se atribuyen a la mayor actividad de maquinaria en la zona y a problemas de ventilación que llevaron a la recirculación del aire viciado. La concentración de NO<sub>2</sub> también muestra picos significativos el 29 de mayo, coincidiendo con las temperaturas más altas. La humedad relativa muestra una relación inversa con las concentraciones de CO en algunos puntos, lo que sugiere que la humedad puede influir en la dispersión de estos gases. Sin embargo, la concentración de NO<sub>2</sub> no muestra una correlación fuerte con la humedad.

El crucero N°5 del nivel 340 demuestra que la actividad de maquinaria, la ventilación parcial y las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, juegan un papel crucial en las concentraciones de gases. Monitorear continuamente estas variables es esencial para prevenir riesgos y tomar decisiones operativas informadas.

General del nivel 340: El Nivel 340 presenta condiciones ambientales que requieren atención continua para asegurar la seguridad y la salud de los trabajadores. Las altas concentraciones de CO y

NO2 son áreas de preocupación que pueden estar afectadas por la recirculación de aire viciado, lo cual sugiere problemas significativos en la ventilación. La estabilidad de los niveles de oxígeno es positiva y debe mantenerse. La gestión de la humedad y la temperatura es crucial para asegurar un ambiente de trabajo cómodo y seguro. La implementación de las recomendaciones mencionadas, incluyendo la mejora y optimización de los sistemas de ventilación, ayudará a mantener un entorno seguro y saludable en el Nivel 340, promoviendo la eficiencia operativa y el bienestar de los trabajadores.

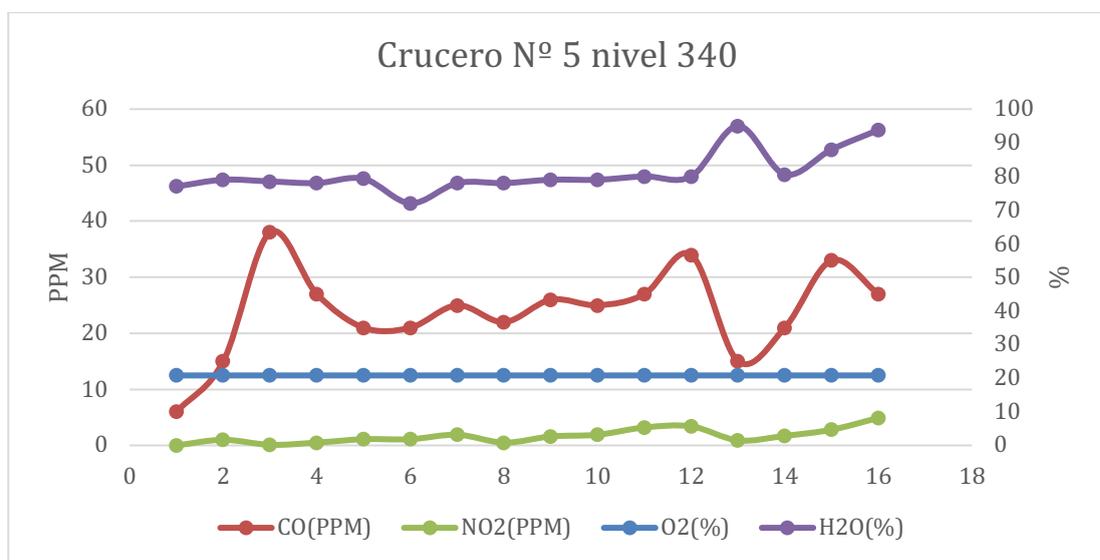


Imagen 14.- Análisis gráfico, cruceo n°5 L340. Realizado en Excel 2019.

Tabla 10.- Monitoreo de gases, cruceo n°5 L340. Realizado en Excel 2019.

N°	FECHA	O <sub>2</sub> (%)	CO(PPM)	NO <sub>2</sub> (PPM)	H <sub>2</sub> O(%)	T°C
1	07/02/24	20.8	6	0	77	23.8
2	14/02/24	20.8	15	1	79	25.8
3	21/02/24	20.8	38	0.1	78.5	26
4	27/02/24	20.8	27	0.5	78	27.5
5	05/03/24	20.8	21	1.1	79.3	27.8
6	14/03/24	20.8	21	1.1	72	27.8
7	20/03/24	20.8	25	1.9	78	27.5
8	25/04/24	20.8	22	0.5	78	26
9	07/05/24	20.8	26	1.6	79	27.5
10	15/06/24	20.8	25	1.9	79	27.5
11	21/05/24	20.8	27	3.2	80	28
12	29/05/24	20.8	34	3.4	80	28

13	05/06/24	20.8	15	0.9	95	26.6
14	12/06/24	20.8	21	1.7	80.6	29.6
15	25/06/24	20.8	33	2.8	88	26.5
16	15/07/24	20.8	27	4.9	93.8	29.8

### **Análisis gráfico de la galería del nivel 360.**

Gases: La concentración de monóxido de carbono (CO) alcanza un máximo de 32 PPM el día 29 de mayo, presentando fluctuaciones significativas a lo largo del periodo. El óxido nitroso (NO<sub>2</sub>) presenta un valor máximo de 3.6 PPM el 7 de mayo, dando una concentración peligrosa pero generalmente se mantiene en un rango seguro.

Condiciones atmosféricas del área: La humedad relativa fluctúa entre el 72% y el 91%, con una tendencia general a la estabilidad. La temperatura varía entre 23.1°C y 25.6°C, condiciones que no representan un riesgo para la seguridad del personal.

Interpretación:

Los picos en las concentraciones de CO coinciden con incrementos en la temperatura, especialmente el día 29 de mayo. Estos picos son debido a la mayor actividad de maquinaria en la zona y a problemas de ventilación que llevaron a la recirculación del aire viciado. La concentración de NO<sub>2</sub> también muestra picos significativos el 7 de mayo, coincidiendo con las temperaturas más altas.

La humedad relativa muestra una relación inversa con las concentraciones de CO en algunos puntos, lo que sugiere que la humedad puede influir en la dispersión de estos gases. Sin embargo, la concentración de NO<sub>2</sub> no muestra una correlación fuerte con la humedad.

La galería del nivel 360 demuestra que la actividad de maquinaria, la ventilación parcial y las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, juegan un papel crucial en las

concentraciones de gases. Monitorear continuamente estas variables es esencial para prevenir riesgos y tomar decisiones operativas informadas.

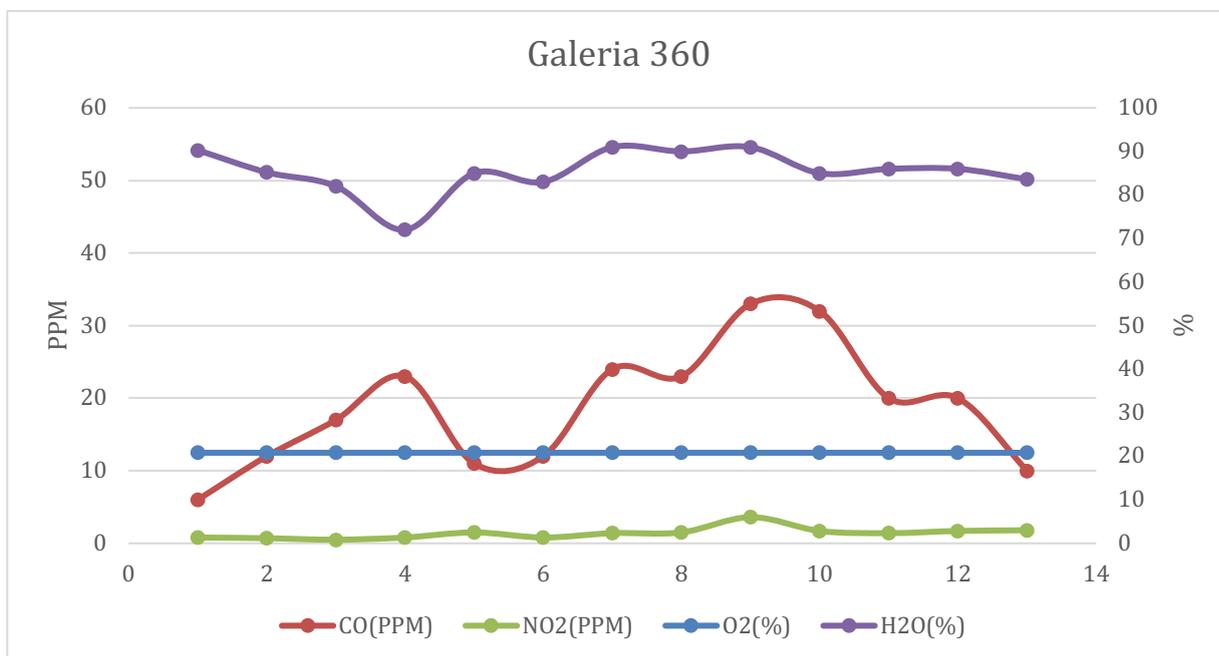


Imagen 15.- Análisis gráfico, galería L360. Realizado en Excel 2019.

Tabla 11.- Monitoreo de gases, galería L360. Realizado en Excel 2019

Nº	Fecha	O <sub>2</sub> (%)	CO(PPM)	NO <sub>2</sub> (PPM)	H <sub>2</sub> O(%)	T°C
1	21/02/24	20.8	6	0.8	90.3	23.1
2	27/02/24	20.8	12	0.7	85.2	25.6
3	05/03/24	20.8	17	0.5	82	26
4	14/03/24	20.8	23	0.8	72	27
5	20/03/24	20.8	11	1.5	85	26
6	02/04/24	20.8	12	0.8	83	25.1
7	16/04/24	20.8	24	1.4	91	24.6
8	25/04/24	20.8	23	1.5	90	25
9	07/05/24	20.8	33	3.6	91	26
10	29/05/24	20.8	32	1.7	85	25.3
11	12/06/24	20.8	20	1.4	86	27.1
12	25/06/24	20.8	20	1.7	86	26.8
13	15/07/24	20.8	10	1.8	83.6	25.9

## **Análisis del crucero N°-1 del nivel 360**

Gases: La concentración de monóxido de carbono (CO) alcanza un máximo de 36 PPM el día 29 de mayo, presentando fluctuaciones significativas a lo largo del periodo. El óxido nitroso (NO<sub>2</sub>) presenta un valor máximo de 2.8 PPM el mismo día, manteniéndose generalmente en un rango seguro.

Condiciones atmosféricas del área: La humedad relativa fluctúa entre el 67.8% y el 95.5%, con una tendencia general a la estabilidad. La temperatura varía entre 26.1°C y 29°C, condiciones que no representan un riesgo para la seguridad del personal.

Interpretación:

La concentración de CO y NO<sub>2</sub> muestra picos significativos el día 29 de mayo, coincidiendo con un aumento en la temperatura. Estos picos son debido a la mayor actividad de maquinaria en el área y a problemas de ventilación que llevaron a la recirculación del aire viciado. La ausencia de ventiladores en ciertos días también contribuyó a la acumulación de gases en el área.

La humedad relativa muestra una relación inversa con las concentraciones de CO en algunos puntos, lo que sugiere que la humedad puede influir en la dispersión de estos gases. Sin embargo, la concentración de NO<sub>2</sub> no muestra una correlación fuerte con la humedad.

El crucero N°1 del nivel 360 demuestra que la actividad de maquinaria, la ventilación parcial y las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, juegan un papel crucial en las concentraciones de gases. Monitorear continuamente estas variables es esencial para prevenir riesgos y tomar decisiones operativas informadas.

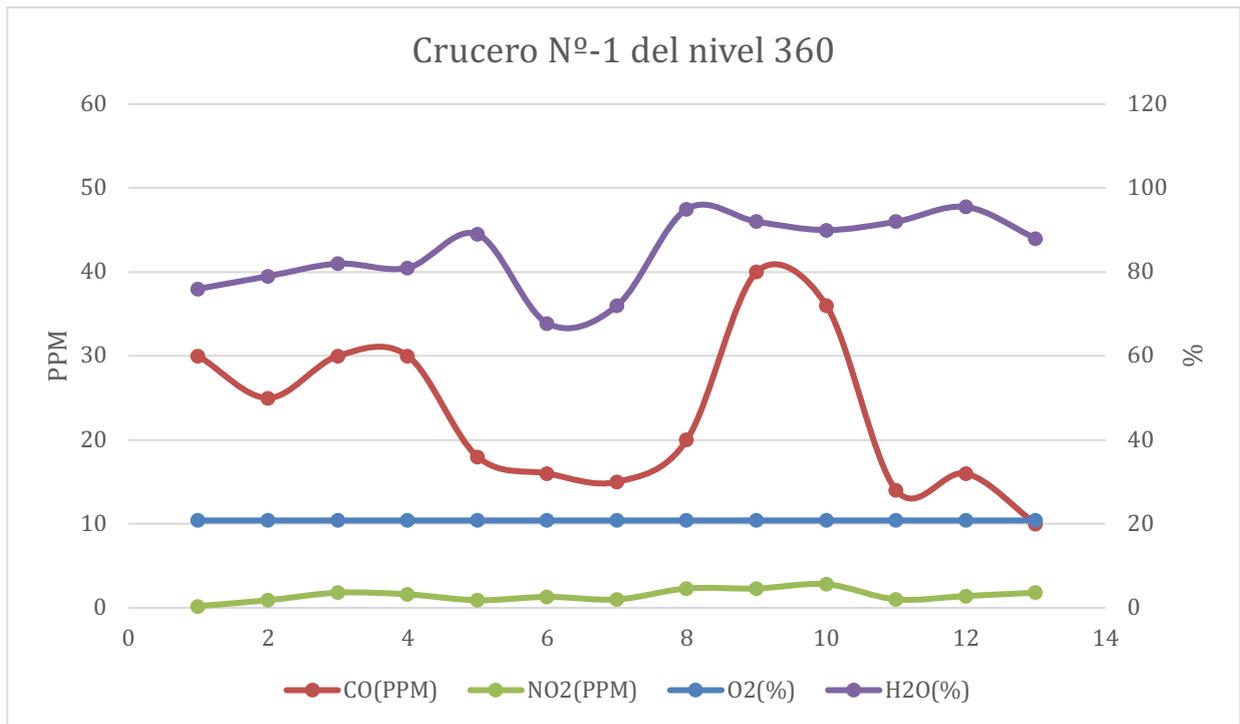


Imagen 16.- Análisis gráfico, crucero n°-1, L360. Realizado en Excel 2019.

Tabla 12.-Monitoreo de gases, crucero n°-1, L360. Realizado en Excel 2019.

N°	FECHA	O <sub>2</sub> (%)	CO(PPM)	NO <sub>2</sub> (PPM)	H <sub>2</sub> O(%)	T°C
1	07/02/24	20.8	30	0.2	76	27.5
2	14/02/24	20.8	25	0.9	79	28.2
3	21/02/24	20.8	30	1.8	82	29
4	27/02/24	20.8	30	1.6	81	29
5	05/03/24	20.8	18	0.9	89	27
6	14/03/24	20.8	16	1.3	67.8	26.1
7	20/03/24	20.8	15	1	72	27.5
8	02/04/24	20.8	20	2.3	95	28.9
9	29/04/24	20.8	40	2.3	92	28
10	29/05/24	20.8	36	2.8	90	28.3
11	05/06/24	20.8	14	1	92	28.7
12	12/06/24	20.8	16	1.4	95.5	29
13	15/07/24	20.8	10	1.8	88	26

### **Análisis gráfico de cruceo N°-4 del nivel 360.**

Gases: La concentración de monóxido de carbono (CO) alcanza un máximo de 50 PPM el 29 de abril, presentando fluctuaciones notables durante el periodo. El óxido nitroso (NO<sub>2</sub>) presenta un valor máximo de 7.8 PPM el 5 de marzo, sobrepasando el umbral máximo de concentración y también mostrando variaciones significativas.

