



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

## ESCUELA DE POSGRADO

### MAESTRÍA EN CIENCIAS INGENIERÍA QUÍMICA



#### TESIS

### EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE Y EL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN LA MINA SANTA MARÍA, ANANEA - REGIÓN PUNO

#### PRESENTADA POR:

**LOAYDA ABIGAIL CONDORI TURPO**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MENCIÓN EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y AMBIENTAL**

**PUNO, PERÚ**

**2022**

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE  
Y EL SISTEMA DE VENTILACIÓN DE LA  
MINA SANTA MARÍA, ANANEA - REGI

AUTOR

LOAYDA ABIGAIL CONDORI TURPO

RECUENTO DE PALABRAS

17436 Words

RECUENTO DE CARACTERES

90251 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

90 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.5MB

FECHA DE ENTREGA

Dec 22, 2022 3:13 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Dec 22, 2022 3:14 PM GMT-5

● 15% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base


- 14% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 10% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Cross

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Dr. Sc. NAZARIO VILLAFUERTE PRUDENCIO  
Profesor Principal a D. E. de la Facultad de  
Ingeniería Química de la UNA - Puno



M. Sc. Solomon Tito Azari



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRIA EN CIENCIAS INGENIERÍA QUÍMICA**

**MENCIÓN EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y AMBIENTAL**

**TESIS**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE Y EL SISTEMA DE  
VENTILACIÓN EN LA MINA SANTA MARÍA, ANANEA - REGIÓN PUNO.**

**PRESENTADA POR:**

**LOAYDA ABIGAIL CONDORI TURPO**

**PARA OPTAR EL GRADO ACÁDEMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MENCIÓN EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y AMBIENTAL**

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

  
.....  
Dr. TEÓFILO DONAIRES FLORES

PRIMER MIEMBRO

  
.....  
M.Sc. FERNANDO BERNEDO COLCA

SEGUNDO MIEMBRO

  
.....  
M.Sc. OSWALDO LUZVER MAYNAS  
CONDORI

ASESOR DE TESIS

  
.....  
Dr. NAZARIO VILLAFUERTE PRUDENCIO

ÁREA: Investigación

TEMA: Seguridad y Medio Ambiente

LÍNEA: Recursos Naturales y Medio Ambiente

Puno, 13 de Diciembre del 2022.



## DEDICATORIA

Dedico esta investigación a mis queridos padres Valeriano y Lucy, ellos merecen mucho más, sin embargo, esta investigación solo es una pequeña acción para ellos de parte mía.



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por su cuidado y protección.

Agradezco a mis padres por el apoyo continuo y sacrificio que siempre hicieron en bien de mi formación integral.

Agradezco a mi director de tesis Dr. Nazario Villafuerte, por su apoyo desinteresado en la realización de esta investigación.

Agradezco al Dr. Teófilo Donaires, MSc. Fernando Bernedo y MSc. Oswaldo Maynas, quienes forman parte de mi jurado de tesis, que con cada una de las recomendaciones y consejos brindados de acuerdo a su vasta experiencia contribuyeron en mejorar la calidad de la presente investigación.



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
INDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	1

### CAPÍTULO I

#### REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico	2
1.1.1 Calidad de aire	2
1.1.1.1 Principales contaminantes del aire	2
1.1.1.2 Efectos de la contaminación del aire en la salud y el medio ambiente	4
1.1.2 Ventilación	5
1.1.2.1 Tipos de sistemas de ventilación	7
1.1.3 Descripción de las actividades de la mina subterránea	9
1.1.3.1 Aspectos geológicos y geomorfológico	12
1.1.3.2 Geología Regional	12
1.1.3.3 Geología Local	12
1.1.3.4 Geología Estructural	13
1.1.3.5 Geología Económica	13
1.1.3.6 Mineralogía	14
1.1.3.7 Seguridad y salud ocupacional en la mina	14
	iii



1.1.3.8 Inducción de Seguridad	15
1.1.3.9 Equipos con los que cuenta la empresa minera	16
1.2 Antecedentes	18

## **CAPÍTULO II**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

2.1 Identificación del problema	24
2.1.1 Enunciado del problema	25
2.2 Justificación	25
2.3 Objetivos	27
2.3.1 Objetivo general	27
2.3.2 Objetivos específicos	27
2.4 Hipótesis	27
2.4.1 Hipótesis general	27
2.4.2 Hipótesis específicas	27

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1 Lugar de estudio	28
3.2 Población	30
3.3 Muestra	30
3.4 Método de investigación	30
3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	30

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1 Descripción actual del sistema de ventilación	37
4.2 Diagnóstico del sistema de ventilación	40
4.3 Evaluación de la calidad de aire	44



4.3.1 Monitoreo del monóxido de carbono	44
4.3.2 Monitoreo del dióxido de nitrógeno	45
4.3.3 Monitoreo de material particulado <sub>2.5</sub>	47
4.3.4 Monitoreo de material particulado <sub>10</sub>	48
4.3.5 Resumen de concentración de CO, NO <sub>2</sub> , PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub>	49
4.4 Propuesta del sistema de ventilación	50
DISCUSIONES	57
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	67





## INDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Reporte de ciudades con alto nivel de contaminación (PM <sub>2.5</sub> )	5
2. Valores de los límites máximos permisibles según (D. S. N° 024-2016-EM, modificado por el D. S. N° 023-2017-EM)	6
3. Descripción del mineral	14
4. Descripción de las señalizaciones	18
5. Coordenadas UTM de los vértices de la Concesión CMASA S. A.	29
6. Vías de acceso al proyecto minero Santa María.	29
7. Coordenadas UTM-WGS84 de punto de monitoreo	33
8. Calculo de requerimiento de aire para el personal	41
9. Requerimiento de aire por equipos diésel (HP)	42
10. Factor de producción de acuerdo al consumo de madera	43
11. Requerimiento de aire por el consumo de madera	43
12. Resultados del monóxido de carbono	44
13. Resultados del dióxido de nitrógeno	46
14. Resultados de material particulado <sub>2.5</sub>	47
15. Resultados del monitoreo de material particulado <sub>10</sub>	48
16. Resultados de la concentración de CO, NO <sub>2</sub> , PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub>	49
17. Características del sistema de ventilación actual y el propuesto	56



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Proceso que realiza en la mina Santa María	10
2. Mapa de labores subterráneas	11
3. Mapa de ubicación mina Santa María.	29
4. Monitor de atenuación beta para medición de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> .	32
5. Analizador de emisiones gaseosas	32
6. Mapa de ubicación del punto de monitoreo	34
7. Mapa de ubicación de instalaciones	35
8. Plano topográfico y geológico de la mina Santa María.	39
9. Resultados del monóxido de carbono	45
10. Resultados del dióxido de nitrógeno	46
11. Resultados de material particulado <sub>2.5</sub>	48
12. Resultados de la concentración de material particulado <sub>10</sub>	49
13. Resultados de las concentraciones de CO, NO <sub>2</sub> , PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub>	50
14. Propuesta del sistema de ventilación	51
15. Vista Planta de la galería	53
16. Vista Noreste de las galerías en estudio	54
17. Vista frontal de las galerías de estudio	54
18. Modelamiento del sistema de ventilación en el software Ventsim	55



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Matriz de Identificación de peligros, evaluación de riesgos y control – IPERC	67
2. Mapa de riesgos	76
3. Registro fotográfico	77

## RESUMEN

La mina Santa María extrae minerales de oro para lo cual utiliza ANFO (Nitrato de amonio –  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  - 94% y combustible 6%) y dinamita, que al detonarse genera gases nocivos que afecta directamente a los trabajadores y al medio ambiente, por ello la investigación tiene por objetivo evaluar la calidad de aire y el sistema de ventilación en la mina Santa María, la metodología aplicada fue en base al Subcapítulo VIII del Reglamento de Seguridad de Seguridad y Salud Ocupacional en minería D. S. N° 024 - 2016 - EM, modificado por el D. S. N° 023 – 2017 - EM. Los agentes químicos analizados fueron monóxido de carbono (38 ppm), dióxido de nitrógeno (4.5 ppm), material particulado 2.5 ( $5.2 \text{ mg/m}^3$ ) y material particulado 10 ( $20 \text{ mg/m}^3$ ), los resultados obtenidos en el periodo de 12:00 a 15:00 horas sobrepasan los límites de exposición establecidos por la normativa, además cabe resaltar que en el diagnóstico realizado al sistema de ventilación que tiene una capacidad de 10 000 cfm (pies cúbicos por minuto), lo cual indica que es deficiente y que el ventilador debe tener una tasa de flujo de aire de compresor de 30 663.607 cfm (pies cúbicos por minutos), que equivale  $868.3 \text{ m}^3/\text{min.}$ , para cumplir con la demanda de aire limpio y no afectar la salud de los trabajadores, se recomienda optimizar el sistema de ventilación puesto que la exposición prolongada a estos agentes ocasionan severos daños en el sistema respiratorio de los trabajadores.

**Palabras clave:** Agentes químicos, calidad de aire, mina subterránea, salud ocupacional, ventilación.



## ABSTRACT

Santa Maria mine extracts gold minerals for which it uses ANFO (ammonium nitrate -  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  - 94% and fuel 6%) and dynamite, which when detonated generates harmful gases that directly affect workers and the environment, therefore the research aims to evaluate the air quality and ventilation system in the Santa Maria mine, the methodology applied was based on Subchapter VIII of the Safety Regulation of Safety and Occupational Health in mining D. S. N° 024 -2016 - EM, modified by D. S. N° 023 - 2017 - EM. The chemical agents analyzed were carbon monoxide (38 ppm), nitrogen dioxide (4.5 ppm), particulate matter 2.5 ( $5.2 \text{ mg/m}^3$ ) and particulate matter 10 ( $20 \text{ mg/m}^3$ ), the results obtained in the period from 12:00 to 15:00 hours exceed the exposure limits established by the regulations, in addition it is worth highlighting that in the diagnosis made to the ventilation system that has a capacity of 10 000 cfm (cubic feet per minute), which indicates that it is deficient and that the fan should have a compressor air flow rate of 30 663.607 cfm (cubic feet per minute), which is equivalent to  $868.3 \text{ m}^3/\text{min}$ , In order to meet the demand for clean air and not affect the health of workers, it is recommended to optimize the ventilation system since prolonged exposure to these agents cause severe damage to the respiratory system of workers.

**Keywords:** Air quality, chemical agents, occupational health, subway mine, ventilation.

## INTRODUCCIÓN

La mina Santa María, actualmente realiza actividades de extracción de minerales auríferos, para dicho proceso utiliza ANFO (Nitrato de amonio –  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  - 94% y combustible 6%) y mínimas cantidades de dinamita que al detonarse generan gases contaminantes alterando la calidad del aire, sumado a ello tenemos el problema del inadecuado funcionamiento de los sistemas de ventilación, lo cual pone en riesgo la salud de los trabajadores, ocasionando enfermedades en el sistema respiratorio, es por ello que es de vital importancia realizar la evaluación de la calidad de aire con el fin de evidenciar el grado de exposición de los trabajadores, además de plantear algunas soluciones en base a los hallazgos. La presente investigación pertenece al área de investigación de Seguridad Ocupacional.

La presente investigación está organizada en 4 capítulos, los cuales serán detallados a continuación:

En el Capítulo I – Revisión de la Literatura, se detallará el marco teórico, es decir las bases teóricas de la calidad de aire, de los sistemas de ventilación, de los principales contaminantes del aire, efectos de la contaminación del aire en la salud y en el medio ambiente y aspectos importantes de la normativa vinculado al tema de investigación. En la segunda parte se detallará los antecedentes, en otras palabras, investigaciones previas que se desarrollaron por otros investigadores internacionales y nacionales relacionados al tema.

En el Capítulo II – Planteamiento del Problema, se detallará la identificación y enunciados del problema de investigación, la justificación del porque se realizó la investigación, los objetivos generales y específicos de la investigación y finalmente las hipótesis generales y específicas de la investigación realizada.

En el Capítulo III – Materiales y Métodos, se detallará la ubicación del lugar de estudio de la investigación, la población y muestra que participará en la investigación, el método de investigación y la descripción de los métodos por objetivo específico.

En el Capítulo IV - Resultados y Discusión, se detallará las conclusiones, recomendaciones, bibliografía finalmente los anexos de la investigación.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1 Marco teórico

##### 1.1.1 Calidad de aire

La calidad de aire se define como la concentración de contaminante que llega a un receptor, más o menos lejano de la fuente de emisión, una vez transportado y difundido por la atmósfera (Rojas, 2016).

De acuerdo al Ministerio del Ambiente “La calidad del aire trata de la composición del aire y de la idoneidad del éste para determinadas aplicaciones” (MINAM, 2021)

##### 1.1.1.1 Principales contaminantes del aire

La mayoría de las principales sustancias consideradas como contaminantes atmosféricos se producen en actividades que emplean combustibles fósiles, motores de combustión interna y maquinaria industrial para sus actividades; se cree que estas fuentes tienen un origen antropogénico. (Jorquera, 2015)

Además, según el Ministerio del Ambiente de Chile, se refiere a partículas en general que se encuentran dispersas en la atmósfera y tienen un diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micras ( $\mu\text{m}$ ), tales como polvo, cenizas, acebo, partículas metálicas, cemento, polen, entre otras. Estas partículas pueden penetrar hasta el sistema respiratorio, originando irritación en los pulmones y generando enfermedades en las personas expuestas (Vargas, 2011).

Considerando la composición de las partículas y la masa, se pueden presentar de 02 maneras:

- Partícula gruesa: “Es la fracción del  $PM_{10}$  mayor a 2,5 micras y menor o igual a 10 micras, en diámetro aerodinámico” (Vargas, 2011).
- Partícula fina: “Es la fracción del  $PM_{10}$  con diámetro aerodinámico menor a 2,5 micras, denominado también  $PM_{2.5}$ ” (Vargas, 2011).

Material Particulado 2.5 ( $PM_{2.5}$ ): De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), el material particulado 2.5 se considera a partículas cuyo diámetro es  $\leq$  a 2.5 micrones. (La calidad del aire que respiramos, s. f.). El material particulado es un indicador de la contaminación atmosférica, que está compuesta por partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire (Calidad del aire ambiente exterior y salud, 2021).

Material Particulado 10 ( $PM_{10}$ ): El término material particulado 10, se puede utilizar para describir cualquier partícula sólida o líquida que se encuentran dispersas en la atmósfera y tienen un diámetro de entre 2,5 y 10 micras (García. 2016).

Dióxido de Nitrógeno ( $NO_2$ ): “El  $NO_2$  es un gas tóxico, de color amarillento, que impulsa la creación de ácidos y potencia los niveles de las  $PM_{2.5}$ ” (Gutiérrez, 2021). Este es el principal contaminante entre los diversos óxidos de nitrógeno que se pueden encontrar, y su generación puede encontrarse en la naturaleza, como en la actividad volcánica, en la quema de maderas y biomasa, o en los incendios forestales (Chuet, 2017).

El dióxido de nitrógeno puede causar graves daños en la salud de las personas ya que está relacionado con enfermedades respiratorias, como bronquitis aguda, una disminución de la capacidad de los pulmones, y puede derivar en casos de enfisema pulmonar (enfermedad obstructiva crónica en estos órganos), también puede provocar problemas cardíacos, enfermedades renales, ictus y casos de cáncer (Chuet, 2017)

Monóxido de Carbono (CO): El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro que se forma por la combustión incompleta de material orgánico,



en presencia deficitaria de oxígeno. Es considerado uno de los mayores contaminantes de la atmósfera terrestre, y uno de los mayores problemas ambientales de América Latina (García. 2016).

Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>): El dióxido de azufre se origina principalmente con la incineración de combustibles fósiles que contienen azufre, este gas afecta sobre todo las mucosidades y los pulmones generando una tos agresiva (Gutiérrez, 2021). Las altas concentraciones por breves períodos de tiempo pueden irritar las vías respiratorias, resultando en bronquitis, asfixia, espasmos, paros respiratorios y congestión en los conductos bronquiales de los asmáticos.

#### **1.1.1.2 Efectos de la contaminación del aire en la salud y el medio ambiente**

La contaminación atmosférica es el principal riesgo ambiental para la salud en las Américas (OMS, 2016). La Organización Mundial de la Salud estimó que una de cada nueve muertes en todo el mundo es el resultado de condiciones relacionadas con la contaminación atmosférica (OMS, 2016). Las directrices de la OMS sobre la calidad del aire recomiendan una exposición máxima de 20 µg/m<sup>3</sup> para las PM<sub>10</sub> y una exposición máxima de 10 µg/m<sup>3</sup> para las PM<sub>2.5</sub> (OMS, 2016), basado en las evidencias de los efectos sobre la salud de la exposición a la contaminación del aire ambiente.

De acuerdo al Informe elaborado por IQAir referente a la Calidad del Aire Mundial 2019, se presenta la información de 60 000 lugares y se llega a la conclusión que más del 90% de la población mundial respira aire contaminado que sobrepasa los niveles establecidos por la Organización Mundial de la Salud (IQAir, 2019). Así mismo se indica que la mala calidad de aire, influye en el aumento de enfermedades respiratorias en la población, a continuación, se detalla un resumen de la información presentada en el informe:

- El 29% fallece debido a enfermedades en el sistema respiratorio (Cáncer de pulmón).
- El 17% fallece por infecciones agudas en las vías respiratorias.
- El 24% padece de accidentes cerebrovasculares.

- El 25% fallece por cardiopatía isquémica.
- El 43% sufre de malestares y decesos por enfermedades pulmonares obstructivas crónicas.

Nuestro país se encuentra en el lugar 33 a nivel mundial de los países con mayor contaminación, la concentración de  $PM_{2.5}$ , promedio por habitantes es de  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y la ciudad de Lima se sitúa en el lugar 15 de las ciudades más contaminadas de Sudamérica, con una concentración promedio anual de  $PM_{2.5}$  ascendente a  $23.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (IQAir, 2019).

