



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“EVALUACIÓN Y PROPUESTA DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN EL SUB NIVEL 058 EN MINERA TROY SAC - CAJAMARCA 2018”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Iván Guevara Rojas

Bach. Willam Villanueva Bolaños

Asesor:

Ing. Elmer Ovidio Luque Luque

Cajamarca – Perú

2018

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por los Bachilleres **Iván Guevara Rojas, Willam Villanueva Bolaños**, denominada:

**“EVALUACIÓN Y PROPUESTA DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN EL SUB
NIVEL 058 EN MINERA TROY SAC - CAJAMARCA 2018”**

Ing. Elmer Ovidio Luque Luque
ASESOR

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán
JURADO
PRESIDENTE

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León
JURADO

Ing. Rafael Napoleón Ocas Boñón
JURADO

DEDICATORIA

A DIOS TODO PODEROSO

*Quien ha forjado mi camino y me
ha dirigido por el sendero correcto.
Por haberme dado salud y poder
lograr mis metas y objetivos trazados,
además de su infinita ternura y amor.
Te adoro, oh Jehová.*

A MIS PADRES

*Segundo Santos Guevara Blanco y María Gladys Rojas Tello,
quienes creyeron que la educación es el mejor regalo y la mejor
herencia que se le puede dar a un hijo.
Gracias por sus consejos, su apoyo incondicional y su paciencia,
todo lo que hoy soy es gracias a su sacrificio que dieron para
que hoy concluya una etapa más de mi formación profesional.
Los amo mucho.*

A MI HERMANO

*Roger Norvil Marlo Rojas, por darme su apoyo
incondicional siempre que lo he necesitado,
Gracias por enseñarme a creer en mí y
motivarme hacer las cosas de la mejor manera.
Te quiero mucho.*

IVAN GUEVARA ROJAS

DEDICATORIA

A DIOS TODO PODEROSO

*En primer lugar se lo dedico a Dios porque
a él debo todo lo que tengo y todo lo que soy,
gracias a él que me regalo conocimiento y entendimiento
y por él tengo el privilegio de presentar este proyecto
tan importante sobre mi vida profesional.
Gracias, Dios.*

A MIS PADRES

*Ángeles Villanueva Villena y Reymelda Bolaños Chávez,
por haberme forjado en la persona que soy en la actualidad,
Gracias por sus consejos y su gran sacrificio que hicieron para
Culminar mis estudios universitarios.
Gracias padre y madre.*

A MIS HERMANOS

*Hector Villanueva Bolaños, Celestina Villanueva Bolaños,
Lesvia Villanueva Bolaños, por haberme apoyado en
todo lo que necesité durante mi vida universitaria,
gracias por el apoyo inmenso y por todos sus consejos
impartidos por todos ustedes.*

Gracias hermanos.

WILLAM VILLANUEVA BOLAÑOS

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Privada del Norte, por habernos aceptado ser parte de ella y ser partícipes en la adquisición de nuevos conocimientos para formarnos moral e intelectualmente, permitiéndonos de este modo cumplir con nuestros objetivos y metas trazadas.

A todos los docentes del Departamento de Ingeniería de Minas, por haber sido formadores de nuestros conocimientos, esenciales para llegar a esta etapa de madurez científica y técnica.

A Minera Troy S.A.C, Proyecto Los Pircos, encabezada por el ingeniero Manuel Taboada por habernos permitido realizar este trabajo de investigación en sus instalaciones y habernos brindado todas las facilidades y orientación pertinente durante la ejecución de este trabajo.

A nuestro Asesor, Ingeniero Elmer Ovidio Luque Luque, gracias por sus importantes sugerencias y aportes durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A nuestras familias que siempre se preocuparon por la integridad de nuestra formación moral y profesional, muchas gracias.

A nuestros compañeros y amigos de la Facultad. Gracias por permitirnos conocerlos y recorrer juntos este camino universitario, por esos días interminables de estudios. Por su apoyo y ánimos brindados y sobre todo gracias por su amistad.

LOS AUTORES

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Realidad problemática	15
1.2. Formulación del problema.....	16
1.3. Justificación.....	16
1.4. Limitaciones	16
1.5. Objetivos	16
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	16
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	16
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Antecedentes	17
2.1.1. <i>A nivel internacional</i>	17
2.1.2. <i>A nivel nacional</i>	17
2.1.3. <i>A nivel local</i>	18
2.2. Bases teóricas.....	19
2.2.1. <i>Ventilación De Minas</i>	19
2.2.2. <i>Ventilación subterránea</i>	20
2.2.3. <i>Tipos de Ventilación</i>	20
2.2.4. <i>Requerimiento de aire</i>	23
2.2.5. <i>Sistemas de ventilación</i>	25
2.2.6. <i>Métodos de ventilación secundaria</i>	26
2.2.7. <i>Circuito de ventilación</i>	27
2.2.8. <i>Métodos de Hardy Cross</i>	30
2.2.9. <i>Ley básica de la ventilación de minas</i>	30
2.2.10. <i>Presiones de una mina</i>	31
2.2.11. <i>Presión estática</i>	31
2.2.12. <i>Presión de velocidad</i>	31

2.2.13.	<i>Pérdida de presión por fricción</i>	31
2.2.14.	<i>Formula de Atkinson</i>	32
2.2.15.	<i>Factores de fricción</i>	33
2.2.16.	<i>Pérdidas por choque</i>	33
2.3.	Definiciones conceptuales de la ventilación de minas.....	34
2.3.1.	<i>Aire atmosférico</i>	34
2.3.2.	<i>Aire de mina</i>	35
2.3.3.	<i>Propiedades físicas del aire</i>	36
2.3.4.	<i>Gases presentes en mina</i>	39
2.3.5.	<i>Polvos de mina</i>	41
2.3.6.	<i>Clasificación de los ventiladores</i>	41
CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS		45
3.1.	Formulación de la hipótesis.....	45
3.2.	Variable de estudio.....	45
3.3.	Operacionalización de la variable de estudio.....	45
CAPÍTULO 4. MATERIAL Y MÉTODOS		46
4.1.	Tipo de diseño de investigación.....	46
4.2.	Material de estudio.....	46
4.2.1.	<i>Unidad de estudio</i>	46
4.2.2.	<i>Población</i>	46
4.2.3.	<i>Muestra (muestreo o selección)</i>	46
4.3.	Técnicas, procedimientos e instrumentos.....	46
4.3.1.	<i>Para recolectar datos</i>	46
4.3.2.	<i>Producto de aplicación profesional</i>	48
CAPÍTULO 5. DESARROLLO		52
5.1.	Ubicación.....	52
5.1.1.	<i>Ubicación geográfica del proyecto minero</i>	52
5.1.2.	<i>Accesos al proyecto minero</i>	54
5.1.3.	<i>Temperatura</i>	54
5.1.4.	<i>Historia del proyecto minero</i>	54
5.2.	Aspectos geológicos y desarrollo.....	55
5.2.1.	<i>Geología Regional</i>	55
5.2.2.	<i>Geología local</i>	56
5.2.3.	<i>Geología del área del proyecto</i>	56
5.2.4.	<i>Fisiografía</i>	56
5.2.5.	<i>Geología económica</i>	57
5.2.6.	<i>Geología estructural</i>	59
5.2.7.	<i>Geomorfología</i>	59
5.3.	Descripción de monitoreo.....	60
5.3.1.	<i>Calculo de caudal</i>	60
5.4.	Ubicación de los puntos de monitoreo.....	62
5.4.1.	<i>Monitoreo de temperatura (T °C)</i>	64
5.4.2.	<i>Monitoreo de gases en el Sub nivel 058</i>	66

CAPÍTULO 6. RESULTADOS	74
6.1. Evaluación del sistema de ventilación en el sub nivel 058 de Minera TROY S.A.C.	74
6.2. Gráfica de monitoreo de temperatura (°C) en el sub nivel 058	75
6.3. Gráfica de monitoreo de oxígeno (O ₂) en el sub nivel 058	76
6.4. Gráfica de monitoreo de monóxido de carbono (CO) en el sub nivel 058.....	77
6.5. Gráfica de monitoreo de dióxido de carbono (CO ₂) en el sub nivel 058.....	79
6.6. Gráfica de monitoreo de dióxido de nitrógeno (NO ₂) en el sub nivel 058	81
6.7. Diseño del sistema de ventilación del sub nivel 058 en el Software Ventsim	83
6.7.1. <i>Estudio geométrico</i>	83
6.7.2. <i>Selección del ventilador</i>	87
CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN	94
CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES	95
CAPÍTULO 9. RECOMENDACIONES	96
CAPÍTULO 10. REFERENCIAS	97
CAPÍTULO 11. ANEXOS	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Límites máximos permisibles	19
Tabla 2 : Cargos equivalentes en pies (le) para varias fuentes de pérdidas por choque (Le en pies)	34
Tabla 3 : Composición del aire atmosférico	35
Tabla 4 : Oxígeno consumido por los seres humanos.....	36
Tabla 5 : Operacionalización de la variable de estudio	45
Tabla 6 : Equipos utilizados	47
Tabla 7 : Cálculo de áreas del sub nivel 058	48
Tabla 8 : Coordenadas UTM de los vértices del CIRATO 3.	53
Tabla 9 : Coordenadas UTM de los vértices del CIRATO 4.	53
Tabla 10 : Coordenadas UTM de los vértices del CIRATO 5.	53
Tabla 11 : Ruta 1 al Proyecto Los Pircos.....	54
Tabla 12 : Ruta 2 al Proyecto Los Pircos.....	54
Tabla 13 : Principales Vetas del Proyecto Los Pircos.....	58
Tabla 14 : Cantidad de aire requerido por uso de explosivo	61
Tabla 15 : Resumen total de aire requerido en el sub nivel 058.....	62
Tabla 16 : Monitoreo de temperaturas en el sub nivel 058.....	64
Tabla 17 : Monitoreo de monóxido de carbono (CO) en el sub nivel 058.....	66
Tabla 18 : Monitoreo de dióxido de carbono (CO ₂) en el sub nivel 058.....	68
Tabla 19 : Monitoreo de dióxido de nitrógeno (NO ₂) en el sub nivel 058.....	70
Tabla 20 : Monitoreo de oxígeno (O ₂) en el sub nivel 058	72
Tabla 21 : Balance de caudal de aire para ventilación mina los pircos	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Ventilación natural.....	21
Figura 2 : Ventilación mecánica	23
Figura 3 : Ventilación impelente	25
Figura 4 : Ventilación aspirante.....	25
Figura 5 : Ventilación impelente con apoyo aspirante	26
Figura 6 : Circuito en serie	28
Figura 7 : Circuito en paralelo	29
Figura 8 : Circuito en diagonal	29
Figura 9 : Gradiente de presiones.....	32
Figura 10 : Ventilador centrífugo.....	42
Figura 11 : Ventilador de hélice.....	42
Figura 12 : Ventilador axial.....	43
Figura 13 : Ubicación de la Unidad Minera Troy.....	52
Figura 14 : Puntos de monitoreo en el sub nivel 058.....	63
Figura 15 : Modelo 3d en AutoCAD	84
Figura 16 : Importación del modelo de AutoCAD a Ventsim	85
Figura 17 : Modelo de sólido en Ventsim	86
Figura 18 : Modelo de sólido del sub nivel 058 en Ventsim.....	88
Figura 19 : Resumen de la red del sistema, Ventsim Desing 5.1	89
Figura 20 : Resumen de la red del sistema, Ventsim Desing 5.1	90
Figura 21 : Resumen de la red del sistema, Ventsim Desing 5.1	91
Figura 22 : Especificaciones del ventilador a utilizar	92
Figura 23 : Especificaciones del ventilador a utilizar	93

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 : Instrumentos utilizados	47
Fotografía 2 : Anemómetro Lutrón Electronic Ent. CO., LTD.	49
Fotografía 3 : Medición de la velocidad de aire	50
Fotografía 4 : Medición de temperaturas	51

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado: “Evaluación y propuesta del Sistema de ventilación en el sub nivel 058 en Minera Troy S.A.C. - Cajamarca 2018”, su objetivo general es evaluar y proponer el sistema de ventilación en el sub nivel 058 en Minera TROY S.A.C. – Cajamarca 2018, y sus objetivos específicos son, evaluar la situación actual del sistema de ventilación en el sub nivel 058 de Minera TROY S.A.C., proponer el sistema de ventilación para el sub nivel 058 de la Unidad Minera Troy S.A.C. y aplicar el software Ventsim para el diseño y simulación del sistema de ventilación del sub nivel 058 de la Unidad Minera Troy S.A.C., como hipótesis, el nivel de ventilación en el sub nivel 058 de la Unidad Minera Troy presenta deficiencia, ya que algunos gases están por debajo de los requerimientos de la normatividad vigente. La manera de incrementarla es proponiendo un diseño y en ello instalar un ventilador de 10 000cfm.

Con el diseño del sistema de ventilación se pretende lograr tener un ambiente de trabajo confortable y minimizar la recirculación de aire viciado del sub nivel 058 en Minera Troy S.A.C., con metodología de estudio el cual pertenece al tipo descriptivo.

Finalmente, la ventilación mecánica influye notablemente en las labores de desarrollo, es por ello que con el diseño de ventilación propuesto para el sub nivel 058 se instalara un ventilador con capacidad de 10000 cfm con el fin de cubrir las necesidades de aire.

Palabras claves: Ventilación, Evaluación y diseño, eficiencia del trabajador, requerimiento de aire.

ABSTRACT

The present research work entitled: "Evaluation and proposal of the ventilation system in the sub level 058 in Minera Troy S.A.C. - Cajamarca 2018 ", its general objective is to evaluate and propose the ventilation system in sub level 058 in Minera TROY S.A.C. - Cajamarca 2018, and its specific objectives are to evaluate the current situation of the ventilation system in the sub level 058 of Minera TROY S.A.C., propose the ventilation system for sub level 058 of the Troy Mine Unit S.A.C. and apply the Ventsim software for the design and simulation of the ventilation system of the sub level 058 of the Troy SAC Mining Unit, as hypothesis, the level of ventilation in the sub level 058 of the Troy Mining Unit is deficient, since some gases are below the requirements of the current regulations. The way to increase it is by proposing a design and installing a 10 000cfm fan.

The design of the ventilation system is intended to achieve a comfortable working environment and minimize recirculation of stale air from sub level 058 in Minera Troy S.A.C., with study methodology which belongs to the descriptive type.

Finally, mechanical ventilation has a significant influence on the development work, which is why with the ventilation design proposed for the sub level 058 a fan with a capacity of 10000 cfm will be installed in order to cover the air needs.