Condiciones atmosféricas del área: La humedad relativa varía entre el 83.3% y el 94.6%, con una tendencia a la estabilidad. La temperatura oscila entre 26.5°C y 29°C, manteniéndose dentro de un rango que no supone un riesgo para la seguridad del personal.

#### **Interpretación:**

Los picos en las concentraciones de CO y NO<sub>2</sub> coinciden con incrementos de temperatura y humedad, especialmente el 29 de abril y el 5 de marzo, respectivamente. Estos picos pueden atribuirse a una mayor actividad de maquinaria y al apagado de los ventiladores en ciertos días, lo que resultó en la recirculación de aire viciado y la acumulación de gases.

La relación inversa entre la humedad relativa y la concentración de CO en algunos puntos sugiere que la humedad influye en la dispersión de estos gases. La temperatura elevada también contribuye a la difusión más rápida de los gases, aumentando su concentración en el ambiente.

El cruceo N°4 muestra que la combinación de actividad de maquinaria, problemas de ventilación y condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, afecta significativamente las concentraciones de gases. Monitorear continuamente estas variables es esencial para prevenir riesgos y tomar decisiones operativas informadas.

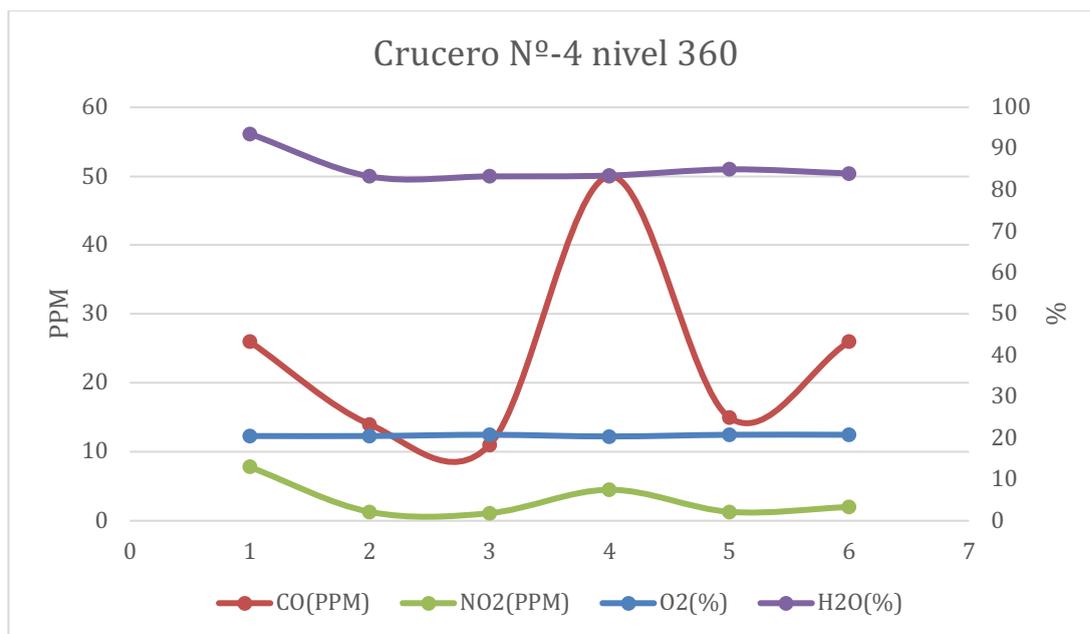


Imagen 17.-Análisis gráfico, crucero n°-4, L360. Realizado en Excel 2019.

Tabla 13.-.-Monitoreo de gases, crucero n°-1, L360. Realizado en Excel 2019.

Nº	FECHA	O <sub>2</sub> (%)	CO(PPM)	NO <sub>2</sub> (PPM)	H <sub>2</sub> O(%)	T°C
1	05/03/24	20.5	26	7.8	93.6	23.1
2	14/03/24	20.5	14	1.3	83.3	25.6
3	20/03/24	20.8	11	1.1	83.3	26
4	29/04/24	20.4	50	4.5	83.5	27
5	12/06/24	20.8	15	1.3	85	26
6	25/06/24	20.8	26	2	84	28.6

### **Análisis gráfico de la galería SE del nivel 380**

Gases: La concentración de monóxido de carbono (CO) alcanza un máximo de 56 PPM el 14 de marzo, con fluctuaciones significativas a lo largo del periodo. El óxido nitroso (NO<sub>2</sub>) presenta un valor máximo de 1.4 PPM el 29 de abril, manteniéndose generalmente en niveles seguros.

Condiciones atmosféricas del área: La humedad relativa varía entre el 75% y el 98.1%, con una tendencia general a la estabilidad. La temperatura oscila entre 24.8°C y 27.7°C, manteniéndose en un rango seguro para el personal.

#### **Interpretación:**

La presencia de maquinaria de acarreo, vehículos ligeros y cargadores de bajo perfil en esta galería contribuye a las fluctuaciones en las concentraciones de CO y NO<sub>2</sub>. Los picos en las concentraciones de CO coinciden con incrementos de temperatura, especialmente el 14 de marzo y el 29 de abril, debido a la actividad de maquinaria que emite estos gases.

La relación entre la temperatura y las concentraciones de gases indica que las altas temperaturas facilitan la difusión de los gases emitidos por la maquinaria, resultando en picos notables de concentración. La humedad relativa muestra una tendencia a la estabilidad, aunque con una ligera disminución coincidiendo con los picos de CO, lo que indica una influencia moderada de la humedad en la dispersión de estos gases.

La galería SE del nivel 380 muestra que la actividad de maquinaria y las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, afectan significativamente las concentraciones de gases.

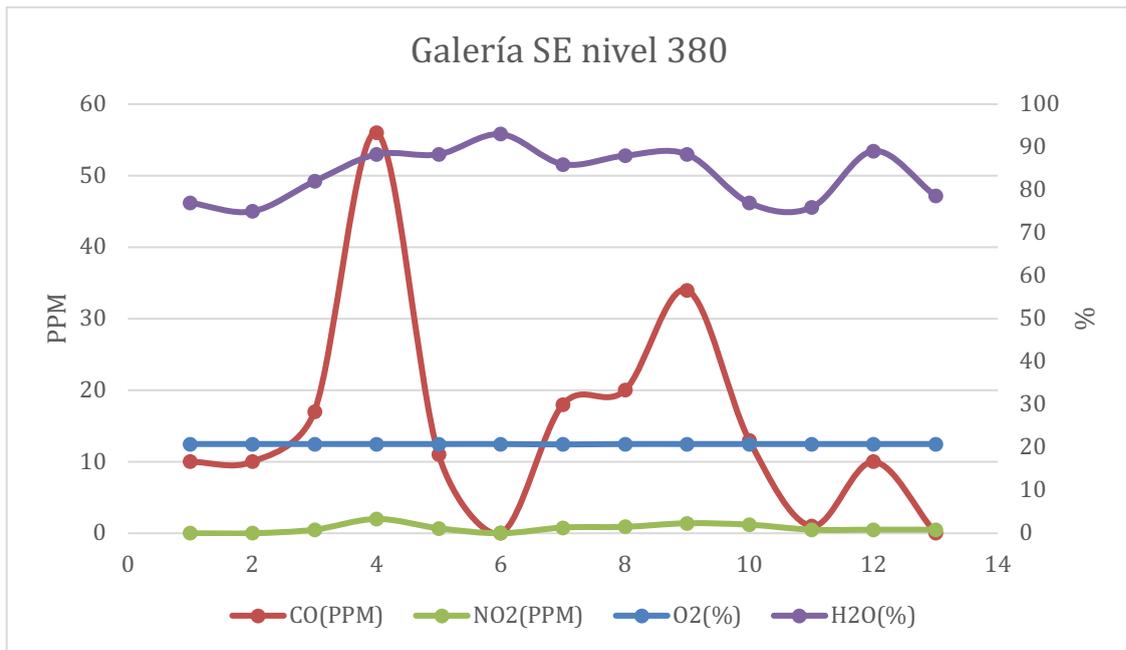


Imagen 18.- Análisis gráfico, galería SE L380. Realizado en Excel 2019.

Tabla 14.-Monitoreo de gases, Galería SE, L380. Realizado en Excel 2019.

Nº	Fecha	O <sub>2</sub> (%)	CO(PPM)	NO <sub>2</sub> (PPM)	H <sub>2</sub> O(%)	TºC
1	21/02/24	20.8	10	0	77	23.1
2	27/02/24	20.8	10	0	75	25.6
3	05/03/24	20.8	17	0.5	82	26
4	14/03/24	20.8	56	2	88.3	27
5	20/03/24	20.8	11	0.7	88.3	26
6	02/04/24	20.8	0	0	93	25.1
7	10/04/24	20.7	18	0.8	86	24.6
8	25/04/24	20.8	20	0.9	88	25
9	29/04/24	20.8	34	1.4	88.3	26
10	15/05/24	20.8	13	1.2	77	25.3
11	29/05/24	20.8	1	0.5	75.9	27.1
12	12/06/24	20.8	10	0.5	89.1	26.8
13	30/07/24	20.8	0	0.5	78.6	21.9

## **Análisis gráfico del crucero N°14 del nivel 380.**

Gases: La concentración de monóxido de carbono (CO) alcanza un máximo de 56 PPM el 20 de marzo, con fluctuaciones significativas sin embargo se llegó a estabilizar a lo largo del periodo. El óxido nitroso (NO<sub>2</sub>) presenta un valor máximo de 1.8 PPM el 29 de abril, manteniéndose generalmente en niveles seguros.

Condiciones atmosféricas del área: La humedad relativa varía entre el 76% y el 95.5%, con una tendencia general de estabilidad y un ligero incremento hacia el final del periodo. La temperatura oscila entre 25.3°C y 28.7°C, manteniéndose en un rango seguro para el personal.

### **Interpretación:**

La presencia de problemas de ventilación y la actividad de maquinaria en este crucero contribuyen a las fluctuaciones en las concentraciones de CO y NO<sub>2</sub>. Los picos en las concentraciones de CO coinciden con incrementos de temperatura, especialmente el 20 de marzo y el 29 de abril, debido a la actividad de maquinaria que emite estos gases.

La relación entre la temperatura y las concentraciones de gases indica que las altas temperaturas facilitan la difusión de los gases emitidos por la maquinaria, resultando en picos notables de concentración. La humedad relativa muestra una tendencia a la estabilidad, aunque con una ligera disminución coincidiendo con los picos de CO, lo que indica una influencia moderada de la humedad en la dispersión de estos gases.

El crucero N°14 del nivel 380 muestra que la actividad de maquinaria, los problemas con la ventilación, y las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, afectan significativamente las concentraciones de gases.

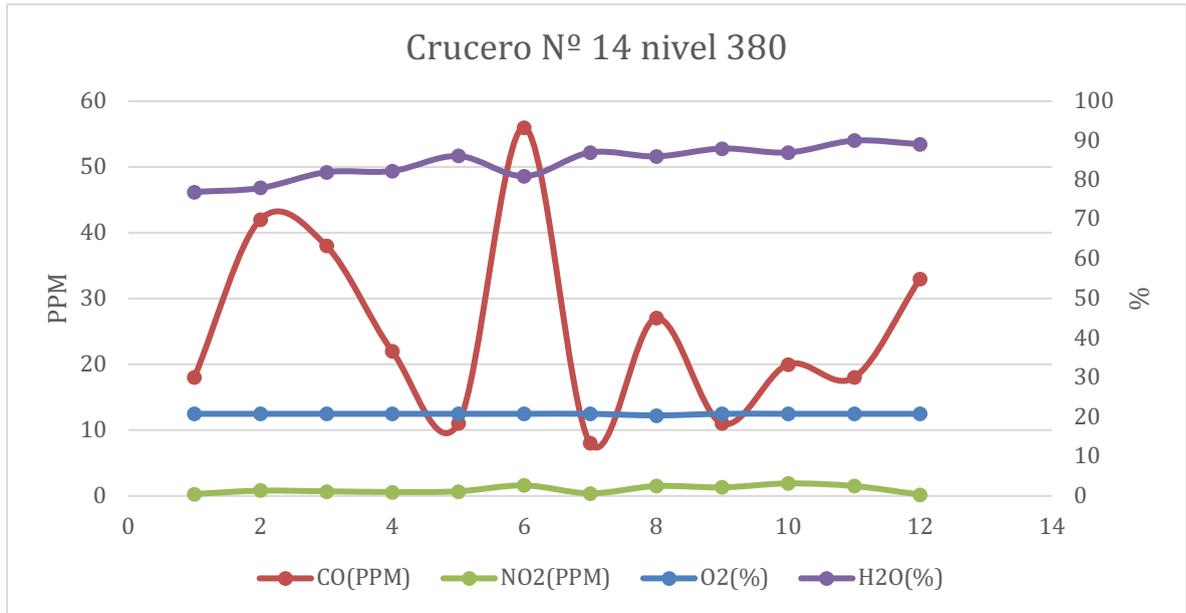


Imagen 19.- Análisis gráfico, crucero n°14, L380. Realizado en Excel 2019.

Tabla 15.-Monitoreo de gases, crucero n°14, L380. Realizado en Excel 2019.

N°	FECHA	O <sub>2</sub> (%)	CO(PPM)	NO <sub>2</sub> (PPM)	H <sub>2</sub> O(%)	T°C
1	14/02/24	20.8	18	0.3	77	27
2	21/02/24	20.8	42	0.8	78	27.5
3	27/02/24	20.8	38	0.7	82	28.3
4	05/03/24	20.8	22	0.6	82.3	28.7
5	14/03/24	20.8	11	0.7	86.1	27.2
6	20/03/24	20.8	56	1.6	81	25
7	02/04/24	20.8	8	0.4	87	25.3
8	30/04/24	20.4	27	1.5	86	27.7
9	15/05/24	20.8	11	1.3	88	28.1
10	21/05/24	20.8	20	1.9	87	27.5
11	05/06/24	20.8	18	1.5	90	27
12	25/06/24	20.8	33	0.2	89.1	26.3

## **Análisis gráfico del crucero N° 23 del nivel 380**

**Gases:** La concentración de monóxido de carbono (CO) alcanza un máximo de 610 PPM el 2 de abril, debido a una voladura y el ventilador del crucero estaba apagado, con fluctuaciones significativas a lo largo del periodo. El óxido nitroso (NO<sub>2</sub>) presenta un valor máximo de 4.6 PPM el 07 de mayo, manteniéndose generalmente en niveles seguros.

**Condiciones atmosféricas del área:** La humedad relativa varía entre el 72.2% y el 93.1%, con una tendencia general a la estabilidad y un ligero incremento hacia el final del periodo. La temperatura oscila entre 25°C y 30.2°C, manteniéndose en un rango seguro para el personal.

### **Interpretación:**

La presencia de problemas de ventilación y la actividad de maquinaria en este crucero contribuyen a las fluctuaciones en las concentraciones elevadas de CO y NO<sub>2</sub>. Los picos en las concentraciones de CO coinciden con incrementos de temperatura, especialmente el 2 de abril y el 29 de abril, debido a la actividad de maquinaria y las voladuras que emiten estos gases.

La relación entre la temperatura y las concentraciones de gases indica que las altas temperaturas facilitan la difusión de los gases emitidos por la maquinaria y las voladuras, resultando en picos notables de concentración. La humedad relativa muestra una tendencia a la estabilidad, aunque con una ligera disminución coincidiendo con los picos de CO, lo que sugiere una influencia moderada de la humedad en la dispersión de estos gases.

El crucero N°23 del nivel 380 muestra que la actividad de maquinaria, las voladuras, los problemas con la ventilación, y las condiciones ambientales, afectan significativamente las concentraciones de gases.