Las investigaciones muestran la relación directa entre la contaminación atmosférica y los efectos en la salud, principalmente enfermedades respiratorias, los altos niveles de contaminación atmosférica de acuerdo al Índice de Calidad del Aire de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos afectan directamente a personas que sufren asma y otros tipos de enfermedades cardíacas o pulmonares (Ballester, Tenias & Pérez, 1999).

Tabla 1

*Reporte de ciudades con alto nivel de contaminación ( $PM_{2.5}$ )*

Ranking	País	Promedio de emisión de $PM_{2.5}$ - 2019 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Promedio de emisión de $PM_{2.5}$ - 2018 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Población
1	Bangladesh	83.3	97.1	166 368 149
2	Pakistán	65.81	74.27	200 813 818
3	Mongolia	62	58.5	3 121 772
4	Afganistán	58.8	61.8	36 373 176
5	India	58.08	72.54	1 354 051 854
33	Perú	23.28	28	32 551 815

Fuente: IQAir, 2019.

### 1.1.2 Ventilación

Todas las actividades mineras deben ventilarse con aire limpio de acuerdo con las necesidades de los trabajadores, los equipos y para eliminar los gases, vapores o

partículas en suspensión que puedan dañar la salud de los trabajadores. Cada sistema de ventilación debe operar dentro de los límites permitidos en lo que respecta a la calidad del aire.

A continuación, se presentan los valores límites en la Tabla 2

Tabla 2

*Valores de los límites máximos permisibles según (D. S. N° 024-2016-EM, modificado por el D. S. N° 023-2017-EM)*

N°	Componente	Cantidad
01	PM <sub>10</sub>	10 miligramos/metro cubico
02	PM <sub>2.5</sub>	3 miligramos/metro cubico
03	O <sub>2</sub>	19 %
04	CO <sub>2</sub>	5000 partes por millón y 30000 por un lapso no superior de 15 minutos
05	CO	25 partes por millón
06	NH <sub>4</sub>	5000 partes por millón
07	H <sub>2</sub> S	10 partes por millón
08	NO <sub>2</sub>	3 partes por millón ó 5 partes por millón
09	NO	25 partes por millón
10	SO <sub>2</sub>	2 partes por millón mínimo a 5 partes por millón máximo
11	R-CHO	máximo 5 partes por millón
12	H	máximo 5000 partes por millón
13	O <sub>3</sub>	máximo 0.1 partes por millón

Teniendo en consideración lo estipulado en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional aprobado por el Ministerio de Energía y Minas en el Decreto Supremo N° 024-2016-EM, modificado por el Decreto Supremo N° 023-2017-EM, se tomará en cuenta lo siguiente: En todas las labores subterráneas se mantendrá una circulación de aire limpio y fresco en cantidad y calidad suficiente de acuerdo con el número de personas, con el total de HP de los equipos con

motores de combustión interna así como para la dilución de los gases que permitan contar en el ambiente de trabajo con un mínimo de 19.5 % y un máximo de 22.5 % de oxígeno, cuando las minas se encuentren hasta 1500 metros sobre el nivel del mar, en los lugares de trabajo, la cantidad mínima de aire necesaria por hombre será de 3 metros cúbicos por minuto, en otras altitudes las cantidades de aire será de acuerdo con la siguiente escala (Córdova, & Molina, 2011).

- “De 1500 a 3000 m.s.n.m. aumentará en 40%, será igual a 4 m<sup>3</sup>/min” (Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, 2017).
- “De 3000 a 4000 m.s.n.m. aumentará en 70%, será igual a 5 m<sup>3</sup>/min” (Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, 2017).
- “Sobre los 4000 m.s.n.m. aumentará en 100%, será igual a 6 m<sup>3</sup>/min” (Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, 2017).

#### **1.1.2.1 Tipos de sistemas de ventilación**

Se pueden clasificar en dos grandes grupos: Ventilación natural y Ventilación mecánica.

De acuerdo a (Giménez, 2012), dentro de los tipos de ventilación de una mina existe la ventilación mixta o combinada como es impelente y aspirante, en la impelente el ventilador impulsa el aire al interior de la mina o por la tubería, en el caso de aspirante el ventilador succiona el aire del interior de la mina por la tubería y lo expulsa al exterior, el caudal requerido será calculado:

- Según la cantidad de personas
- Según el porcentaje de partículas en suspensión
- Según el incremento de la temperatura
- Según el gasto de explosivos

#### **Ventilación Natural**

Es el flujo natural de aire fresco que ingresa al interior de una labor sin necesidad de equipos de ventilación, en una galería horizontal o en labores de desarrollo en un plano horizontal no se produce movimiento de aire, en minas profundas, la dirección y el movimiento del flujo de aire, se produce

debido a las siguientes causas: diferencias de presiones, entre la entrada y salida (Compumet, 2006).

Causas del movimiento de aire:

- En una mina que cuente con labores horizontales hasta verticales existirá una diferencia de peso entre el aire superficial y del interior, equivale a la altura  $H$  (Mallqui, 1980).
- En verano, el aire en la chimenea se encuentra a menor temperatura que en superficie y por lo mismo es más denso, ejerciendo presiones sobre el aire de la galería obligando a que el flujo ingrese por la chimenea y salga por la galería; pero por las noches es difícil predecir (Mallqui, 1980).
- En el invierno se invierte el proceso, en otras estaciones difíciles predecir (Mallqui, 1980).

La ejecución del mapeo de ventilación de una mina para determinación del volumen del aire que circula y la evaluación de la ventilación de la mina, la ejecución consiste en ubicarse en las estaciones de la ventilación pre establecidos y determinar el sentido de avance del aire mediante bombilla de humos, similarmente como el levantamiento de ventilación para hacer el balance de aire que ingresa al interior mina (Flores, 2017).

### Ventilación Mecánica

Es la ventilación secundaria y son aquellos sistemas que, haciendo uso de ductos y ventiladores auxiliares, ventilan áreas restringidas de las minas subterráneas, empleando para ello los circuitos de alimentación de aire fresco y de evacuación del aire viciado que le proporcione el sistema de ventilación general (Quispe, 2019)

El caudal de aire es la cantidad de aire que ingresa a la mina y que sirve para ventilar labores, cuya condición debe ser que el aire fluya de un modo constante y sin interrupciones, el movimiento de aire se produce cuando existe una alteración del equilibrio: diferencia de presiones entre la entrada y salida de un ducto, por causas naturales (gradiente térmica) o inducida por medios mecánicos (Quispe, 2019)

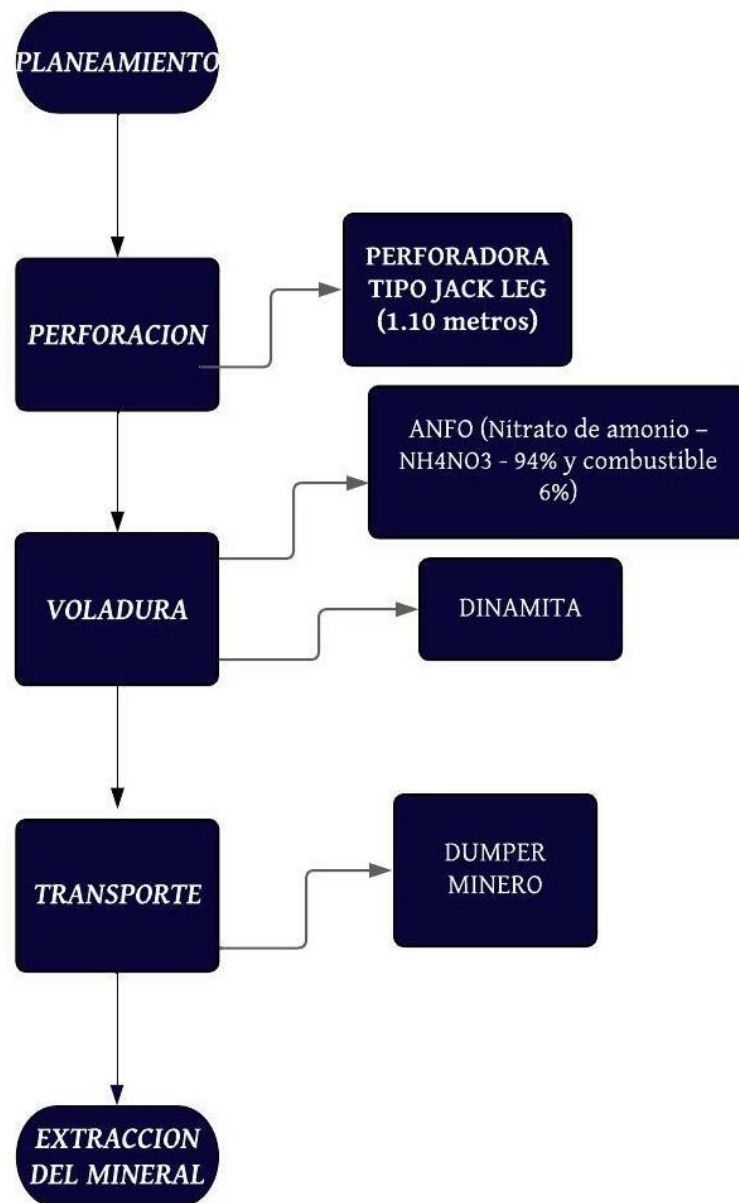


### **1.1.3 Descripción de las actividades de la mina subterránea**

La Empresa Minera Santa María, se encuentra en proceso de formalización y se dedica a la explotación de minerales de oro, realizando las etapas de planeamiento, perforación, voladura, transporte y extracción del mineral.

El tipo de explotación es subterránea por galerías, rampas, subniveles y chimeneas ciegas.

A continuación, se presenta la figura 1, donde se describe el proceso que se realiza en la mina Santa María.



*Figura 1.* Proceso que realiza en la mina Santa María

También se presenta la Figura 2, indicando la ubicación de las galerías, chimeneas, rampas y subnivel.

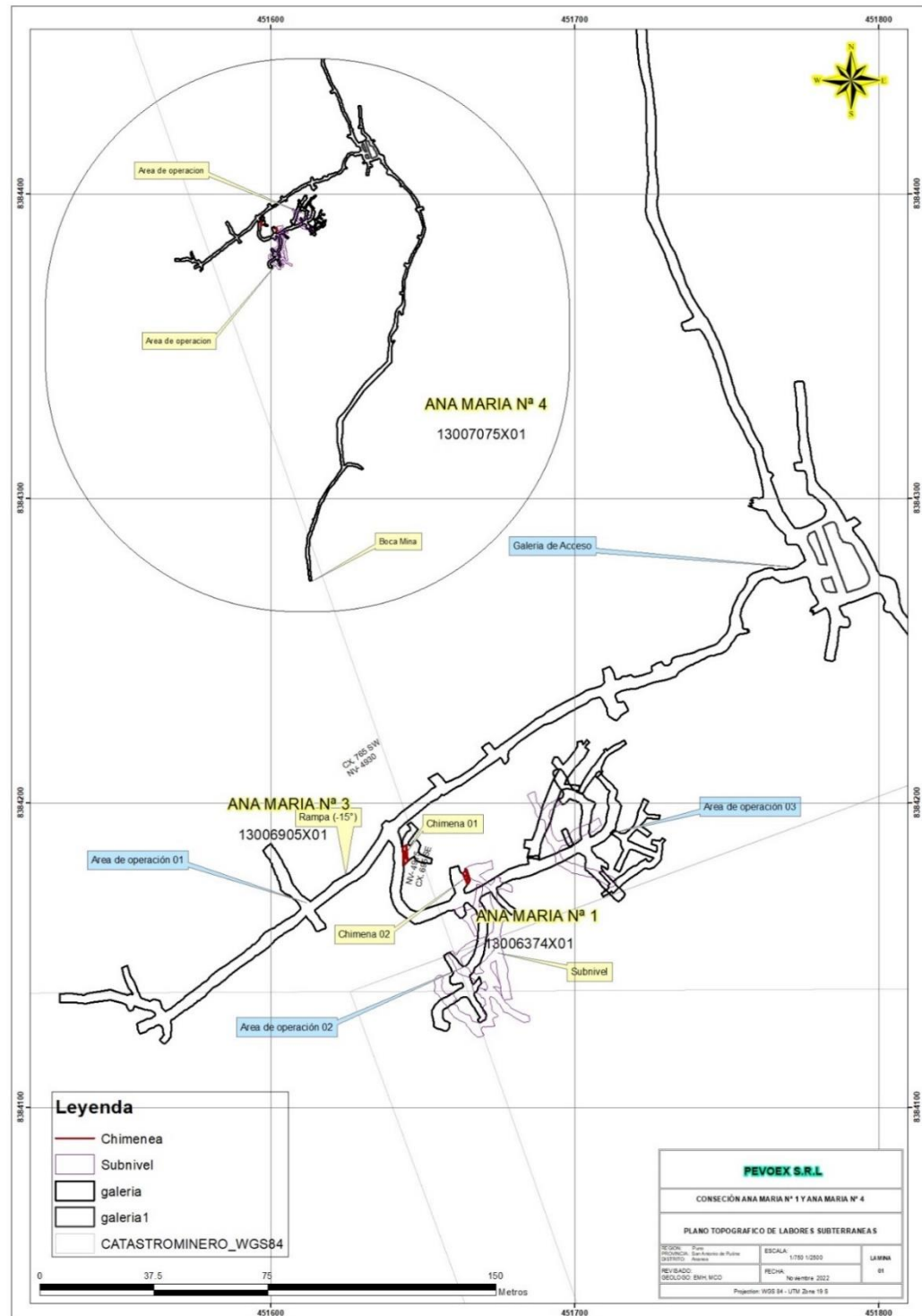


Figura 2. Mapa de labores subterráneas

La unidad de explotación, producción y recuperación de la empresa minera PEVOEX SRL., pertenece a la concesión minera Ana María III, además cabe señalar que los primeros trabajos de operación se realizaron antes del año 2000, desarrollando galería de acceso de 700 m. de distancia, entre los años 2005 a 2015



se llegó al auge de la productividad minera alcanzando zonas mineralizadas de oro de alta ley. Así mismo posee una planta semi-mecanizado para la recuperación del oro, mediante el uso de equipos como chancadoras, molinos, trapiches y otros.

### **1.1.3.1 Aspectos geológicos y geomorfológico**

Desde punto de vista regional, el área de la mina se encuentra en la cordillera oriental del sur del Perú, las altitudes varían entre 4600 a 5900 msnm. La zona del presente proyecto está comprendida en el límite occidental del nevado de Ananea, que conforma la cordillera oriental del sur del Perú.

### **1.1.3.2 Geología Regional**

La Geología regional presenta rocas antiguas del Paleozoico, conformadas por Lutitas, Pizarras, Filitas, Cuarcitas, Metacuarcitas.

La secuencia estratigráfica es: Paleozoico Inferior y Superior, además el pérmico superior.

Las rocas intrusivas que afloran son los leucogranitos del Pérmico Superior.

### **1.1.3.3 Geología Local**

Localmente afloran rocas que corresponde a dos formaciones estratigráficas:

Formación Sandia (Ordovícico)

Compuesta de Pizarras, Filitas, Cuarcitas, Metacuarcitas de grano fino a grueso. El cual se subdivide en tres miembros:

- Sandia Inferior.- Compuesta por intercalación de Pizarras, filitas y metacuarcitas finas de color gris oscuro (0.20 metros hasta 2 metros de potencia).
- Sandia Intermedio.- Compuesta por intercalación de Pizarras y filitas lajosas de color gris oscuro.
- Sandia Superior.-Compuesta por intercalación de Pizarras, Filitas y metacuarcitas de color gris blanquecino de grano medio a grueso (de 1metro hasta 15 metros de potencia).

Formación Ananea (Silúrico - Devónico)

Compuesta netamente de Pizarras, Lutitas y esquistos de cuarzo- muscovita - clorita, de color gris oscuros, en partes bituminoso, laminares y foliados.

Estas dos formaciones correspondientes al Paleozoico, están orientados con un rumbo Noreste y con buzamientos entre 08° a 25° al SE.

#### **1.1.3.4 Geología Estructural**

La geología estructural fue constituida por el tectonismo Eoherciniano, con esfuerzos de compresión y distensión (época del emplazamiento del dique) (Neyra, Cerpa & Carlotto, 2010). La zona no está muy plegada, presenta un anticlinal asimétrico en el sector de La Rinconada (Hinojosa, 2020).

Posterior a dichos tectonismo, se produjo fallamientos, así tenemos las fallas San Andrés, Esperanza, Carmen y Lunar, de rumbo NO, de bajo ángulo con desplazamiento vertical (Hinojosa, 2020).

Otro juego de fallas de rumbo NE son las fallas San Francisco, Norma y Virginia, siendo verticales con desplazamiento en el mismo sentido, inferior a 20 m (Hinojosa, 2020).

#### **1.1.3.5 Geología Económica**

Presenta mantos ligeramente plegados, cuyos ejes de plegamiento son de rumbo NO y sus potencias varían de 1 cm a 30 cm, aflorando al NO en la mina Cerro Lunar y en el sector SE en la mina Rinconada (Liberato, 2019)

La franja enriquecida tiene un ancho de 80 m, con mejores posibilidades entre el dique Tentadora y la veta Chabuca y con menores posibilidades entre los diques San Pedro y Tentadora. Como alteración hidrotermal se encuentra la propilitización (cloritización) abundante en el Cerro Lunar y Rinconada, en las intersecciones referidas, y silicificación de moderada a intensa en lugares puntuales (Liberato, 2019).

Un control adicional son los mini anticlinales y mini sinclinales cuyos ejes tienen rumbo NO dentro de la estructura mayor, los ejes de los mini sinclinales están mineralizados como en la mina Cerro Lunar (Liberato,

2019). Así mismo las estructuras mineralizadas se emplazan en las rocas de cuarcíticas y Filitas.

Los mantos que constan de cuarzo gris ahumado a gris azulado, brillo grasoso con espesores variables hasta 2 cm. a más y de gran extensión (Liberato, 2019).