Keywords: Ventilation, evaluation and design, worker efficiency, air requirement.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la minería subterránea busca una explotación permanente y constante, por esta razón, el requerimiento de aire es indispensable para que los trabajadores y los equipos cumplan con la productividad en los tiempos programados, bajo los estándares requeridos; ya sea mediante una ventilación natural o artificial, este requerimiento de aire debe estar presente en todos los frentes de trabajo en cantidades necesarias.

Para lograr la adecuación del aire, que recorre a través de las labores subterráneas, la ventilación en las minas juega un papel muy importante, siendo su principal objetivo asegurar un ambiente de trabajo saludable y libre de riesgos tanto para los trabajadores como para los equipos.

Por ello, hay razones que justifican lograr que el aire que ingrese a una labor subterránea asegure la regeneración de este esencial elemento durante el desarrollo de las labores mineras. Para que posteriormente asegurar la presencia de oxígeno necesario para los trabajadores, eliminar la presencia de gases tóxicos producto de voladuras con explosivos, suprimir las concentraciones de polvo en suspensión, regular la temperatura en los lugares que sea necesario.

Existen muchas minas subterráneas en operación que su único sistema de ventilación es la ventilación natural, es por ello que se corre el riesgo de que no se pueda controlar de manera favorable la atmosfera de la mina, y exista un riesgo para los trabajadores que laboran a diario poniendo en peligro su salud.

En el sub nivel 058 de la unidad Minera Troy S.A.C, Proyecto Los Pircos, donde se ejecutó la presente investigación, se buscó evaluar el sistema de ventilación y analizar los parámetros que intervienen en la contaminación del aire.

1.1. Realidad problemática

En la unidad Minera Troy, proyecto Los Pircos, el circuito de ventilación funciona en base a la ventilación natural que llega a las labores, creados entre dos puntos: iniciales (bocaminas) y finales (chimeneas) desarrolladas a cada 50.00 m. en labores horizontales, que comunican de nivel a nivel y/o a superficie.

El circuito de ventilación natural funciona en base al flujo de aire, que ingresa tanto por el Nivel 2050, como por el Nivel 2000.

En el sub nivel 058 se apreció que la ventilación es deficiente debido a que el suministro se realiza a través de una manguera de ventilación desde la parte exterior del nivel 2000, el cual es empleado solo cuando se realizan voladuras para evacuar los gases presentes y para suministrar aire para el personal utilizan la ventilación natural, la cual cuando realizamos la evaluación del sistema de ventilación llegamos a notar que hay deficiencia de ventilación para evacuar los gases nitrosos, es por ello que se propone instalar un ventilador de 10000 cfm con el fin de mejorar el ambiente de trabajo y minimizar enfermedades ocupacionales producidas por los gases nitrosos.

Por tal motivo, el presente trabajo de investigación tiene por finalidad evaluar y proponer el diseño del sistema de ventilación en el sub nivel 058, con el objetivo de garantizar una buena ventilación en cantidad y calidad de aire, para el confort del personal, dilución de gases producto de la voladura y que estén por debajo de los límites máximos permisibles, por lo cual se va a prevenir los incidentes y accidentes fatales, así como satisfacer las necesidades de ventilación futuras, en otros frentes de trabajo.

1.2. Formulación del problema

¿La evaluación nos permitirá proponer un adecuado diseño del sistema de ventilación en el sub nivel 058 de la Unidad Minera TROY S.A.C. – Cajamarca 2018?

1.3. Justificación

La presente investigación, se realizó en la unidad Minera Troy SAC, Proyecto Los Pircos. Cuyo propósito principal fue evaluar las condiciones actuales del sistema de ventilación y proponer un adecuado diseño en el sub nivel 058, con el fin de que exista un ambiente de trabajo seguro para los trabajadores y equipos que laboren en dicho sub nivel en la operación minera.

Esta investigación se realizó en amparo del art. 246 del Reglamento de seguridad y Salud ocupacional (D.S. 023-2017-EM) en donde prescribe: *El titular de actividad minera velará por el suministro de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a las necesidades del trabajador, de los equipos y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador, así como para mantener condiciones termo-ambientales confortables.*

En ese contexto, esta investigación nos permitirá evaluar el actual sistema de ventilación en el sub nivel 058 y proponer un diseño del sistema de ventilación que cubra las expectativas de la empresa, la normatividad vigente, la prevención de incidentes y accidentes fatales.

1.4. Limitaciones

- El factor económico para la adquisición del Seguro Contra Riesgos para que nos permitan el ingreso a la Unidad Minera Troy SAC.
- Malas condiciones de acceso para llegar al sub nivel 058 de la Unidad Minera Troy.
- Falta de personal capacitado para realizar las mediciones constantemente de caudales de aire en el sub nivel 058 de Unidad Minera Troy.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Evaluar y proponer el sistema de ventilación en el sub nivel 058 en Minera TROY S.A.C. – Cajamarca 2018.

1.5.2. Objetivos específicos

- Evaluar la situación actual del sistema de ventilación en el sub nivel 058 de la Unidad Minera Troy S.A.C.
- Proponer el sistema de ventilación para el sub nivel 058 de la Unidad Minera Troy S.A.C.
- Aplicar el software Ventsim para el diseño y simulación del sistema de ventilación del sub nivel 058 de la Unidad Minera Troy S.A.C.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel internacional

Para Castillo (2017) en su estudio denominado “Evaluación del sistema de ventilación de la mina el roble”, presentado a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, tuvo como objetivo: evaluar el sistema de ventilación conociendo el circuito que tiene la mina y determinar los requerimientos de aire, los problemas de temperatura y de contaminación por gases, posteriores a los trabajos de voladuras, cargue y transporte de material en la minera el roble, ubicada en Colombia. El autor llegó a las siguientes conclusiones:

- EL sistema de ventilación de la mina El Roble no se está cumpliendo el Reglamento 1886 de 2015, en los artículos 41, 43, 44, 46, 57 del Título II de Ventilación.
- Los equipos y maquinaria generan la cantidad más elevada de volumen de aire contaminante en la mina. (199.000 CFM).

Para Reinoso (2017) en su tesis denominada “Diseño del sistema de ventilación para la mina Somnur, sector la cascada, de la sociedad Minera Nueva Rojas Cía. Ltda., ubicada en el Cantón Ponce Enríquez, provincia del Azuay”, presentado a la Universidad Central del Ecuador, tuvo como objetivo: realizar muestreos de la atmósfera minera para determinar su composición y características. El autor llegó a la siguiente conclusión:

- Una vez aplicadas las medidas correctivas en el diseño del circuito de ventilación de la mina, este será viable para cumplir con los estándares y normas vigentes, siendo capaz de proveer a los trabajadores un ambiente subterráneo de trabajo adecuado y favorable para desempeñar sus labores diarias, libre de riesgos y accidentes laborales, garantizando la seguridad en su salud.

2.1.2. A nivel nacional

Para Claverías (2014) en su tesis denominada “Evaluación y Optimización del Sistema de Ventilación de la Compañía Minera Caravelí S.A.C Aplicando El Software Ventsim Visual 3”, presentado a la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, indica que, la evaluación y la optimización van ligados en toda empresa minera de producción con el fin de obtener mejores condiciones termo ambientales de sus trabajadores, ya que en compañía minera caravelí el activo más valioso son los trabajadores. El autor llegó a la siguiente conclusión:

- Para tener una buena base de datos de campo es necesario capacitar al personal de ventilación en el levantamiento de los puntos de muestreo y poder ingresar dicha base al software Ventsim 3.9, para poder realizar una buena distribución del aire limpio.

Para Ponciano (2016) en su estudio denominado “Estudio de ventilación del proyecto de explotación minera invicta, Huaura”, presentado a la Universidad Nacional de Ingeniería, tuvo como objetivo garantizar un sistema de ventilación del Proyecto de la mina Invicta de tal manera que permita suministrar aire en la cantidad y calidad requerida por las normas de seguridad minera con el fin de lograr el confort adecuado del trabajador en el área de trabajo. El autor llegó a la siguiente conclusión:

- El dimensionamiento de las labores debe considerar futuros equipos a usar, esto para evitar rotura de mangas en circuitos auxiliares.

2.1.3. A nivel local

Para García (2016) en su tesis denominada “Evaluación de la situación actual del sistema de ventilación y propuesta para su optimización en mina subterránea carbonífera Mi Grimaldina I - Cajamarca – 2016”, presentado a la Universidad Privada Del Norte, tuvo como objetivo evaluar la ventilación natural de las galerías que están en la etapa de explotación de la concesión minera Mi Grimaldina I.

El autor concluyó:

- La calidad del aire en la ventilación natural es buena, pero es necesario mejorarla mediante más cámaras que lleguen a la superficie, por tanto no es necesaria la ventilación superficial.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Ventilación De Minas

Llamamos ventilación de minas, a los procedimientos que se llevan a cabo, para hacer circular aire en cantidades necesarias con el fin de establecer una atmósfera agradable, limpia y sin presencia de gases, es por ello que los trabajadores gozarán de mejores condiciones en el desarrollo de sus actividades. Todo sistema de ventilación en la actividad minera, en cuanto se refiere a la calidad del aire, deberá mantenerse dentro de los límites de exposición ocupacional para agentes químicos, (Ver: Tabla 01)

Tabla 1: Límites máximos permisibles

Polvo inhalable	10 mg/m ³
Polvo respirable	3 mg/m ³
Oxígeno (O ₂)	Mínimo 19.5% y máximo 22.5%
Monóxido de carbono (CO)	Máximo 29 mg/m ³ o 25 ppm.
Dióxido de carbono (CO ₂)	Máximo 9000 mg/m ³ o 5000 ppm. 3000 por un lapso no superior de 15 min.
Metano (CH ₄)	Máximo 29 mg/m ³ o 25 ppm.
Hidrogeno sulfurado (H ₂ S)	Máximo 14 mg/m ³ o 10 ppm.
Gases nitrosos (NO _x)	Máximo 0.7 mg/m ³ o 5 ppm.
Anhídrido sulfurosos (SO ₂)	2 ppm mínimo a 5 ppm. Máximo
Aldehídos	Máximo 5 ppm.
Hidrogeno (H)	Máximo 5000 ppm.
Ozono	Máximo 0.1 ppm.

Fuente: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (D.S. N° 023-2017-EM)

Teniendo en consideración lo estipulado en el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería (D.S. 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 suficientes de acuerdo con el número de trabajadores, con el total de HPs 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 diecinueve punto cinco por ciento (19.5%) de oxígeno.

En los lugares de trabajo de las minas ubicadas hasta mil quinientos (1,500) metros sobre el nivel del mar, la cantidad mínima de aire necesario por hombre será de tres metros cúbicos

por minuto ($3\text{m}^3/\text{min}$). En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo a la siguiente escala:

- De 1,500 a 3,000 msnm aumentará en 40% que será igual a $4\text{ m}^3/\text{min}$
- De 3,000 a 4,000 msnm aumentará en 70% que será igual a $5\text{ m}^3/\text{min}$
- Sobre los 4,000 msnm aumentará en 100% que será igual a $6\text{ m}^3/\text{min}$

En ningún caso, la velocidad del aire será menor de veinte metros por minuto ($20\text{m}/\text{min}$) ni superior a doscientos cincuenta metros por minuto ($250\text{ m}/\text{min}$) en las labores de explotación, incluido el desarrollo y preparación. Cuando se emplee explosivo ANFO u otros agentes de voladura, la velocidad del aire no será menor de veinticinco metros por minuto ($25\text{ m}/\text{min}$). (Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería D.S. N° 023- 2017-EM).

2.2.2. Ventilación subterránea

La ventilación en una mina subterránea es el proceso mediante el cual se hace circular por el interior de la misma el aire necesario para asegurar una atmósfera respirable y segura para el desarrollo de los trabajos, la ventilación se realiza estableciendo un circuito para la circulación del aire a través de todas las labores. Para ello es indispensable que la mina tenga dos labores de acceso independientes: dos pozos, dos socavones, un pozo y un socavón, en las labores que sólo tienen un acceso (por ejemplo, una galería en avance) es necesario ventilar con ayuda de una tubería, la tubería se coloca entre la entrada a la labor y el final de la labor, esta ventilación se conoce como secundaria, en oposición a la que recorre toda la mina que se conoce como principal, los ventiladores son los responsables del movimiento del aire, tanto en la ventilación principal como en la secundaria. Generalmente los ventiladores principales se colocan en el exterior de la mina, en la superficie. (Vergaray, 2017)

2.2.3. Tipos de Ventilación

Se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Ventilación natural
- Ventilación mecánica

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:

- De acuerdo por número de personas.
- De acuerdo por polvo en suspensión.
- De acuerdo por aumento de temperatura.
- De acuerdo por consumo de explosivos. (Vergaray , 2017)

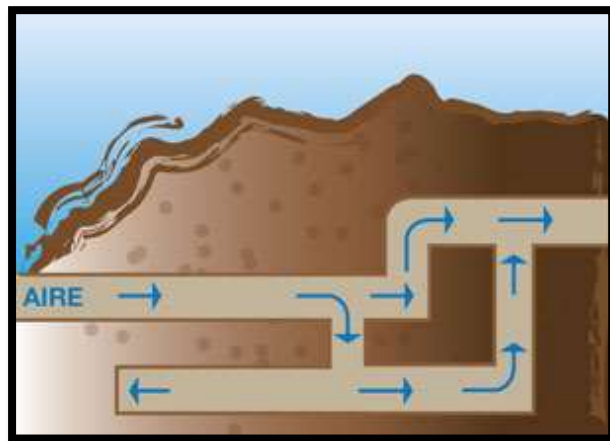
2.2.3.1. Ventilación natural

Esencialmente consiste en el desplazamiento de masas de aire al interior de las labores mineras producto de diferencias de temperaturas entre las labores y la superficie y de la diferencia de altitud entre las galerías conectadas con superficie, fue grandemente empleada en los inicios; posterior a esto, se llegó a utilizar las caídas de agua en los piques para suministrar aire fresco al interior de las labores subterráneas, también se encendían grandes hogueras en los piques para producir tiraje y levantar el aire contaminado desde el interior de las minas, hacia superficie (Ver figura N°01).

Vergaray (2017), menciona las 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.
- 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.
- En el invierno se invierte el proceso. En otras estaciones difíciles predecir.

Figura 1 : Ventilación natural



Fuente: Claverías (2014)

2.2.3.2. Ventilación Mecánica

Conocida como la ventilación auxiliar o secundaria, principalmente es originada por la presión que realiza un ventilador sobre un volumen de aire para luego ser enviado o succionado por un motor eléctrico que le permite una constante presión sobre el aire que transporta y en una cantidad estable. Para este tipo de ventilación se necesitar utilizar energía eléctrica, que puede ser producida a base de combustibles o de hidroeléctricas y ello hace que la ventilación minera sea más cara o más económica respectivamente por tonelada de mineral extraído.