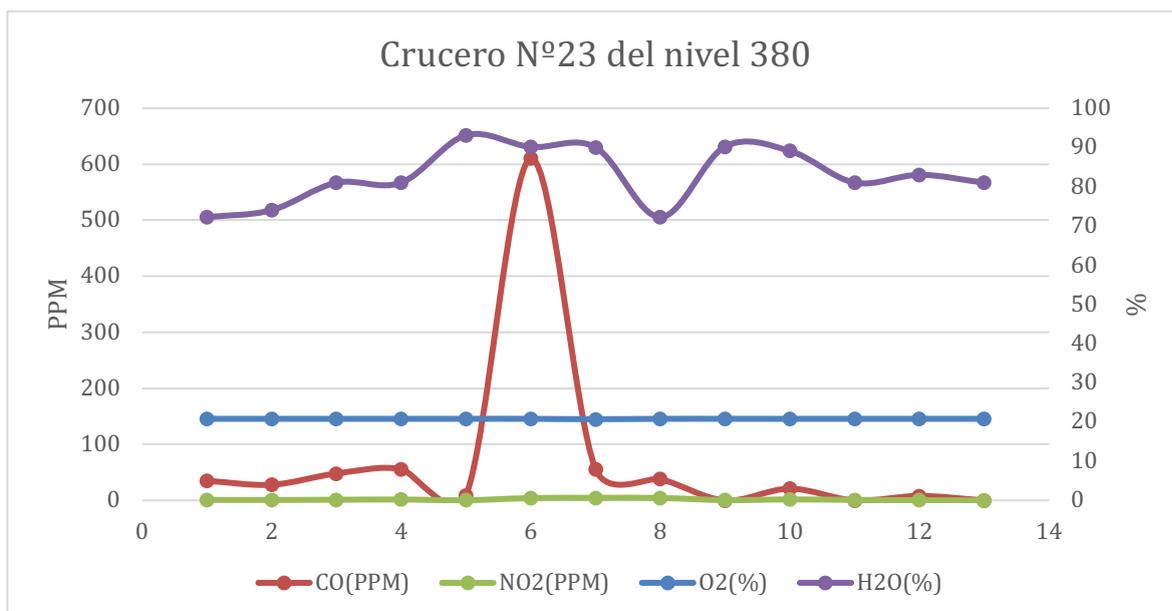


Imagen 20.- Análisis gráfico, crucero n°23, L380. Realizado en Excel 2019.

Tabla 16.- Monitoreo de gases, crucero n°23, L380. Realizado en Excel 2019

N°	FECHA	O <sub>2</sub> (%)	CO(PPM)	NO <sub>2</sub> (PPM)	H <sub>2</sub> O(%)	T°C
1	21/02/24	20.8	35	0.9	72.2	25.8
2	27/02/24	20.8	28	0.8	74	27.2
3	05/03/24	20.8	48	1.2	81	27.8
4	20/03/24	20.8	56	1.6	81	25
5	02/04/24	20.8	9	0.4	93.1	26.4
6	29/04/24	20.8	610	4.2	90.1	27.2
7	07/05/24	20.7	56	4.6	90	28.8
8	29/05/24	20.8	38	4.4	72.2	30.2
9	05/06/24	20.8	0	0.5	90.2	28.8
10	12/06/24	20.8	21	1.8	89.1	27.7
11	25/06/24	20.8	0	0.9	81	27.1
12	17/07/24	20.8	8	0.4	83	26.8
13	30/07/24	20.8	0	0	81	27.2

## **Análisis gráfico del crucero N° 17 del nivel 380**

Gases: La concentración de monóxido de carbono (CO) alcanza un máximo de 16 PPM el 10 de abril. El óxido nitroso (NO<sub>2</sub>) presenta un valor máximo de 1.5 PPM el 2 de junio, con fluctuaciones significativas pero generalmente en niveles seguros.

Condiciones atmosféricas del área: La humedad relativa varía entre el 79% y el 95.8%, con una tendencia general a la estabilidad y una ligera disminución hacia el final del periodo. La temperatura oscila entre 24.3°C y 30.2°C, manteniéndose en un rango seguro y cómodo para el personal.

Interpretación:

La presencia de maquinaria en este crucero contribuye a las fluctuaciones en las concentraciones de CO y NO<sub>2</sub>. Los picos en las concentraciones de CO coinciden con incrementos de temperatura, especialmente el 10 de abril, debido a la actividad de maquinaria que emite estos gases.

La relación entre la temperatura y las concentraciones de gases indica que las altas temperaturas facilitan la difusión de los gases emitidos por la maquinaria, resultando en picos notables de concentración. La humedad relativa muestra una tendencia a la estabilidad, aunque con una ligera disminución coincidiendo con los picos de CO, lo que sugiere una influencia moderada de la humedad en la dispersión de estos gases.

En el crucero N°17 del nivel 380 se puede notar que no existen problemas con la ventilación hasta ahora, ya que las concentraciones de gases se mantienen en niveles seguros y la variabilidad está relacionada principalmente con la actividad de maquinaria y condiciones ambientales.

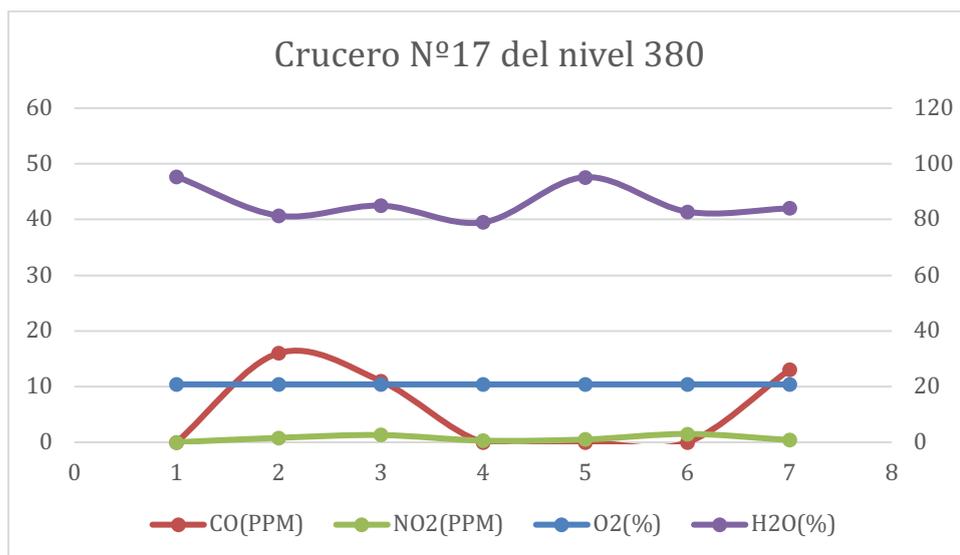


Imagen 21.- Análisis gráfico, crucero n°17, L380. Realizado en Excel 2019

Tabla 17.- Monitoreo de gases, crucero n°17, L380. Realizado en Excel 2019

N°	FECHA	O <sub>2</sub> (%)	CO(PPM)	NO <sub>2</sub> (PPM)	H <sub>2</sub> O(%)	T°C
1	02/04/24	20.8	0	0	95.4	25.8
2	10/04/24	20.8	16	0.8	81.4	27.2
3	15/04/24	20.8	11	1.3	85	27.8
4	29/04/24	20.8	0	0.3	79	25
5	05/06/24	20.8	0	0.5	95.2	26.4
6	12/06/24	20.8	0	1.5	82.8	24.3
7	25/06/24	20.8	13	0.4	84	26

## **Análisis Gráfico de la Galería NE del nivel 400**

Gases: La concentración de monóxido de carbono (CO) alcanza un máximo peligroso de 123 PPM el 27 de febrero, con fluctuaciones significativas a lo largo del periodo. El óxido nitroso (NO<sub>2</sub>) presenta un valor máximo de 4 PPM el 27 de febrero, manteniéndose generalmente en niveles seguros.

Condiciones atmosféricas del área: La humedad relativa varía entre el 76% y el 93.6%, con una tendencia general a la estabilidad. La temperatura oscila entre 25.2°C y 30.5°C.

Interpretación:

En este nivel, se han presentado problemas con la ventilación, incluyendo el apagado de ventiladores, la recirculación de aire viciado y la excesiva cantidad de maquinaria, vehículos ligeros y personas que provocan el colapso de la ventilación. Los picos en las concentraciones de CO y NO<sub>2</sub> coinciden con incrementos de temperatura, especialmente el 27 de febrero, debido a la actividad de maquinaria que emite estos gases y la falta de ventilación adecuada.

La relación entre la temperatura y las concentraciones de gases indica que las altas temperaturas facilitan la difusión de los gases emitidos por la maquinaria, resultando en picos notables de concentración. La humedad relativa muestra una tendencia a la estabilidad, aunque con una ligera disminución coincidiendo con los picos de CO, lo que sugiere una influencia moderada de la humedad en la dispersión de estos gases.

La galería NE del nivel 400 muestra que los problemas con la ventilación y la actividad de maquinaria afectan significativamente las concentraciones de gases.

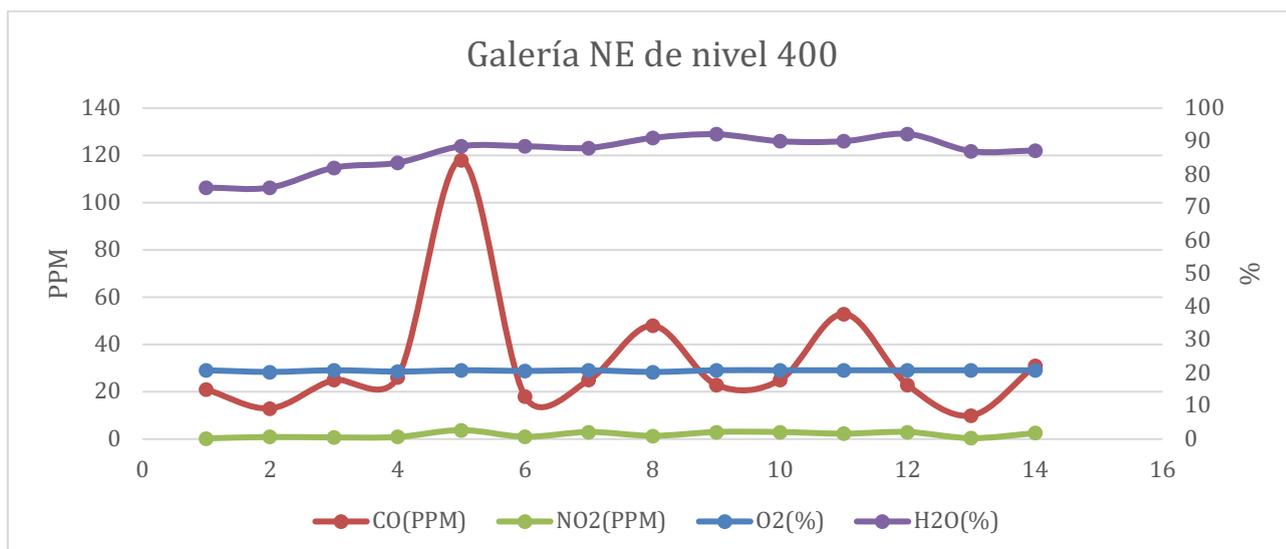


Imagen 22.- Análisis gráfico, galería NE, L400. Realizado en Excel 2019

Tabla 18.- Monitoreo de gases, galería NE, L400. Realizado en Excel 2019

Nº	FECHA	O <sub>2</sub> (%)	CO(PPM)	NO <sub>2</sub> (PPM)	H <sub>2</sub> O(%)	T°C
1	07/02/24	20.8	21	0.3	76	25.2
2	21/02/24	20.3	13	0.9	76	25.2
3	27/02/24	20.8	25	0.7	82	27.5
4	05/03/24	20.4	26	0.9	83.5	30
5	14/03/24	20.8	118	3.8	88.5	30.5
6	20/03/24	20.6	18	1	88.5	28
7	02/04/24	20.8	25	3	88	28
8	16/04/24	20.3	48	1.4	91	28.4
9	12/05/24	20.8	23	3	92.1	28.4
10	21/05/24	20.8	25	3	90	30
11	29/05/24	20.8	53	2.3	90	30
12	12/06/24	20.8	23	3	92.2	28.4
13	25/06/24	20.8	10	0.4	87	27
14	30/07/24	20.8	31	2.5	87.2	25.5

### **3.2. Resultado del análisis.**

En el análisis de los diversos niveles, cruceros y rampas de la mina, se destacó la necesidad crítica de gestionar de manera efectiva la calidad del aire para garantizar un ambiente seguro y eficiente. Un factor recurrente en la mayoría de los niveles fue la variabilidad en las concentraciones de gases tóxicos, subrayando la importancia de un sistema robusto de monitoreo fijo de gases para permitir no solo mantener un control constante de las condiciones ambientales, sino también facilitar la toma de decisiones operativas oportunas y precisas.

#### **Implementaciones de un sistema de monitoreo fijo de gases:**

##### **1. Necesidad de monitoreo continuo:**

- La implementación de un sistema de monitoreo fijo para gases en puntos estratégicos es fundamental. Dicho sistema deberá ser capaz de medir continuamente niveles de O<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub> debido al ser los gases presentes mina “Las cuevas”.

##### **2. Integración con sistema de control operacional:**

- El sistema de monitoreo debe estar integrado con los sistemas de control operacional de la mina para permitir una respuesta rápida ante condiciones peligrosas. Esto puede incluir el cierre automático de áreas específicas, la implementación de sistemas de ventilación adicionales o el cese temporal de operaciones en áreas afectadas.

##### **3. Evaluación y mejora continua:**

- Realizar evaluaciones periódicas del sistema de monitoreo para garantizar su funcionamiento óptimo y realizar mejoras basadas en los avances tecnológicos y las necesidades operativas cambiantes en mina.

## **Beneficios esperados.**

### **1. Toma de decisiones:**

- Con datos precisos y en tiempo real proporcionado por el sistema de monitoreo, los gerentes, jefes, supervisores de mina podrán tomar decisiones informadas y oportunas que podrían prevenir accidentes y mejorar la eficiencia operativa.

### **2. Prevención de accidentes:**

- Un sistema de monitoreo colocado de manera estratégica puede prevenir incidentes graves al detectar incrementos en los niveles de gases nocivos antes de que estos alcancen concentraciones peligrosas.

### **3. Optimización de la ventilación:**

- La capacidad de ajustar dinámicamente los sistemas de ventilación en respuesta con los datos del monitoreo de gases puede resultar en un uso eficiente de los recursos energéticos y una mejora gestión en la calidad del aire.

## **Conclusión:**

El establecimiento de un sistema de monitoreo de gases colocados en puntos estratégicos de la mina es esencial para la seguridad operacional y la eficiencia. Este sistema no solo ayudará a garantizar un ambiente de trabajo seguro, minimizando los riesgos a la exposición a gases tóxicos, sino que también facilitará una gestión más proactiva y eficiente de la operación minera mejorando la respuesta a las condiciones cambiantes y potenciando la toma de decisiones en tiempo real. La inversión en tal sistema de monitoreo representa un compromiso con la salud y seguridad de los trabajadores y con la sostenibilidad operativa de mina.

## Capítulo 4: Resultados y conclusiones.

En la industria minera, la elección de tecnologías adecuadas para la comunicación y detección es crucial para garantizar la seguridad y eficiencia operativa. Las condiciones ambientales adversas, como el polvo y la humedad, presentan desafíos únicos que deben ser abordados con soluciones tecnológicas robustas. En estos recuadros se presenta una comparación detallada de las principales opciones de redes inalámbricas y sensores utilizados en minas subterráneas, enfocándose en sus características, ventajas y desventajas.