### 1.1.3.6 Mineralogía

Los estratos auríferos son monocristalinos y cristalizaron al mismo tiempo que se depositaban las arcillas en el Ordovícico. Luego, estas estructuras se mejoraron con una adición adicional de oro que se introdujo a través de las pequeñas vetas y las vetas que se cruzan entre sí, como las existencias que están presentes en la mina (Liberato, 2019).

También tenemos mantos de Cuarzo con flujos de sílice que provienen de fluidos hidrotermales con ensamble Pirita, Pirrotita, Clorita, Galena, Estibina, en la cual está emplazado el Oro de alta ley.

Tabla 3

*Descripción del mineral*

MINERAL DE MENA	MINERALES GANGA
ORO	Cuarzo
	Pirita
	Pirrotita
	Arsenopirita
	Clorita
	Galena
	Estibina
	Esfalerita
	Sericita
	Chalcopirita

### 1.1.3.7 Seguridad y salud ocupacional en la mina

Se trabaja en cumplimiento al reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería, basado en normas legales, de base legal como:

1. Constitución Política del Perú.
2. D.S. 023–2017–EM Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.
3. Lineamientos generales para la elaboración de los Programas Anuales de Fiscalización de las Normas de Seguridad e Higiene Minera y de Protección y Conservación del Ambiente Resolución Directoral N° 128-2001-EM/DGM.
4. Decreto Supremo 012-93-EM, del 4 de marzo de 1993, “Reglamento de Fiscalización de las Actividades Minero-Energéticas por Terceros”
5. Ley 26842 – ley general de salud pública del 20 de julio de 1997.
6. Ley General de Minería D.S. 014-92 EM. 04 de Junio 1992.
7. Reglamento ambiental para las actividades minero metalúrgicas contenidas en el D.S. 016-93 EM.
8. Ley N° 27314 ley general de residuos sólidos.
9. Ley de fiscalización de las actividades mineras N° 274774.

Actualmente, la mina sigue los procedimientos de trabajo escritos en coordinación con el Departamento de Seguridad y Salud en el Trabajo de Corporación Minera Ananea S.A. con el fin de proteger la vida de los trabajadores, promover la salud y seguridad, y prevenir accidentes y otros incidentes que puedan presentarse durante la realización de la actividad minera.

#### **1.1.3.8 Inducción de Seguridad**

Las inducciones se realizan al inicio de la jornada laboral con el fin de reducir el alto número de incidentes y accidentes fatales que ocurren como resultado de problemas de seguridad en la industria minera. El objetivo de las conferencias de seguridad es disminuir los incidentes y accidentes que ocurren con frecuencia, como caídas de rocas, manejo de explosivos, entre otros:

En las inducciones de seguridad se prioriza los siguientes temas:

- a) Actos inseguros frecuentes

- b) Implementos de seguridad
- c) Ventilación
- d) Utilización de explosivos
- e) Bebidas alcohólicas y estado emocional
- f) Caída de rocas
- g) Gases nocivos
- h) Primeros auxilios

### **1.1.3.9 Equipos con los que cuenta la empresa minera**

Se trabaja con equipo semi-mecanizado como:

- 02 Dumper mineros (8 Tn)
- Compresora Atlas Copco GVS 45
- Instalaciones eléctricas
- Ventiladora de 10 HP.
- Bomba para agua 12, 30 HP
- Máquina Perforadora JacLeg
- Servicios auxiliares (pico, lampa, carretillas, etc.)

### **El personal que labora en la mina son:**

- Ing. de operaciones
- Ing. de seguridad
- Ing. de Planeamiento
- Supervisor general (capataz)
- Técnicos y operadores.
- Peones.

Los peligros más frecuentes que se encuentran en la mina y que pueden ocasionar accidentes son:

- Caída de rocas
- Manipuleo de materiales
- Caída de personas
- Explosiones o incendio
- Quemaduras o electrocuciones
- Caída de herramientas

- Ventilación inadecuada
- Equipos y herramientas en mal estado
- Malas posturas
- Exposición al ruido
- Inhalación de gases o polvos
- Temperaturas extremas

En la actividad minera esta normada el uso obligatorio de EPP, para que protejan al trabajador.

Los EPP de uso obligatorio de los trabajadores en general para que ingresen a la labor minera son:

- Protectores casco minero
- Botas seguridad con punta de acero
- Zapatos de seguridad punta de acero
- Guantes de cuero
- Respiradores con filtros de polvos y gases
- Tapones auditivos
- Correas de seguridad
- Mameluco con cinta reflectiva
- Barbiquejo
- Lentes de seguridad
- Lámpara minera
- Fosforo

La señalización es muy importante, para la prevención y concientizar al trabajador, la cual transmiten de manera gráfica algún criterio, pensamiento y condiciones del ambiente de trabajo, y estos serán ubicados en puntos estratégicos y adecuados

Dentro de la señalización que se debe utilizar de acuerdo al código de colores del anexo 11 establecido en el D.S. N° 023-2017-EM, a continuación, presentamos en la Tabla 4.

Tabla 4

*Descripción de las señalizaciones*

Descripción	Color	Forma	Pictograma	Borde
Advertencia	Amarillo	Triangulo	Negro	Negro
Prohibiciones	Blanco	Circulo	Negro	Rojo
Obligaciones	Azul	Circular disco	Blanco	
Información general	Verde	Cuadrado	Blanco	
Información contra incendios	Rojo	Cuadrado	Blanco	

## 1.2 Antecedentes

En la investigación de la calidad de aire en las minas museo subterráneas, la metodología que se utilizó consistió en realizar un análisis de la situación actual, un análisis de las características de las minas museo subterráneas españolas, los resultados demuestran que dicha iniciativa es perfectamente posible y viable, de manera que se han establecido límites máximos y mínimos de seguridad para los distintos componentes de la atmósfera en estos lugares subterráneos como son gases, vapores, radiaciones ionizantes, polvo, temperatura, humedad relativa y caudal y velocidad del aire de ventilación (Orche, 2020).

Yabar, (2020), realizó una investigación que lleva por título: “Sistema de mitigación de polvo de mineral de hierro en la planta chancadora del área San Nicolás – Marcona” y tuvo como objetivo disminuir la contaminación ambiental y exposición ocupacional utilizando un sistema de atenuación del polvo de Fe en la Empresa Minera Shougang Hierro Peru S.A.A., los resultados de la investigación señalan que con el sistema de mitigación se logra reducir eficientemente la exposición ocupacional a polvo y de esta manera cumplir con los límites establecidos por la normativa, la eficiencia que presenta el sistema de mitigación del polvo es aproximadamente al 99%.

Rivera, (2020), implemento un circuito de ventilación, mediante un software de simulación, con lo cual concluyo que la simulación, permite evaluar y cumplir con los caudales de inyección de aire limpio de acuerdo a la normativa vigente, el caudal requerido en el interior de la mina de  $241\text{m}^3/\text{min}$ , y esto representa un déficit del 30 % para asegurar la dilución de gases, después del proceso de voladura, por ello se vio la necesidad de aperturar un nuevo ducto para la inyección de aire limpio.

Portilla, (2019), evaluó el sistema de ventilación para mejorar las operaciones mineras subterráneas de la concesión San Luis, y obtuvo los siguientes resultados: La concentración de  $\text{PM}_{2.5}$  es en promedio  $3.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para  $\text{PM}_{10}$  el promedio es  $4.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para  $\text{SO}_2$  el promedio es  $1.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para  $\text{CO}$  el promedio es  $2529.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; para  $\text{NO}_2$  el promedio es  $69.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , de acuerdo a los resultados no sobrepasa los ECAs, por lo cual no representa un riesgo alto de contaminación, finalmente se concluye que la ventilación se mejorara abriendo más cámaras con avance a la superficie que permita mayor ingreso de aire al socavón.

Díaz, (2019), realizo la investigación para optimizar el sistema de ventilación en la mina San Rafael, para lo cual utilizo el software VUMA que se caracteriza por ser un programa específico para minas subterráneas profundas y donde los parámetros de velocidad y temperatura son determinantes; el primero para diluir o evacuar los gases contaminantes del aire ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ) y el segundo para controlar la temperatura y a la postre brindar mejor calidad de aire en los frentes de trabajo y lograr confort para los colaboradores, mayor productividad de los equipos y garantizar la operación continua de procesos.

Guzmán, (2019), realizo un monitoreo y evaluación de las concentraciones de material particulado ( $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ ) y gases vertidos por la Central Térmica de Ventanilla ( $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{O}_3$ ), además analizo los resultados (mensuales por 1 año) y los comparo con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para determinar la calidad de aire, al finalizar se observó que en el periodo que se realizó los monitoreos (enero 2019 – junio 2019) de calidad del aire, los valores se encuentran por debajo de los establecidos en los estándares de calidad ambiental del aire. Demostrando que las medidas tomadas por la empresa dentro de sus instalaciones en la Central Térmica de Ventanilla son las correctas.



La contaminación del aire por material particulado y su conexión con enfermedades respiratorias en la población de Cerro de Pasco entre los años 2010 y 2016. El objetivo de la investigación fue establecer una conexión entre las enfermedades respiratorias que afectan directamente a los habitantes de Cerro de Pasco y las PM menos de 10 microgramos producidos por la actividad minera. Los resultados demostraron que existe una relación significativa entre el PM menor a 10 micras y las enfermedades respiratorias de los pobladores (Robles & Medina 2019).

Duran, (2018), indago acerca del mejoramiento de la ventilación en la mina subterránea – Mina Colquijirca Cia de minas Buenaventura S.A.A., enfocándose en la explotación y planta de procesamiento de minerales, primeramente evaluó los sistemas primarios y secundarios de la ventilación, posteriormente estableció un sistema por computador de Modelo de ventilación del tipo de Flujo de Masa en Marca Punta Norte, que reflejara las condiciones en la operación, finalmente evaluó las alternativas recomendadas al sistema de ventilación primaria, los resultados fueron implementados por etapas, logrando los objetivos ansiados.

Muñoz & Salazar, (2018), evaluó el ingreso en cantidad y calidad de aire, durante el proceso de explotación, para ello se empleó el software VentSim 5.0 TM, como resultado se diseñó y modelo el sistema de ventilación con las siguientes características un ventilador principal de 15 m de 3m /min y cuatro ventiladores /min de caudal respectivamente y 310 Pa de presión; con una eficiencia del 76.9%.

Castillo, (2017), evaluó el sistema de ventilación de la mina El Roble, el objetivo planteado fue realizar la evaluación de las condiciones de la ventilación en la mina El Roble. Los resultados concluyeron que el sistema de ventilación no cumplió el reglamento 1886 de 2015 (España), además que el SV, solo alcanza el 16 %, cuando en realidad debiera estar al menos al 77 %, finalmente la mina no cuenta con especialista en el tema, lo cual no contribuye en la mejora.

En la investigación se detalló el vínculo entre la explotación minera y sus impactos en el medio ambiente y la salud de los trabajadores, como resultado se evidencio que existen alteraciones en el estado de la salud física y mental de la población, como el daño irreparable del medio ambiente, los patrones de desarrollo que actualmente se implementan para la explotación ponen en peligro la supervivencia de la sociedad,

se recomienda se empleen estrategias para mejorar este vínculo. (La Rotta & Torres, 2017).

Viza, (2016), concluye que la utilización del Software Ventsim, es ideal para la simulación de una red de ventilación, en dicha investigación obtuvo como resultado un ingreso de aire de 4 circuitos principales 1 346 145 cfm en interior mina y 1 382 781 cfm en el software con un requerimiento de 1 302 214 cfm inferior en comparación a los datos anteriores; logrando una cobertura de 106 % en software y 103 % en el campo de aire con un incremento de 105 835 cfm. y una eficiencia de red de 60,2 %.

Sutty (2016), resalta que con el diseño y la instalación de un circuito de ventilación se minimizó la recirculación de aire viciado en las operaciones, además indica que de acuerdo a los parámetros se requería 33 000 cfm, por ello se realizó la instalación de dos ventiladores 40 000 cfm, cumpliendo así el requerimiento de aire en la galería, también recomienda que se pueda utilizar un software para la evaluación del sistema de ventilación.

García, (2016), en la tesis titulada: “Evaluación de la situación actual del sistema de ventilación y propuesta para su optimización en mina subterránea”, determino y evaluó la ventilación natural de las tres galerías subterráneas que se explotan en la concesión ubicada en la ciudad de Cajamarca, se realizaron los monitoreos de gases concerniente en partículas en suspensión  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ; Monóxido de Carbono, Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno. Los cuales no sobrepasaron los límites máximos permisibles, por lo tanto, considero un impacto leve.

Rojas, (2017), evaluó el nivel de afectación de la calidad de aire en los distritos de Churcampa y San Pedro de Coris, provincia de Churcampa influenciado por las actividades de la unidad minera Cobriza de DOE RUN Perú en liquidación en Marcha SAC 2016, el objetivo fue establecer las concentraciones de  $PM_{10}$  y metales pesados en el medio ambiente, así como en la población que vive cerca al proyecto después de 05 años de exploración minera. Al finalizar la investigación se encontró que la calidad de aire se encuentra dentro de los estándares establecidos por el ECA de aire.

En la investigación se analizó, la concentración y relación de Partículas suspendidas totales, Material particulado<sub>10</sub> y Material particulado<sub>2.5</sub> en lugares próximos a la minera a cielo abierto: Caso Cerrejón Colombia. El objetivo de la investigación fue

analizar la calidad del aire en la zona de investigación y determinar la relación entre PST,  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  en centros urbanos aledaños a zonas de explotación de carbón en minería a cielo abierto, específicamente, en la mina del Cerrejón al norte de Colombia. Los resultados muestran que las concentraciones de PST,  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  no excedieron los estándares diarios de la Norma Colombiana y la National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) de los Estados Unidos. (Rojano, Angulo, et al., 2015).

La investigación titulada “Contaminación del aire por mercurio en el distrito minero San Martín de Loba en el departamento de Bolívar en Colombia”, tuvo como objetivo establecer las concentraciones de mercurio total (Hg-t) en aire en 02 lugares mineras de importancia en la región norte del país. Los resultados obtenidos muestran que la población tiene un alto grado de exposición a Hg, particularmente del proceso de amalgamación de oro (Olivero, Young, et al., 2014).

La investigación busco establecer un plan de acción que permitiera mitigar los efectos causados por la actividad minera y sus interacciones con la comunidad de Santa Lucia, Pinar del Rio fue el objetivo declarado de la investigación sobre los efectos ambientales de la actividad minera. Los resultados muestran que las variables más afectadas por la minería son: vegetación, fauna, paisaje, medio socio-económico, suelo, hidrogeología, geología y geomorfología (Gallardo, Cabrera, et al., 2013).

Córdova & Molina, (2011), analizaron la caracterización de sistemas de ventilación en minería subterránea con el monitoreo continuo de la atmosfera minera para conocer las concentraciones de gases con el fin de controlar los elementos que pongan en peligro la vida de los trabajadores, finalmente concluyeron que para garantizar un control óptimo de las condiciones en la mina es necesario conocer las características del circuito, es decir distribución de caudales, requerimientos, áreas, perímetros, longitudes, entre otros, para así determinar la resistencia de la mina, además es necesario establecer los requerimientos de aire para la explotación minera de acuerdo al personal en la mina, la dilución de gases tanto metano propio de la explotación como los generados por voladura y el control de polvo.

El estudio titulado “Niveles de metales pesados en el ambiente y su exposición en la población luego de 5 años de exploración minera en las Bambas”, buscó establecer las concentraciones de material particulado ( $PM_{10}$ ) y metales pesados en el



ambiente, así como niveles de plomo, cadmio, arsénico y mercurio en la población como resultado de los últimos cinco años de exploración. De acuerdo a la evaluación se concluye que no se afectó las características ambientales debido a los metales pesados (Astete, Gastañaga, et al., 2014).

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1 Identificación del problema

La minería desde antaño es una de las bases de nuestra economía, aunque también debemos de reconocer que la inadecuada explotación causa un daño irreparable en nuestros recursos naturales y por ende en nuestro planeta, además se debe señalar que en muchas empresas mineras los trabajadores son obligados a laborar en condiciones subestandar, lo cual repercute directamente en la salud de dichos trabajadores, las empresas en muchos casos solo buscan lucrar e incrementar sus ingresos.

En el Perú de acuerdo a un reporte del Ministerio de Energía y Minas, solo en el año 2019 se registró la muerte de 40 trabajadores en minas formales y un ciento de accidentes, dentro de estos datos no se considera las muertes y accidentes no informados ante el MINEM, por lo cual este reporte es aún mayor y preocupante.

De la misma manera, cabe resaltar que los trabajadores se encuentran expuestos a diferentes peligros como los gases que se encuentran en grandes concentraciones en el interior de las minas subterráneas, que de acuerdo a las estadísticas también forma parte las muertes de los trabajadores. Otro de los factores que influye en este aspecto es que los sistemas de ventilación en las minas subterráneas no es la adecuada o no funciona de manera adecuada, exponiendo a los trabajadores a enfermedades en el sistema respiratorio como: cáncer de pulmón, demencia, enfisema, edema, entre otras.

A esta situación se le suma que los trabajadores no cuentan con los equipos de protección personal necesarias para proteger su salud, y muchas veces estos equipos se encuentran en mal estado o los trabajadores no lo utilizan porque les genera algunas molestias al momento de utilizarlos.

Esta problemática se agudiza en mayor profundidad en las mineras informales, debido a que no existe un control permanente por parte de los entes reguladores y fiscalizadores, por lo cual se requiere realizar esta investigación para tener resultados reales de la esta situación.

### **2.1.1 Enunciado del problema**

#### **PROBLEMA GENERAL**

¿Es necesario realizar una evaluación del sistema de ventilación en la mina Santa María?

#### **PROBLEMAS ESPECIFICOS**

¿Existen deficiencias en el sistema de ventilación en la mina Santa María?

¿La calidad de aire en la mina Santa María se encuentra dentro de los parámetros adecuados estipulados por la normativa vigente?

¿Los sistemas de ventilación de la mina Santa María requieren una mejora tecnológica y adecuada de acuerdo a normativa vigente?