(Zitrón, 2007)

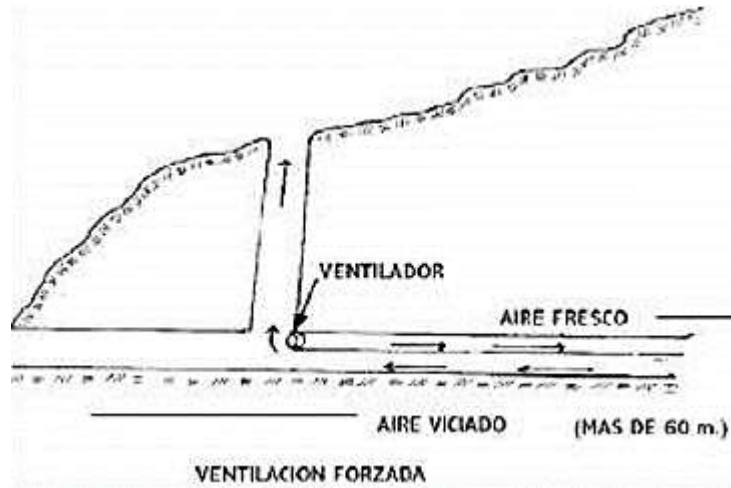
Es la ventilación secundaria y son aquellos sistemas que haciendo uso de ductos y ventiladores auxiliares, ventilan áreas restringidas de las minas subterráneas, empleando para ello los circuitos de alimentación fresco y de evaluación del aire viciado que le proporcione el sistema de ventilación general.

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 de equilibrio: diferencia de presiones entre la entrada y salida de un ducto, por causas naturales (gradiente térmica) o inducida por medios mecánicos. (Ver figura N°02).

Vergaray (2017), las reglas de ventiladores son:

- La presión requerida es directamente proporcional a la longitud.
- La presión es directamente proporcional al perímetro.
- La potencia requerida es directamente proporcional al cubo de la velocidad o volumen.
- La presión requerida es directamente proporcional a cuadrado de la velocidad o volumen.

Figura 2 : Ventilación mecánica



Fuente: Claverías (2014)

2.2.4. Requerimiento de aire

La cantidad de aire en el interior de las labores mineras, se llegará a definir de acuerdo al número de personas, número de equipos, polvo en suspensión, incremento de temperatura y consumo de explosivos además de conocer el método de explotación, para definir la cantidad total de aire que se requiere se manejan los siguientes parámetros operacionales.

Según (D. S. N° 023-2017-EM), el requerimiento de aire necesario en los lugares de trabajo será de acuerdo:

2.2.4.1. Requerimiento de aire de acuerdo al número de personas

La cantidad mínima de aire a cumplir con respecto al personal es proporcionar 4 m³/min, por cada persona, debido a la corrección por altitud de 2250 m.s.n.m., a la que se encuentra la mina.

$$Q_1 = q \times n$$

Donde:

Q₁ = Cantidad de aire necesario para el personal (m³/min.)

q = Cantidad de aire mínimo por persona en m³/min (R.S.S.O)

n = Número de personas presente en la mina por guardia.

2.2.4.2. Requerimiento de acuerdo al uso de equipos diésel

$$Q2 = K * N$$

Q2 = Cantidad de aire para el uso de equipos diésel (m³/min.)

K = 3.0 (m³/min.) cantidad de aire necesario por cada HP

N = Número de HP de los equipos que trabajan en la mina

2.2.4.3. Requerimiento de acuerdo al uso de explosivos

$$Q3 = V * n * A$$

Q3 = Cantidad de aire para diluir contaminantes por explosivo

V = Velocidad de aire 20 m/min (Dinamita), 25 m/min. (ANFO)

n = Número de niveles de la mina en trabajo

A = Área promedio de la sección de las labores, niveles en trabajo (m²)

2.2.4.4. Requerimiento para mantener óptimas condiciones ambientales

$$Q4 = V. n. A$$

Q4 = Cantidad de aire para mantener condiciones ambientales ideales (m³/min.)

V = Velocidad de aire

n = Número de niveles en trabajo, con temperaturas elevadas

A = Área promedio de la sección de la labor (m²)

2.2.4.5. Cálculo de cantidad total del aire

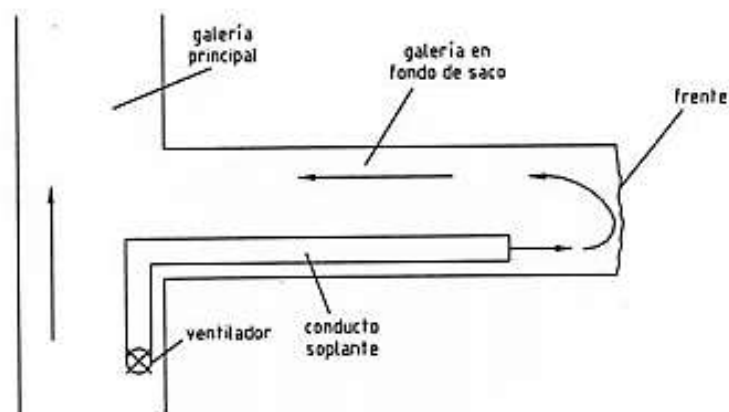
$$QT = Q1 + Q2 + Q3 + Q4$$

2.2.5. Sistemas de ventilación

2.2.5.1. Ventilación impelente

Para Zitrón (2010), el aire entra al frente del fondo de saco a través de la tubería, impulsado por un ventilador, y desplaza la masa de aire viciado hacia la corriente principal de aire, a través de la galería. Este es el sistema predominante usado en la mayoría de las minas (Ver figura N°03).

Figura 3 : Ventilación impelente



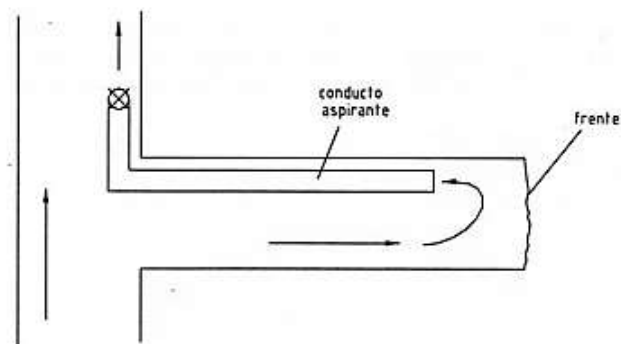
Fuente: (Zitrón, 2010)

2.2.5.2. Ventilación aspirante

(Zitrón, 2010)

En este método, el aire contaminado del frente es succionado a través del conducto debido a la depresión creada en esta por un ventilador situado en el otro extremo. Este aire es evacuado en la corriente de ventilación principal, procedente de la cual entra aire limpio a través de la galería (Ver figura N°04).

Figura 4 : Ventilación aspirante



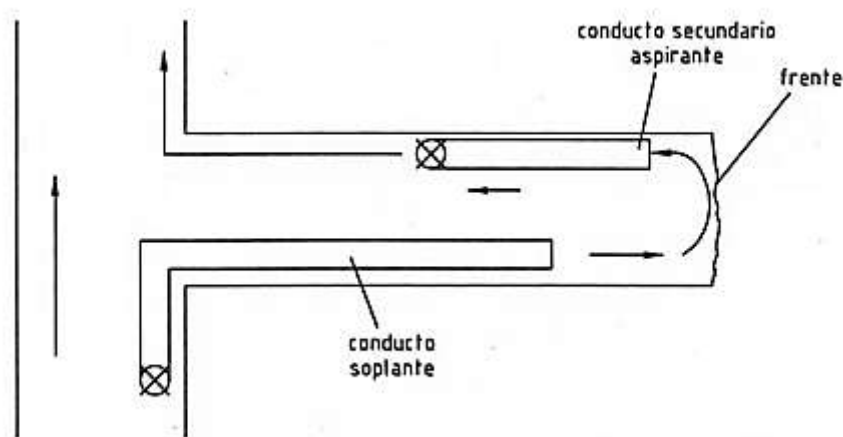
Fuente: (Zitrón, 2010)

2.2.5.3. Ventilación impelente con apoyo aspirante

(Zitrón, 2010)

Impelente con apoyo aspirante, forma parte de los sistemas mixtos también llamados sistema solapado, utiliza un ventilador auxiliar de refuerzo, situado frente a la labor, y con un tramo de conducto de poca longitud. Estos sistemas combinan las ventajas de cada sistema, consiguiendo el mejor efecto de ventilación en situaciones concretas de minería, son posibles dos configuraciones en función de que la línea principal sea la aspirante o la impelente, una línea impelente con solape aspirante consta de un sistema impelente principal con una instalación auxiliar aspirante, cuya función por lo general es la de recoger y evacuar el polvo generado del frente (Ver Figura N° 05).

Figura 5 : Ventilación impelente con apoyo aspirante



Fuente: (Zitrón, 2010)

2.2.6. Métodos de ventilación secundaria

2.2.6.1. Ventilación por difusión

Es un procedimiento lento y muy poco seguro, entre los elementos que predominan sobre esta forma de eliminar gases y polvos se pueden mencionar el área de la labor, su longitud, su orientación, y el volumen de contaminantes que debe ser evacuado. El uso del método de ventilación por difusión sólo es posible en excavaciones cuya longitud sea inferior a los 30 metros.

2.2.6.2. Ventilación mediante tabiques longitudinales

Consiste en instalar a lo largo de la labor un falso muro haciendo uso de tabiques verticales que puede ser de madera u hormigón. Con el uso de esta pared la excavación quedará dividida en dos compartimientos, para lo cual un compartimiento se utilizará para hacer llegar aire fresco al frente, mientras se evacuan por el otro los gases contaminantes. Si la

labor que vamos a ventilar es angosta, conviene colocar el tabique a modo de falso techo. En este caso, por su peso reducido, es aconsejable utilizar lona como material de construcción, empleando para su soporte los cabezales de los cuadros de entibación, o puntales colocados en el techo a distancias adecuadas.

2.2.6.3. Ventilación mediante labores paralelas

Este método requiere la excavación de una segunda labor paralela a la principal y separada de ésta unos 10 a 35 metros. Este procedimiento es muy factible utilizarlo cuando no nos interesa una gran velocidad de avance y cuando la segunda galería pueda tener aplicaciones para las necesidades posteriores de la explotación.

Nota: Este método tiene un alto costo debido a que implica llevar dos excavaciones simultáneas.

2.2.6.4. Ventilación mediante ductos

Dicho método consiste en cortar la corriente de ventilación principal por medio de reguladores atravesados por la boca del ducto, de manera que el aire se vea forzado a ingresar al interior del ducto, consiguiendo llegar al frente de trabajo.

2.2.7. Circuito de ventilación

En ventilación de minas hay dos tipos de combinación de galerías por donde fluye el flujo de los sistemas de ventilación; y son flujos en serie a través de galerías en línea y flujos en paralelo a través de galerías en bifurcaciones hacia paralelo y ambas se acoplan una después de la anterior formando una red, la cual tiene que ser calculada en volúmenes y resistencias para conocer la resistencia o estática total de la red y sus volúmenes y poder pedir el ventilador adecuado. Es decir esta red está formada por circuitos en serie y circuitos en paralelo existiendo la necesidad de convertir los circuitos en paralelo en circuitos en serie para tener un solo circuito en línea que nos dé un valor de la resistencia que vencer. (Claverías, 2014)

2.2.7.1. Circuito en serie

Se caracteriza por que la corriente de aire se mueve sin ramificaciones. Si no existen pérdidas, el caudal permanece constante. (Ver Figura N° 06).

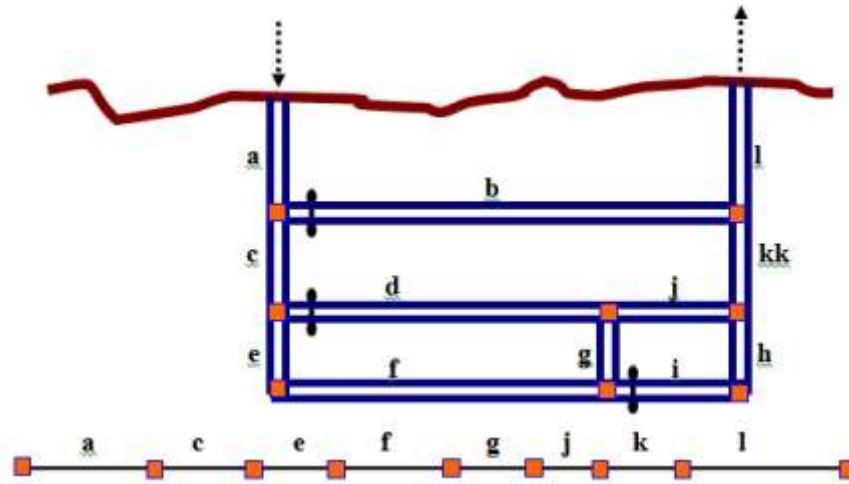
En cuanto a la resistencia aerodinámica total del sistema es igual a la suma de las resistencias parciales y la depresión total es igual a la suma de las parciales:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

$$H = H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_n$$

Figura 6 : Circuito en serie



Fuente: (Carabajo, 2015)

2.2.7.2. Circuito en paralelo

Carabajo (2015) señala que un circuito en paralelo, es un tipo de unión, las galerías se ramifican en un punto, en dos o más circuitos que se unen en otro punto.

Cuando dos o más galerías parten de un mismo punto y en el otro extremo se comunican con la atmósfera, también están en paralelo, ya que los extremos que salen a la superficie se entiende que tienen igual presión.

En este caso la conexión en paralelo es abierta, siendo cerrada cuando los puntos de división (ramificación) y unión se encuentran en el interior de la mina. (Ver Figura N° 07).