En la industria minera, la elección de tecnologías adecuadas para la comunicación y detección es crucial para garantizar la seguridad y eficiencia operativa. Las condiciones ambientales adversas, como el polvo y la humedad, presentan desafíos que deben ser abordados con soluciones tecnológicas robustas. En estos recuadros se presenta una comparación detallada de las principales opciones de redes inalámbricas y sensores utilizados en minas subterráneas, enfocándose en sus características, ventajas y desventajas.

Para realizar el análisis de gases y condiciones ambientales en la mina “Las Cuevas”, se empleó un detector multigas (MSA ALTAIR 4xr C/sensor) para medir las concentraciones de gases tóxicos como monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), así como la concentración de oxígeno (O<sub>2</sub>). Para la medición de la temperatura y humedad relativa, se utilizó un anemómetro (KESTREL 5500). Estas herramientas permitieron obtener datos precisos y confiables de los parámetros críticos en diferentes áreas de la mina.

Es esencial indicar que el objetivo principal de estas tecnologías es medir con precisión las concentraciones de gases tóxicos y otros parámetros críticos, garantizando la cobertura completa y la capacidad de respuesta rápida ante cualquier anomalía detectada. La configuración para la medición debe ser adecuada para las condiciones específicas de cada área de la mina.

A continuación, se presentan dos tablas comparativas: la primera analiza las redes inalámbricas más comunes utilizadas en entornos mineros, mientras que la segunda compara los diferentes tipos de sensores de detección de gases. Estas comparaciones tienen como objetivo proporcionar una guía clara para seleccionar las tecnologías más adecuadas según las necesidades específicas de mina “Las Cuevas”.

Después de un análisis, se determinó que el sistema de monitoreo Conspec OPTIO-G es el más adecuado para la mina “Las Cuevas”. Este sistema utiliza sensores electroquímicos y NDIR para detectar una amplia gama de gases, incluyendo CO, O<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>. Además, ofrece una comunicación a través de RS485, Modbus RTU, Mesh Network y opciones inalámbricas, asegurando una transmisión de datos fiable y continua. Su interfaz intuitiva y alarmas facilitan su uso y mantenimiento.

Esta elección se basa en la capacidad del Conspec OPTIO-G para operar en las condiciones adversas de la mina, proporcionando una cobertura completa y permitiendo una respuesta rápida ante cualquier anomalía, asegurando así un entorno de trabajo seguro y eficiente para el personal..

Tabla 19.- Tabla comparativa de los tipos de comunicación de red

<b>Característica</b>	<b>Red de Radiofrecuencia (RF)</b>	<b>Red Wi-Fi</b>	<b>Red de Banda Ultraancha (UWB)</b>	<b>Red de Comunicaciones por Luz Visible (VLC)</b>
<b>Cobertura.</b>	Extensa	Limitada en entornos subterráneos	Moderada, requiere puntos de acceso	Limitada, depende de la línea de vista
<b>Ancho de Banda.</b>	Limitado	Alto	Moderado	Moderado
<b>Interferencia.</b>	Moderada	Alta	Baja	Muy baja
<b>Costo.</b>	Bajo	Moderado	Alto	Moderado
<b>Mantenimiento.</b>	Bajo	Moderado	Bajo	Bajo
<b>Resistencia al Polvo y Humedad.</b>	Moderada	Baja	Alta	Moderada
<b>Precisión de Monitoreo.</b>	Moderada	Alta	Muy alta	Alta
<b>Aplicaciones Recomendadas.</b>	Comunicación general	Transmisión de datos de alta velocidad	Seguimiento preciso y comunicación segura	Comunicación en áreas específicas

Tabla 20.- Tabla comparativa de los diferentes sistemas de monitoreo

CARACTERÍSTICA	<b>DETECTORES INFRARROJOS (IR)</b>	<b>DETECTORES DE PERLAS CATALÍTICAS</b>	<b>DETECTORES ELECTROQUÍMICOS</b>
<b>PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO</b>	Miden la absorción de radiación infrarroja por los gases.	Oxidación de gases combustibles en una perla catalítica que genera calor.	Reacción electroquímica entre el gas y el electrodo que genera una corriente eléctrica proporcional.
<b>INMUNIDAD A CONTAMINACIÓN</b>	Altamente inmunes a la contaminación y envenenamiento.	Sensibles a la contaminación y al envenenamiento del catalizador.	Sensibles a contaminantes específicos que pueden afectar la precisión.
<b>NECESIDAD DE OXÍGENO</b>	Pueden operar en ausencia de oxígeno.	Requieren oxígeno para funcionar.	Dependiente del tipo de sensor y gas específico, pero generalmente necesitan oxígeno.
<b>CALIBRACIÓN</b>	No requieren calibración rutinaria.	Requieren calibración regular para mantener la precisión.	Requieren calibración regular para mantener la precisión.
<b>COSTO INICIAL</b>	Mayor costo inicial.	Menor costo inicial.	Varía dependiendo del tipo y aplicación, generalmente intermedio.
<b>MANTENIMIENTO</b>	Menos mantenimiento, solo limpieza de ventanas ópticas.	Más mantenimiento debido a la necesidad de calibraciones y chequeos frecuentes.	Requieren mantenimiento regular y chequeos de calibración.
<b>APLICACIONES RECOMENDADAS</b>	Áreas con condiciones ambientales difíciles, alta seguridad.	Aplicaciones industriales generales, áreas con alta humedad y vibración.	Monitoreo ambiental, industrial, y seguridad donde se necesita alta precisión y selectividad.
<b>RESPUESTA A DIFERENTES GASES</b>	No detectan gases que no absorben IR (como hidrógeno).	Pueden detectar una amplia variedad de gases combustibles.	Alta sensibilidad y selectividad para gases específicos, incluyendo gases tóxicos.
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inmunidad a contaminantes.</li> <li>- No requieren calibración.</li> <li>Operan sin oxígeno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Robustos y confiables.</li> <li>- Económicos.</li> <li>- Fáciles de operar y mantener</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta sensibilidad y selectividad.</li> <li>- Capaces de detectar bajas concentraciones.</li> <li>- Respuesta rápida</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor costo inicial</li> <li>- Limitados a gases que absorben IR</li> <li>- Mayor costo de repuestos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensibles a contaminantes</li> <li>- Requieren calibración frecuente</li> <li>- Necesitan oxígeno para detectar gases</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensibles a ciertos contaminantes</li> <li>- Requieren calibración y mantenimiento regulares</li> <li>- Vida útil limitada en ambientes contaminados.</li> </ul>
<b>VIDA ÚTIL ESPERADA</b>	Hasta cinco años, con pocas necesidades de calibración.	Hasta cinco años, pero requieren calibración frecuente.	Vida útil variable, generalmente de 1 a 2 años dependiendo del ambiente y uso.

## **4.1.- Propuesta de Posicionamiento para el Sistema de Monitoreo Fijo de Gases**

Basado en la investigación y el análisis de las condiciones ambientales y operativas en mina “las cuevas”, se ha identificado la necesidad de implementar un sistema de monitoreo fijo de gases. La fluctuación en las concentraciones de monóxido de carbono (CO) y óxido nitroso (NO<sub>2</sub>), junto con las variaciones en la humedad y la temperatura, subrayan la importancia de contar con un monitoreo constante y preciso para garantizar la seguridad del personal y la eficiencia operativa.

El análisis de datos recopilados de diversos niveles y cruces en la mina subterránea ha mostrado patrones y picos de concentración de gases que requieren atención. Estos picos están frecuentemente asociados con la actividad de maquinaria pesada, voladuras, y problemas de ventilación.

La propuesta para el posicionamiento de los sistemas de monitoreo se basa en los siguientes criterios:

1. Picos de Concentración de Gases: Áreas que han mostrado niveles elevados de CO y NO<sub>2</sub>.
2. Problemas de Ventilación: Zonas con historial de fallos en la ventilación.
3. Alta Actividad de Maquinaria: Sectores con tránsito constante de vehículos y equipos pesados.
4. Condiciones Atmosféricas Variables: Regiones con fluctuaciones significativas en la temperatura y la humedad.

## 4.2.- Ubicaciones Propuestas

Se proponen las siguientes ubicaciones estratégicas para la instalación de los sistemas de monitoreo fijo de gases considerando los criterios antes mencionados:

Puntos recomendados para colocar los equipos de monitoreo en el nivel 180

Lumbrera H

Una de las principales razones del posicionamiento es debido a que en esta parte se encuentra un ingreso de aire fresco desde superficie por lo que es importante para conocer las condiciones atmosféricas externas que ingresan a mina.

### 1. Crucero chorreadero

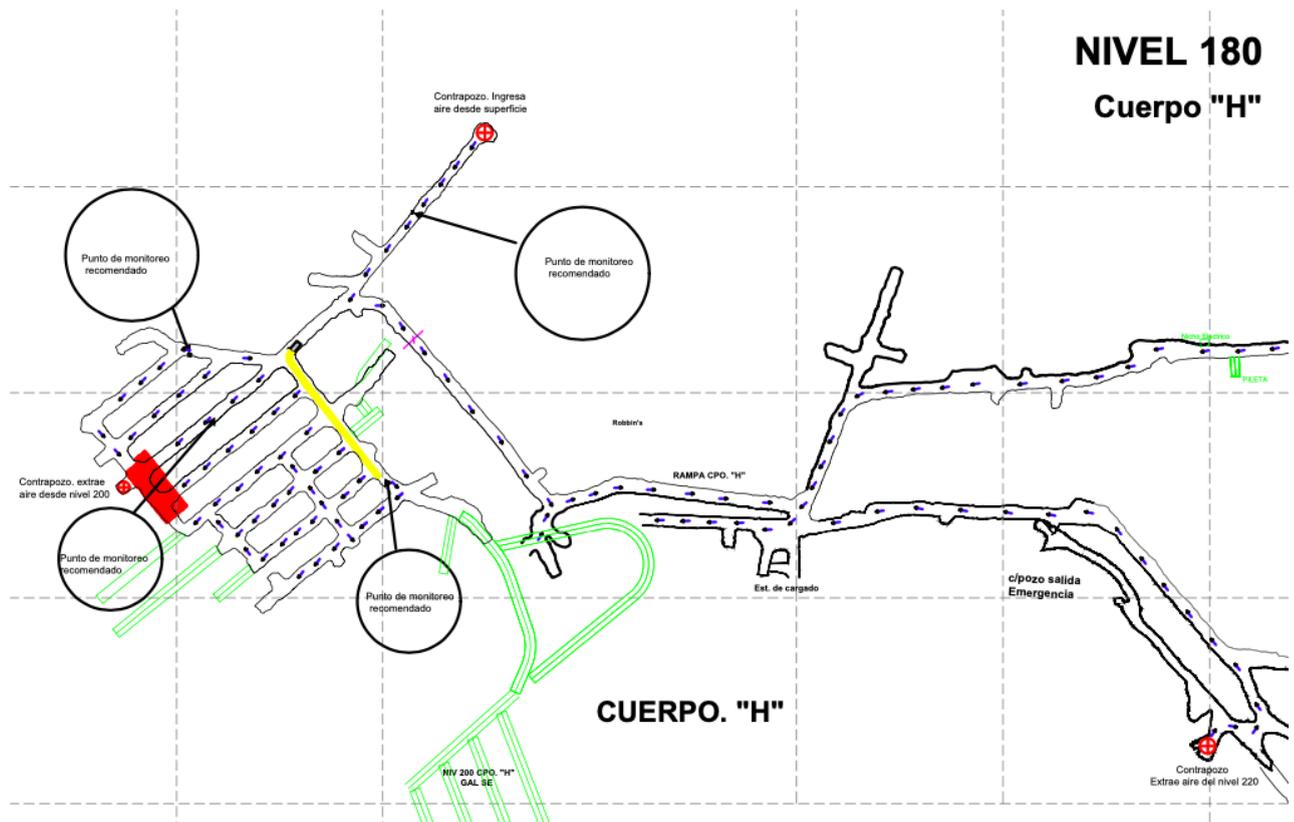
Es un punto a considerar debido a que ha tenido aumentos significativos en cuanto a concentraciones de gases como CO y NO<sub>2</sub>, especialmente durante la operación de maquinaria.

### 2. Galería.

Es un punto a considerar ya que es el cruce principal del nivel y entrada a cruceros del mismo, por lo que las concentraciones que lleguen a haber sobre él son un indicativo del estado de toda el área de trabajo.

### 3. Crucero 3

Es uno de los puntos principales de trabajo en la zona además de ser la más transitada por maquinaria, vehículos ligeros, y estar expuesta a voladuras constantes, por que es considerada para un monitoreo constante.



*Imagen 23.- Ubicaciones del sistema de monitoreo para L180. Realizado en AutoCad 2021*

### **Puntos recomendados para colocar los equipos de monitoreo en el nivel 200**

#### **1. Galería NE**

Es un punto a considerar debido a que ha tenido aumentos significativos en cuanto a concentraciones de gases como CO y NO<sub>2</sub>, especialmente durante la operación de maquinaria.

#### **2. Contra galería**

Al ser un regreso y ruta de salida del aire del nivel, es importante llevar un control debido a que es un indicador general del nivel.

#### **3. Taller nivel 200.**

Al ser un área común en la que se podrán encontrar vehículos, maquinaria y personal es importante que se realicen monitoreos continuos para prevenir riesgos de envenenamiento por gases.

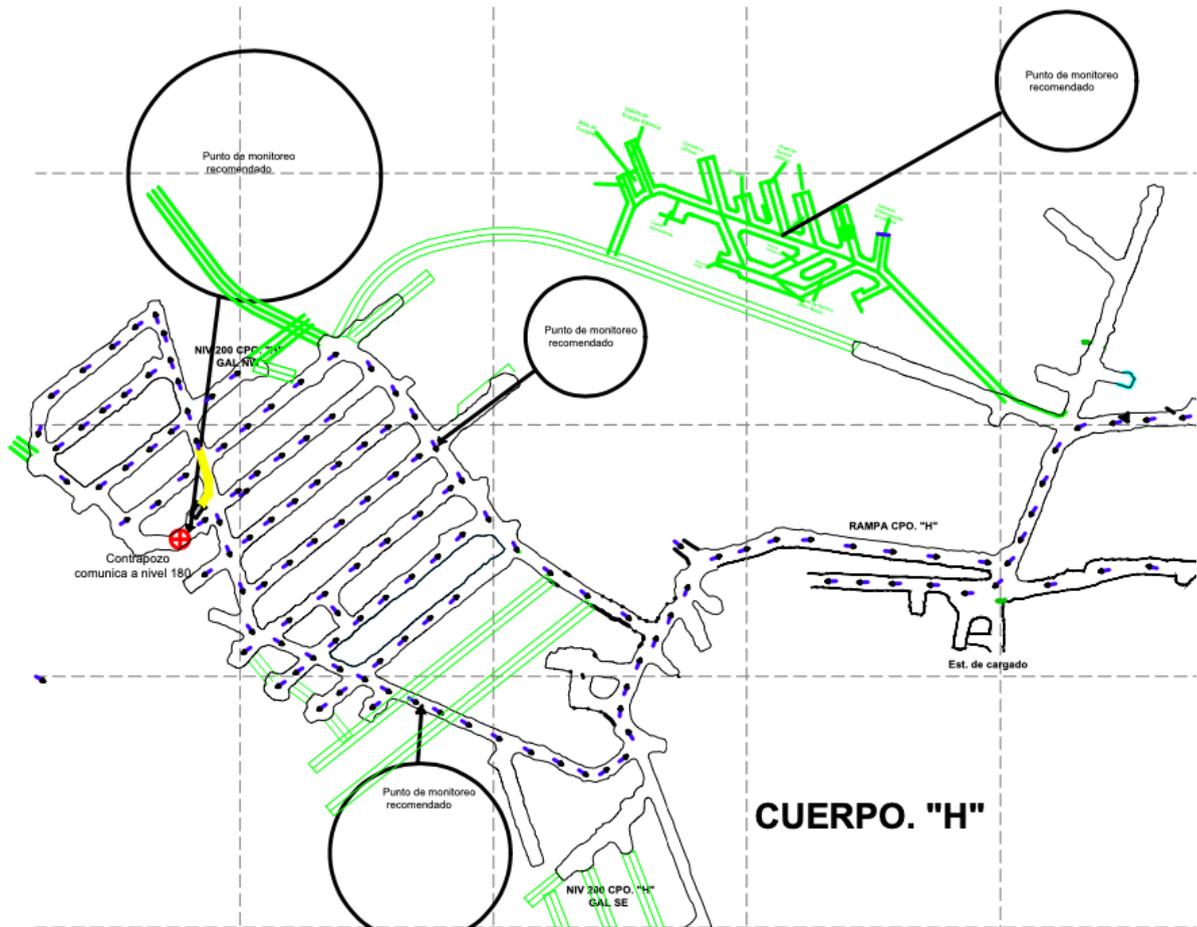


Imagen 24.- Ubicación del sistema de monitoreo para L200. Realizado en Autocad 2021.