### **2.2 Justificación**

La contaminación atmosférica es uno de los mayores problemas a nivel mundial, y también uno de los factores que ocasiona la muerte de muchas personas. La calidad de aire que respiramos tiene un impacto en nuestro estado de salud, específicamente en nuestras vías respiratorias, el problema se agudiza aún más en lugares cerrados con poca ventilación. Este es el caso de las minas subterráneas, que debido a la actividad que realizan el flujo de ventilación natural es casi nulo, por lo tanto, deben emplear ventiladores mecánicos o automatizados que permitan a los trabajadores contar con suficiente aire, sin embargo, en muchos casos estos sistemas de

ventilación no son los más adecuados, ya sea por cuestiones económicas o por el desinterés del empleador.

La deficiencia de los sistemas de ventilación en la minería subterránea informal es aún más preocupante ya que no existe una fiscalización u control de parte de SUNAFIL (Superintendencia Nacional de Fiscalización Laboral) u otra entidad y esto pone aún más en riesgo la salud de los trabajadores provocando enfermedades como: cáncer de pulmón, demencia, enfisema, edema y otras enfermedades graves. De acuerdo a la OMS (Organización Mundial de la Salud), las personas que trabajan en la minería formal enfrentan las siguientes enfermedades ocupacionales 37% de todos los casos de problemas de espalda, 16% de pérdida de audición, 13% de enfermedad pulmonar obstructiva crónica, 11% de asma, 8% de traumatismos, 9% de cáncer de pulmón, 2% de leucemia, 8% de depresión. (Tiempo minero, 2021). No tenemos datos exactos acerca del daño que sufren las personas que laboran en la minería ilegal, sin embargo, podemos deducir que estos porcentajes presentados aumentan significativamente.

De acuerdo a la normativa vigente del Perú, basado en la Ley General de Minería y el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en minería D.S. 024 – 2016 - EM, modificada por el D.S. N° 023 – 2017 – EM, establece lo siguiente:

**Artículo 246°.-** “El titular de la actividad minera debe velar por el suministro de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a las necesidades del trabajador, de los equipos y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador, así como mantener condiciones termo-ambientales confortables” (Ministerio de energía y minas, 2017)

Por ello se desea realizar la evaluación de la calidad de aire y del sistema de ventilación de la mina Santa María, para verificar si la calidad de aire del área de trabajo es adecuada para los trabajadores y si el sistema de ventilación está funcionando correctamente.

La investigación es ambientalmente factible ya que es una necesidad y un derecho contar con adecuada calidad de aire para los trabajadores dentro y fuera de las instalaciones de la minera.

La investigación es socialmente factible, puesto que la población de estudio está dispuesta a participar de la investigación y conocer a detalle el funcionamiento del sistema de ventilación y calidad de aire.

La investigación es económicamente factible, ya que actualmente contamos con los equipos para realizar las mediciones, así mismo tenemos al alcance la información necesaria para realizar la investigación.

## **2.3 Objetivos**

### **2.3.1 Objetivo general**

- Evaluar la calidad de aire y el sistema de ventilación en la mina Santa María.

### **2.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar la eficiencia del sistema de ventilación en la mina Santa María.
- Monitorear la calidad de aire (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub> y CO) en la mina Santa María.
- Proponer un sistema de ventilación de acuerdo a los requerimientos pertinentes en la mina Santa María.

## **2.4 Hipótesis**

### **2.4.1 Hipótesis general**

- La calidad de aire y el sistema de ventilación no cumplen con los estándares de requeridos por la normativa vigente

### **2.4.2 Hipótesis específicas**

- El sistema de ventilación en la mina Santa María, no cumple con los requerimientos necesarios
- La calidad de aire en la mina Santa María, supera las concentraciones establecidas en la normativa
- El sistema de ventilación de la mina Santa María requiere una mejora tecnológica especializada.



## CAPÍTULO III

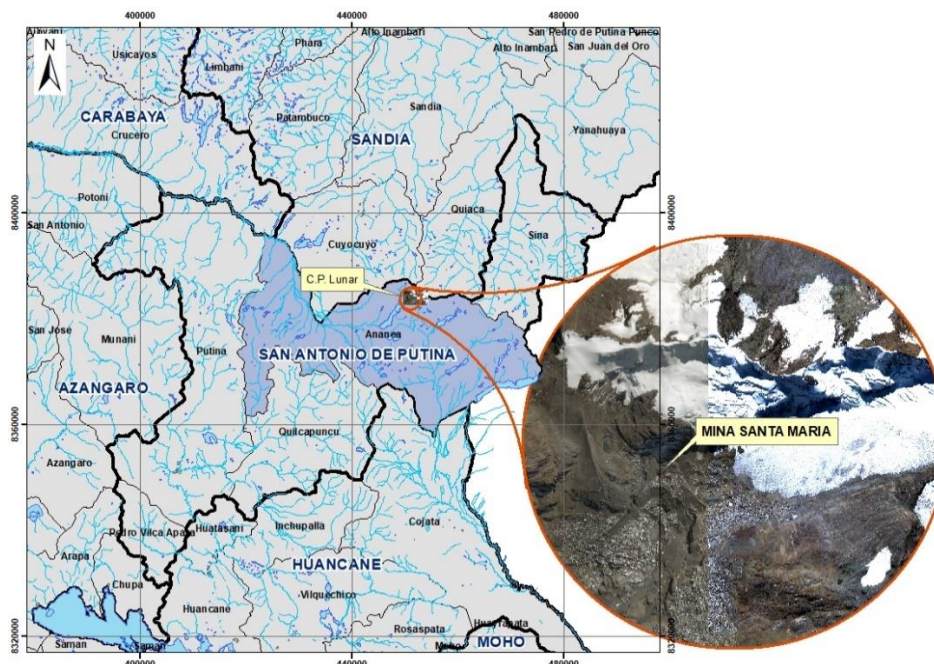
### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Lugar de estudio

El proyecto de investigación se realizó en la mina Santa María que pertenece a la empresa minera PEVOEX SRL, está ubicado políticamente en el centro poblado de Lunar, Distrito de Ananea y provincia de San Antonio de Putina.

Las coordenadas UTM - WGS84 del punto central de referencia son los siguientes:

- Este: 451620.825
- Norte: 8384205.351
- Altitud: 4910 m.s.n.m.
- Zona 19 L - Sur



*Figura 3. Mapa de ubicación mina Santa María.*

El proyecto minero Santa María, de la Contrata Minera PEVOEX SRL. CMASA S.A. es el titular de la concesión minera Ana María III, las cuales el polígono está conformado por las siguientes coordenadas, de acuerdo a la tabla 5.

Tabla 5

*Coordenadas UTM de los vértices de la Concesión CMASA S. A.*

Vértice	Norte	Este	Área de la concesión (Ha)
1	8387143.750	453609.609	927.83
2	8387129.280	450513.200	
3	8384132.790	450527.200	
4	8384147.250	453623.609	

Para acceder al proyecto se recomienda emplear dos rutas cuyas descripciones, distancias y tiempos, se especifican en la siguiente tabla 6:

Tabla 6

*Vías de acceso al proyecto minero Santa María.*

Localidades	Distancia (km)	Tipo de vía	Tiempo
Lima - Juliaca	1266	Asfaltada	20 h 36 min.
Juliaca - Rinconada	165	Asfaltada y trocha carrozable	03 h 20min
Rinconada – Py. Minero Santa María	007	Trocha carrozable	30 min

### **3.2 Población**

La población comprende todas labores de la Minera Santa María del Centro Poblado de Rinconada, representado por la Corporación Minera Ananea (CMASA).

### **3.3 Muestra**

La muestra comprende las galerías principales y ramales de la Empresa Minera PEVOEX SRL., perteneciente a la mina Santa María.

### **3.4 Método de investigación**

El tipo de estudios es cuantitativo

El tipo de investigación es descriptiva analítica, puesto que en la investigación se realiza una medición de los datos a través de equipos, y posteriormente se analizan y comparan con la normativa vigente.

El tipo de investigación de acuerdo a las ocasiones en que se mide la variable es transversal, ya que la medición se realizó solo en un periodo.

### **3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos**

Objetivo específico 1 - Determinar la eficiencia del sistema de ventilación en la mina Santa María

a) Descripción de variables

En el objetivo específico 1, la variable a analizar es el sistema de ventilación

b) Descripción de los materiales

Para determinar la eficiencia del sistema de ventilación se empleó algunos datos proveídos por la empresa minera y fórmulas matemáticas que nos ayudaran a determinar la eficiencia del sistema de ventilación.

Además, cabe resaltar que en el ANEXO A, se presenta la Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos y Control (IPER-C) de la mina Santa María, la cual se detalla a continuación:

En el proceso de planeamiento se determinó lo siguiente:

Peligro: Ventilación deficiente – Nivel de riesgo: Importante – Medidas de control: Implementar sistemas de ventilación adecuada, implementar programa de orden y aseo en el área de trabajo y uso de EPPs.

En el proceso de perforación se determinó lo siguiente:

Peligro: Humos, polvos y gases – Nivel de riesgo: Importante – Medidas de control: Registro y medición de gases a diario, aplicación de procedimientos de trabajo seguro, demarcación y señalización, uso obligatorio de EPPs.

En el proceso de voladura se determinó lo siguiente:

Peligro: Humos, polvos y gases – Nivel de riesgo: Importante – Medidas de control: Señalización y demarcación del área de trabajo, uso de protección respiratoria.

Peligro: Ventilación deficiente – Nivel de riesgo: Importante – Medidas de control: Implementar sistemas de ventilación adecuada, implementar programa de orden y aseo en el área de trabajo y uso de EPPs.

Objetivo específico 2 - Medir la calidad de aire (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub> y CO) en la mina Santa María

a) Descripción de variables

En el objetivo específico 2, las variables identificadas son los siguientes:

- Material particulado<sub>10</sub>
- Material particulado<sub>2.5</sub>
- Dióxido de nitrógeno
- Monóxido de carbono

b) Descripción de los materiales

Los materiales utilizados en la medición de la calidad de aire son los siguientes:

- GPS.
- Monitor de atenuación beta para medición de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>.
- Analizador de emisiones gaseosas.
- Formatos.



*Figura 4.* Monitor de atenuación beta para medición de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ .



*Figura 5.* Analizador de emisiones gaseosas

La metodología empleada para realizar el monitoreo estuvo fundamentada en las siguientes normativas

- Decreto Supremo N° 024 – 2016 – EM – Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.
- Decreto Supremo N° 046 – 93 – EM – Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire y Emisiones.

Los puntos de monitoreo realizado son los siguientes:

Tabla 7

*Coordenadas UTM-WGS84 de punto de monitoreo*

<b>Punto</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Altitud</b>
PMA-1	8384191.952	451638.083	4911.51



Figura 6. Mapa de ubicación del punto de monitoreo



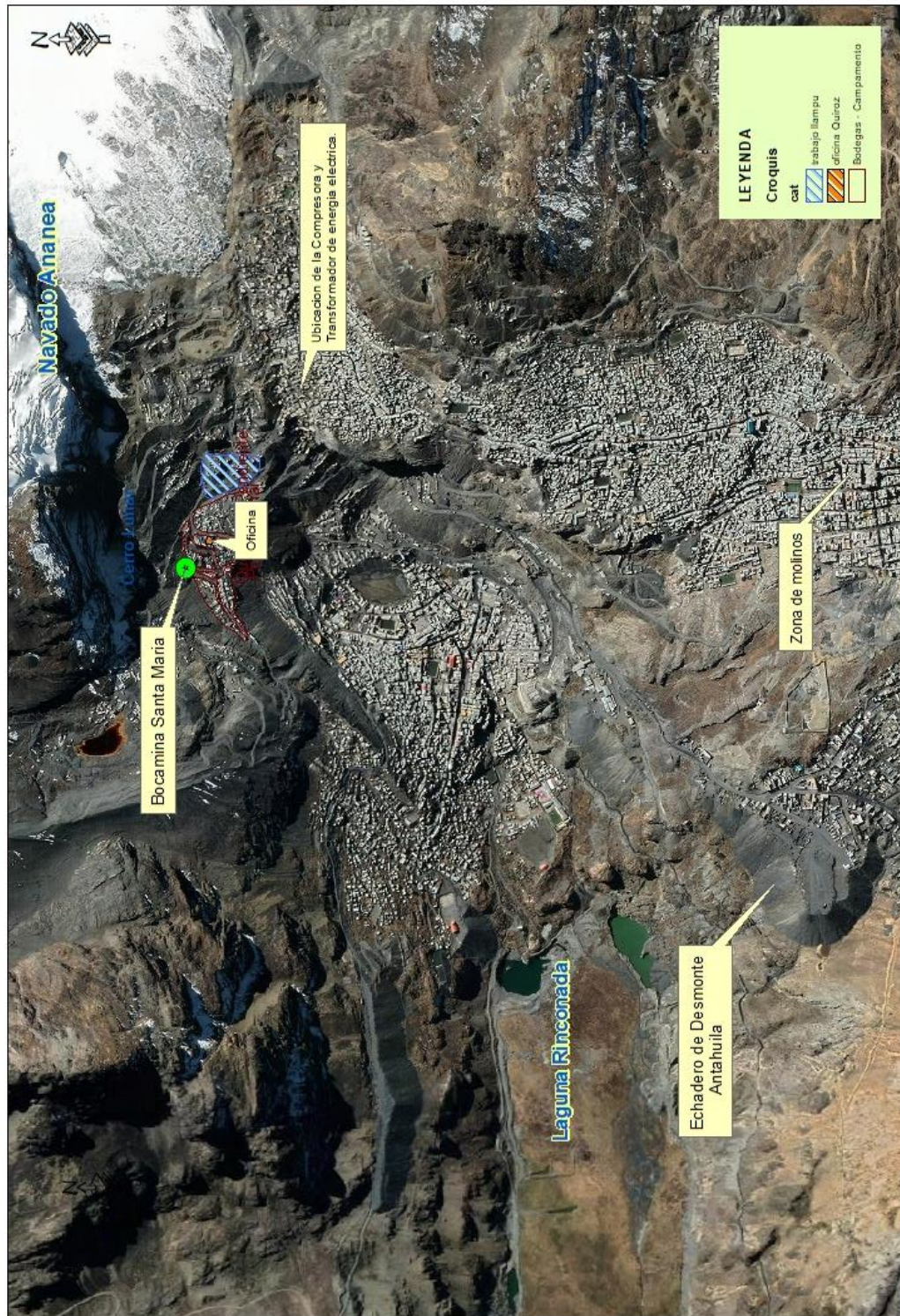


Figura 7. Mapa de ubicación de instalaciones





Objetivo específico 3 - Propuesta de un sistema de ventilación de acuerdo a los requerimientos pertinentes en la mina Santa María

a) Descripción de variables

En el objetivo específico 3, la variable identificada es el sistema de ventilación

b) Descripción de los materiales

Para realizar la propuesta de un sistema de ventilación, realizamos un cálculo de acuerdo a las necesidades de los trabajadores, y posteriormente planteamos un sistema de ventilación adecuado.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Descripción actual del sistema de ventilación

Para realizar el diagnóstico del sistema de ventilación de las galerías de acceso y operación, se utilizó un modelo matemático establecido por la normativa peruana y la base de datos de la mina Santa María, actualmente la mina cuenta con un sistema de ventilación auxiliar, con una cámara de ventilación a una distancia de 75 m. de una las labores de operación, y con unas mangas de 24” x 35 m. de longitud. También se realizó el análisis de la normativa peruana vigente según el Decreto Supremo N° 023-2017-EM, que modifica al D.S. N° 024-2016-EM, correspondiente al rubro de la ventilación en minas subterráneas (Ministerio de Energía y Minas, 2017).

Así mismo indicar que esta normativa establece que el “sistema de ventilación en la actividad minera, en cuanto a la calidad del aire debe mantenerse dentro de los límites de exposición ocupacional para agentes químicos de acuerdo al anexo 15 de la normativa, que hace hincapié sobre todas las labores subterráneas deben mantener la circulación de aire limpio y fresco y la calidad suficiente de acuerdo con el número de trabajadores, con el total de HP de los equipos motores de combustión interna, por lo tanto permita contar con el ambiente de trabajo con un mínimo de 19.5 % de oxígeno” (Ministerio de Energía y Minas, 2017).

Considerando que la ventilación natural no es suficiente para ventilar las labores, por lo que se debe emplear una ventilación mecánica auxiliar, instalando ventiladores de tipo axiales.



Según la normativa en mención, en el artículo 248, indica que “en ningún caso la velocidad del aire será menor 20 m/min ni superior a los 250 m/min en las labores de explotación, y cuando se emplee explosivo ANFO u otros agentes de voladura, la velocidad del aire no será menor de 25 m/min” (Ministerio de Energía y Minas, 2017).