La característica básica de las conexiones en paralelo es que las depresiones de los ramales que la componen son iguales, independiente de la longitud, resistencia y cantidad de aire que circule por ellos.

$$H = H_1 = H_2 = H_3 = \dots = H_n$$

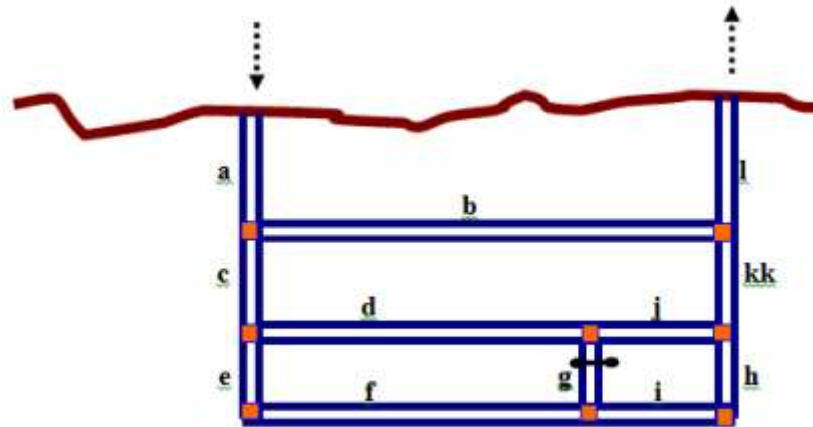
El caudal total del sistema en paralelo, es igual a la suma de los caudales parciales.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$$

La raíz cuadrada del valor recíproco de la resistencia aerodinámica del circuito, es igual a la suma de las raíces cuadradas de los valores recíprocos de las resistencias aerodinámicas parciales.

$$\frac{1}{\sqrt{R}} + \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \frac{1}{\sqrt{R_3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}}$$

Figura 7 : Circuito en paralelo

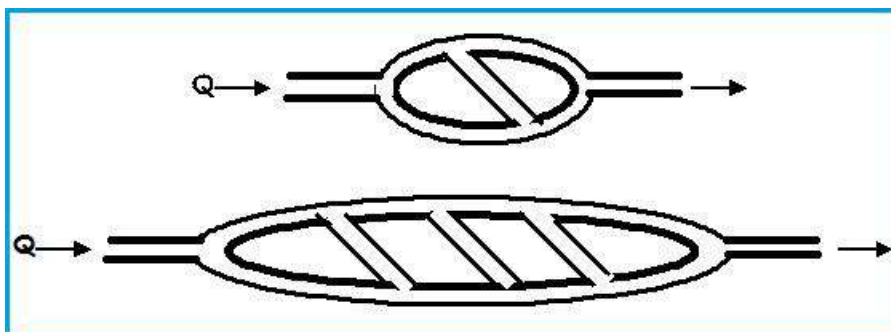


Fuente: (Carabajo, 2015)

2.2.7.3. Circuito en diagonal

Es una unión en paralelo de las labores, en la que, además, los ramales están unidos entre sí por una o varias labores complementarias, denominadas diagonales. En minería, las uniones diagonales se encuentran frecuentemente. Se dividen en diagonal simples, con una diagonal, y complejas, con dos o más. Por ejemplo, en minas con exceso de grisú, el frente se hace escalonado; todo el aire no entra por la galería del nivel inferior, sino también por las galerías intermedias (Ver Figura N° 08). (Reinoso, 2017)

Figura 8 : Circuito en diagonal



Fuente. (Reinoso, 2017)

2.2.7.4. Circuitos completos

Cuando la conexión entre las galerías se hace más complicada, no pudiendo reconocer en el circuito conexiones en paralelo, serie o diagonal, se debe recurrir a otros métodos de cálculo más completos que, generalmente, requieren ayuda de instrumentos y/o computadoras. (Sutty, 2016)

2.2.8. Métodos de Hardy Cross

La técnica que ha encontrado la más amplia difusión es el método desarrollado por Hardy Cross. Esta técnica iterativa considera un flujo de aire Q , que pasa a través de un conducto de resistencia R , en el cual se cumple la relación.

$$P = RQ^2$$

Para determinar el valor verdadero del flujo Q , el valor Q_a inicial es estimado tal que:

$$Q = Q_a + \Delta Q$$

Donde:

ΔQ es el error existente en el

Q_a asumido.

El problema ahora es encontrar el valor ΔQ a ser aplicado al valor asumido por Q_a . Si consideramos la representación real de los conductos de aire en una mina, estos no se encuentran aislados, sino integrados a una red de conductos, cuya magnitud también dependen de la extensión de la red. (Sutty, 2016)

2.2.9. Ley básica de la ventilación de minas

Las leyes del estado del flujo de aire indican que por una cantidad de aire que circule entre dos puntos, debe de existir una diferencia de presión entre estos puntos. La relación entre la diferencia de presión (P) y la cantidad de flujo (Q).

Si no existe una diferencia de presión no existe una cantidad de flujo, es decir si:

$P = 0$, $Q = 0$, mientras mayor sea P , mayor será Q , en el caso de aquel aire de mina que circula subterráneamente en donde el patrón del flujo es turbulento (es decir, como un río que fluye en los rápidos), la relación entre las dos cantidades puede expresarse en la ley cuadrática:

$$P = RQ^2$$

P : Pérdida de presión (Pa)

R : Resistencia (Ns^2/m^8)

Q : Flujo de volumen (m^3/s)

El término R de la ecuación se denomina como la resistencia del conducto de ventilación o el ducto al cual se aplica.

Si es necesario duplicar el volumen del aire que circula a través del ducto o del conducto de ventilación, la presión requerida no es el doble de la presión original sino el cuádruple, es decir 2^2 x la presión original. (Sutty, 2016)

2.2.10. Presiones de una mina

Caxi (2017)

Para determinar la magnitud de la presión artificial es necesario sumar algebraicamente las presiones componentes de los elementos de un circuito y balancear las mismas para todos los circuitos de una red de ventilación. Esta presión se denomina generalmente presión total de la mina y se representa:

$$P_t (\text{mina}) = P_s (\text{mina}) + P_v (\text{mina})$$

2.2.11. Presión estática

La presión estática es la presión ejercida por el aire en las paredes del ducto, la cual tiende a forzarlas a expandirse. Es la cantidad total de energía necesaria para vencer las pérdidas de presión de un ducto:

$$P_s = P_p = P_f + P_x$$

2.2.12. Presión de velocidad

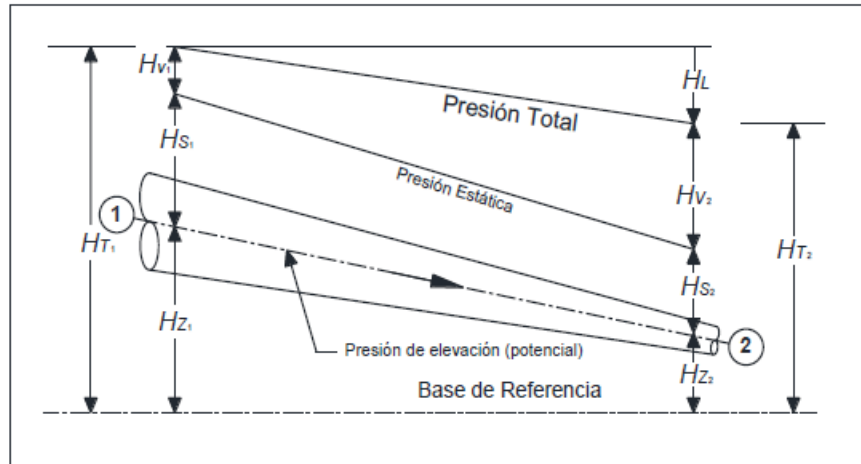
La presión de velocidad se define como la presión resultante del movimiento del aire. Mientras más rápido se mueve el aire, o mientras mayor sea la velocidad del aire, mayor será la presión de la velocidad del aire y viceversa. Es la cantidad de energía necesaria para vencer las pérdidas por cambio en el diámetro del ducto expresada en términos de velocidad del aire en la descarga:

$$P_v = V^2 / 2g$$

2.2.13. Pérdida de presión por fricción.

En ventilación de minas la pérdida de presión por fricción representa del 70 % al 90 % de la presión total de la mina, consiguientemente será muy útil determinar con la suficiente precisión utilizando los coeficientes apropiados. (Ver Figura N° 09).

Figura 9 : Gradiente de presiones



Fuente: (Caxi, 2017)

2.2.14. Formula de Atkinson

El valor de la resistencia (R) depende de ciertas características del conducto de ventilación o del ducto; por ejemplo, si uno de los conductos de aire cuenta con un área pequeña y otra grande todos los factores son constantes, el aire circula con mayor facilidad a través del segundo conducto de ventilación. En otras palabras mientras el conducto de ventilación sea de mayor tamaño, más baja será la resistencia (R) del conducto.

Si en un conducto el aire debe friccionar contra un área o superficie de mayor tamaño, la resistencia será mayor en el conducto con la superficie de fricción de mayor tamaño. La superficie de fricción se calcula multiplicando la circunferencia por la longitud.

Finalmente si las paredes de un conducto son lisas y las del otro son ásperas y el resto de los factores son iguales, la resistencia del conducto liso será menor que la del conducto áspero, es decir, el factor de fricción depende de la naturaleza de la superficie del conducto de ventilación.

La fórmula de Atkinson considera estos factores y expresa:

$$P = \frac{KCLQ^2}{A^3} \times \frac{W}{1.2}$$

$$P = \frac{KCLV^2}{A} \times \frac{W}{1.2}$$

P= Pérdida de presión (Pa).

C = Perímetro (m).

L = Longitud (m).

A = Área (m²).

Q = Flujo de cantidad (m³/s).

V = Velocidad (m/s).

K = factor de fricción (Ns²/m⁴).

w = Densidad del aire (kg/m³).

Cualquiera de las ecuaciones es correcta puesto que:

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{y} \quad V^2 = \frac{Q^2}{A^2}$$

El término w/1.2 está incluido en la fórmula Atkinson para expresar que los requisitos de presión dependen de la densidad del aire.

Obviamente, se requerirá de mayor presión para hacer circular aire más pesado (de mayor densidad) a través del sistema. De hecho, los requisitos de presión son directamente proporcionales con la densidad del aire ($p \propto w$).

2.2.15. Factores de fricción


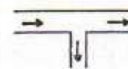

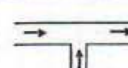
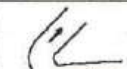


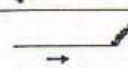
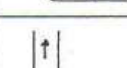
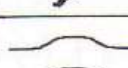
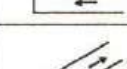


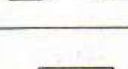
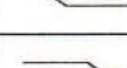
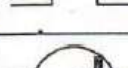
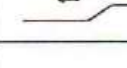
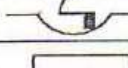
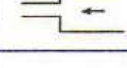
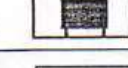
Los valores de K son determinados por las mediciones en diferentes galerías, tipos de rocas y sinuosidades y es un tanto laborioso obtenerlo en las galerías, por lo que obtenemos de una tabla elaborada, la cual hay que corregir por la densidad del aire de la mina para obtener K corregido a nivel de la mina esto es.

$$K_{\text{corregido}} = K \left(\frac{W}{1.2} \right)$$

2.2.16. Pérdidas por choque

Las pérdidas por choques son de origen local, producidas por turbulencias, remolinos, frenadas del aire al enfrentar diversos accidentes dentro del circuito. Los accidentes son cambios de dirección, entradas, contracciones, etc. También dependen de la velocidad y del peso específico del aire, (Ver: tabla N°2)

Tabla 2 : Cargos equivalentes en pies (le) para varias fuentes de pérdidas por choque (Le en pies)

FORMA		Le	FORMA		Le
	CURVA OBTUSA REDONDEADA	0.5		BIFURCACION	230
	ANGULO RECTO REDONDEADO	1		JUNTURA	80
	CURVA AGUDA REDONDEADA	3		ENTRADA	3
	CURVA OBTUSA QUEBRADA	15		DESCARGA	65
	ANGULO RECTO QUEBRADO	70 °		PASO SOBRE NIVEL (OPTIMO)	1
	CURVA AGUDA QUEBRADA	150		PASO SOBRE NIVEL (BUENO)	65
	CONTRACCION GRADUAL	1		PASO SOBRE NIVEL (MALO)	290
	EXPANSION GRADUAL	1		HUECO PARA PUERTA	70
	CONTRACCION ABRUPTA	10		CARRO O JAULA 20 % AREA DEL CONDUCTO	100
	EXPANSION ABRUPTA	20		CARRO O JAULA 40 % AREA DEL CONDUCTO	500

Fuente: (Sutty, 2016)

2.3. Definiciones conceptuales de la ventilación de minas

2.3.1. Aire atmosférico

El aire atmosférico es una mezcla de una serie de gases, cada uno de los cuales tiene propiedades físicas y químicas propias. Los componentes principales del aire atmosférico puro son oxígeno y nitrógeno, existiendo además porcentajes pequeños de gases raros (argón, neón y helio) así como un porcentaje variable de dióxido de carbono. (Ver: Tabla 03)

La composición del aire puro seco es:

Tabla 3 : Composición del aire atmosférico

	% En Volumen	% En Peso
Nitrógeno	78.09	75.53
Oxígeno	20.95	23.14
Dióxido de carbono	0.03	0.046
Argón, helio, neón, etc.	0.93	1.284
Total	100	100

Fuente: Ventilación de minas – Alejandro Novitzky.

2.3.2. Aire de mina

Es una mezcla de gases y vapores, generalmente con polvo en suspensión que ocupa el espacio creado por las labores subterráneas.

Se trata de aire atmosférico, que al ingresar a la mina sufre una serie de alteraciones en su composición. Si las alteraciones son tan pequeñas que el aire puede ser considerado como atmosférico, nos referimos a él como aire fresco o de ingreso, mientras que el aire contaminado será descrito como aire viciado o de retorno. Durante su paso a través de la mina, el aire recoge algunos gases, calor y el polvo producido por las operaciones mineras. Simultáneamente debido a la presencia de los trabajadores y de materiales en el interior de la mina, el aire pierde parte de su oxígeno. Durante el invierno, cuando el aire en el exterior de la mina es relativamente seco, absorberá además la humedad de la atmósfera de la mina. Durante el verano el proceso se invertirá, razón por la cual la mayoría de las minas tienden a secarse durante el invierno y volverse húmedas durante el verano. (Ver tabla 04).

Tabla 4 : Oxígeno consumido por los seres humanos

Grado de actividad del hombre	Velocidad de respiración/min	Aire inhalado cada vez que respira (pulg3)	Aire total inhalado (pulg3/min)	Oxígeno consumido (pie3/min)	Cociente de respiración
En reposo	12 – 18	24 – 43	300 – 800	0,01	0,75
Moderada	30	90 – 120	2800 – 3600	0,07	0,90
Intensa	40	150	6000	0,10	1,00

Fuente:(Instituto de ingenieros de Minas del Perú, 1989)

2.3.3. Propiedades físicas del aire

2.3.3.1. Densidad del aire

Es la cantidad de masa de aire por unidad de volumen, debemos tener en cuenta que el aire caliente o de alta temperatura es de baja densidad y el aire frío o de baja temperatura es de alta densidad. Su fórmula de la densidad es la siguiente:

$$\rho = \frac{m}{v} ; Kg/m^3$$

Donde:

ρ = Densidad del aire en Kg/m³

m = masa en Kg

v = Volumen en m³

2.3.3.2. Peso específico

Es la correlación entre el peso de un elemento y el volumen. Su fórmula del peso específico es la siguiente:

$$\gamma = \frac{G}{V}$$

(Troncoso, R. 2004).