## Puntos recomendados para colocar los equipos de monitoreo en el nivel 220

### 1. Lumbrera NW.

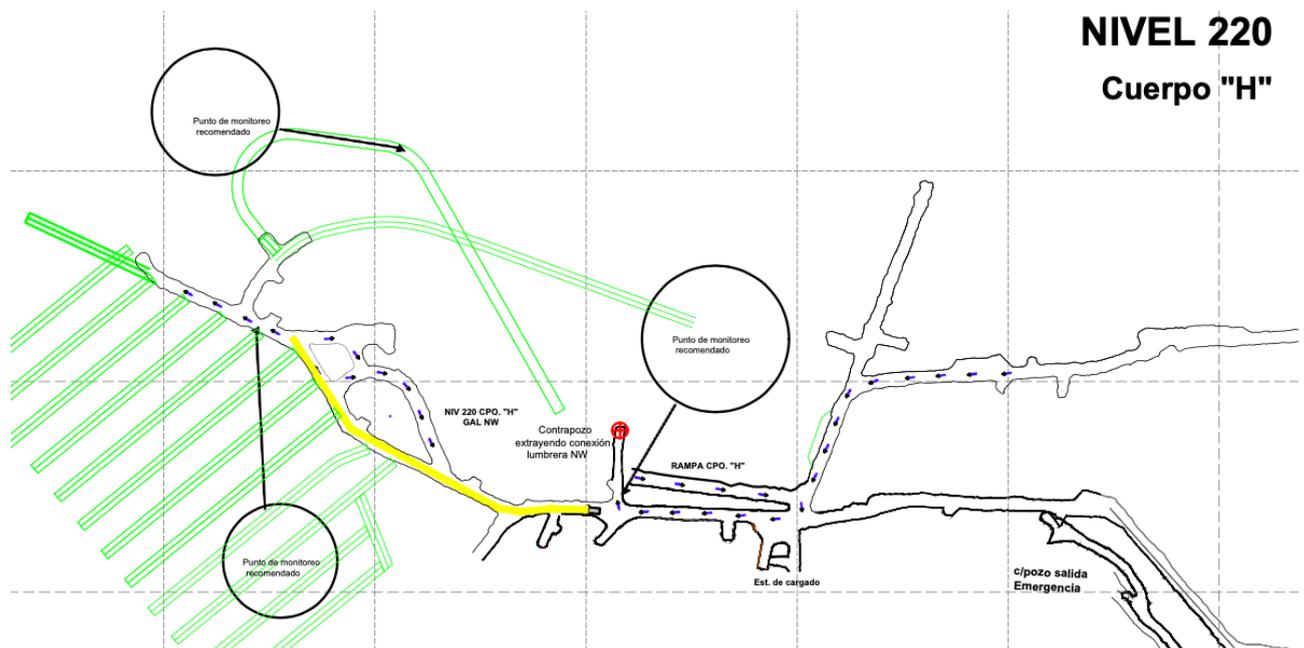
Es de suma importancia tener un monitor en esta posición ya que es un punto de salida de aire, el cual se encarga de extraer todo el aire viciado de varios niveles, por lo que se debe de monitorear constantemente.

### 2. Galería NW.

Variación en concentraciones de CO y NO<sub>2</sub>, coincidiendo con la actividad de maquinaria en los cruceros aledaños.

### 3. Rampa 220 al 200

Al ser una rampa que comunica un nivel por lo que actividades de tránsito como el acarreo, vehículos ligeros y cargadores de bajo perfil tendrán presencia importante en la zona.



*Imagen 25.- Ubicación del sistema de monitoreo de L220. Realizado en Autocad 2021*

## Puntos recomendados para colocar los equipos de monitoreo en el nivel 340

### 1. Lumbreira NW

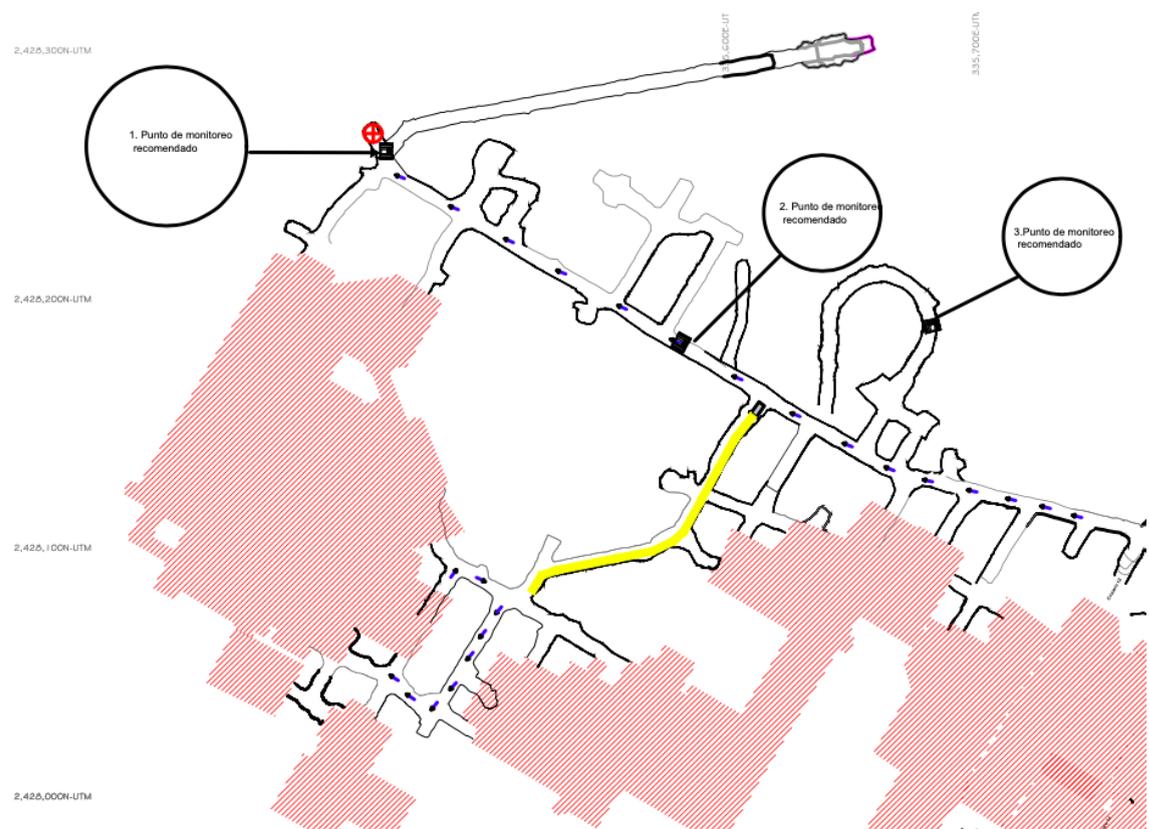
Este punto en particular es importante, ya que, es una una donde las salidas de aire más importantes de la mina, por este c/p sale el aire viciado de los niveles 340, 360, 380 y 400, por lo que es importante el que siempre esté en monitoreo.

### 2. Galería Central

Es un punto a considerar ya que es el cruce principal del nivel, por lo que las concentraciones que lleguen a haber sobre él son un indicativo del estado de toda el área de trabajo.

### 3. Rampa 360-340.

Este es el acceso principal al nivel, y también sirve como entrada de aire. Al colocar un monitor en esta área, se podrá determinar si el aire que ingresa está contaminado proveniente de otro lugar.



*Imagen 26.- Ubicación para el sistema de monitoreo de L340. Realizado en AutoCad 2021*

## Puntos recomendados para colocar los equipos de monitoreo en el nivel 360

### 1. Galería 360.

Al ser una zona de tránsito concurrido y un acceso de aire, es importante contemplar este punto para su monitoreo constante .

### 2. Retorno de cruceros

Al ser un regreso/salida de aire de donde se esta operando, es importante monitorear este punto ya que da a conocer el estado general de estas frentes de trabajo.

### 3. Salida de aire

Al ser un ingreso de aire por parte del ventilador hacia los cruceros es importante monitorear ya que de esta manera sabremos el estado de estos mismos asi como problemas con el ventilador en el área.

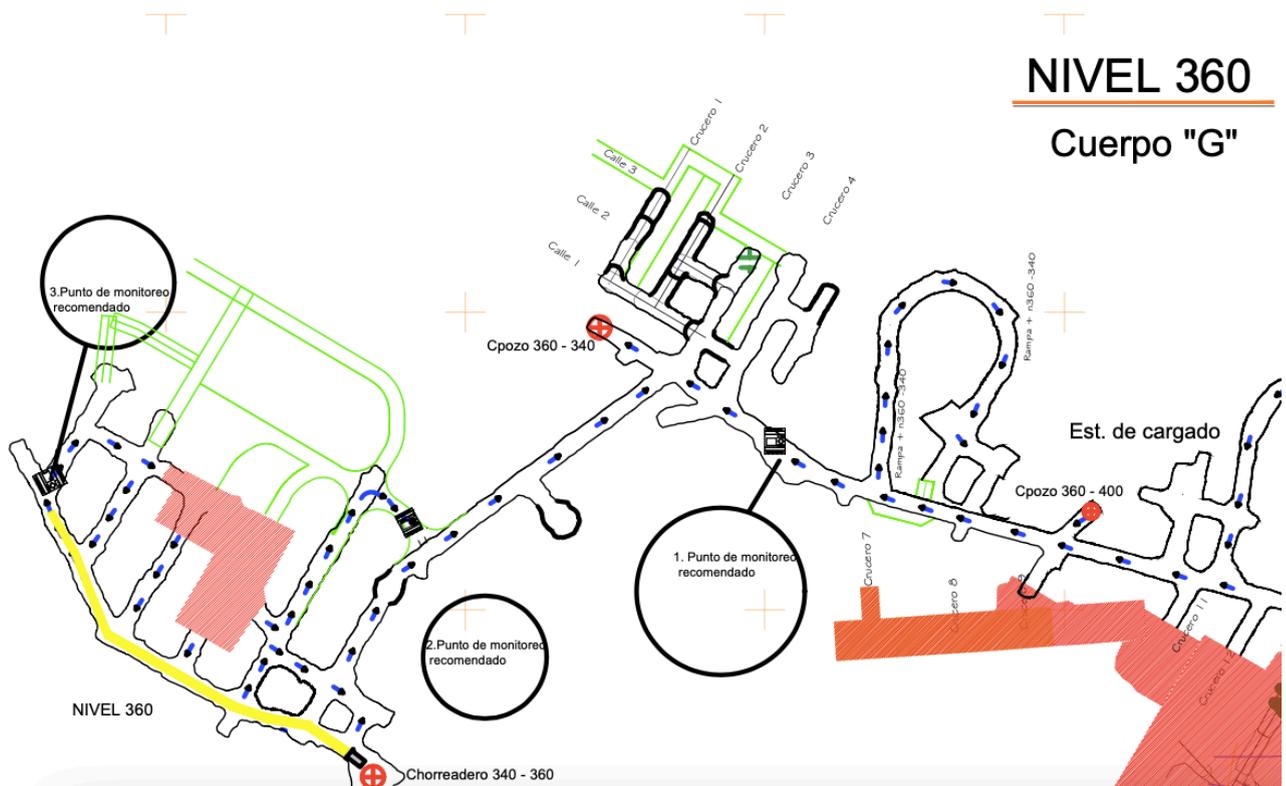


Imagen 27.-Ubicación para el sistema de monitoreo L360. Realizado en Autocad 2021

## **Puntos recomendados para colocar los equipos de monitoreo en el nivel 380**

### 1. Galería perimetral

Al ser una ruta que rodea el perímetro del nivel 380 y en la que hay un alto tránsito de vehículos ligeros, maquinaria pesada y personal es importante que se realicen monitoreos continuos.

### 2. Galería SE.

Es el acceso principal para ingresar a los cruceros del nivel, por que hay tránsito significativo en la zona, además al colocar un sistema de monitoreo en este punto nos ayudará a saber las condiciones preliminares de varios cruceros.

### 3. Crucero N°23

Es uno de los principales puntos de extracción de mineral, por que es un punto que constantemente está en operación por lo cual se le debe estar monitoreando para conocer sus condiciones operativas y de seguridad.

### 4. Crucero N°19

Al igual que el crucero 23 es uno de los puntos principales de extracción de mineral por lo que hay que monitorearlo constantemente para saber sus condiciones operativas y de seguridad

### 5. Crucero N°14

Es uno de los puntos principales de extracción de mineral en el nivel por que se le debe monitorear constantemente para conocer las condiciones operativas y de seguridad.



*Imagen 28.-Ubicación para el sistema de monitoreo de L380. Realizado en Autocad 2021.*

## **Puntos recomendados para colocar los equipos de monitoreo en el nivel 400**

### **1. Contrapozo 400-380.**

Por este contrapozo se extrae los gases del nivel 400 por que es un punto importante para monitorear constantemente ya que nos da un indicativo general de las condiciones del nivel.