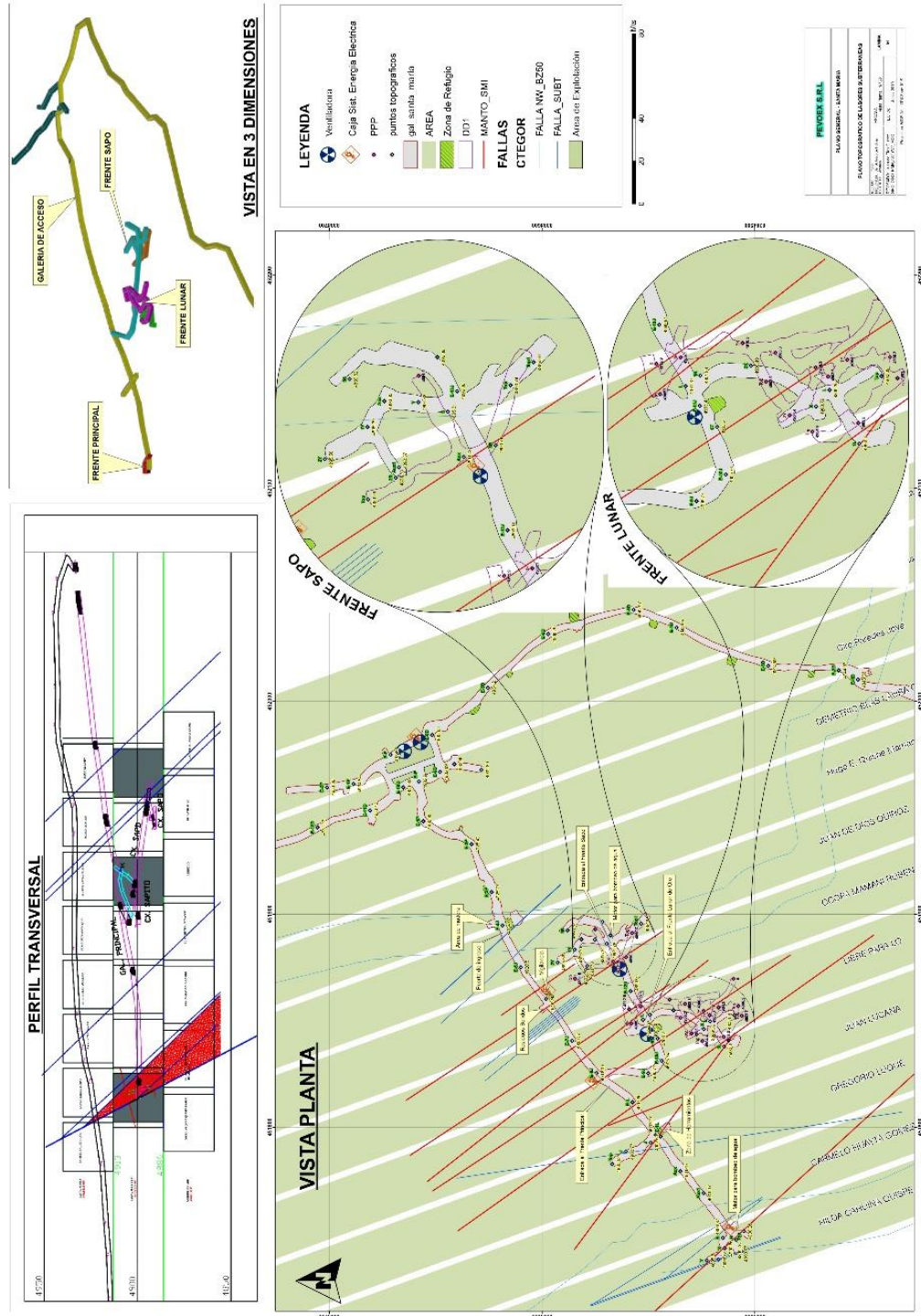


Figura 8. Plano topográfico y geológico de la mina Santa María.

### Cámara de ventilación

Según el artículo 249 del Decreto Supremo N° 023-2017-EM, los ventiladores principales deben ser instalados en casetas incombustibles y protegidas contra derrumbes, explosivos y agentes extraños, debido a esta normativa en las galerías de estudio posee cámaras de ventilación, cuya función es cumplir la protección los

ventiladores, minimizar el ruido y son la fuente de la circulación de aire hacia las labores de explotación mediante mangas de ventilación.

## 4.2 Diagnóstico del sistema de ventilación

Se realizó el levantamiento de información del sistema de ventilación, mediante un mapeo in situ, encontrándose con ventiladores auxiliares de 10 000 cfm (283.2 m<sup>3</sup>/min), colocados en interior mina a una distancia de 700 m de bocamina, en la cortada 01-NE, estos ventiladores insertan aire a los frentes de trabajo para extraer los gases, material en suspensión, para este fin se utiliza mangas de 24" x 35 m para la ventilación de las galerías de operación.

### Cálculo de la demanda de Aire en el interior de mina

El cálculo se realizó según el Decreto Supremo N° 023-2017-EM, Título VIII, Artículo 247, donde “establece que la velocidad del aire requerida en el frente debe ser 20 m/min, si se utiliza dinamita y para ANFO o emulsión es de 25 m/min. En cualquier caso, esta velocidad del aire no debe ser superior a 250 m/min en las labores de tránsito de personal” (Villanueva, s. f.). Además, el caudal de aire mínima por persona de acuerdo a escala señalada en el artículo 247 del presente reglamento, así mismo del caudal requerido por el uso de equipos diésel y el caudal requerido por el uso de madera.

Según la normativa mencionado en el artículo 251, para los ventiladores principales con capacidades iguales o superiores a 2 831 m<sup>3</sup>/min o su equivalente de 100 000 pies cúbicos por minuto (cfm) se deben instalar panel de control que permita monitoreo de su operación (Ministerio de Energía y Minas, 2017).

Así mismo según este artículo para la demanda de aire de la mina se considerar el aire requerida por los trabajadores, equipos HP petroleros, aire requerido para diluir los gases de las voladuras, la cantidad de madera empleada para fines de sostenimiento.

### Requerimiento del caudal de aire para personal

Según el Decreto Supremo N° 023-2017-EM subtítulo VIII, art. 247. Establece que el requerimiento de aire mínima por persona es igual a 6 m<sup>3</sup>/min por ubicarse la mina sobre los 4 000 msnm.

En el cálculo del requerimiento de aire fresco analizaremos la cantidad de personas que trabajarían por nivel y por turno, seleccionando el horario y turno de trabajo (Vergaray, 2017). La Tabla 8: indica la distribución de personal que labora en interior mina. Teniendo en cuenta la altitud donde se desarrollará el proyecto minero, siendo ésta en promedio 4980 msnm, el caudal de aire fresco requerido para satisfacer la demanda de aire del personal, de acuerdo al Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería (Vergaray, 2017), es de 6 780.42 cfm para los dos turnos de trabajo, cabe señalar que los turnos de trabajo se desarrollan durante el día en el horario de 07:00 – 12:00 turno 01 y en el periodo de 13:00 – 17:00 turno 02. En todo caso este cálculo está fundamentado en la distribución de personal de acuerdo a la siguiente Tabla 8.:

Tabla 8

*Calculo de requerimiento de aire para el personal*

Descripción	N° de Trabajadores (N)	Caudal Requerido (Q1)	
		m <sup>3</sup> /min	cfm
1° Turno	17	102	3 602.10
2° Turno	15	90	3 178.32
Total		192	6 780.42

Considerando:  $Q_{Tr} = N * F$  (m<sup>3</sup>/min).

Dónde: “Q<sub>Tr</sub> es el caudal total para “N” trabajadores (m<sup>3</sup>/min), F es el caudal mínimo por persona de acuerdo a la escala establecida y N es el número de trabajadores del turno” (Ministerio de Energía y Minas, 2017).

Caudal requerido por el número de equipos diésel

El Decreto Supremo N° 023-2017-EM, Título IV, Cap. I, Artículo 252, establece el requerimiento de aire para los equipos que operan con motores petroleros no debe ser menor a 3 m<sup>3</sup>/min de aire por cada HP que desarrollen los motores a combustión diésel.

Según la norma, las concentraciones de monóxido de carbono, que genera el equipo minero debe de ser inferior a 500 partes por millón (ppm) de monóxido de carbono y las concentraciones de dióxido de nitrógeno generado por el escape del equipo minero, no debe exceder las 100 partes por millón (ppm) de dióxido de nitrógeno.” (Ministerio de Energía y Minas, 2017).

Para el presente cálculo se utilizó la siguiente formula del Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería, anexo 38.

$$Q_{Ed} = \sum N_{HP} \times F_{Diesel} \times Dm \times Fu \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Dónde:  $Q_{Ed}$  es caudal de aire requerido por equipos diésel,  $N_{HP}$  es capacidad efectiva de potencia y  $F_{Diesel}$  es el factor de conversión diésel ( $F_{Diesel} > 3 \text{ m}^3\text{/min}$ ),  $Dm$  es el disponibilidad mecánica promedio de los equipos y  $Fu$  es el factor de utilización promedio de los equipos (Ministerio de Energía y Minas, 2017)

Tabla 9

*Requerimiento de aire por equipos diésel (HP)*

<b>Dm</b>	<b>Fu</b>	<b>Descripción</b>	<b><math>\sum N_{HP}</math></b>	<b><math>F_{Diesel}</math></b>	<b><math>Q_{Equipos \text{ Diésel}}</math></b>	
						15
65%	70%	2 Dumper UK-8 LP	300	3.2	436.8 $\text{m}^3\text{/min}$	425.46 cfm

Caudal requerido por el consumo de madera.

La madera empleada con fines de sostenimiento de la galería genera emisiones de gases de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ , factor que debe ser tomado en cuenta para el cálculo del aire necesario al interior de la mina (Ricse, 2021). Este factor se determina de manera proporcional a la producción, la cual esta proporción es del 65 % con respecto al consumo de madera y la producción. En este sentido se aplica la siguiente escala establecida en el artículo 252: si el consumo de madera es del 40% hasta 70% del total de producción, el factor de producción debe ser de  $1 \text{ m}^3\text{/min}$  según la tabla 10. Con el fin de “equilibrar la temperatura de confort en el lugar de trabajo, se debe considerar en el cálculo del requerimiento de aire una velocidad mínima de 30 m/min,

cuando la temperatura se encuentre en el rango de 24 °C hasta 29 °C como máximo” (Ricse, 2021).

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

Dónde:  $Q_{Ma}$  es el caudal requerido por toneladas de producción,  $U$  es el factor de producción de acuerdo a lo establecido en el literal d) del artículo 252 y  $T$  es igual a la producción en toneladas métricas por turno.

Tabla 10

*Factor de producción de acuerdo al consumo de madera*

Consumo de madera (%)	Factor de Producción (m <sup>3</sup> /min)
< 20	0.00
20 – 40	0.60
41 – 70	1.00
>70	1.25

Fuente: Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería (2017), Anexo 38.

Tabla 11

*Requerimiento de aire por el consumo de madera*

Consumo de madera (%)	Factor de producción (m <sup>3</sup> /min), (U)	Producción Tm/turno (T)	Q <sub>Ma</sub> , Caudal de Aire por Demanda de madera.	
60	1	42	42 m <sup>3</sup> /min	1 483.22 cfm

Caudal total para la operación

La demanda de aire al interior de la mina es calculada de acuerdo al literal d) del artículo 252 del Reglamento de seguridad y salud ocupacional (2017), considerando la formula siguiente:

$$Q_{TO} = Q_{TI} + Q_{FU}$$



Dónde:  $Q_{TO}$  es el caudal total para la operación,  $Q_{T1}$  es la sumatoria de caudal requerido por todos los factores y  $Q_{FU}$  es igual al 15% del  $Q_{T1}$ , consiste en las fugas de aire.

$$Q_{T1} = Q_{Tr} + Q_{Ed} + Q_{Ma} = 102 \text{ m}^3/\text{min} + 436.8 \text{ m}^3/\text{min} + 42 \text{ m}^3/\text{min} = \mathbf{580.8 \text{ m}^3/\text{min}}$$

$$Q_{FU} = 15\% \text{ del } Q_{T1} = \mathbf{87.12 \text{ m}^3/\text{min}}$$

$$Q_{TO} = 580.8 \text{ m}^3/\text{min} + 87.12 \text{ m}^3/\text{min} = \mathbf{667.92 \text{ m}^3/\text{min} \Leftrightarrow 23\,587.39 \text{ cfm.}}$$

Siendo este, el caudal total de operación necesario para el sistema de ventilación. Los fabricantes de ventiladores recomiendan que para la selección de unos ventiladores escoja un caudal entre 1.3 a 2 veces el caudal requerido. De tal modo tendríamos el siguiente resultado:

$$Q_{Final} = \mathbf{30\,663.607 \text{ cfm.}}$$

Asegurando con este caudal una atmosfera saludable y segura en el interior de la mina Santa María.

### 4.3 Evaluación de la calidad de aire

El monitoreo se realizó en la galería de acceso a los frentes de operación, las coordenadas de ubicación se presentan en la tabla 7.

Se realizó el monitoreo de monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), material particulado<sub>2.5</sub> (PM<sub>2.5</sub>) y material particulado<sub>10</sub> (PM<sub>10</sub>).

#### 4.3.1 Monitoreo del monóxido de carbono

A continuación, presento los resultados obtenidos de la medición del monóxido de carbono en la mina Santa María.

Tabla 12

*Resultados del monóxido de carbono*

Hora de monitoreo	Coordenadas		Altitud	Fecha de monitoreo	Concentraciones CO (ppm)
	Este	Norte			
8:00 a. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	12
9:00 a. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	14
10:00 a. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	18

11:00 a. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	18
12:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	25
1:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	35
2:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	38
3:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	32
4:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	26
5:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	24
6:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	20

Así mismo a continuación presentamos las concentraciones de monóxido de carbono (CO), en la Mina Santa María, en contraste con la normativa vigente.

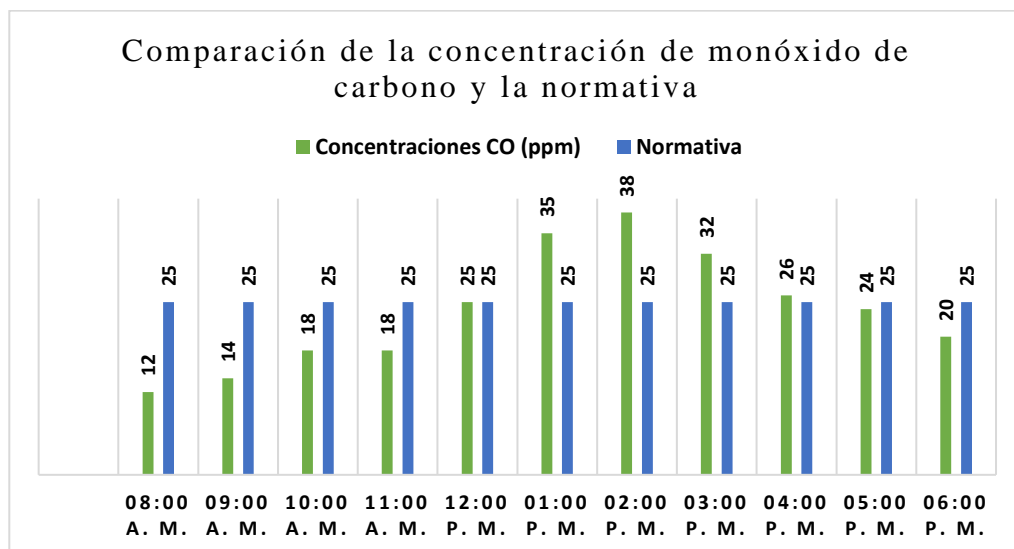


Figura 9. Resultados del monóxido de carbono

En la tabla 12 y figura 9, se muestra los resultados obtenidos en la medición de CO, y de acuerdo a ello las concentraciones de CO, superan en algunos horarios el límite establecido por la normativa peruana.

Las concentraciones más altas registradas y que superan los límites de exposición son de 35 ppm, 38 ppm, 32 ppm y 26 ppm, en el horario de 13:00 a 16:00, además la concentración más baja de CO, fue de 12 ppm, en el horario de las 08:00 horas.

#### 4.3.2 Monitoreo del dióxido de nitrógeno

A continuación, presento los resultados obtenidos en la medición del dióxido de nitrógeno en la mina Santa María.

Tabla 13

*Resultados del dióxido de nitrógeno*

Hora de monitoreo	Coordenadas		Altitud	Fecha de monitoreo	Concentraciones NO <sub>2</sub> (ppm)
	Este	Norte			
8:00 a. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	0.2
9:00 a. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	0.8
10:00 a. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	1.2
11:00 a. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	2.1
12:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	3.2
1:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	4.5
2:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	4.2
3:00 p. m.	451708.75	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	3.5
4:00 p. m.	451708.75	8384191.9	4924	13 - 17 de enero	2.1
5:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4924	13 - 17 de enero	1.7
6:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4924	13 - 17 de enero	1

Así mismo a continuación presentamos las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), en la Mina Santa María, en contraste con la normativa vigente.

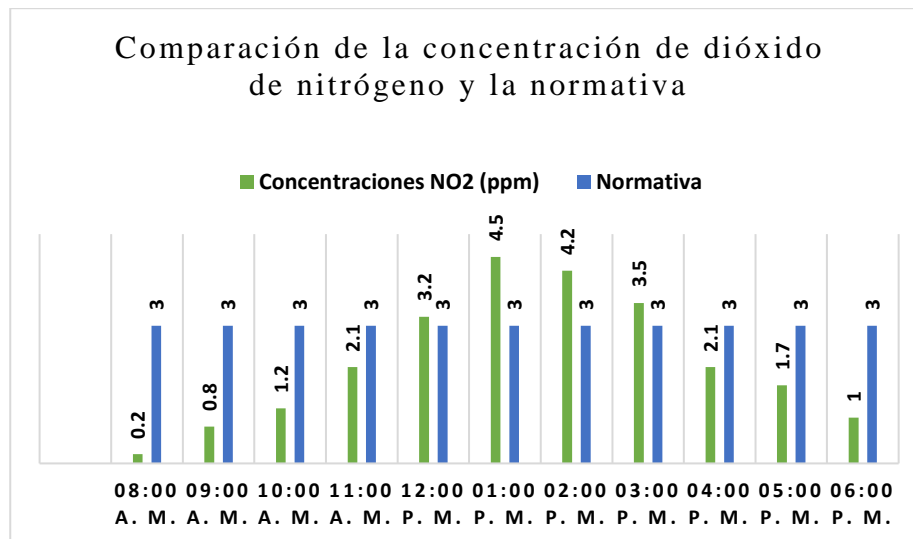


Figura 10. Resultados del dióxido de nitrógeno

En la Tabla 13 y figura 10, se presenta los resultados obtenidos de la medición de dióxido de nitrógeno, y de acuerdo a los resultados presentados observamos que las concentraciones de dióxido de nitrógeno, superan el límite estipulado por la normativa.

Los resultados muestran que las concentraciones que superan los límites de la normativa son de 3.2 ppm, 4.5 ppm, 4.2 ppm y 3.5 ppm en el horario de 12:00 a 15:00 horas, además la concentración más baja es de 0.2 ppm en el horario de las 08:00 horas.