En la ventilación de minas se utiliza el peso específico standard = 1,2 kg/m³ que es el peso de 1 m³ de aire, con la presión de 1 atm., temperatura de 15°C y humedad de 60%.

El peso específico indica también cuántas veces un gas es más pesado o más liviano que el aire.

2.3.3.3. Volumen específico

Es el volumen ocupado por un kilogramo de aire a presión y temperaturas asignadas, la fórmula del volumen específico es la siguiente:

$$V = 1/\gamma \quad ; \quad m^3/Kg$$

2.3.3.4. Peso del aire (G)

$$G = V \cdot \gamma$$

Donde:

G = Peso del aire en Kg

V = Volumen del aire en

γ = Volumen específico en m³/Kg

2.3.3.5. Presión

(Troncoso, 2004).

La presión de un gas se expresa en atmósferas absolutas o atmósferas técnicas.

Por una atmósfera absoluta se entiende la presión $p_0 = 1,0333 \text{ Kg/cm}^2$ de una columna de 760 mm de mercurio a 0°C y al nivel del mar. Con el cambio de la altura sobre el nivel del mar y de la temperatura, la presión "p" cambia según la relación siguiente:

$$\text{Log} * p = \text{Log} * p_0 - \frac{a}{18,04 - 0,667t}$$

Donde:

p = Presión en la altura en mm de mercurio.

p_0 = 760 mm de mercurio, presión al nivel del mar

a = Altura sobre el nivel del mar en m

t = Temperatura media del aire entre el nivel del mar y el punto considerado en °C

Como en la ventilación de minas las presiones encontradas tienen valores muy pequeños, estas presiones se miden en kilogramos por metro cuadrado (kg/m²) o en milímetro de columna de agua (mm. c.a.) los que numéricamente son iguales conforme a la definición hecha de la atmósfera técnica o métrica.

La transformación en mm de columna de agua de la presión atmosférica expresada en mm de mercurio se hace multiplicando los mm de mercurio por el peso específico de éste = 13,6 kg/m³

La presión de una labor minera es:

$$p = p_0 + \gamma * h/13,6 \quad \text{En mm de mercurio.}$$

Donde:

p_0 = Presión en la superficie en mm de mercurio.

13,6 = Peso específico del mercurio kg/lt.

h = Profundidad de la labor en m.

γ = Peso específico

Con el aumento de profundidad, la presión aumenta en 9 a 10mm de mercurio cada m. así en una mina profunda a 3.000 m, la presión es: $p = 760 + 9,5 * 3.000/100 = 1.045$ mm de mercurio, mayor que la presión normal en 33,5%.

2.3.3.6. Temperatura

(Troncoso, 2004).

La temperatura del aire se expresa en las minas, en grados Celsius.

A veces se utiliza también la temperatura absoluta. La relación entre ambas es:

$$T = t + 273 \text{ } ^\circ\text{K (Grados Kelvin).}$$

Donde:

t = Temperatura en $^\circ\text{C}$

T = Temperatura en $^\circ\text{K}$.

Por la temperatura normal en ventilación de minas se toman 15 $^\circ\text{C}$

2.3.3.7. Calor específico

(Troncoso, 2004)

Es la cantidad de calor, en calorías, que se necesitan para calentar 1 Kg. de gas de 0 a 1 $^\circ\text{C}$.

Para calentar G Kg. de gas de la temperatura t_1 a t_2 se necesitan W calorías.

$$W = G C (t_2 - t_1)$$

Se diferencia el calor específico del aire a presión constante $C = 0,24$ y a volumen constante $C = 0,17$ kcal (Kg. grado). El calor específico del agua es de 0,46 kcal/kg.

2.3.3.8. Viscosidad

(Troncoso, 2004)

Es la resistencia del aire a los esfuerzos tangenciales. En los cálculos de ventilación, se utiliza el coeficiente cinemática de viscosidad " Ω " m²/seg. Para el aire a $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Omega = 1,44 \cdot 10^{-5}$ m²/seg.

2.3.3.9. Humedad del aire

Es la cantidad de vapor de agua contenida en un metro cúbico de aire. Se llama aire saturado cuando el aire contiene el máximo vapor de agua para cualquier temperatura y se expresa en porcentaje (%). En la práctica para medir la humedad relativa del aire se realiza a través del psicrómetro.

Según la ley de Dalton:

$$P_T = P_a + P_v$$

P_a = presión parcial del aire seco

P_v = presión parcial del vapor.

La humedad absoluta es el contenido de vapor de agua, en gramos en 1 m³ de aire. Cuanto mayor es la temperatura del aire, tanto más vapor de agua puede contener.

2.3.4. Gases presentes en mina

El aire es una mezcla de varios gases, cuya composición es aproximadamente:

Oxígeno (O₂) 20,93%, Nitrógeno (N₂) 78,10%, Argón (Ar) 0,9325%, Dióxido de carbono (CO₂) 0,03%, Hidrógeno (H₂) 0,01% Neón (Ne) 0,0018%, Helio (He) 0,0005% Kriptón (Kr) 0,0001% y Xenón (Xe) 0,000009%. (Zitrón, 2010, p.59)

2.3.4.1. Dióxido de carbono (CO₂)

Es el resultado final de la combustión completa del carbono. Es un gas asfixiante, incoloro, es soluble en el agua, tiene un sabor y un olor (en altas concentraciones) ligeramente ácido, es incombustible y pesa más que el aire. Para su detección se usa la lámpara de seguridad, detectores automáticos de lectura digital y tubos colorimétricos. Se forma en grandes cantidades en los incendios de mina y en las explosiones de grisú y polvo de carbón. Se tiende a acumular en los lugares bajos de las labores. (Zitrón, 2010, p.59)

2.3.4.2. Monóxido de carbono (CO)

Es el resultado de la combustión incompleta del carbono. Es altamente tóxico, incoloro, inodoro, insípido y es combustible. Se detecta con detectores automáticos de lectura digital y tubos colorimétricos. Suele aparecer por rozamientos, calentamientos, explosiones o cualquier proceso en el que falte el oxígeno. Rara vez se presenta en solitario ya que suele venir acompañado de otros gases. (Zitrón, 2010, p.59)

2.3.4.3. Oxígeno (O₂)

Peso específico = 1.11 kg/m³.

El oxígeno es un gas muy activo, se necesita para la respiración y la combustión. Es incoloro, inodoro, insípido y ligeramente más pesado que el aire.

Aunque estamos acostumbrados a respirar aire que contiene 21% de oxígeno, el cuerpo humano puede funcionar en atmósferas mayores o menores de este gas.

Sin embargo, cuando el contenido de oxígeno baja hasta 16% (1 atm de presión), muchas personas tienen dificultades para respirar.

Cuando el contenido de oxígeno baja hasta 10% muchas personas pierden el conocimiento.

Las principales causas de la disminución de oxígeno en el aire de mina son: procesos de oxidación lenta de materiales orgánicos (madera, combustibles, rocas) desprendimiento de gases por los carbones y las rocas.

2.3.4.4. Sulfuro de hidrógeno (SH₂)

Se origina en la descomposición de piritas y sustancias que contengan azufre. Es un gas muy tóxico, provoca irritaciones en las mucosas de los ojos y conductos respiratorios, inflamación del aparato respiratorio, edema pulmonar y parálisis respiratoria irreversible. Es incoloro, tiene un sabor azucarado y un olor a huevos podridos, pesa más que el aire y por encima de una concentración del 4 % es explosivo. Se detecta con detectores automáticos de lectura digital y tubos colorimétricos. (Zitrón, 2010, pp.59-60)

2.3.4.5. Dióxido de azufre (SO₂)

Se produce por la combustión de compuestos de azufre. Es tóxico, puede producir edemas pulmonares muy graves y quemaduras en ojos y piel. Es un gas incoloro con un olor picante y a -10° C (10 bajo cero) es líquido. Detección por medio de tubos colorimétricos. Es el causante de la llamada "lluvia ácida". (Zitrón, 2010, p60)

2.3.4.6. Hidrógeno (H₂)

En la minería aparece en estado libre, también lo encontramos en la descomposición del ácido sulfúrico en las salas de baterías. Si se apaga con agua el carbón incandescente también se puede formar hidrógeno. Al reaccionar con el oxígeno es explosivo en algunas ocasiones, siendo la concentración más peligrosa la compuesta por 71 % de aire y 28 % de hidrógeno, siendo en este caso más inflamable que el grisú. Es también un gas asfixiante, incoloro, inodoro, insípido y más ligero que el aire. Los taxímetros y los tubos colorimétricos se usan para detectarlo. (Zitrón, 2010, p60)

2.3.4.7. Óxidos nitrosos (NO + NO₂)

Son gases que raramente se presentan separados NO+NO₂. Son óxidos de nitrógeno que son habituales en las voladuras. Son tóxicos y pueden llegar a producir la muerte por edema pulmonar. Son de color pardo rojizo (en elevadas proporciones) y de olor acre.

Los tubos colorimétricos son los usados para detectarlos. Hay que poner especial cuidado en disolverlos bien después de la pega. (Zitrón, 2010, pág. 60)

2.3.5. Polvos de mina

Durante el desarrollo de las actividades mineras, las partículas de polvo están presentes ya sea en pequeñas o en grandes cantidades, las podemos encontrar en el aire como partículas en suspensión, techos, pisos y paredes a lo largo de las labores y esto se debe a los trabajos constantes que se realizan a diario para cumplir con la producción planificada. Estas partículas de polvo según el tamaño que presenten, según su composición y concentraciones pueden significar un peligro para la salud del personal que está expuesto a diario en el desarrollo de estos trabajos.

Es por ello que en las operaciones mineras debe tenerse en cuenta el cuidado de la salud de los trabajadores y para que eso suceda debe hacerse todo lo posible de minimizar las concentraciones de partículas de polvo con una buena ventilación que puede ser natural o artificial, caso contrario para evitar que el personal inhale estas partículas se debe reducir el tiempo en el que el trabajador está expuesto a los lugares donde el aire contaminado está presente.

2.3.6. Clasificación de los ventiladores

Con el desarrollo de la ciencia aerodinámica, en los años posteriores a la segunda guerra mundial se desarrollaron los primeros ventiladores de flujo axial, es decir, los ventiladores axiales, los cuales son los más utilizados, en la actualidad y a nivel global, para mover grandes caudales de aire en los trabajos subterráneos, operando -dichas unidades- tanto en interior mina, como en superficie. Los ventiladores de tipo centrífugo, actualmente son ampliamente utilizados en Sistemas de Ventilación Industrial dado su capacidad de generar altas caídas de presión con caudales relativamente bajos.

Los ventiladores se dividen en el sentido más general en 3 tipos: Ventiladores de hélice, axiales y centrífugos. Para cada uno de estos tipos se pueden disponer con variedad de posiciones de descarga y distintos tipos de accionamiento del rodete. (Zitrón, 2010, pág. 7)

2.3.6.1. Ventilador centrífugo

El ventilador centrífugo consiste en un rotor encerrado en una envolvente de forma espiral; el aire, que entra a través del ojo del rotor paralelo a la flecha del ventilador, es succionado por el rotor y arrojado contra la envolvente se descarga por la salida en ángulo recto a la

flecha; puede ser de entrada sencilla o de entrada doble. Son ventiladores de flujo radial. La trayectoria del fluido sigue la dirección del eje del rodete a la entrada y está perpendicular al mismo a la salida. Si el aire a la salida se recoge perimetralmente en una voluta, entonces se dice que el ventilador es de voluta.

En un ventilador de entrada doble, el aire entra por ambos lados de la envolvente succionado por un rotor doble o por dos rotores sencillos montados lado a lado. Los rotores se pueden clasificar, en general, en aquellos cuyos álabes son radiales, o inclinados hacia adelante, o inclinados hacia atrás del sentido de la rotación. (Ver Figura N° 10).

(Zitrón, 2010, págs. 7 - 8)

Figura 10 : Ventilador centrífugo



Fuente: (Zitrón, 2007)

2.3.6.2. Ventilador de hélice

Este ventilador está formado por un rodete dentro de un anillo o carcasa de montaje. La dirección de la corriente de aire es paralela a la flecha del ventilador. Se emplea para movilizar aire en circuitos cuya resistencia es muy pequeña. Puede manejar grandes volúmenes de aire a una presión estática baja. (Ver Figura N° 11).

(Zitrón, 2010, pág. 9)

Figura 11 : Ventilador de hélice



Fuente: (Zitrón, 2010)

2.3.6.3. Ventilador axial

El ventilador axial es de diseño aerodinámico. Este tipo de ventilador consiste esencialmente en un rodete alojado en una envolvente cilíndrica o carcasa. La adición de álabes-guía, detrás del rotor, convierte al ventilador turbo-axial en un ventilador axial con aletas guía.

Puede funcionar en un amplio rango de volúmenes de aire, a presiones estáticas que van de bajas a moderadamente altas y es capaz de desarrollar mayores presiones estáticas que el ventilador centrífugo a la vez que es mucho más eficiente. Los álabes-guía, en la succión o en la descarga, o en ambas partes, se han añadido para enderezar el flujo del aire fuera de la unidad a la vez que sirven de apoyo en el diseño. (Ver Figura N° 12).

(Zitrón, 2010, pág. 10)

Figura 12 : Ventilador axial



Fuente: (Zitrón, 2010)

2.3.6.4. Comparación de un ventilador axial frente a un centrífugo

- Los ventiladores centrífugos pueden llegar a tener un rendimiento muy alto sobre un rango muy reducido y solo sobre una curva característica, mientras que los ventiladores de tipo axial presentan mejor eficiencia en un amplio rango de puntos de funcionamiento.
- Los ventiladores de tipo axial presentan rendimiento mecánico, debido a que los ventiladores centrífugos transmiten el movimiento desde motor al rodete con transmisión por correas o mediante otros tipos transmisiones. Esto implica una serie de complicaciones adicionales frente a un ventilador axial, ya que además de la pérdida de rendimiento por transmisión, podrían aparecer más frecuentemente fenómenos de vibraciones debido a que es un sistema mecánico más complejo.

2.3.6.5. Definición del software ventsim

En el desarrollo de las operaciones mineras de manera subterránea, la ventilación es una de las principales preocupaciones que se viene dando desde tiempos muy remotos, gracias a los avances tecnológicos existen los modelos computarizados que facilitan realizar simulaciones de los caudales de aire que ingresan y salen de las labores, entre ellos el Software Ventsim.