### **2. Galería NE**

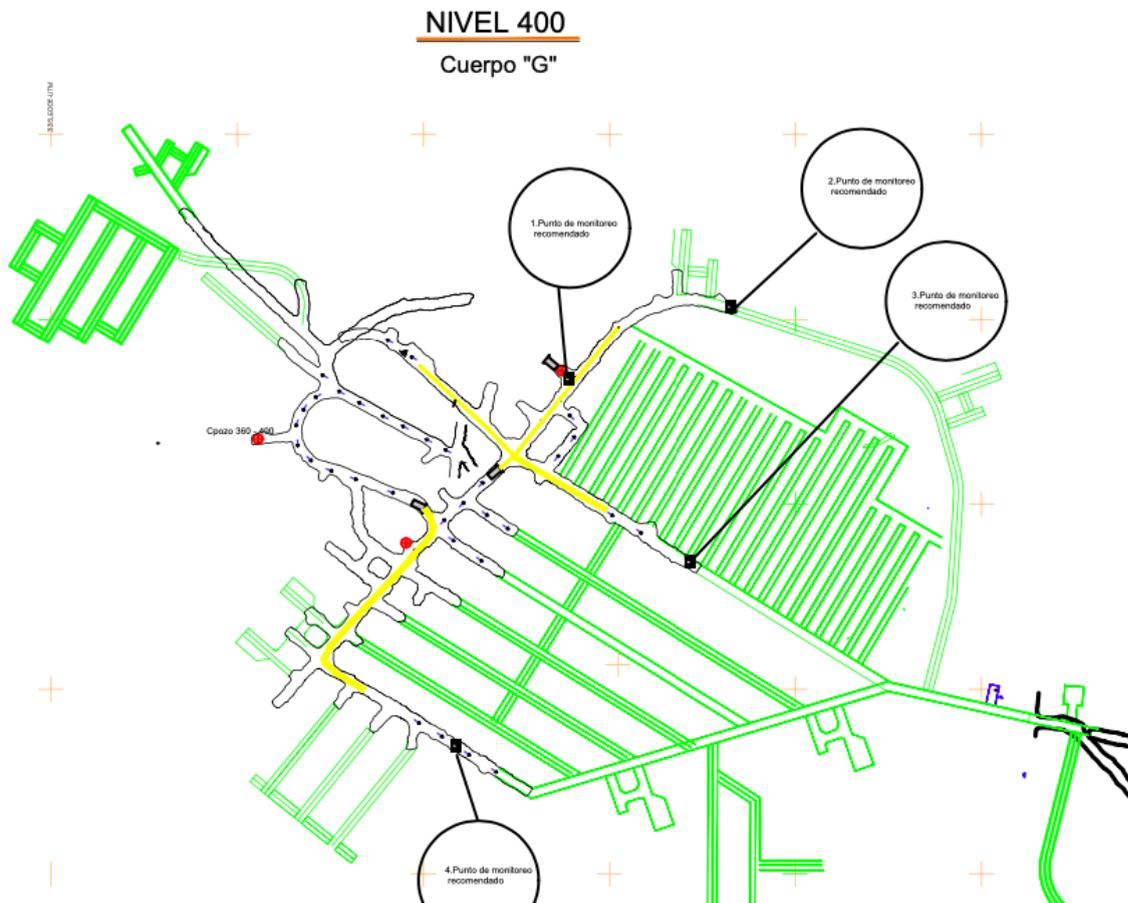
Al ser una vía principal que rodea el nivel se estima que será un punto de tránsito concurrido por lo que monitorear constantemente es importante para saber su condición.

### **3. Galería central**

Es el acceso principal para ingresar a los cruceros del nivel, por que hay tránsito significativo en la zona, además al colocar un sistema de monitoreo en este punto nos ayudará a saber las condiciones preliminares de varios cruceros.

### **4. Galería SE.**

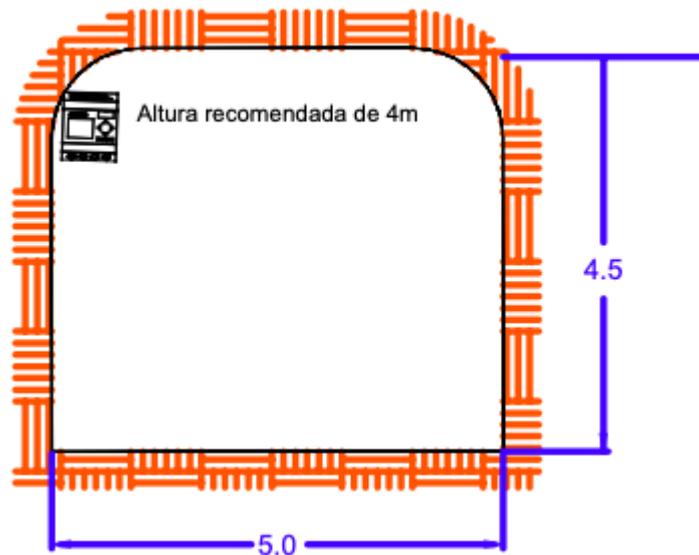
- Al ser una zona de tránsito concurrido y un acceso de aire, es importante contemplar este punto para su monitoreo constante.



*Imagen 29.-.- Ubicación para el sistema de monitoreo de L400. realizado en Autocad 2021*

### **Ubicación del dispositivo en la sección de la mina**

Se recomienda tener elevado el monitor fijo, aproximadamente a unos 4.5m del suelo en el hombro izquierdo de la tabla (imagen 28). Esto para evitar daños por vehículos o agua, igualmente al estar en una posición elevada asegura que la las lecturas tengan mayor precisión ya que los gases que monitorea por sus características tienden a subir.



*Imagen 30.- Ubicación sobre la sección de la obra para el sistema de monitoreo. Nota: Altura recomendada para el posicionamiento del sistema de monitoreo de gases. Diseñado en AutoCad 2021.*

#### **4.2.3.-Propuesta de Implementación de Sistemas de Monitoreo Fijo de Gases en la Mina “Las Cuevas”**

En la industria minera subterránea, la implementación de sistemas de monitoreo fijo de gases es fundamental para garantizar la seguridad de los trabajadores y la eficiencia operativa. La detección y control de gases tóxicos como el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), así como otros parámetros críticos como el oxígeno (O<sub>2</sub>) y la humedad relativa (H<sub>2</sub>O), son esenciales para prevenir riesgos y mantener un entorno de trabajo seguro.

Dada la importancia de seleccionar tecnologías adecuadas para la comunicación y detección en condiciones ambientales adversas, se ha llevado a cabo una evaluación de dos propuestas de sistemas de monitoreo: el Dräger Polytron 8100 EC y el Conspec OPTIO-G. Esta evaluación incluye una comparación detallada de sus características, ventajas y desventajas, y una conclusión

fundamentada sobre cuál sería la mejor opción para las necesidades específicas de la mina “Las Cuevas”.

### Tabla Comparativa: Dräger Polytron 8100 EC vs Conspec OPTIO-G

Tabla 21.-Comparativa: Dräger Polytron 8100 EC vs Conspec OPTIO-G

Características	Dräger Polytron 8100 EC	Conspec OPTIO-G
<b>Tipo de Sensor</b>	Electroquímico, Catalítico, Infrarrojo	Electroquímico, NDIR
<b>Gases Detectados</b>	Más de 100 gases tóxicos y oxígeno	CO, O2, NO2, NO, H2S, CH4, CO2
<b>Rango de Temperatura</b>	-40°C a +65°C	-20°C a +60°C
<b>Rango de Humedad</b>	0 a 100% HR sin condensación	0 a 95% HR no condensación
<b>Comunicación</b>	HART®, Modbus, Fieldbus	RS485, Modbus RTU, Mesh Network, Wireless
<b>Pantalla y Control</b>	LCD gráfica retroiluminada, control mediante varilla magnética	LCD gráfica, navegación de menú intuitiva, control remoto IR
<b>Alarmas</b>	Tres relés integrados, alarmas de concentración ajustables	4 niveles de alarma personalizados, relés mapeables a diferentes sensores
<b>Fuente de Energía</b>	10 a 30 V CC	6-18 VDC, Batería D-Cell (1 año), 100-240VAC 50/60Hz
<b>Instalación</b>	Carcasa a prueba de explosiones de Clase I, Div. 1	Carcasa Carlon para áreas clasificadas
<b>Configuración</b>	Interfaz de comunicación digital, módulos electrónicos opcionales	Sensores Plug and Play, calibración y configuración de fábrica
<b>Costos Aproximados</b>	No especificado en el documento proporcionado	\$180,332 (incluyendo instalación y soporte)
<b>Soporte y Mantenimiento</b>	Mantenimiento predictivo, autocomprobación de sensores	Calibración y mantenimiento regulares necesarios

¿Por qué Conspec OPTIO-G es una Mejor Opción?

#### 1. Versatilidad y Facilidad de Instalación:

- Conspec OPTIO-G: Utiliza tecnología de sensores Plug and Play, lo que permite una instalación rápida y fácil. Los sensores preconfigurados y calibrados de fábrica reducen significativamente el tiempo y los costos de instalación. Además, la capacidad de "hot-swap" facilita el reemplazo de sensores sin interrumpir el funcionamiento del sistema.

- Dräger Polytron 8100 EC: Aunque ofrece una detección precisa de más de 100 gases, la instalación y configuración pueden ser más complejas debido a la necesidad de un manejo especializado y calibración regular.

## 2. Comunicación y Adaptabilidad:

- Conspec OPTIO-G: Soporta múltiples interfaces de comunicación como RS485, Modbus RTU y redes inalámbricas. Su capacidad para formar una red de malla (Mesh Network) proporciona una comunicación robusta y adaptable en entornos subterráneos.
- Dräger Polytron 8100 EC: También ofrece interfaces de comunicación digital avanzadas, pero depende en gran medida de sistemas de control centralizados, lo que puede limitar su flexibilidad en ciertos entornos.

## 3. Robustez y Adaptabilidad Ambiental:

- Conspec OPTIO-G: Diseñado para funcionar en un rango amplio de temperaturas (-20°C a +60°C) y condiciones de humedad (0-95% HR). Es adecuado para entornos mineros con condiciones variables.
- **Dräger Polytron 8100 EC:** También ofrece una operación en condiciones extremas, pero puede requerir un manejo más especializado y medidas de protección adicionales.

## 4. Funcionalidades de Alarma:

- Conspec OPTIO-G: Ofrece 4 niveles de alarma personalizados con capacidades de mapeo de relés a diferentes sensores, proporcionando una respuesta rápida y específica a las condiciones detectadas.
- Dräger Polytron 8100 EC: Proporciona alarmas ajustables y relés integrados, pero con menos flexibilidad en la configuración de alarmas específicas.

En resumen, el Conspec OPTIO-G se destaca por su facilidad de instalación, versatilidad en la comunicación, y costo total transparente, lo que lo convierte en una opción más adecuada para las necesidades específicas de la mina “Las Cuevas”. Su diseño y funcionalidades permiten una implementación rápida y eficaz, asegurando un monitoreo continuo y preciso en entornos mineros subterráneos exigentes.

## **Capítulo 5- Conclusión**

La implementación de un sistema de monitoreo fijo de gases en la mina “Las Cuevas” es una medida esencial para garantizar la seguridad del personal y la eficiencia operativa en un entorno subterráneo. Tras un análisis de las condiciones ambientales, los patrones de concentración de gases y las opciones tecnológicas disponibles, se ha demostrado que el sistema Conspec OPTIO-G ofrece ventajas significativas sobre otras alternativas.

El Conspec OPTIO-G destaca por su facilidad de instalación gracias a la tecnología Plug and Play, su versatilidad en la comunicación mediante interfaces RS485, Modbus RTU y redes inalámbricas, y su costo total transparente que incluye instalación y soporte inicial. Estas características, junto con su capacidad para operar en un amplio rango de temperaturas y condiciones de humedad, lo convierten en la opción más adecuada para las necesidades específicas de la mina “Las Cuevas”.

La seguridad del personal es la máxima prioridad en las operaciones mineras subterráneas. El Conspec OPTIO-G proporciona una monitorización continua y precisa de los niveles de gases tóxicos como el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), así como de oxígeno (O<sub>2</sub>) y humedad relativa (H<sub>2</sub>O). Las funcionalidades avanzadas de alarma del sistema permiten una respuesta inmediata a cualquier incremento en las concentraciones de gases, minimizando el riesgo de exposición a condiciones peligrosas.

Desde el punto de vista operativo, la integración del Conspec OPTIO-G en las rutinas diarias de la mina facilita la toma de decisiones informadas, permitiendo ajustar las operaciones en tiempo real para mantener un ambiente seguro y eficiente. La capacidad del sistema para formar una red de malla asegura una comunicación robusta y adaptable, esencial en un entorno subterráneo con condiciones variables.

### Importancia a Futuro

La adopción de tecnologías avanzadas como el Conspec OPTIO-G no solo mejora la seguridad y la eficiencia operativa actuales, sino que también posiciona a la mina “Las Cuevas” para enfrentar futuros desafíos con mayor resiliencia. A medida que la mina evolucione y se enfrenten nuevas condiciones y demandas operativas, un sistema de monitoreo robusto y flexible será crucial para mantener los estándares de seguridad y productividad.

Además, la implementación de este sistema sienta las bases para futuras integraciones con otras tecnologías de automatización y control, facilitando una transición más fluida hacia operaciones mineras más inteligentes y sostenibles. La capacidad de adaptar y expandir el sistema Conspec OPTIO-G según las necesidades cambiantes de la mina asegura que la inversión realizada proporcionará beneficios a largo plazo.

### Conclusión Final

En resumen, la adopción del sistema para la monitorización fija de gases en la mina “Las Cuevas” proporcionará una herramienta poderosa para la detección y control de gases tóxicos y no tóxicos, mejorando la seguridad del personal y optimizando las operaciones mineras. Esta inversión en tecnología avanzada es un paso adelante en el compromiso con la seguridad y la eficiencia operativa, estableciendo un estándar en la gestión de riesgos en la industria minera. Al mirar hacia el futuro, no solo abordará los desafíos actuales sino que también permitirá a la mina adaptarse y prosperar en un entorno en constante evolución, garantizando así una operación segura, eficiente y sostenible a largo plazo.

## Capítulo 6.- Bibliografía

- Attia, P. (2016, February 1). *Who am I not?/ Cell Jan. 28, 2016 (Vol. 164, Issue 3)*. GreenFacts. Retrieved May 28, 2024, from [https://www.greenfacts.org/es/glosario/mno/monoxido-carbono-CO.htm%20Hern%C3%A1ndez,%20J.%20A.%20\(2023\).%20Ventilaci%C3%B3n%20de%20minas%20desde%20el%20punto%20legal.%20CDMX](https://www.greenfacts.org/es/glosario/mno/monoxido-carbono-CO.htm%20Hern%C3%A1ndez,%20J.%20A.%20(2023).%20Ventilaci%C3%B3n%20de%20minas%20desde%20el%20punto%20legal.%20CDMX).
- Anas, M., Haider, S. M., & Sharma, P. (2017). *Gas Monitoring and Testing in Underground Mines using Wireless Technology*. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 6(1), 412-416.
- Albarracín, M., & Gutierrez, G. (2014). MONITOREO INALÁMBRICO DE GASES EN MINERÍA CON SERVICIO WEB EN TIEMPO REAL FASE II (Tesis de grado). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Ciudad de Sogamoso, Boyacá, Colombia.
- Clavijo G., J. A. (n.d.). MONITOREO DE GASES EN MINERIA. Retrieved May 28, 2024, from [https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/presentacion\\_multidetectors\\_iberid-mx6.pdf](https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/presentacion_multidetectors_iberid-mx6.pdf)
- Chart Industries. (2023). *The Most Dangerous Gases In Mining*. Recuperado de <https://www.chartindustries.com/Articles/The-Most-Dangerous-Gases-In-Mining>
- *Diario Oficial de la Federación*. (2002, June 14). DOF - Diario Oficial de la Federación. Retrieved May 28, 2024, from [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=728016&fecha=14/06/2002](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=728016&fecha=14/06/2002)
- *Diario Oficial de la Federación*. (2011, December 20). DOF - Diario Oficial de la Federación. Retrieved May 28, 2024, from [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5225269&fecha=20/12/2011#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5225269&fecha=20/12/2011#gsc.tab=0)

- *Diario Oficial de la Federación*. (2012, October 11). DOF - Diario Oficial de la Federación. Retrieved May 28, 2024, from [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5272056&fecha=11/10/2012#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5272056&fecha=11/10/2012#gsc.tab=0)
- *Diario Oficial de la Federación*. (2014, April 28). DOF - Diario Oficial de la Federación. Retrieved May 28, 2024, from [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5342372&fecha=28/04/2014#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342372&fecha=28/04/2014#gsc.tab=0)
- *El impacto del dióxido de nitrógeno en la calidad del aire interior | US EPA*. (2024, April 3). EPA. Retrieved May 28, 2024, from <https://espanol.epa.gov/cai/el-impacto-del-dioxido-de-nitrogeno-en-la-calidad-del-aire-interior>
- Industrial Scientific Corporation. (2017). *Ventis™ MX4 and MX6 iBrid™ Multi-Gas Detectors FOR THE MINING INDUSTRY*.
- INEGI. (2001). Carta topografica de La Salitrera. Retrieved Mayo 28, 2024, from [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/imagen\\_cartografica/1\\_50\\_000/702825638528.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/imagen_cartografica/1_50_000/702825638528.pdf)
- Rojo Aguilar, D. (2004). *Análisis del cambio en el método de explotación, Minera Las Cuevas, San Luis Potosí*. (1st ed., Vol. 1). UNAM. <http://132.248.9.195/ppt2004/0327209/0327209.pdf>
- Rodríguez-Ríos, R., Tristán-González, M., & Aguillón-Robles, A. (2013). Estructura y geoquímica de un grupo de domos dacíticos del norponiente del campo volcánico de San Luis Potosí, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 65, 109-122.
- Rodríguez-Ríos, R., Tristán-González, M., & Aguillón-Robles, A. (2013). Estructura y geoquímica de un grupo de domos dacíticos del norponiente del campo volcánico de San Luis Potosí, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 65, 109-122.