### 4.3.3 Monitoreo de material particulado<sub>2.5</sub>

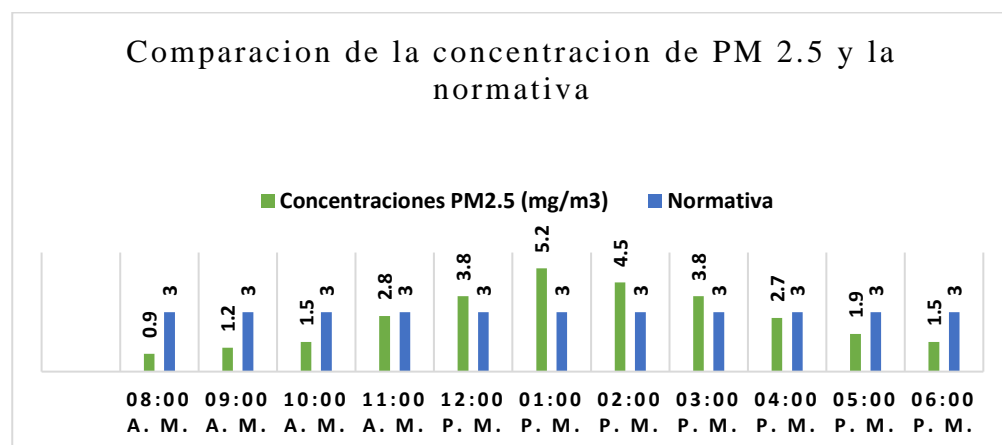
A continuación, presento los resultados obtenidos en la medición del material particulado<sub>2.5</sub> en la mina Santa María.

Tabla 14

*Resultados de material particulado<sub>2.5</sub>*

Hora de monitoreo	Coordenadas		Altitud	Fecha de monitoreo	Concentraciones PM <sub>2.5</sub> (mg/m <sup>3</sup> )
	Este	Norte			
8:00 a. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	0.9
9:00 a. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	1.2
10:00 a. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	1.5
11:00 a. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	2.8
12:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	3.8
1:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	5.2
2:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	4.5
3:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	3.8
4:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	2.7
5:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	1.9
6:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	1.5

Así mismo a continuación presentamos las concentraciones de material particulado (PM<sub>2.5</sub>), en la Mina Santa María, en contraste con la normativa vigente.



*Figura 11. Resultados de material particulado<sub>2.5</sub>*

En la tabla 14 y la figura 11, se muestran los resultados de las concentraciones de material particulado 2.5, en algunos horarios se superan los límites de concentración estipulado por la normativa.

Los resultados muestran que las concentraciones de material particulado 2.5, que superan los límites establecidos son: 3.8 mg/m<sup>3</sup>, 5.2 mg/m<sup>3</sup>, 4.5 mg/m<sup>3</sup> y 3.8 mg/m<sup>3</sup> en los horarios de 12:00 a 15:00 horas, también la concentración más baja es 0.9 mg/m<sup>3</sup> en el horario de 08:00 horas

#### 4.3.4 Monitoreo de material particulado<sub>10</sub>

A continuación, presento los resultados obtenidos en la medición del material particulado 10 en la mina Santa María.

Tabla 15

*Resultados del monitoreo de material particulado<sub>10</sub>*

Hora de monitoreo	Coordenadas		Altitud	Fecha de monitoreo	Concentraciones PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> )
	Este	Norte			
8:00 a. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	5
9:00 a. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	7
10:00 a. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	9
11:00 a. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	12
12:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	15
1:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	20
2:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	15
3:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	13
4:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	11
5:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	10
6:00 p. m.	451638.08	8384191.9	4911.5	13 - 17 de enero	8

Así mismo a continuación presentamos las concentraciones de material particulado (PM<sub>2.5</sub>), en la Mina Santa María, en contraste con la normativa vigente.

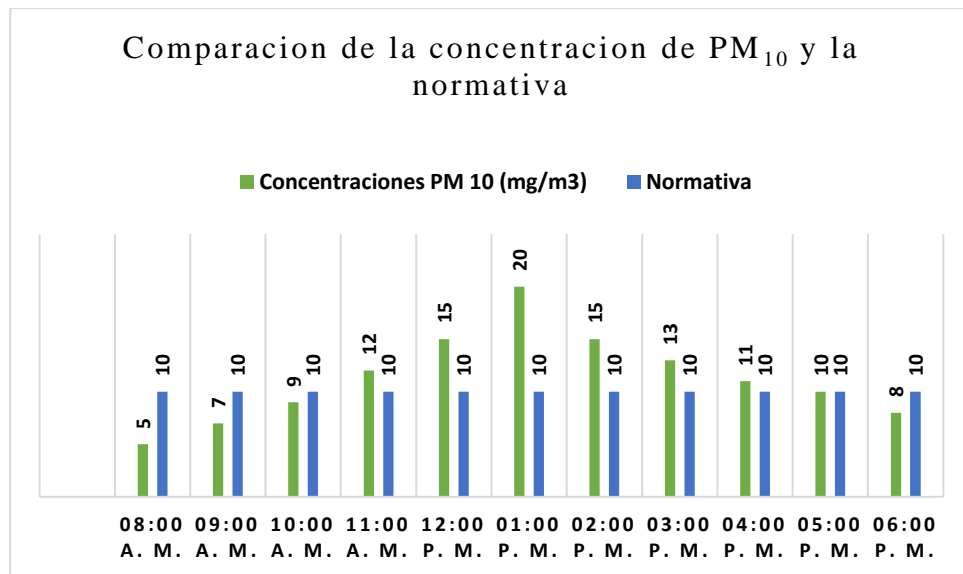


Figura 12. Resultados de la concentración de material particulado<sub>10</sub>

En la tabla 15 y figura 12 se muestran las concentraciones del material particulado<sub>10</sub>, obtenido tras la medición, donde observamos que los valores superan la normativa en el horario de las 11:00 a 16:00 horas, y las concentraciones más bajas se encuentran en el horario de las 08:00 horas.

#### 4.3.5 Resumen de concentración de CO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>

A continuación, presento un resumen de los resultados obtenidos en la evaluación del CO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> en la mina Santa María.

Tabla 16

Resultados de la concentración de CO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>

Hora de monitoreo	Concentraciones CO (ppm)	Concentraciones NO <sub>2</sub> (ppm)	Concentraciones PM <sub>2.5</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	Concentraciones PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> )
8:00 a. m.	12	0.2	0.9	5
9:00 a. m.	14	0.8	1.2	7
10:00 a. m.	18	1.2	1.5	9
11:00 a. m.	18	2.1	2.8	12
12:00 p. m.	25	3.2	3.8	15
1:00 p. m.	35	4.5	5.2	20
2:00 p. m.	38	4.2	4.5	15
3:00 p. m.	32	3.5	3.8	13
4:00 p. m.	26	2.1	2.7	11
5:00 p. m.	24	1.7	1.9	10
6:00 p. m.	20	1	1.5	8
<b>PROMEDIO</b>	<b>23.82</b>	<b>2.23</b>	<b>2.71</b>	<b>11.36</b>

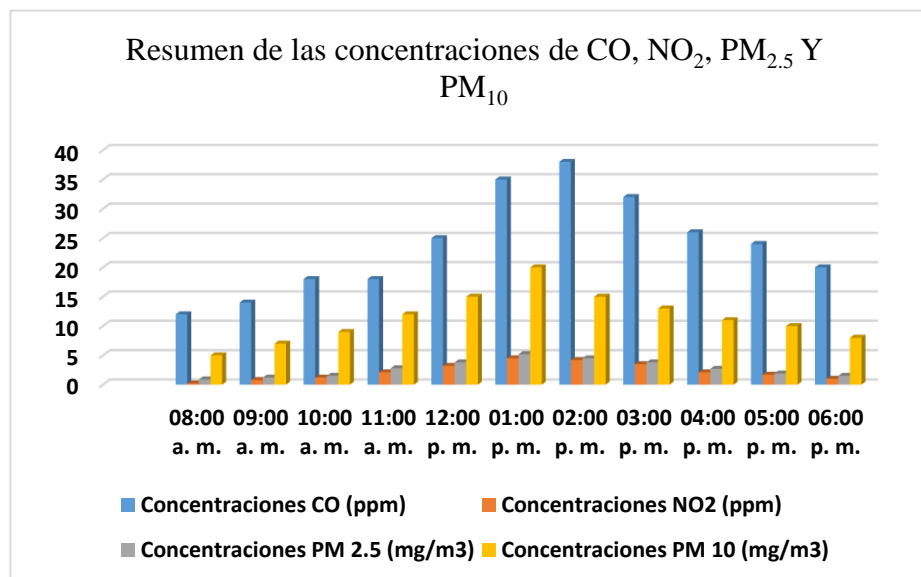


Figura 13. Resultados de las concentraciones de CO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>

En la tabla 16 y figura 13, se presentó un resumen de las concentraciones de monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, material particulado<sub>2.5</sub> y material particulado<sub>10</sub>.

#### 4.4 Propuesta del sistema de ventilación

La propuesta para satisfacer las demandas de aire requerido de forma más eficiente, se determina mediante la implementación de dos ventiladores auxiliares de 15 000 cfm y un ventilador aspirante de 20 HP, ubicados en los puntos óptimos (figura 14) tomando en cuenta la simulación en software Ventsim 5.1 <sup>TM</sup>

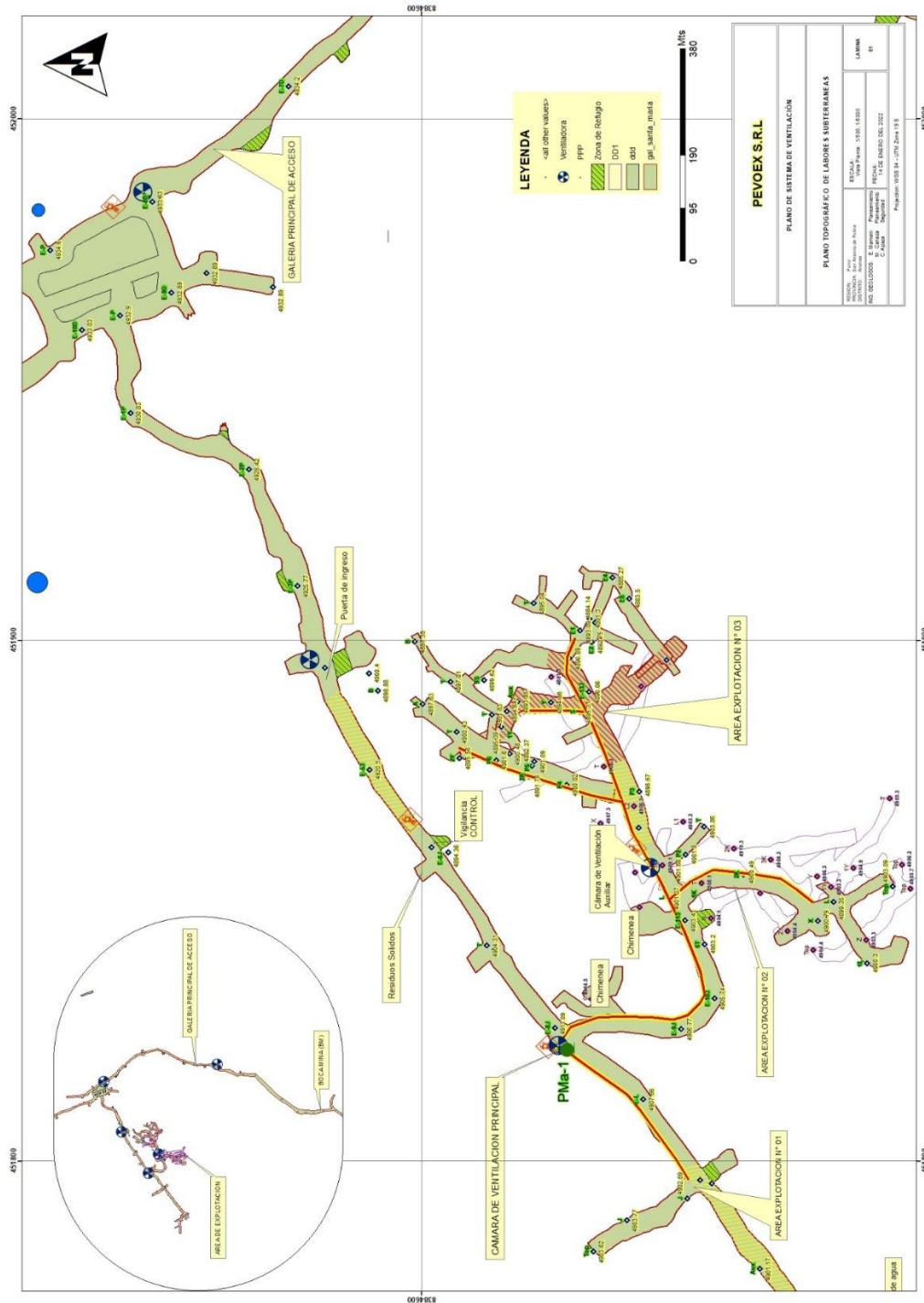


Figura 14. Propuesta del sistema de ventilación

### Diseño del sistema de ventilación en el Software Ventsim

El modelamiento del sistema ventilación en el software Ventsim se realizó utilizando datos topográficos del sistema de proyección UTM WGS 84 proporcionados por la empresa y también se aplicó datos del monitoreo del sistema de ventilación en los



niveles, galerías, rampas y cortadas de la Unidad Minera PEVOEX SRL., así mismo según los cálculos anteriores los requerimientos de aire para los labores y propuesta de mejora para incrustar unos ventiladores con capacidad total mayor a 30 000 cfm con el fin de mejorar el sistema de ventilación de los labores de operación y mejorar la productividad y un ambiente saludable de trabajo, del mismo modo minimizando la presencia de gases tóxicos.

Con la ayuda del software Ventsim™, seleccionaremos la velocidad, potencia y distribución de los ventiladores óptimos, con el fin de suministrar la demanda de aire.

#### Diseño geométrico en 3D

Se realizó el reconocimiento in situ de las labores, adquisición de la data, información que fue necesaria para realizar la simulación de ingreso y salida de aire y la ubicación óptima de los ventiladores, se realizó el modelamiento del sistema de ventilación mediante el uso del programa Ventsim™.

Después, se menciona los pasos para la elaboración del modelamiento en el software Ventsim™ Desing 5.1. que en si es una simulación de la ventilación en el interior de la mina.

Con la data adquirida se realizó el modelamiento 3D de las labores mineras en el programa computarizada de AutoCAD indicando sus respectivas capas e inmediatamente se guardó en formato dwg para su respectiva exportación y luego importación en software Ventsim™.