Ventsim™ Design busca realizar el diseño y posteriormente realizar la simulación de una red de ventilación minera, un proceso abordable por cualquier ingeniero en minas o funcionario de ventilación, incluso para personas sin vasta experiencia en el área.

El software Ventsim Design proporciona al usuario las herramientas para:

- Simular y entregar un registro de caudales existentes en la mina.
- Ejecutar simulaciones para el desarrollo de nuevos proyectos.
- Ayudar a planificar los requerimientos de ventilación en el corto y largo plazo.
- Simular escenarios posibles de ventilación.

CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

3.1. Formulación de la hipótesis

El nivel de ventilación en el sub nivel 058 de la Unidad Minera Troy presenta deficiencia, ya que algunos gases están por debajo de los requerimientos de la normatividad vigente. La manera de incrementarla es proponiendo un diseño y en ello instalar un ventilador de 10 000 cfm.

3.2. Variable de estudio

Evaluación del sistema de ventilación

3.3. Operacionalización de la variable de estudio

Tabla 5 : Operacionalización de la variable de estudio

VARIABLE DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Evaluación del Sistema de ventilación	Es el proceso mediante el cual se hace circular aire en calidad y cantidad necesaria para asegurar una atmósfera respirable y segura para el desarrollo de los trabajos.	Caudal	m ³ /min
		Velocidad de aire	m/s
		Gases presentes	
		○ CO	PPM
		○ NO ₂	PPM
		○ CO ₂	%
		○ O ₂	%
		Temperatura	Grados Celsius (°C).
Área de las labores	m ³		

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Tipo de diseño de investigación

El diseño de investigación es descriptiva ya que el propósito del presente proyecto de investigación es realizar el estudio de ventilación en el sub nivel 058 en la Unidad Minera Troy para identificar las principales problemáticas y ejecutar soluciones.

4.2. Material de estudio

4.2.1. Unidad de estudio

El sub nivel 058 de la Unidad Minera Troy S.A.C.

4.2.2. Población

Los sub niveles de la Unidad Minera Troy S.A.C.

4.2.3. Muestra (muestreo o selección)

Tres frentes de trabajo del sub nivel 058 de la Unidad Minera Troy S.A.C

4.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos

4.3.1. Para recolectar datos

Para realizar la recolección de datos se llegó a establecer 11 puntos de monitoreo en el Sub Nivel 058 de la Unidad Minera Troy S.A.C., posteriormente con los datos de monitoreo obtenidos se ingresaron a una base de datos para realizar su respectivo procesamiento, el proceso realizado se detalla a continuación.

4.3.1.1. Procedimiento

- Se realizó las medidas de las labores del sub nivel 058 para el cálculo de las áreas de las labores para ello se consideró ancho y altura.
- Se definió 11 puntos de monitoreo para realizar mediciones de gases, temperatura y velocidad de aire.
- Para obtener datos más precisos los equipos tenían que estar correctamente calibrados, para ello se realizó la calibración de equipos con la ayuda del personal encargado del manejo de los equipos.
- Para el monitoreo de velocidad de aire en el sub nivel 058 se utilizó el equipo llamado (Anemómetro Lutrón Electronic Ent. CO., LTD.)
- Para el monitoreo de gases presentes en las labores del sub nivel 058 se utilizó el equipo llamado (Detector Multigas Altair 5x).

4.3.1.2. Instrumentos utilizados

Los instrumentos que se utilizó para medir los parámetros del sistema de ventilación son los siguientes:

Tabla 6 : Equipos utilizados

PARÁMETROS	EQUIPOS
Velocidad de aire	Anemómetro Lutrón Electronic Ent. CO., LTD. Modelo : AM -4206 Serial N° : AF.22414
Temperatura	Anemómetro Lutrón Electronic Ent. CO., LTD. Modelo : AM -4206 Serial N° : AF.22414
Monóxido de carbono (CO) Dióxido de carbono (CO ₂) Dióxido de nitrógeno (NO ₂) y Oxígeno (O ₂).	ALTAIR 5X

Fuente: Elaboración propia

Fotografía 1 : Instrumentos utilizados

A la izquierda, equipo de medición de la velocidad de aire y temperatura; a la derecha equipo Detector Multigas Altair 2x (Monóxido de Carbono, Dióxido carbono, Dióxido de Nitrógeno y Oxígeno).



Fuente: Fotos tomadas por los autores

4.3.1.3. Para analizar información

Luego de procesar la base de datos obtenidas del monitoreo de ventilación en el sub nivel 058 de la Unidad Minera Troy S.A.C. se realizaron cuadros comparativos para obtener que los resultados se encuentren dentro de los límites máximos permisibles según el Reglamento de Seguridad Salud Ocupacional en Minería (D.S. N° 023 – 2017 – EM) .

4.3.2. Producto de aplicación profesional

La metodología involucrada para el desarrollo de la investigación consistió en monitorear el sistema de ventilación en el sub nivel 058 de la unidad minera Troy S.A.C. para lo cual se estableció 11 puntos de monitoreo. Para ello se siguieron los siguientes pasos:

➤ Cálculo de áreas

Para realizar el cálculo de las áreas se realizó el reconocimiento de las labores del sub nivel 058, para luego definir los puntos de monitoreo y posteriormente realizar el cálculo del área; Se debe tener en cuenta que para calcular el área de la labor ancho y altura.

$$\text{Área} = \text{Base} * \text{Altura}$$

Tabla 7 : Cálculo de áreas del sub nivel 058

Sub nivel	Puntos de monitoreo	Ancho	Alto	Área
058	P1	1.3	1.9	2.47
	P2	1.2	2.4	2.88
	P3	1.2	2.4	2.88
	P4	2.2	2.5	5.5
	P5	1.2	2.4	2.88
	P6	1.2	2.05	2.46
	P7	1.2	2.05	2.46
	P8	1.2	1.5	1.8
	P9	1.3	2.2	2.86
	P10	1.5	2.5	3.75
	P11	1.3	2.2	2.86
PROMEDIO		1.35	2.19	2.98

Fuente: Elaboración propia

➤ **Cálculo de la velocidad de aire**

Para realizar los cálculos respectivos de la velocidad de aire se establecieron puntos de monitoreo para luego hacer uso de uno de los equipo llamado Anemómetro Lutrón Electronic Ent. CO., LTD.

Se consideraron 11 puntos de monitoreo, a los cuales se les calculó el promedio para hallar la muestra representativa.

➤ **Calculo de flujo de aire**

Equipos de muestreo

Anemómetro Lutrón Electronic Ent. CO., LTD.

El anemómetro, es un equipo liviano, manipulable, fácil de transportar. Con el anemómetro se midió la velocidad y la temperatura del aire. Los datos obtenidos en todos los punto de monitoreo se procedió a pasar manualmente al Excel como trabajo de gabinete, también pueden ser transmitidos directamente a un ordenador y evaluados allí (el envío contiene software en lengua inglesa y un cable de datos). De esta forma ahorra tiempo al evitar tener que tomar fastidiosas notas de los valores así como posibles fallos al transmitir los datos. La rueda alada externa (conectada a un cable de 1,5 m) hace aumentar la movilidad y flexibilidad en una medición exacta de la velocidad del aire.

Fotografía 2 : Anemómetro Lutrón Electronic Ent. CO., LTD.



Fuente: Foto tomada por los autores

Detector Multigas Altair 5x

El equipo Detector Multigas Altair 5x es un equipo capaz de medir hasta 6 gases simultáneamente, ofrece el tiempo de respuesta más rápido, mejor estabilidad, precisión, mayor vida útil y mayor costo-beneficio durante la vida útil del instrumento.

Fotografía 3 : Medición de la velocidad de aire



Fuente: Foto tomada por los autores

➤ **Cálculo de temperatura**

Para calcular la temperatura promedio se tomaron 11 puntos de monitoreo en el sub nivel 058 haciendo uso del Anemómetro Lutrón Electronic Ent. CO., LTD.

Fotografía 4 : Medición de temperaturas



Fuente: Foto tomada por los autores

CAPÍTULO 5. DESARROLLO

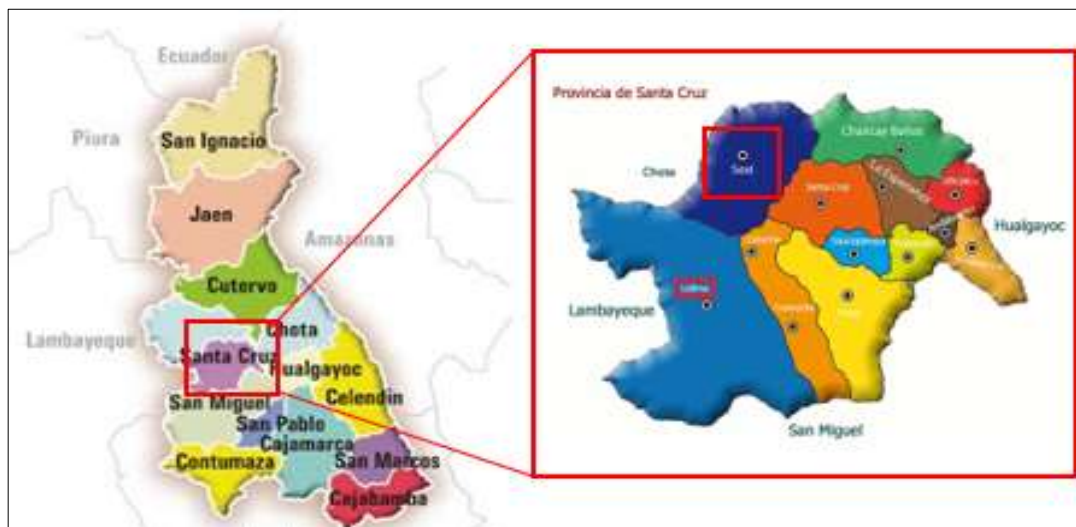
5.1. Ubicación

5.1.1. Ubicación geográfica del proyecto minero

Geográficamente, el Proyecto Los Pircos se encuentra ubicado en la vertiente oeste de la Cordillera Occidental de los Andes y a una distancia, en línea recta, de 78 Km al N 75° E de la Ciudad de Chiclayo; en un área comprendida entre la margen derecha del Río Chancay y margen izquierda de la quebrada Cirato. Las coordenadas UTM representativas son: 713 980 E y 9 267 500 N, altitud promedio de 2,250 m.s.n.m. (Hoja 14 – e, Carta Nacional 1:100,000).

Políticamente, se encuentra en el caserío Corral Viejo, Distrito de Sexi, Provincia de Santa Cruz y Departamento de Cajamarca. Lámina 1, Plano Ubicación General del Proyecto. (Ver Figura N° 10).

Figura 13 : Ubicación de la Unidad Minera Troy



Fuente: Extraída de los datos del Proyecto Los Pircos, Minera Troy S.A.C.

Minera Troy S.A.C. es titular de las concesiones mineras denominadas CIRATO 3, 4 y CIRATO 5, las cuales conforman el Proyecto Los Pircos.

Tabla 8 : Coordenadas UTM de los vértices del CIRATO 3.

Coordenadas UTM (M) CIRATO 3- WGS 84		
Vértice	Norte	Este
1	9 269 636.53	713 744.65
2	9 267 636.54	713 744.65
3	9 267 636.48	709 744.70
4	9 269 636.47	709 744.70

Fuente: Extraída de los datos de Minera Troy S.A.C.

Tabla 9 : Coordenadas UTM de los vértices del CIRATO 4.

Coordenadas UTM (M) CIRATO 4 – WGS 84		
Vértice	Norte	Este
1	9 267 636.52	712 744.66
2	9 265 636.53	712 744.66
3	9 265 636.49	709 744.70
4	9 267 636.48	709 744.70

Fuente: Extraída de los datos de Minera Troy S.A.C.

Tabla 10 : Coordenadas UTM de los vértices del CIRATO 5.

Coordenadas UTM (M) CIRATO 5 – WGS 84		
Vértice	Norte	Este
1	9 267 636.56	715 744.62
2	9 265 636.57	715 744.62
3	9 265 636. 53	712 744.66
4	9 267 636.52	712 744.66

Fuente: Extraída de los datos de Minera Troy S.A.C.

5.1.2. Accesos al proyecto minero

Para acceder al Proyecto se pueden emplear dos rutas cuyas descripciones, distancias y tiempos, se detallan en las siguientes Tablas (4 – 5).

Tabla 11 : Ruta 1 al Proyecto Los Pircos

Localidades	Km	Tipo de vía	Tiempo
Chiclayo - Chongoyape	60	Asfaltada	1h:00
Chongoyape - Cumbil	21	Asfaltada	0h:30´
Cumbil - La Colmena	57	Asfaltada	1h:40´
La Colmena - Sexi - Los Pircos	29	Trocha Carrozable	1h:30´
Chiclayo - Los Pircos	167		4h:40´

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12 : Ruta 2 al Proyecto Los Pircos

Localidades	Km	Tipo de vía	Tiempo
Cumbil - Catache – Puente Lipor	37	Asfaltada (Regular)	1h:30´
Puente Lipor - Los Pircos	20	Afirmada Parcialmente	1h:00
Chiclayo - Los Pircos	138		4h:00´

Fuente: Elaboración Propia

5.1.3. Temperatura

Las referencias históricas de la zona de Pircos indican que los valores máximos de la temperatura promedio diaria alcanzan valores de 26°C en las partes bajas y en las alturas, es de 22°C; mientras que los promedios mínimos alcanzan los 10°C. Los valores extremos bajos llegan hasta los 5°C, en las partes altas. En el mes de mayo del 2004 se registraron temperaturas de 20°C como valor máximo y mínimo de 16°C.

5.1.4. Historia del proyecto minero

La unidad de explotación y producción minera Troy S.A.C, posee estructuras vetiformes de cuarzo, de las cuales las más importantes son las vetas: Diana, Juana Sofía, Milagros, Maribel, Amelia y Rosa Victoria. Los trabajos de exploración geológica a detalle se iniciaron en el año 2000, bajo la Gerencia de CMB después de firmado el contrato de asociación a riesgo compartido con Minera Meridian Perú S.A.C.

Entre octubre del 2000 y septiembre del 2001 se realizó una campaña de exploración con trincheras en las vetas Diana, Maribel, Juana Sofía, Milagros y Amelia. En el año 2002 se inició una campaña de sondajes en las vetas Diana y Maribel.

En el año 2004 se descubrieron las vetas Karina y Lesly, además de otras zonas con potencial exploratorio tales como la proyección al sur de la veta Rosa Victoria y la intersección del sistema de vetas Diana con la falla Cirato.