- Sieck, P., López-Doncel, R., & Dávila-Harris, P. (2019). Almandine garnet-bearing rhyolites associated to bimodal volcanism in the Mesa Central of Mexico: geochemical, petrological and geochronological evolution. *Journal of South American Earth Sciences*, 92, 310-328.
- Saldívar, A. (2022, December 4). *Proceso*. El eje del Flúor. Retrieved July 23, 2024, from <https://fluor.proceso.mx/mexico.html>
- SEGOB. (2008, 12 23). *Diario Oficial de la Federación*. Diario Oficial de la Federación. Retrieved 05 28, 2024, from [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5075375&fecha=23/12/2008#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5075375&fecha=23/12/2008#gsc.tab=0)
- Sieck, P., López-Doncel, R., & Dávila-Harris, P. (2019). Almandine garnet-bearing rhyolites associated to bimodal volcanism in the Mesa Central of Mexico: geochemical, petrological and geochronological evolution. *Journal of South American Earth Sciences*, 92, 310-328.

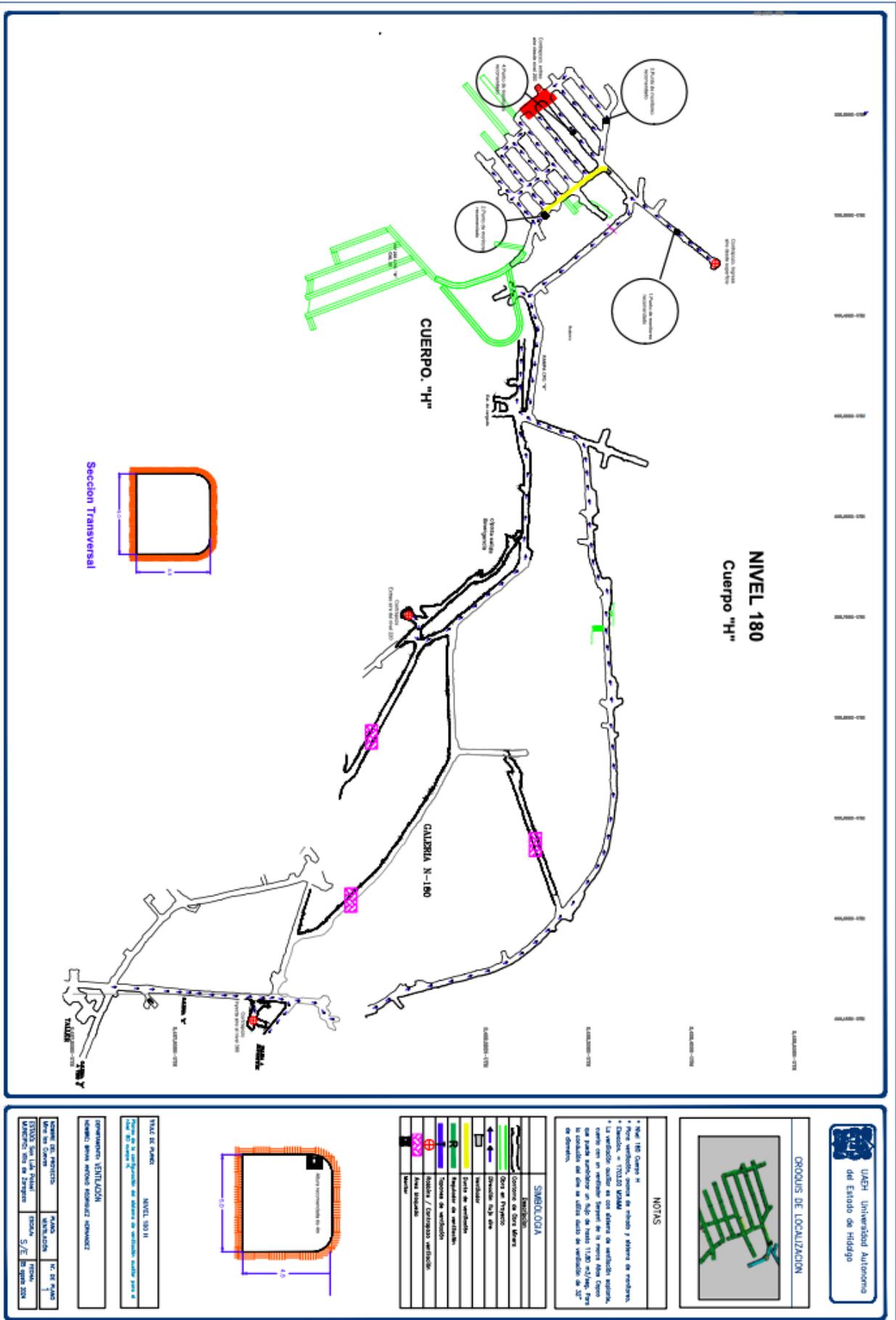
## CRONOGRAMA DEL PROYECTO

EN RIESGO	NOMBRE DE LA TAREA	ESTADO	ASIGNADA A	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINALIZACIÓN	DURACIÓN (días)	COMENTARIOS
<input checked="" type="checkbox"/>	Inducción de seguridad Orbia	Completado	Bryan Rodríguez	03/04	03/09	5	
<input checked="" type="checkbox"/>	Reconocimiento de las obras en mina (Recorridos)	Completado	Bryan Rodríguez	03/11	03/29	18	
<input checked="" type="checkbox"/>	Elaboración de gráficos de los resultados obtenidos en las mediciones de monitoreo en minería	Completado	Bryan Rodríguez	04/01	07/31	121	
<input checked="" type="checkbox"/>	Investigación documental sobre sistemas de monitoreo en minería	Completado	Bryan Rodríguez	04/01	07/31	121	
<input checked="" type="checkbox"/>	Elaboración de propuesta puntos de monitoreo fijos en el software AutoCAD	Completado	Bryan Rodríguez	07/01	07/30	29	
<input checked="" type="checkbox"/>	Elaboración documental del proyecto (Redacción, objetivos, desarrollos)	Completado	Bryan Rodríguez	07/01	07/30	29	
<input checked="" type="checkbox"/>	Elaboración de presentación para exposición propuesta a servicios	completado	Bryan Rodríguez	07/29	08/06	8	
<input checked="" type="checkbox"/>	Revisión proyecto final por jefe de área	Completado	Bryan Rodríguez	08/05	08/06	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	Presentación de proyectos ante departamento servicios técnicos	Completado	Bryan Rodríguez	08/08	08/09	1	

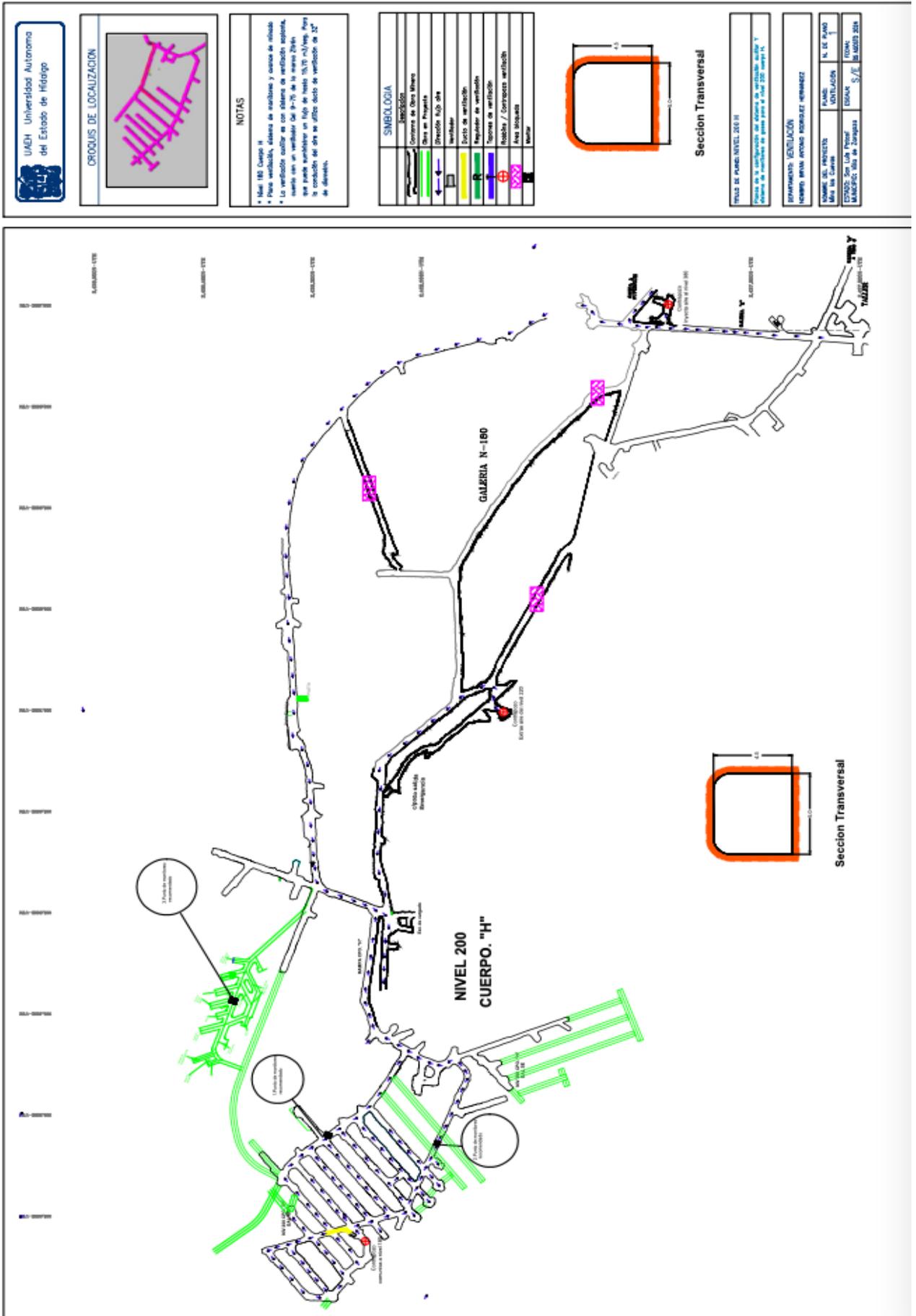
  

11/20 01/09 02/28 04/18 06/07 07/27 09/15

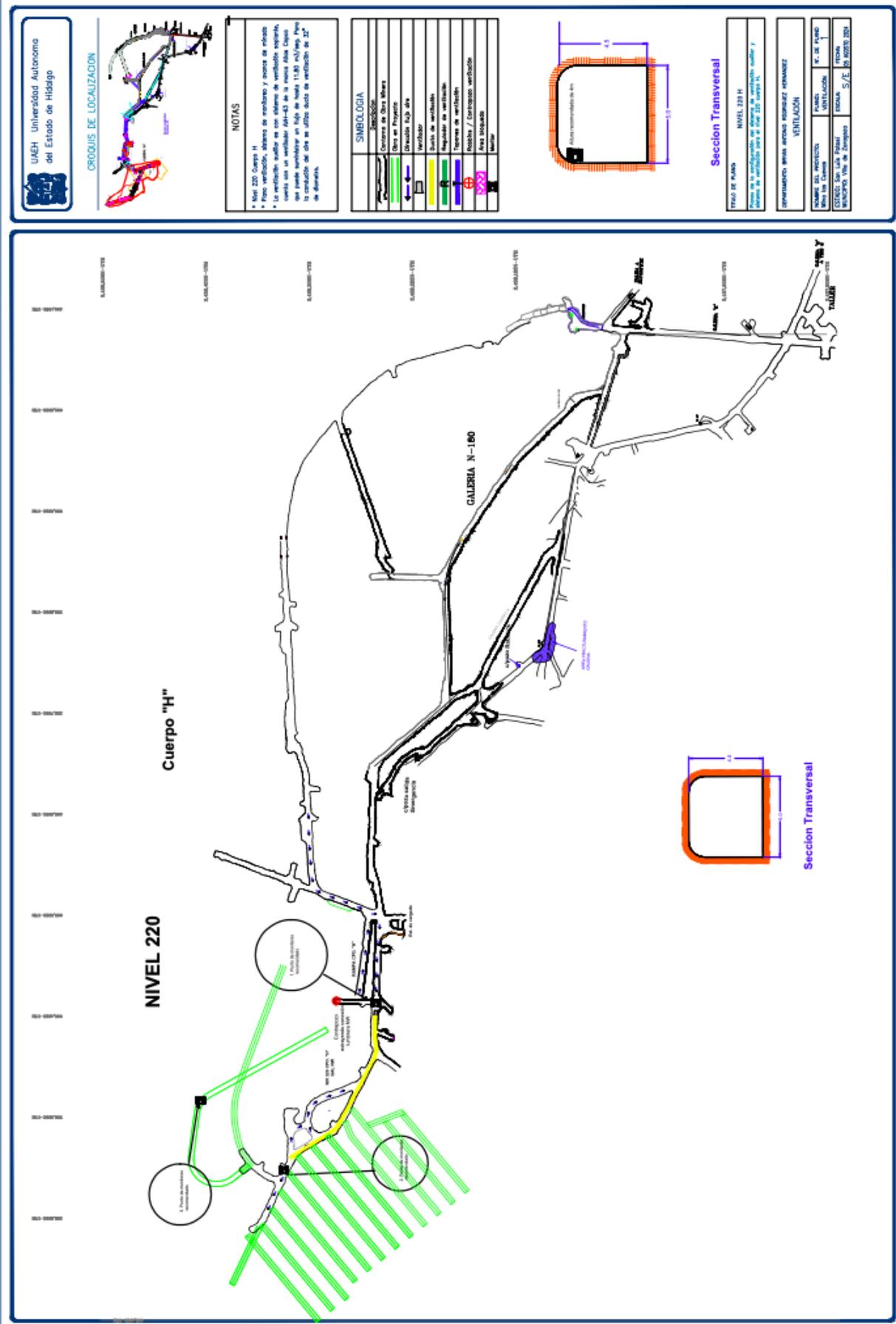
Inducción de seguridad Orbia  
 Reconocimiento de las obras en mina (Recorridos)  
 Elaboración de gráficos de los resultados obtenidos en las mediciones (comportamiento de los gases)  
 Investigación documental sobre sistemas de monitoreo en minería (documentación técnica)  
 Elaboración de propuesta puntos de monitoreo fijos en el software AutoCAD  
 Elaboración documental del proyecto (Redacción, objetivos, desarrollos, conclusiones y recomendaciones)  
 Elaboración de presentación para exposición propuesta a servicios técnicos  
 Revisión proyecto final por jefe de área  
 Presentación de proyectos ante departamento servicios técnicos