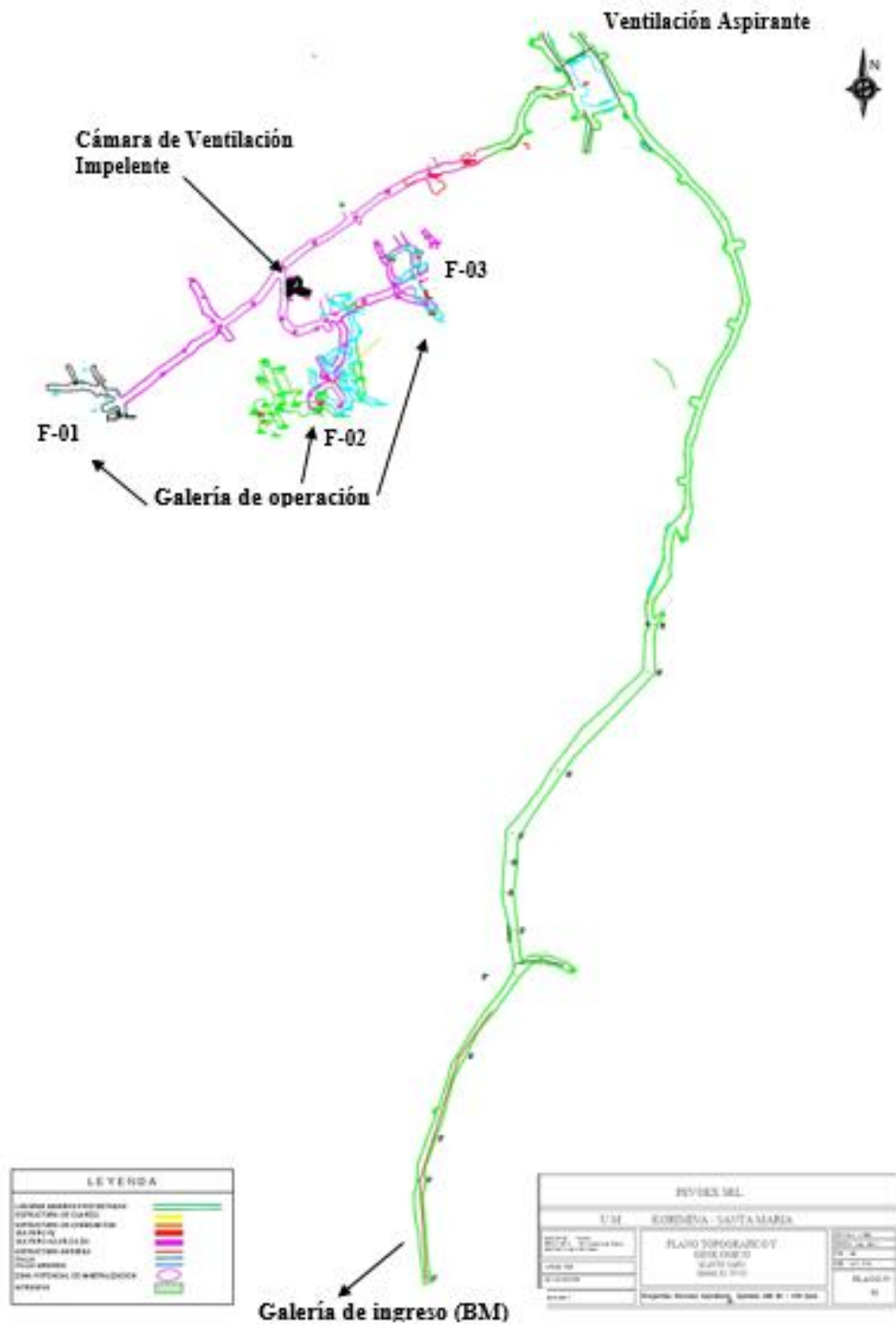


Figura 15. Vista Planta de la galería

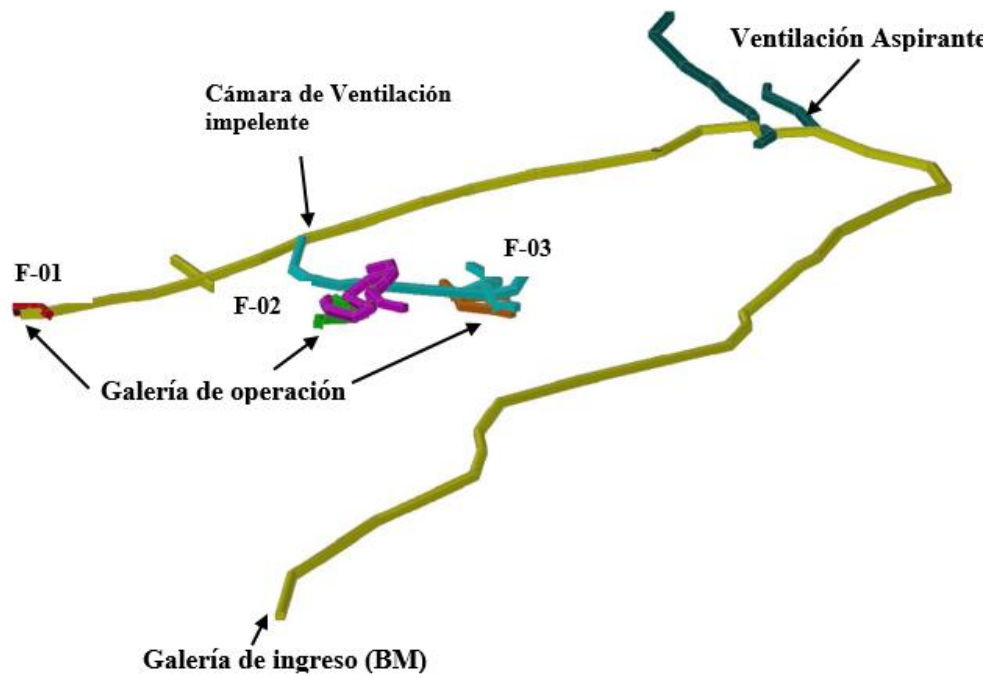


Figura 16. Vista Noreste de las galerías en estudio

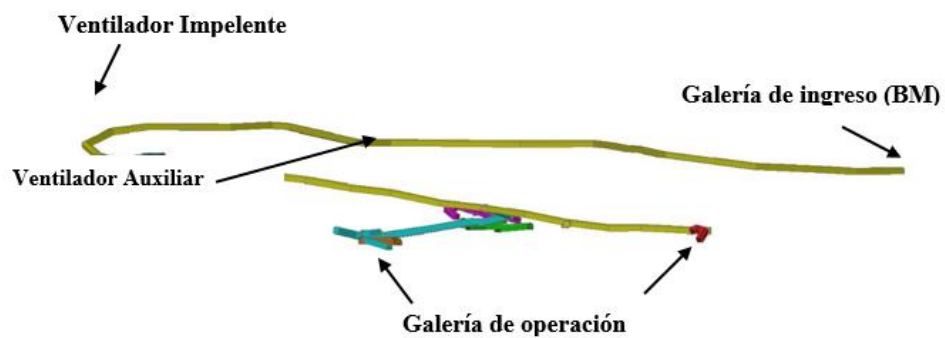


Figura 17. Vista frontal de las galerías de estudio

Se realizó la importación al software VentSim desing 5.1, que genera una red de galerías en 3D y distribución del sistema de ventilación. (Figura 18)

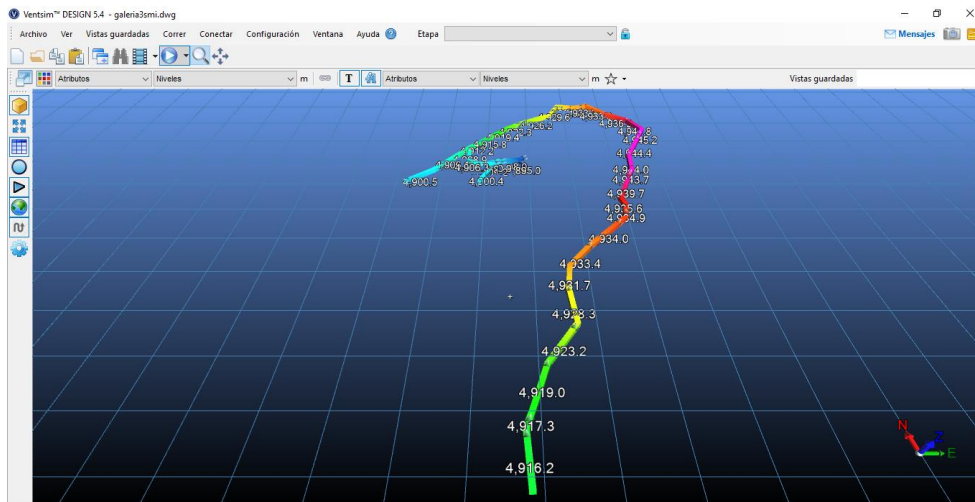


Figura 18. Modelamiento del sistema de ventilación en el software Ventsim

Los resultados de la evaluación de calidad de aire muestra que aproximadamente en el horario de 12:00 a 15:00 horas, las concentraciones de monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, material particulado<sub>2.5</sub> y material particulado<sub>10</sub>, se incrementan considerablemente, superando los límites establecidos por la normativa, puesto que en ese horario se realiza el transporte de desmote del interior de la mina hacia el exterior y las voladuras de rocas, y para ello utilizan principalmente el nitrato de amonio y dinamita en pequeñas cantidades, que al detonar producen gases como: CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, y conforme pasa el tiempo estas concentraciones disminuyen por acción de la ventilación.

En conclusión, a continuación, se presenta un resumen de las características del sistema de ventilación actual y el que se propone en la mina Santa María

Tabla 17

*Características del sistema de ventilación actual y el propuesto*

<b>Descripción</b>	<b>Sistema de ventilación actual</b>	<b>Sistema de ventilación propuesto</b>
Tipo de sistema de ventilación	Sistema de ventilación auxiliar	Sistema de ventilación mecánico auxiliar
Ubicación	A 75 m. de distancia de las galerías de trabajo	A 75 m. de distancia de las galerías de trabajo
Medidas de las mangas	Mangas de 24 pulgadas x 35 metros	Mangas de 24 pulgadas x 35 metros
Ventiladores	Ventiladores axiales de 10000 cfm	Ventiladores tipo axiales de 30000 cfm
Ventiladores adicionales		Ventilador aspirante de 20 hp

## DISCUSIONES

De acuerdo a la bibliografía revisada la exposición a altas concentraciones de monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, material particulado 2.5 y material particulado 10, ocasionan enfermedades en el sistema respiratorio de los trabajadores, y en el caso específico del material particulado 2.5, atraviesa los alveolos pulmonares (Barrera, 2013).

Portilla (2019), en su investigación evaluó el sistema de ventilación de la Concesión San Luis y dentro de uno de sus objetivos estuvo el monitoreo de las concentraciones de material particulado 2.5, material particulado 10, dióxido de azufre, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y ruido, los resultados en promedio que obtuvo son: En el caso de  $PM_{2.5}$  fue de  $3.06 \mu g/m^3$ , para  $PM_{10}$  fue de  $4.20 \mu g/m^3$ , para  $SO_2$  fue de  $1.61 \mu g/m^3$ , para CO fue de  $2\ 529.16 \mu g/m^3$ , para  $NO_2$  fue de  $69.34 \mu g/m^3$  y finalmente para ruido fue de 50.90 decibeles, al compararlo con la normativa no sobrepaso lo establecido por la normativa, sin embargo cuando la evaluación se realizó específicamente por periodos de tiempo si existen algunos valores que sobrepasan los límites de la normativa, al igual que en nuestro caso existen horarios donde los valores no sobrepasan los límites establecidos por la normativa y otros donde sí se sobrepasan.

Díaz (2019), en su investigación realizo una propuesta para optimizar el sistema de ventilación de la Mina San Rafael, en base a datos de CO,  $CO_2$ ,  $NO_2$ , oxígeno de aire, polvo y temperatura, que a raíz del crecimiento de las operaciones que se realizaban en la mina, también incremento las concentraciones de gases, por ello utilizo un software especializado denominado VUMA, para replantear el sistema de ventilación y mejorar el requerimiento de aire limpio, de la misma manera en base al diagnóstico y a los resultados de la evaluación de calidad de aire, plantearemos un nuevo sistema de ventilación.

(Robles, Medina & Medina), 2019, resaltan la relación entre la exposición prolongada al material particulado 10 y sus efectos en el sistema respiratorio, la investigación se basó en los pobladores de Cerro de Pasco, los cuales tenían niveles altos de enfermedades ocupacionales debido a actividades relacionadas a la explotación minera y de canteras, y a ello se suma el clima seco que empeora la situación, de acuerdo a la investigación, el material particulado afecta directamente al sistema respiratorio de los niños y adultos. En base a esta información y los resultados que obtuvimos del material particulado 10 y 2.5, probablemente los trabajadores contraigan enfermedades ocupacionales relacionadas al sistema respiratorio, ya que están expuestos directamente al material particulado.



Sutty (2016), realizó una investigación en la mina Urano S.A.C., con el objetivo de determinar la influencia de la ventilación mecánica en el diseño del sistema de ventilación, concluyendo que requería implementar 2 ventiladores para cumplir con el requerimiento de aire y mejorar la ventilación, realizó el diseño con el software Ventsim. Caxi (2017), realizó la evaluación integral del sistema de ventilación mediante el software Ventsim, con el objetivo de mejorar el flujo de aire libre fresco en la zona Crucero, con un ventilador de 15 000 cfm, también incremento 2 ventiladores para algunas zonas.

## CONCLUSIONES

- El sistema de ventilación de la mina Santa María tiene una eficiencia del 30%, ya que en base al diagnóstico realizado se determinó que el ventilador tiene una tasa de flujo de aire de compresor de 10 000 cfm (pies cúbicos por minuto), y después de realizar los cálculos pertinentes, se llegó a la conclusión que lo ideal sería que el ventilador tenga una tasa de flujo de aire de compresor de 30 663.61 cfm, que equivale 868,3 m<sup>3</sup>/min.
- La calidad de aire en la mina Santa María no cumple con los valores límites establecidos por la normativa, puesto que en horarios próximos a la voladura las concentraciones de monóxido de carbono son de 35 ppm, 38 ppm, 32 ppm y 26 ppm, en el horario de 13:00 a 16:00 horas, valores que superan los límites establecidos por la normativa, con respecto a las concentraciones de dióxido de nitrógeno son de 3.2 ppm, 4.5 ppm, 4.2 ppm y 3.5 ppm en el horario de 12:00 a 15:00 horas, con respecto a las concentraciones de material particulado<sub>2.5</sub> son de 3.8 mg/m<sup>3</sup>, 5.2 mg/m<sup>3</sup>, 4.5 mg/m<sup>3</sup> y 3.8 mg/m<sup>3</sup> en los horarios de 12:00 a 15:00 horas y con respecto a las concentraciones del material particulado 10 son de 12 mg/m<sup>3</sup>, 15 mg/m<sup>3</sup>, 20 mg/m<sup>3</sup>, 15 mg/m<sup>3</sup>, 13 mg/m<sup>3</sup>, 11 mg/m<sup>3</sup>.
- La propuesta del sistema de ventilación en la mina Santa María es implementar dos ventiladores de tipo axial con una capacidad de 15 pies cúbicos por minuto, y complementar con un ventilador de tipo aspirante de 10 HP, además estos ventiladores deben estar ubicados en lugares estratégicos de esta manera satisfacer las demandas de aire requerido de forma más eficiente





## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar vigilancias permanentes de la calidad de aire y del funcionamiento del sistema de ventilación.
- Se recomienda evaluar constantemente si el sistema de ventilación está proporcionando la cantidad de aire limpio de acuerdo a los requerimientos.
- Se recomienda realizar los monitoreos de calidad de aire constantemente en la mina, con el fin de resguardar la salud de los trabajadores.
- Se recomienda implementar las mejoras planteadas en la investigación y realizar la evaluación general de los sistemas de ventilación a nivel de todas las galerías, para verificar el impacto real en la salud de los trabajadores y el medio ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Astete, J., Gastañaga, D. C., & Pérez, D. (2014). *Niveles de metales pesados en el ambiente y exposición de la población luego de cinco años de exploración minera en el proyecto Las Bambas, Perú 2010*.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25597720/>
- Ballester F., Tenias, J. & Pérez, S. (1999). Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: una introducción. *Revista Española de Salud Pública*.  
[https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S1135-57271999000200002&script=sci\\_abstract&tlng=es](https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S1135-57271999000200002&script=sci_abstract&tlng=es)
- Barrera, D. (2013). *Análisis de Impacto Ambiental en la Cantera El Muelle*. (Tesis de pregrado). Bogotá, Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.  
Obtenido de  
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/3279/2/BarreraOsorioDianaCarolina2010.pdf>
- Castillo, D. (2017). *Evaluación del sistema de ventilación de la mina El Roble*. (Tesis de maestría, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia).  
<https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1886/1/TGT-457.pdf>
- Caxy, Y. (2017). *Estudio de ventilación e implementación de mejoras en el circuito de ventilación de minera Sotrami S.A. – UEA Santa Filomena – Aplicando el Software VENTSIM*, Arequipa: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. [MIcally.pdf \(unsa.edu.pe\)](#)
- Calidad del aire ambiente (exterior) y salud*. (2021, 22 septiembre).  
[https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Chuet, J. (27 de febrero del 2017). *NO2, el peligroso contaminante que afecta a la capacidad de atención de los niños*. *La Vanguardia*.
- Compumet. (2006). *Ventilación de minas*
- Córdova, C., & Molina, J. (2011). Caracterización de sistemas de ventilación en minería subterránea. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 29, 73–86.  
<http://www.scielo.org.co/pdf/bcdt/n29/n29a06.pdf>

Decreto Supremo N° 024-2016-EM y modificatoria, Decreto Supremo N° 023 – 2017 – EM. Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.

Díaz, R. (2019). Optimización del sistema de ventilación como un método de control de la calidad del aire en La Mina San Rafael, de la Región Puno [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. In *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*.

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10028>

Duran, J. (2018). *Mejoramiento de la ventilación en la mina subterránea - mina Colquijirca Cia. de minas Buenaventura S.A.A.*

[http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/512/1/T026\\_72490254\\_T.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/512/1/T026_72490254_T.pdf)

Flores, M. (2017). Diseño y simulación del sistema de ventilación de las labores de exploración en el proyecto San Gabriel CIA. De Minas Buenaventura S.A.A. (Tesis de Titulación). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.

Gallardo, D., Cabrera, I., Bruguera, N., & Madrazo, F. (2013). Evaluación de impactos ambientales provocados por la actividad minera en la localidad de Santa Lucía, Pinar del Río. *Revista Científica Avances*, 15(1).

García, E. (2016). Evaluación de la situación actual del sistema de ventilación y propuesta para su optimización en mina subterránea carbonífera Mi Grimaldina I - Cajamarca - 2016 [Perú]. En *Universidad Privada del Norte*.

<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/7582>

Giménez A. (2012) Ventilación de Minas Subterráneas y Túneles. Practica Aplicada, Avanzada en Minería Clásica y Minería por Trackles. Edición III Perú

Guzmán, J. (2019). Evaluación de la calidad del aire de la central térmica de ventanilla [Universidad Nacional Federico Villarreal]. In *Universidad Nacional Federico Villarreal*.

<http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/4121>

Hinojosa, S. (2020). Geología estructural en los andes del Perú. *Revista ciencia y tierra*.

- Ingeoexpert. (2019). La minería subterránea. ¿En qué consiste? <https://ingeoexpert.com/blog/2019/01/18/la-mineria-subterranea-en-que-consiste/>
- IQAir. (2019). ¿Qué calidad debe tener el aire que respiramos?. [La calidad del aire que respiramos \(tfm.pe\)](#).
- Jorquera, H. (2015). *Introducción a la contaminación atmosférica*. Ediciones Universidad Católica de Chile.
- La calidad del aire que respiramos. (s. f.). <https://www.tfm.pe/noticias/la-calidad-del-aire-que-respiramos>
- La Rotta, A. & Torres, M. (2017). Explotación minera y sus impactos ambientales y en salud. El caso de Potosí en Bogotá. *Saúde Em Debate*, 41(112), 77–91. <https://doi.org/10.1590/0103-1104201711207>
- Liberato, R. (2019). Proyecto desarrollo – preparación del manto Urbiola – minera Ananea S.A. Región Puno – Perú., Cerro de Pasco Perú. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1655/1/T026\\_46068152\\_T.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1655/1/T026_46068152_T.pdf)
- Mallqui, T. (1980), Proyecto de Optimización del Sistema de Ventilación. Tesis para obtener el título profesional de ingeniería de minas. Huancayo, Perú. Universidad nacional del centro del Perú. Recuperado de: [www.academia.edu/8752984/Tesis\\_huana](http://www.academia.edu/8752984/Tesis_huana)
- Ministerio del ambiente. (2016). Calidad del aire. <https://infoaireperu.minam.gob.pe/calidad-de-aire/>
- Ministerio de Energía y Minas. (2017). DS 024-2016 EM. Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería
- Ministerio de Energía y Minas. (2019). Cuadro estadístico de accidentes mortales y no mortales. Lima, Perú.

- Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. (2012). DS 005-2012 TR - Reglamento de la Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo. Lima, Perú.
- Muñoz, C., Salazar, L. (2018). Modelamiento del sistema de ventilación del proyecto minero Papelillo - Namora 2018, utilizando el software Ventsim 5.0. (Tesis de grado, Universidad Privada del Norte). <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/14650/Mu%C3%B1oz%20Rios%20Cesar%20Humberto%20-%20Salazar%20Izquierdo%20Lourdes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Neyra, A., Cerpa, L. & Carlotto, C. (2010). Control estructural en el emplazamiento de yacimientos magmático-hidrotermales en el sector de Antabamba-Apurímac. INGEMMET.
- NTP 175, Evaluación De Las Condiciones De Trabajo: El Método L.E.S.T. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. España.
- Olivero, J., Young, F., & Caballero, K. (2014). Contaminación por mercurio en aire del distrito minero de San Martín de Loba en el departamento de Bolívar, Colombia. *Int. Contam. Ambie.*, 30, 7–13.
- Orche, E. (2020). Calidad del aire en las minas museo subterráneas. Propuesta de índices de referencia. *Revista de Medio Ambiente Minero y Minería*, 5(2), 37–57.
- Organización Mundial de la Salud. (22 de septiembre del 2021). *Las nuevas Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire tienen como objetivo evitar millones de muertes debidas a la contaminación del aire.* <https://www.who.int/es/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>
- Portilla, V. (2019). Evaluación de la calidad de aire para proponer un sistema de ventilación del socavón San Luis 2019, distrito San Luis, Provincia San Pablo, región Cajamarca. [Perú]. En *Universidad Privada del Norte*. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23022>.

- Quispe, P. (2019). Ventilación de Minas Subterráneas natural y mecánica. (Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano). <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9886>
- Ricse, R. (2021). Diseño del circuito de ventilación para evacuar los gases, humo y polvo en suspensión en las labores de la galería principal en la mina artesanal Aurex –Acopalca, Pasco 2018. (Tesis de grado, Universidad Continental). [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8706/4/IV\\_FIN\\_110 TE Ricse Ramos 2021.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8706/4/IV_FIN_110_TE_Ricse_Ramos_2021.pdf)
- Rivera, G. (2020). *Análisis del circuito de ventilación mediante simulación con Ventsim de una mina subterránea de carbón artesanal en le provincia de Arauco, región del Biobio*. <http://repositorio.udec.cl/xmlui/handle/11594/4630>
- Robles, E., Medina, A., & Medina Carmen. (2019). La contaminación del aire por el material particulado y su relación con las enfermedades de tipo respiratorio en la población de Cerro de Pasco (2010 y 2016). *REDALYC*, 22. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/view/16533>
- Rojano, R., Angulo, L., & Restrepo, G. (2015). *Concentración y relación de PST, PM<sub>10</sub> Y PM<sub>2.5</sub> en poblaciones cercanas a minería a cielo abierto: Caso Cerrejón Colombia* (Vol. 30). [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652015000300005](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652015000300005)
- Rojas, K. (2017). Evaluación del nivel de afectación de la calidad de aire en los distritos de Churcampa y San Pedro de Coris, provincia de Churcampa influenciado por las actividades de la unidad minera cobriza de Doe Run Perú en liquidación en Marcha S.A.C., 2016. (Tesis de grado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión). [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/277/1/T026\\_70492863 T.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/277/1/T026_70492863_T.pdf)
- Sutty, J. (2016). *Influencia de la ventilación mecánica, en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 mina Urano SAC - Puno*. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3539/Sutty\\_Vilca\\_Jesus\\_Alberto.pdf](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3539/Sutty_Vilca_Jesus_Alberto.pdf)

- Tiempo minero. (2021). Reporte de enfermedades comunes en el sistema respiratorio de lostrabajadores mineros. Revista.
- Torres, K. (2017). *Evaluación del nivel de afectación de la calidad de aire en los distritos de Churcampá y San Pedro de Coris, provincia de Churcampá influenciado por las actividades de la unidad minera Cobriza de DOE Run Perú en liquidación en Marcha SAC.*
- Vargas, E. (2011). Ventilación de Minas Subterráneas. Chile.  
[http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/presentaciones-geo/Ventilacion-en-minassubterraneas\(ErickVargasSernageomin\).pdf](http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/presentaciones-geo/Ventilacion-en-minassubterraneas(ErickVargasSernageomin).pdf)
- Vergaray, R. (2017) Optimización del sistema de ventilación de la Mina Charito, Compañía Minera Poderosa S.A. Tesis (Título en Ingeniería de Minas). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2017.  
[https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/29005/INFORME%20DE%20TESIS\\_JAQUELINE%20DEL%20ROCIO%20VASQUEZ%20VASQUEZ\\_pdf\\_parcial.pdf?sequence=13&isAllowed=y](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/29005/INFORME%20DE%20TESIS_JAQUELINE%20DEL%20ROCIO%20VASQUEZ%20VASQUEZ_pdf_parcial.pdf?sequence=13&isAllowed=y)
- Viza, R. (2016). *Diseño y simulación de red de ventilación con el software Ventsim visual en la unidad minera San Rafael MINSUR S.A.*  
[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3446/Viza\\_Torres\\_Ronald\\_Willian.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3446/Viza_Torres_Ronald_Willian.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Yabar, C. (2020). *Sistema de mitigación de polvo de mineral de hierro en la planta chancadora del área San Nicolás - Marcona.*  
<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/11716>

ANEXOS

ANEXO A - Matriz de Identificación de peligros, evaluación de riesgos y control –  
IPERC

PROCESO	ACTIVIDAD	PELIGRO	RIESGO	PROBABILIDAD						Indice de Severidad	Probabilidad x Severidad	Nivel de Riesgo	Riesgo Significativo	MEDIDAS DE CONTROL				Equipos / Elementos de protección personal
				IPE (A)	IPDE (B)	IC (C)	IEA (D)	IP (A+B+C+D)	Eliminación					Sustitución	Controles de Ingeniería	Controles Administrativos		
EXPLORACION DEL MINERAL	PLANEAMIENTO	ROCAS SUELTAS	APLASTAMIENTO	3	2	2	2	9	3	27	M	O	NO			Realizar mantenimiento oportuno a sostenimiento, paredes techos y piso	Implementar programa de orden y aseo. Capacitación en ambientes de trabajo minero seguro y saludable	Uso de EPP
		PISO DESNIVELADO	CAIDA AL MISMO NIVEL	3	2	1	2	8	2	16	M	O	NO			Adecuación y Mantenimiento de infraestructura, Superficies sin obstáculos, ni irregulares	Áreas de circulación de personas y equipos señalizados, demarcadas y despejadas, Realizar inspecciones de seguridad, orden y aseo.	Uso de EPP



	FALTA DE ORDEN Y LIMPIEZA	CAIDA AL MISMO NIVEL	3	2	1	2	8	2	16	MO	NO			Señalización y demarcación de áreas de trabajo, ordenar las áreas de trabajo		
	VENTILACION DEFICIENTE	GASEAMIENTO	3	3	3	3	12	3	36	I	SI			Implementar sistema de ventilación adecuada	Implementar programa de orden y aseo. Capacitación en ambientes de trabajo minero seguro y saludable	Uso de protección respiratoria
	POSTURAS INADECUADAS	LESIONES MUSCULOESQUELETICAS	3	1	2	2	8	2	16	MO	NO			Implementación de pausas activas		Uso obligatorio de EPP
	MONOTONIA Y RUTINA EN LA CARGA LABORAL	ESTRÉS, ANSIEDAD, DESMOTIVACION LABORAL	3	1	1	2	7	2	14	TO	NO			Dictar charlas motivacionales, Programas de recreación y deporte		
<b>PERFORACION</b>	HUMOS, POLVOS, GASES	GASEAMIENTO NEUMOCOSIS	3	2	3	3	11	3	33	I	SI			Registro y medición de Gases a Diario	Aplicación de procedimientos de trabajo seguros, Demarcación y señalización	Uso obligatorio de EPP

													acción de área crítica.			
													Capacitación en ambientes de trabajo minero seguro y saludable			
VIBRACION	TRANSTORNOS OSTEOARTICULARES	3	3	2	2	10	2	20	MO	NO			Aplicación de procedimientos seguros.	Exámenes médicos ocupacionales Periódicos, pausas activas,	Reducir el tiempo de exposición, rotación del personal	Uso de EPP. Protección Auditiva
RUIDO	HIPOACUSIA	3	2	2	2	9	2	18	MO	NO			Controlar en ambientes los límites permisibles de ruido y tiempo de exposición con protección auditiva.	Aplicación de procedimientos seguros. Exámenes médicos ocupacionales Periódicos, pausas activas,	Reducir el tiempo de exposición,	Uso de EPP. Protección Auditiva



													rotación del personal		
	ILUMINACION DEFICIENTE	DAÑOS OCULARES	3	2	2	2	9	1	9	T O	N O			Implementación de luminarias, programa de monitoreo de iluminación.	
	EQUIPO EN MAL ESTADO	GOLPES, CORTES	3	3	2	2	10	3	30	M O	N O		Inspección de herramientas, usar herramientas en buen estado	Supervisión permanente, AST (análisis de seguridad en el trabajo) firmado y revisado por el supervisor de campo y el ingeniero de seguridad, PETS (procedimiento escrito de trabajo seguro) al alcance de todos los	Uso obligatorio de EPPs

																		trabaja dores
VOLAD URA	ROCAS SUELTAS	APLASTA MIENTO	3	3	3	2	11	2	22	MO	NO		Realiza r manten imient o oportu no a sosteni miento , paredes techos y piso	Imple mentar progra ma de orden y aseo.  Capaci tación en ambien tes de trabajo minero seguro y saluda ble	Uso de EPP			
	HUMO S, POLVO S, GASES	GASEAMIE NTO NEUMOCO NIOSIS	3	3	3	3	12	3	36	I	SI		Señaliz ación y demarc ación de área uso obligat orio de protecc ión respirat oria	Uso obli gato rio de EPP s				
	TRABA JOS EN ALTUR A	CAIDA A DISTINTO NIVEL	3	2	2	2	9	2	18	IM	SI		Person al capacit ado y autoriz ado para realizar trabajo s en altura,  Check list de arnes y andami os	Uso obli gato rio de EPP s (Arn és de dobl e línea de vida )				

	MANIPULACION DE MATERIAL EXPLOSIVO	EXPLOSION	3	2	2	3	10	2	20	M O	<b>N O</b>	Mantenimiento preventivo e inspecciones de seguridad a los equipos, líquidos inflamables, Almacén, manipulación y disposición de combustible y aceites	Capacitación seguimiento y control a la aplicación de procedimientos seguros, Dotación y capacitación en uso adecuado de extintores, Señalización de seguridad	Uso de EPPs
	EXPLOSIÓN / INCENDIO	QUEMADURAS	3	2	2	3	10	2	20	M O	<b>N O</b>		Capacitación seguimiento y control a la aplicación de procedimientos seguros, Dotación y capacitación en uso adecuado de extintores, Señalización de seguridad	Uso obligatorio de EPPs
	VENTILACION DEFICIENTE	GASEAMIENTO	3	3	3	3	12	3	36	I	<b>SI</b>	Implementar sistema de ventilación adecuada	Implementar programa de orden y aseo. Capacitación en ambiente	Uso de protección respiratoria

																		tes de trabajo minero seguro y saludable	
TRANSPORTE	MOVIMIENTOS REPETITIVOS	DAÑOS MUSCULO ESQUELETICOS	3	2	2	2	9	1	9	TO	NO							Implementación de pausas activas. Aplicación de procedimientos seguros	Uso obligatorio de EPPs
	FATIGA Y SOMNOLENCIA	DESPISTE, ATROPELLADO, COLISION	3	2	2	2	9	2	18	MO	NO							Dictar charlas motivacionales, Programas de recreación y deporte	
	MANIPULACION DE ACEITES Y GRASAS	INTOXICACION	3	2	2	2	9	1	9	TO	NO							Verificar el buen estado de los productos, contar con las hojas MSDS de cada insumo y/o aditivo, ubicar los productos sobre plataformas de protección para evitar el contacto	Uso de EPP



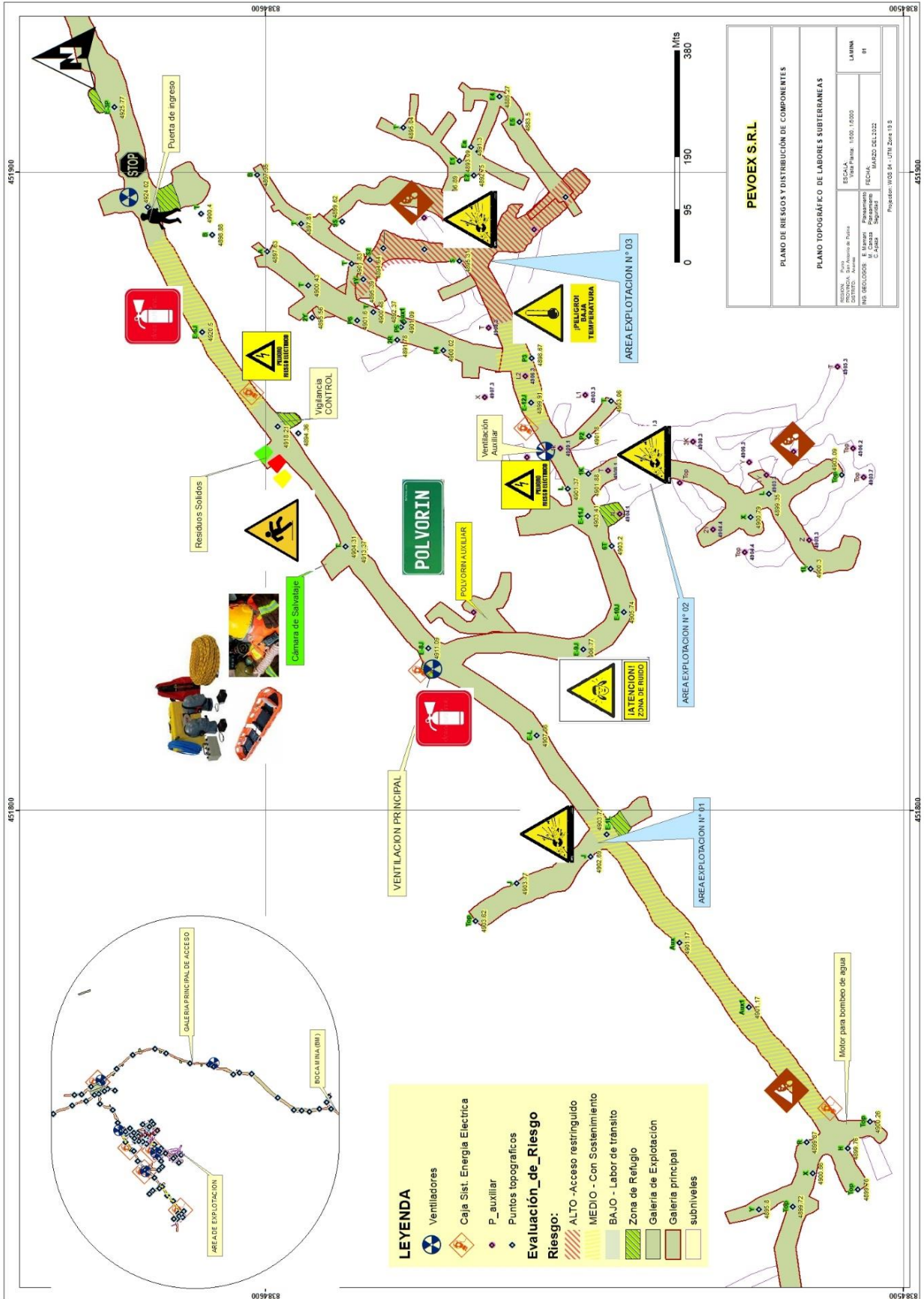
												directo con el suelo, orden y limpieza, mantener cada área de la plataforma bien señalizada para una fácil identificación de los insumos, herramientas, combustibles, etc.			
		EQUIPO EN MAL ESTADO	GOLPEADO O ATROPELLADO POR EQUIPO	3	2	2	2	9	1	9	TO	NO	Inspección de herramientas, usar herramientas en buen estado	Supervisión permanente, AST (análisis de seguridad en el trabajo) firmado y revisado por el supervisor de campo y el ingeniero de seguridad, PETS (procedimiento escrito de trabajo seguro) al alcance de todos los	Uso obligatorio de EPPs

																				trabajadores	
		EQUIPOS Y VEHICULOS EN MOVIMIENTO	ATROPELO Y COLISION	3	2	2	2	9	1	9	TO	NO			Adecuación y Mantenimiento a infraestructura de almacenes, Superficies, pisos, secos, sin obstáculos, ni irregulares	Áreas de circulación de personas y equipos señalizados, demarcadas y despejadas, Realizar inspecciones de seguridad, orden y aseo	Uso de EPP				
		VIAS EN MAL ESTADO	DESPISTE, ATROPELLO, COLISION	3	3	2	2	10	1	10	TO	NO			Realizar mantenimiento de las vías	Áreas de circulación de personas y equipos señalizados, demarcadas y despejadas, Realizar inspecciones de seguridad, orden y aseo	Uso de EPPs				





## **ANEXO B – Mapa de riesgos**



ANEXO C - Registro fotográfico



Fotografía 1 - Ingreso a la mina



Fotografía 2 - Monitoreo de calidad de aire CO y NO<sub>2</sub>



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Loayza Abigail Londoni Turpo  
identificado con DNI 71330899 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Maestría en Ciencias : Ingeniería Química

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ Evaluación de la calidad de aire y el sistema de ventilación en la mina

Santa María, Arequipa - región Puno ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 19 de enero del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella





Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Loayza Abigail Condori Turpo  
identificado con DNI 71330899 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Maestría en Ciencias: Ingeniería Química  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ Evaluación de la calidad de aire y el sistema de ventilación en la mina  
Santa María, Anasus - región Puno. ”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base y plataforma que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 19 de enero del 20 23

FIRMA (obligatoria)



Huella