En el año 2005 se han realizado trincheras en las vetas Lesly, Karina y Blanca. En septiembre se iniciaron las labores subterráneas donde se reconocieron las vetas Ruth, Diana y Angélica.

Para el año 2006 se ejecutarán; labores mineras en el sistema Diana, habiéndose programado un total de 2 350 m de labores mineras en las vetas Diana, Isabel y Angélica. Adicionalmente se realizarán 1 500 m de perforación diamantina en superficie y se explorará en superficie en la veta Rosa Victoria Sur y la intersección de las vetas/falla Diana y Lesly.

La mina de la Empresa Minera Troy S.A.C fue explorada desde la época; “Los derechos mineros que conforman El Proyecto Minero “Los Pircos – Cirato 45” (ubicado en el sector denominado Corral Viejo, distrito de Sexi, provincia de Santa Cruz, Cajamarca) fueron de propiedad de Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. hasta el mes de enero de 2008, fecha en la que se transfirieron a Inversiones Troy S.A.C.

A partir de esta fecha Inversiones Troy S.A.C. inicio su trabajo de exploración y a partir de enero del 2010 inicia sus labores de producción, llevando una eficiencia de 85 % de recuperación de ley de toda la extracción, además de producir en un inicio de 20 a 25 Toneladas por día, esta cifra ha cambiado a la actualidad realizando una extracción de 50 toneladas por día.

5.2. Aspectos geológicos y desarrollo

5.2.1. Geología Regional

Los Pircos se ubica sobre una secuencia principalmente de rocas volcánicas continentales, de origen lávico y clástico, cuya composición varía de andesitas a dacitas y son conocidas como Formación Llama del Terciario inferior (Miembro inferior del Grupo Calipuy) y Formación Huambos del Terciario superior (J. Wilson y C. Guevara, 1985). La base de la columna litoestratigráfica, está constituida por unidades sedimentarias, representadas por las formaciones Chimú, Inca y Pariatambo del Cretáceo inferior a medio.

Estructuralmente se aprecia que los volcánicos Llama, yacen sobre las unidades sedimentarias de manera discordante, buzando de 10 a 15° al SW. En los alrededores de Sexi afloran las unidades líticas de los volcánicos Huambos, caracterizadas por unidades ignimbríticas y tobas recientes, que generalmente son de colores blanquecinos.

5.2.2. Geología local

En cuanto a las principales características del basamento rocoso de la zona del proyecto, se evidencian dos eventos tectónicos que han dado lugar al emplazamiento de las unidades estratigráficas existentes. El primer evento tectónico pre-terciario es un movimiento compresivo, que ha provocado el plegamiento de las rocas cretácicas, las cuales fueron erosionadas antes que se depositara la formación Llama de edad terciaria. El segundo evento tectónico es un movimiento de compresión y distensión que originó una falla profunda de rumbo NW - SE, que ha controlado el magmatismo cenozoico. En el área de estudio se han reconocido dos fallas principales, Cirato y Los Pircos - Catache, que forman parte de un sistema regional de fallas NW-SE, denominadas Corredor Estructural San Pablo - Porculla. Las fallas Cirato y Los Pircos - Catache han controlado el origen de la mineralización y la evolución geomorfológica de este sector.

En la zona estudiada los depósitos fluvioaluviales están restringidos a pisos de valle, desembocaduras de quebradas (tal es el caso de la Pampa de Sexi), algunas terrazas y áreas planas.

5.2.3. Geología del área del proyecto

En Pircos la geología económica se restringe a estructuras de geometría vetiformes con valor promedio de 24.76 gramos de oro por tonelada, 14.63 onzas de plata y 0.60 metros de anchos.

La litología asociada son rocas tipo pórfido andesíticas correspondientes al volcánico Llama. Estas rocas son intrusivas de cuerpos lacolitos que se emplazaron dentro de las rocas sedimentarias que están metamorizadas (Cuarcitas) del Cretáceo (Grupo Gollarisquisga). Actualmente solamente quedan vestigios de estas rocas sedimentaria cerca de la mina debido a la erosión por lo cual ha quedado expuesto la forma dómica de los lacolitos. También se reconocen diques que se emplazan en las fallas como tiene la misma composición y hace difícil diferenciarlos, mucho de los diques presentan brechas en sus bordes.

5.2.4. Fisiografía

El área del proyecto ha sido fuertemente disturbada por eventos volcánicos, tectónicos y posteriormente modelados por la acción erosiva de los cursos de agua, configurando en la actualidad, profundos valles fluviales, de flancos escarpados.

Los flancos sur, oeste y norte presentan quebradas profundas, en el sector en el que se encuentra ubicado el proyecto, no existen terrenos de cultivo por la escasez de agua. La topografía del área del proyecto es accidentada, compuesta por una sucesión de cerros entre los cuales discurren los puntos de agua que forman quebradas de fuerte pendiente en la parte alta, pero que se suavizan conforme confluyen en los ríos Cirato y Chancay.

5.2.5. Geología económica

5.2.5.1. Mineralización

La mineralogía es de origen hidrotermal principalmente cuarzo, pirita, oro nativo y argentita. Por efectos de la alteración supérgena los sulfuros han pasado a conformar óxidos de fierro y manganeso además de arcillas (caolín) por la alteración de la roca encajonante.

La alteración hidrotermal predominante es la alteración propilítica pervasiva (cuarzo-adularia-clorita-calcita-pirita) y la alteración potásica (cuarzo-adularia-pirita). Aunque esta última es más bien una alteración hidrotermal de transición entre la propilítica y la potásica, no existe un control de venillas estricto en la alteración potásica.

Las texturas de mineralización presentes en Las vetas son principalmente:

- **Bandeadas:** Bandas oscuras y claras formadas por las diferentes etapas de precipitación principalmente del cuarzo hidrotermal o calcita.
- **Brechas:** Brechas hidrotermales de cuarzo conformada por una matriz de cuarzo sosteniendo fragmentos subangulosos y alterados de pórfido andesítico.

Las texturas menores que se presentan dentro de las vetas son las texturas de cuarzo por reemplazamiento: sacaroidal y lattice bladed.

Además de las vetas rellenas de cuarzo existe otras formas de mineralización:

- **Diques con diseminación de sulfuros** como la pirita y argentita tomando formas botroidales.
- **Vetas rellenas con arcillas y óxidos de fierro o manganeso** asociados a altas leyes de oro.

Tabla 13 : Principales Vetas del Proyecto Los Pircos.

ESTRUCTURA
VETA ANGÉLICA
VETA DIANA
ESTRUCTURA2
VETA MARGE
VETA YUDITH
VETA SHEYLA
VETA LUISA
VETA LUCHA-TANIA
VETA SUSANA
VETA FABIANA
VETA ROCIO
VETA ISABEL
VETA VANESSA
VETA SUSANA
VETA DALIA
VETA SANDRA
VETA DALIA-LORENA
VETA MILET
VETA MARUJA
VETA EVELIN
VETA JULIA
VETA ARACELI
VETA MARIBEL

Fuente: Extraída de los datos de Minera Troy S.A.C.

5.2.5.2. Sistema de vetas

Existen dos sistemas de vetas principales donde se asocian la mayoría de vetas reconocidas, sistema de veta Diana y el sistema de veta Angélica. En el sistema de veta de Diana se han reconocido hasta ahora las vetas Pilar, Roxana, Vanessa, Susana, María y Roció. En el sistema de vetas de Angélica se han reconocido a las vetas Dalia-Lorena, Sandra, Sheyla, Dalia, Isabel, Evelin, Araceli y Lucha Tania.

5.2.6. Geología estructural

El control estructural de las vetas económicas es de 310° de azimut principalmente, aunque también existen estructuras de rumbo norte-sur y este oeste que tienen mineralización económica importante.

5.2.7. Geomorfología

Superficies de Erosión, Pircos estaría ubicado en el flanco occidental de la cordillera occidental donde se ubicaría una superficie de erosión de 1,600 – 2,400 m.s.n.m. con una altitud general de 2,000 m.s.n.m (Wilson y Corzano, 1970). Esta superficie de erosión de 2,000 m.s.n.m. ha destruido casi completamente a la superficie superior (Ingemmet Bol N°38, 1,984).

La superficie de 2,000 m.s.n.m. representa valles relativamente maduros con lechos pocos inclinados y flancos altos y bastante empinados (Ingemmet Bol N°38, 1,984).

Drenaje, en el área cerca de Pircos el río Chancay pertenece a la vertiente Pacífica, y tiene agua perennemente (Ingemmet Bol N°38, 1,984). La quebrada Cirato cerca de la mina Pircos es afluente al río Chancay.

En el desarrollo geomorfológico de Pircos ha experimentado levantamientos de diversas fases de levantamiento y erosión durante un lapso relativamente corto de tiempo geológico (Ingemmet Bol N°38, 1,984).

Existe la relación estrecha entre el drenaje de la región y las superficies de erosión, y el hecho de que el patrón general de los ríos estaba ya establecido en el tiempo de formación de la superficie de 2,000 metros. Quiere decir que los ríos ocupan los mismos valles durante fases sucesivas del levantamiento andino, pero profundizando sus cauces conforme continuaba su ascenso (Ingemmet Bol N°38, 1,984).

En una vista más regional, es posible que existan algunos casos de captura de drenaje. Como el curso alto del río Chancay posiblemente se dirigió antiguamente hacia el río Chotano por el área de Huambos. En este caso, el cañón ocupado por el río Chancay, aguas debajo de Santa Cruz, representaría el tramo por el cual el alto Chancay fue desviado a la costa (Ingemmet Bol N°38, 1,984).

Con la excepción de posibles casos de captura de los ríos, el patrón general de drenaje ha quedado establecido desde la formación de la superficie de 2,000 m.s.n.m. y quizás antes.

Existen algunos ejemplos de control estructural de drenaje, pero es de menor importancia (Ingemmet Bol N°38, 1,984). Localmente el patrón de drenaje en Pircos es dendrítico y los agentes geodinámicos actuales de erosión son el agua y el viento que moldean el paisaje actual.

5.3. Descripción de monitoreo

5.3.1. Calculo de caudal

La demanda de aire que se requiere en el sub nivel 058 de la Unidad Minera Troy S.A.C. para los trabajos en interior mina depende únicamente de los siguientes factores:

- Del número de personas por guardia.
- Del número de equipos por guardia.
- De la cantidad de aire para la dilución de contaminantes de explosivos.
- Mantener condiciones ambientales.

5.3.1.1. Por el número de personas/guardia (Q1)

En el sub nivel 058 de la Empresa Minera Troy laboran 10 personas/guardia.

$$Q1 = q \times n \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

q: Consumo de aire por persona a una altitud de 2250 m.s.n.m. (4 m³/min).

n : Número de personas por guardia en el sub nivel 058

$$Q1 = q \times n \text{ (m}^3\text{/min)}$$

$$Q1 = 4 \times 10$$

$$Q1 = 40 \text{ m}^3\text{/min}$$

5.3.1.2. Por el uso de equipos diésel (Q2)

$$Q2 = N \times Q \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

N: Número de equipos diésel

Q : Aire requerido por HP

$$Q2 = N \times Q \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Nota:

En la Unidad Minera Troy no se utilizan equipos diésel por lo tanto Q2 se considerará 0.

5.3.1.3. Caudal de aire por la dilución de contaminantes de explosivos (Q3)

$$Q3 = A \times V \times N$$

Dónde:

A: Área de sección promedio de la galería. (1.20 m. x 2.05 m. = 2.46 m²)

V: Velocidad del aire (según el artículo 248, del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minera, se tendrá como mínimo una velocidad de 25 m/ min.

N: Números de labores en el sub nivel 058

$$Q3 = A \times V \times N \text{ (m}^3\text{/min)}$$

$$Q3 = 2.46 \times 25 \times 1$$

$$Q3 = 61.5 \text{ m}^3\text{/min}$$

$$Q3.1 = A \times V \times N \text{ (m}^3\text{/min)}$$

$$Q3.1 = 3.75 \times 25 \times 1$$

$$Q3.1 = 93.75 \text{ m}^3\text{/min}$$

$$Q3.2 = A \times V \times N \text{ (m}^3\text{/min)}$$

$$Q3.2 = 2.86 \times 25 \times 1$$

$$Q3.2 = 71.5 \text{ m}^3\text{/min}$$

A continuación se detalla en: Tabla 11

Tabla 14 : Cantidad de aire requerido por uso de explosivo

SUB NIVEL-058	Ancho(m)	Alto(m)	Area(m2)	V(m/min)	Caudal (m3/min.)	Caudal (CFM)
Galería 058 - 1	1.2	2.05	2.46	25	61.5	2171.87
Galería 058 - 2	1.5	2.5	3.75	25	93.75	3310.78
Galería 058 - 3	1.2	2.05	2.86	25	71.5	2525.02
Total					226.75	8007.67

Fuente: Elaboración propia

5.3.1.4. Caudal de aire total

El total de caudal requerido para el sub nivel 058 de la Unidad Minera Troy es:

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_t = 40 + 0 + 226.74$$

$$Q_t = 266.74 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_t = 9420.27 \text{ CFM}$$

Tabla 15 : Resumen total de aire requerido en el sub nivel 058

	Flujo de aire en (m ³ /min). requerido	Factor de conversión	Flujo de aire en CFM
Por el número de personas	40	35.315	1412.6
Por el uso de equipos diésel	0	35.315	0
Por la dilución de contaminantes	226.75	35.315	8007.67
TOTAL	266.75	35.315	9420.27