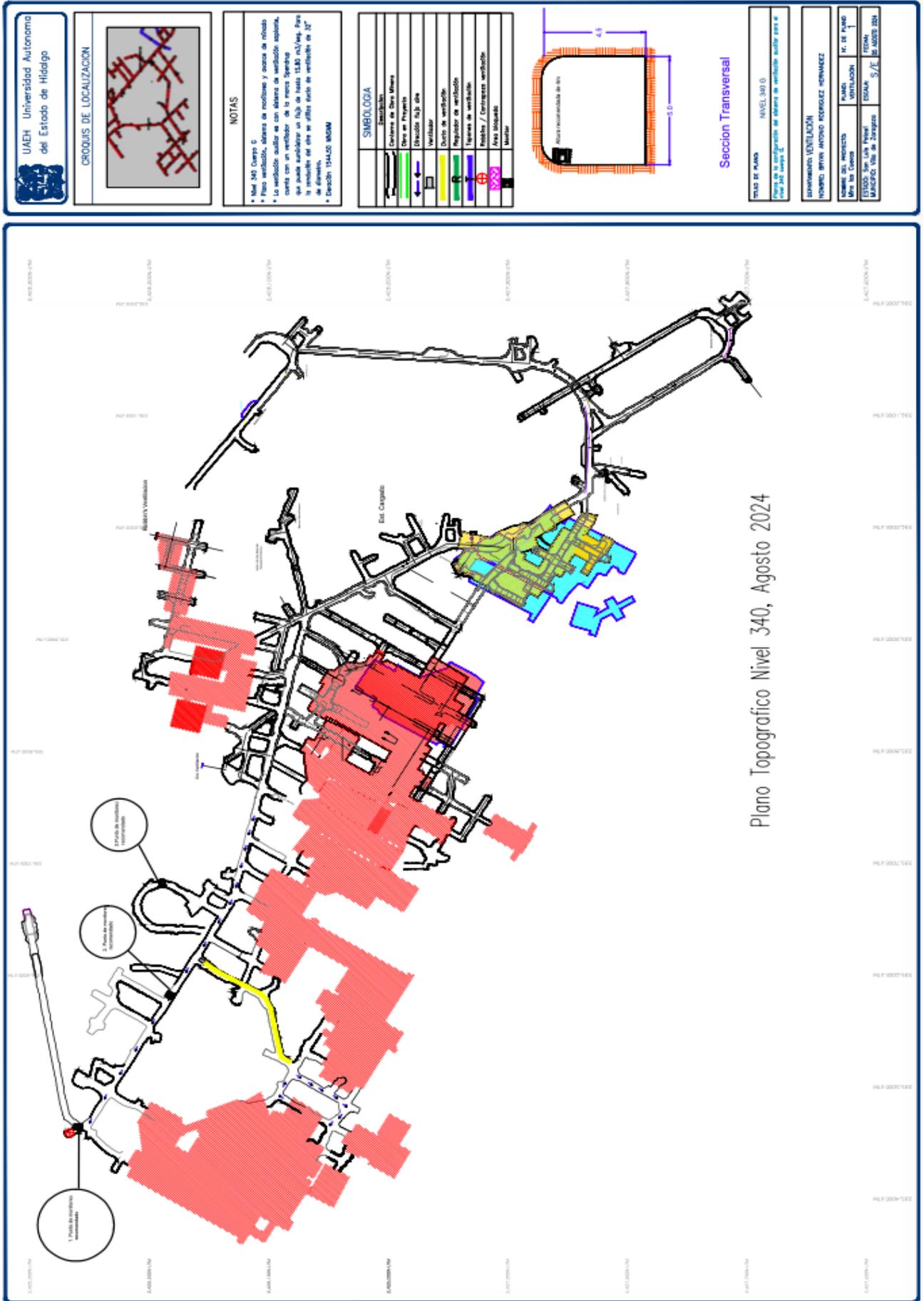
Anexo 1.- Plano de ventilación y sistema de monitoreo de gases en L180. Realizado por R. Gallegos, 2024. Modificado en autocad 2021



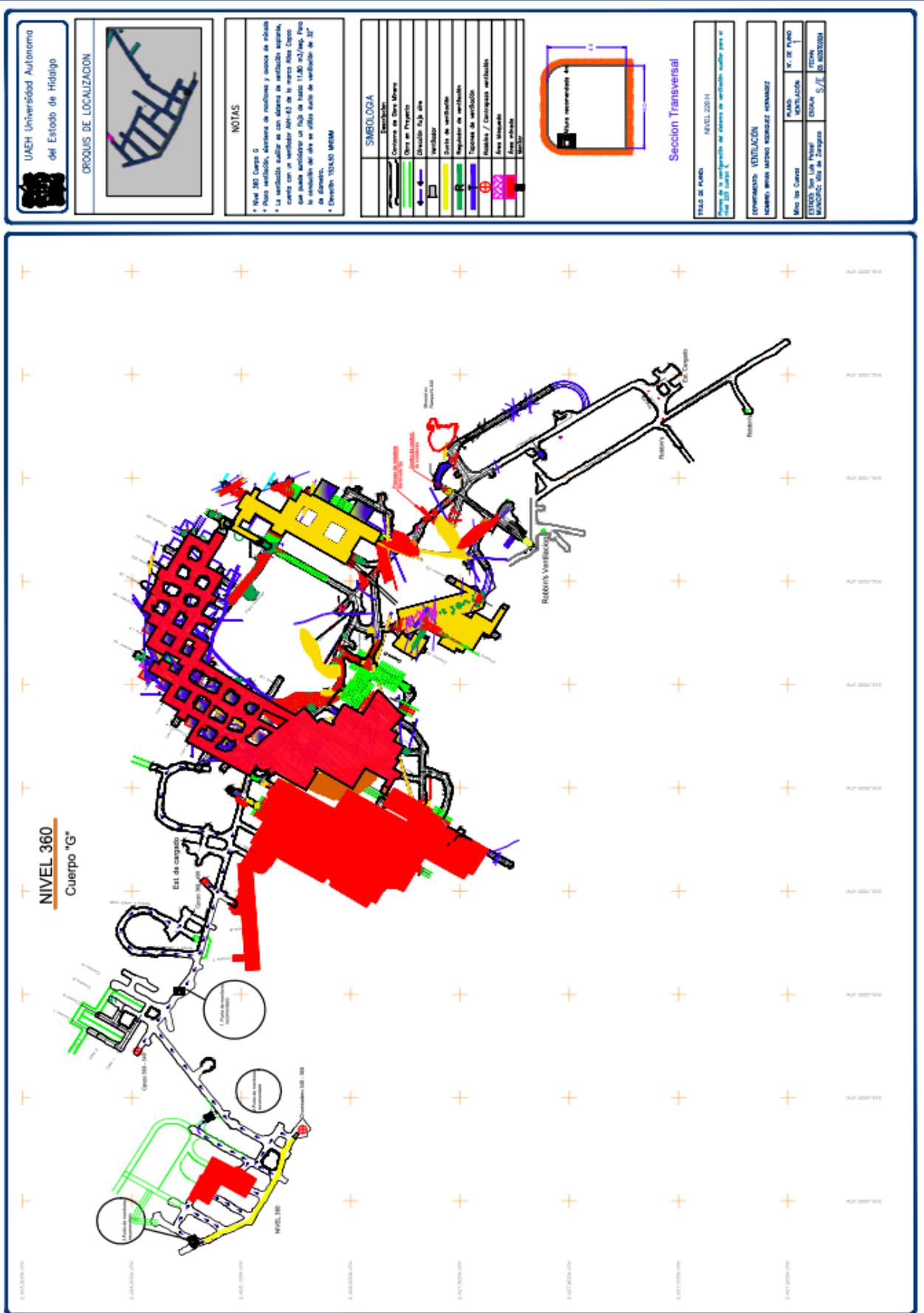
Anexo 2 Plano de ventilación y sistema de monitoreo de gases en L200. Realizado por R. Gallegos, 2024. Modificado en autocad 2021



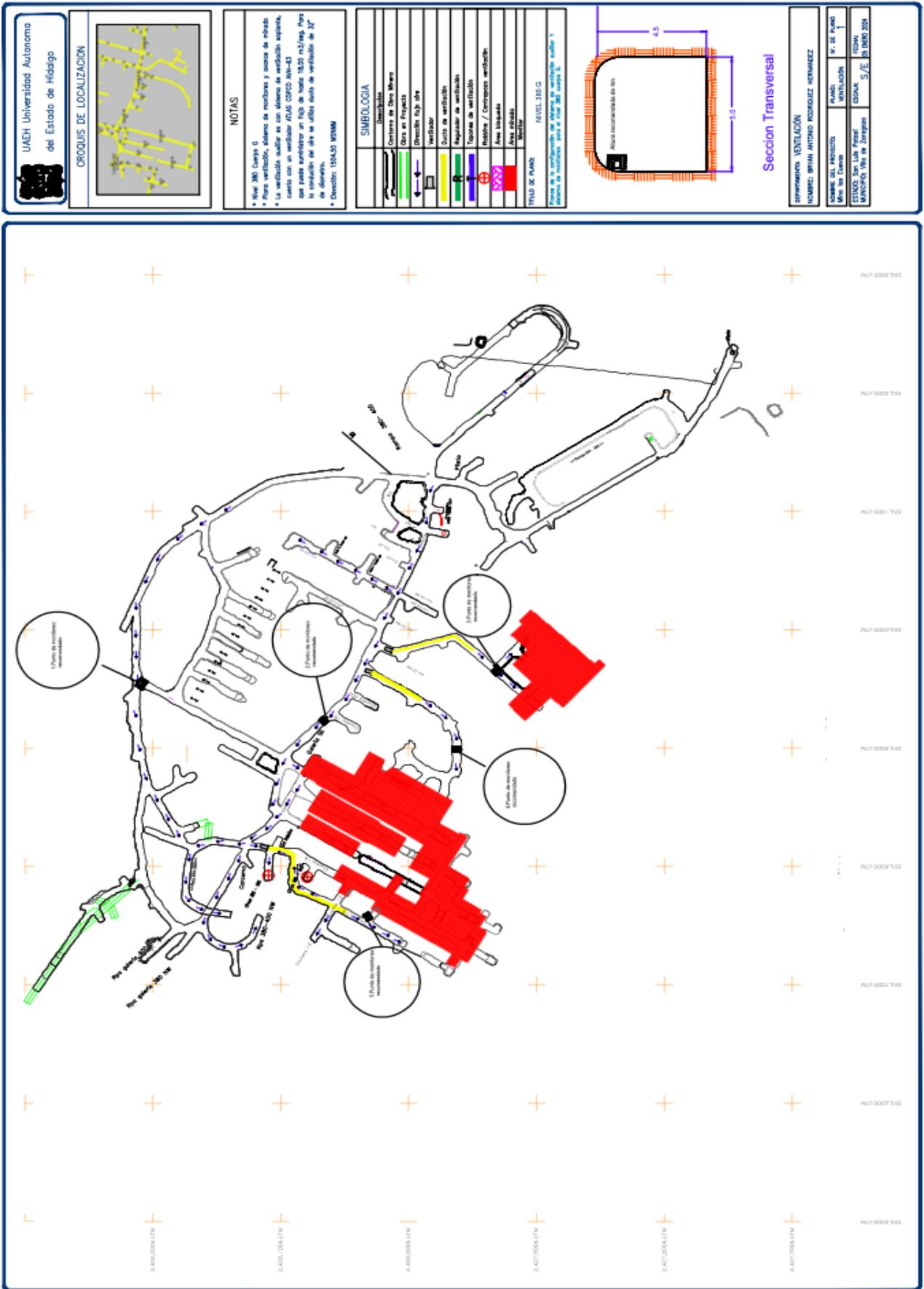
Anexo 3.-Plano de ventilación y sistema de monitoreo de gases en L220. Realizado por R. Gallegos, 2024. Modificado en autocad 2021



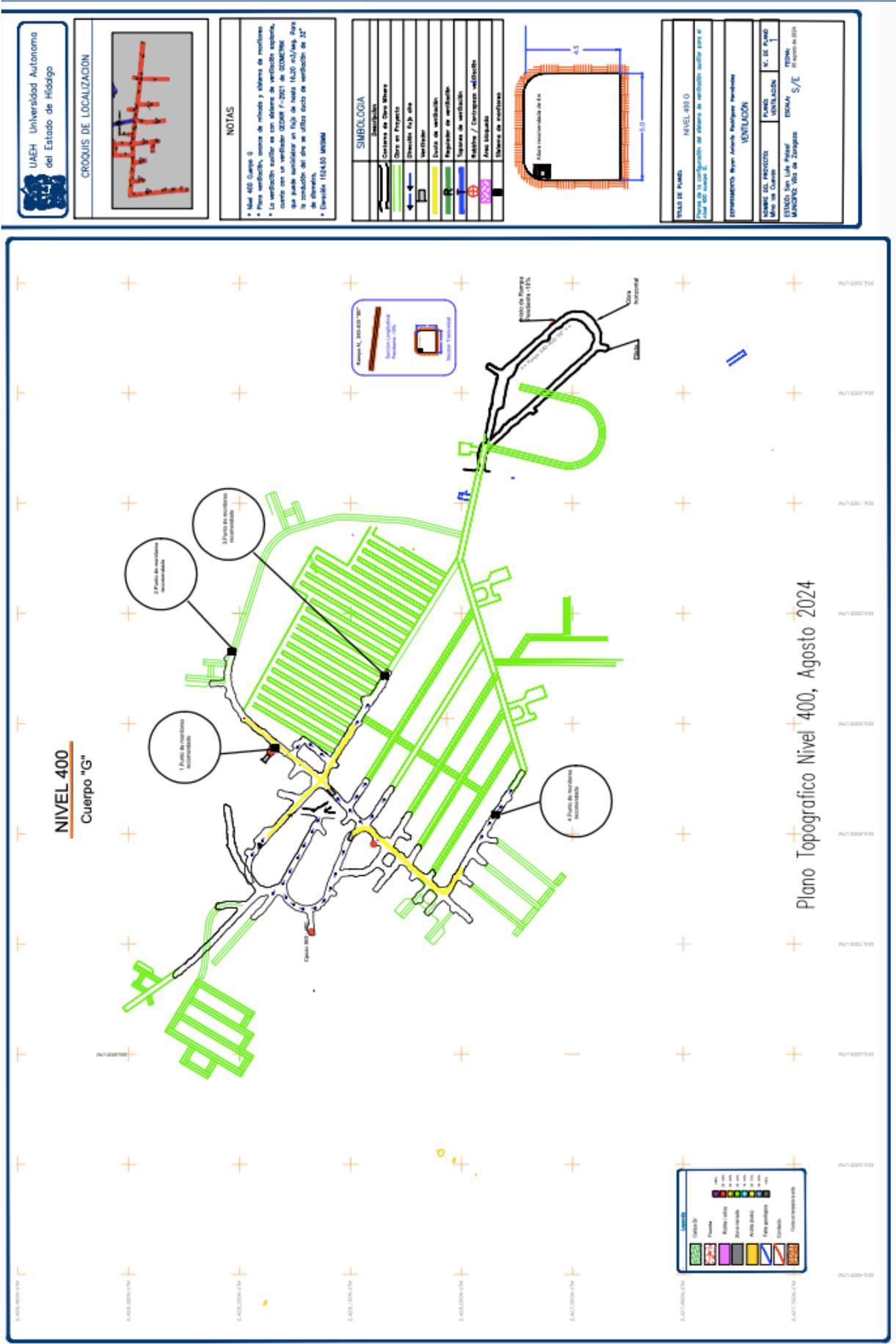
Anexo 4.-Plano de ventilación y sistema de monitoreo de gases en L340. Realizado por R. Gallegos, 2024. Modificado en autocad 2021



Anexo 5.-Plano de ventilación y sistema de monitoreo de gases en L360. Realizado por R. Gallegos, 2024. Modificado en autocad 2021.



Anexo 6.-Plano de ventilación y sistema de monitoreo de gases en L380. Realizado por R. Gallegos, 2024. Modificado en autocad 2021



Anexo 7.-Plano de ventilación y sistema de monitoreo de gases en L400. Realizado por R. Gallegos, 2024. Modificado en autocad 2021