Fuente: Elaboración propia

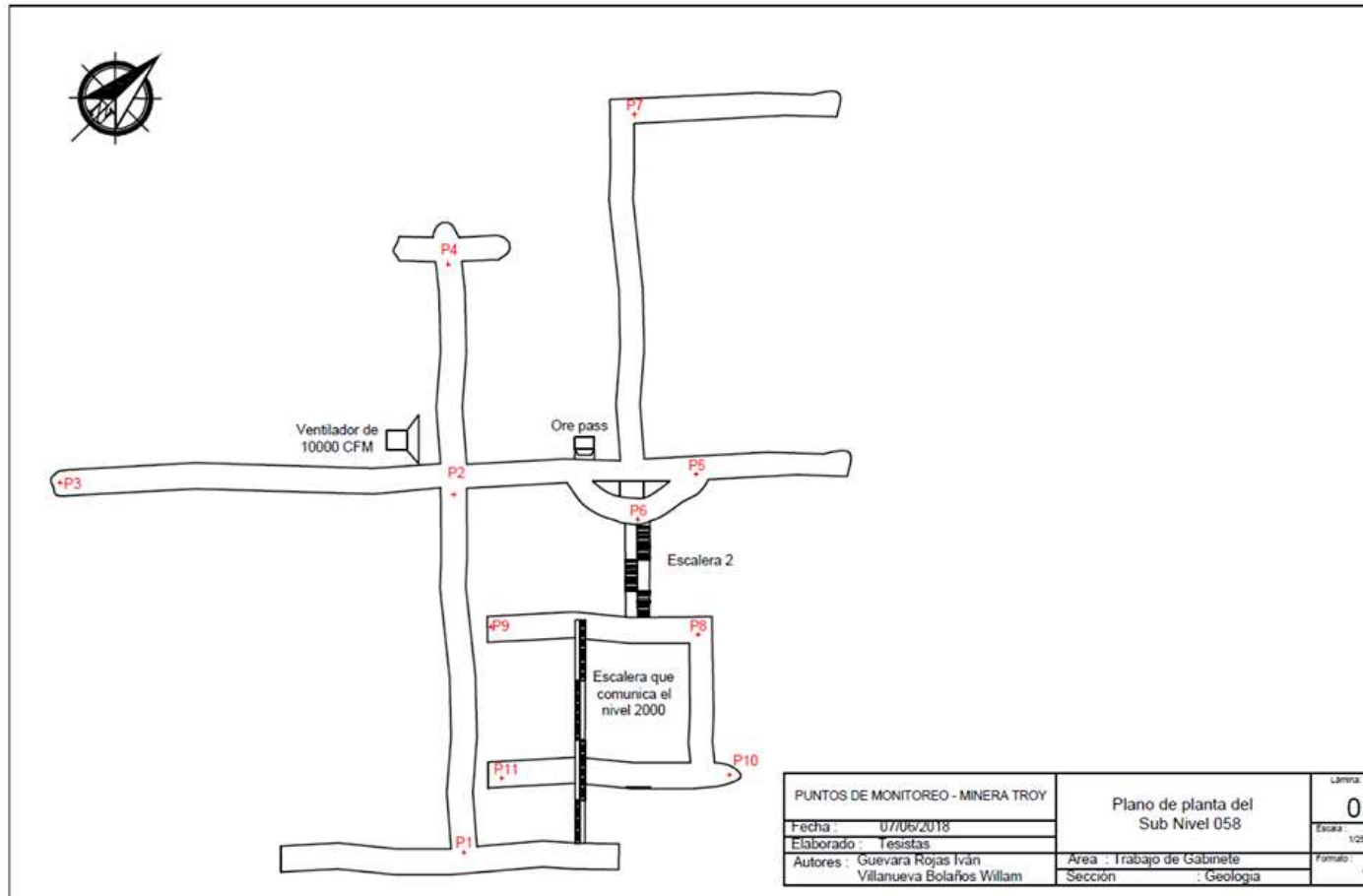
5.4. Ubicación de los puntos de monitoreo

Los puntos de monitoreo se establecieron para realizar una evaluación del sistema de ventilación en el sub nivel 058 de la Unidad Minera Troy y obtener una base de datos con la cantidad de gases presentes , las diferentes velocidades y temperaturas obtenidas .

Se determinó que en el sub nivel 058 existen los siguientes gases:

- Monóxido de Carbono (CO)
- Dióxido de carbono (CO₂)
- Dióxido de Nitrógeno (NO₂)
- Oxígeno (O₂)

Figura 14 : Puntos de monitoreo en el sub nivel 058



Fuente: Elaborado por los autores

5.4.1. Monitoreo de temperatura (T °C)

Tabla 16 : Monitoreo de temperaturas en el sub nivel 058

MONITOREO T°C													
FECHA	SUB NIVEL	HORA	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
23/04/2018	0-58	08:00:00 a.m	21.6	22	22	22.9	23	22.5	24.5	20	20	22.5	20.8
23/04/2018	0-58	11:00:00 a.m	22	21	21	23	23	22.8	23	21	22	22.8	22
23/04/2018	0-58	3:00 PM	20	20	19.8	21	22	22	23	20.4	21.91	22.4	21.8
25/04/2018	0-58	08:00:00 a.m	22	20	23	23	22.8	23	21	23	22.8	23	21
25/04/2018	0-58	11:00:00 a.m	21	20.1	21	22	22	21.8	20.4	22	22	21.8	20.4
25/05/2018	0-58	3:00 PM	19.8	21.4	23	21	22	22	22	23	21	22	22.8
27/04/2018	0-58	08:00:00 a.m	22	22.9	23	23	23	22.8	23	21.8	20.4	24	22.4
27/04/2018	0-58	11:00:00 a.m	21.8	21	22.9	23	23	22.5	23	21	22	22	23
27/04/2018	0-58	3:00 PM	20	22	22	22.9	23	22	21.8	20.4	21.91	23	22
29/04/2018	0-58	08:00:00 a.m	21.4	21	21	23	23	23	21	22	23	21.8	21
29/04/2018	0-58	11:00:00 a.m	22	20	19.8	21	22	21.8	20.4	21	21	22	22
29/04/2018	0-58	3:00 PM	21	22	22	22	21	22.9	23	23	22.8	21	21.5
01/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	22	22.9	23	22	21.8	23	22.8	23	23	22.8	23
01/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	23	22	22	22	23	22	22	21	22	22	21.9
01/05/2018	0-58	3:00 PM	21	22.8	22.8	23	22	21	22	23	21	22	22
03/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	23	23	21	23	21	23	22.8	23	23	22.8	22.8
03/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	23	23	22	22	21	23	23	22.9	23	23	22.8
03/05/2018	0-58	3:00 PM	21	23	23	21	22	21	23	22	22.9	23	22
05/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	21	22	22	22	23	21	22	21	23	23	23

05/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	22.8	23	21	23	22.8	22	21	22	23	21	22
05/05/2018	0-58	3:00 PM	22	22	21	22	22	20.1	21	22	22	21.8	21
07/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	22	22	22	23	21	21.4	23	21	22	22	22
07/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	22.8	22.8	23	21.8	20.4	22.9	23	23	22.8	22.8	23
07/05/2018	0-58	3:00 PM	23	22	23	21	22	21	22.9	23	23	22.8	22
09/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	23	22	22	21	21.91	22	22	22.9	23	22	23
09/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	23	23	21	22	23	21	21	23	23	23	21.5
09/05/2018	0-58	3:00 PM	23	22.9	23	23	22	20	23	23	22.8	23	21
11/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	22.9	21	23	23	21	20.1	21	22	22	21.8	21
11/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	23	22	22	22.9	23	21.4	23	21	22	22	23
11/05/2018	0-58	3:00 PM	21	21	23	23	23	22.9	23	23	22.8	22.8	22
13/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	2	2.5	1	4	4	9	10	10	9	12	10
13/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	1.1	2.1	2.3	3	3	8	10	9	10	12	13
13/05/2018	0-58	3:00 PM	2	2	1	5	5	11	10	12	11	12.4	12
15/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	22	20	23	23	21	21	22.9	23	23	22.8	21
15/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	20	20.1	21	22	21	22	22	22.9	23	22	23
15/05/2018	0-58	3:00 PM	21	21.4	23	21	22	21	21	23	23	23	23
PROMEDIO			20.14	20.11	20.32	20.74	20.60	20.83	21.21	21.12	21.28	21.56	21.16

Fuente: Elaborado por los autores

5.4.2. Monitoreo de gases en el Sub nivel 058

5.4.2.1. Monóxido de Carbono (CO)

Tabla 17 : Monitoreo de monóxido de carbono (CO) en el sub nivel 058

MONITOREO CO(PPM)													
FECHA	SUB NIVEL	HORA	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
23/04/2018	0-58	08:00:00 a.m	2	1	1	5	5.5	9.8	9	9	9	10	10
23/04/2018	0-58	11:00:00 a.m	1.5	1.8	2.3	4	4	10	11	10.1	10	9	11
23/04/2018	0-58	3:00 PM	1	2.1	1	3	7	8	10	10	8	10	10
25/04/2018	0-58	08:00:00 a.m	1.6	2	2.2	5	5	9	11	11	12	12	12
25/04/2018	0-58	11:00:00 a.m	2	1	1	6	7	10	9	10	11	11	13
25/05/2018	0-58	3:00 PM	1.9	1.3	1	4	6	8	8	10	8	12	10
27/04/2018	0-58	08:00:00 a.m	2	2	2	3	5	9	9	11	12	12	11
27/04/2018	0-58	11:00:00 a.m	1	1	0.9	5	6	10	10	10	9	11	12
27/04/2018	0-58	3:00 PM	1	2	2	6	6	11	11	11	12	10	13
29/04/2018	0-58	08:00:00 a.m	2	1	1	5	5.2	9.8	9	10	9	12	10
29/04/2018	0-58	11:00:00 a.m	1.5	1.8	2.3	4	4	10	11	10.1	10	12	11
29/04/2018	0-58	3:00 PM	1	2.1	1	3	7	8	10	10	8	10	10
01/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	1.6	2	2.2	5	5	9	11	11	12	12	12
01/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	1	1.3	1	5	6	10	9	11	9	11	12
01/05/2018	0-58	3:00 PM	1	1.4	1	6	7	11	11	10	10	10	10
03/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	1	1	0.9	5	6	10	10	10	9	11	12
03/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	1	2	2	6	6	11	11	10	12	10	13
03/05/2018	0-58	3:00 PM	2	1	1	5	6	9.8	9	8	9	12	10
05/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	2	2.2	3	6	4	8	8	8	8	10	12

05/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	1.3	1	2.4	4	5	10	9	9	9	11	12
05/05/2018	0-58	3:00 PM	1	1	3	5	4.5	8	11	10	10	10	9
07/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	1.3	2.3	1	4	6	11	10	11	11	11	12
07/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	1	1	2	5	5	10	8	9.8	9	10	9
07/05/2018	0-58	3:00 PM	2	2.2	1	6	7	9	4	10	11	10.1	10
09/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	1.8	2.5	1.8	3	4	8	10	12	9	10.4	12
09/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	1.9	1	2.1	6	5	9	11	9	11	12	9
09/05/2018	0-58	3:00 PM	2	1	2	5	4	10	10	8	11	12	8
11/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	1.2	0.9	1	5	6	8	12	9	10	11	9
11/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	2.1	2	1.8	4	5	9	10	10	10	10	10
11/05/2018	0-58	3:00 PM	2	1	2.1	5	7	9	11	10	10	12	12
13/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	1.4	3	2	6	6	11	10	12	8	12	10
13/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	1.5	2.4	1.3	5	6	10	11	13	9	9	11
13/05/2018	0-58	3:00 PM	1.8	2	1.4	6	6	11	9	10	8	10	10
15/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	2	2.5	1	4	4	9	10	10	9	12	10
15/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	1.1	2.1	2.3	3	3	8	10	9	10	12	13
15/05/2018	0-58	3:00 PM	2	2	1	5	5	11	10	12	11	12.4	12
PROMEDIO			1.54	1.66	1.61	4.78	5.45	9.51	9.81	10.11	9.81	10.94	10.89

Fuente: Elaborado por los autores

5.4.2.2. Dióxido de Carbono (CO₂)

Tabla 18 : Monitoreo de dióxido de carbono (CO₂) en el sub nivel 058

MONITOREO CO ₂ (%)													
FECHA	SUB NIVEL	HORA	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
23/04/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.06	0.11	0.11	0.3	0.03	0.13	0.13	0.12	0.16	0.21	0.25
23/04/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.06	0.12	0.13	0.2	0.05	0.15	0.12	0.14	0.17	0.2	0.22
23/04/2018	0-58	3:00 PM	0.08	0.12	0.14	0.4	0.06	0.16	0.15	0.15	0.18	0.2	0.26
25/04/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.06	0.12	0.13	0.2	0.05	0.15	0.12	0.14	0.17	0.21	0.24
25/04/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.07	0.13	0.13	0.3	0.05	0.12	0.13	0.13	0.14	0.21	0.22
25/05/2018	0-58	3:00 PM	0.06	0.12	0.13	0.2	0.05	0.15	0.12	0.14	0.17	0.19	0.22
27/04/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.06	0.11	0.11	0.3	0.03	0.13	0.13	0.12	0.16	0.21	0.25
27/04/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.06	0.12	0.13	0.2	0.05	0.2	0.11	0.13	0.17	0.25	0.22
27/04/2018	0-58	3:00 PM	0.08	0.12	0.14	0.4	0.06	0.14	0.15	0.15	0.18	0.2	0.26
29/04/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.06	0.12	0.13	0.2	0.05	0.14	0.13	0.14	0.17	0.19	0.22
29/04/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.08	0.12	0.14	0.4	0.03	0.17	0.15	0.14	0.18	0.3	0.25
29/04/2018	0-58	3:00 PM	0.05	0.13	0.14	0.6	0.01	0.11	0.17	0.11	0.13	0.25	0.23
01/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.05	0.14	0.15	0.4	0.06	0.13	0.15	0.18	0.12	0.25	0.2
01/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.05	0.12	0.14	0.6	0.07	0.15	0.12	0.16	0.11	0.22	0.25
01/05/2018	0-58	3:00 PM	0.03	0.14	0.13	0.3	0.06	0.17	0.15	0.15	0.12	0.26	0.27
03/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.05	0.15	0.14	0.25	0.06	0.18	0.14	0.1	0.12	0.22	0.23
03/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.06	0.17	0.12	0.3	0.06	0.2	0.14	0.17	0.12	0.22	0.25
03/05/2018	0-58	3:00 PM	0.05	0.14	0.14	0.23	0.08	0.15	0.15	0.12	0.12	0.28	0.24
05/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.03	0.17	0.12	0.28	0.09	0.12	0.14	0.14	0.12	0.18	0.25

05/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.06	0.16	0.17	0.3	0.1	0.15	0.18	0.13	0.15	0.14	0.21
05/05/2018	0-58	3:00 PM	0.08	0.17	0.14	0.27	0.08	0.15	0.15	0.12	0.14	0.17	0.19
07/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.01	0.18	0.17	0.25	0.03	0.15	0.12	0.13	0.12	0.16	0.21
07/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.05	0.22	0.16	0.24	0.06	0.15	0.16	0.12	0.14	0.17	0.21
07/05/2018	0-58	3:00 PM	0.02	0.19	0.17	0.24	0.09	0.23	0.14	0.15	0.15	0.18	0.2
09/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.06	0.12	0.18	0.2	0.03	0.16	0.12	0.24	0.18	0.2	0.18
09/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.07	0.13	0.25	0.28	0.06	0.18	0.17	0.16	0.13	0.18	0.24
09/05/2018	0-58	3:00 PM	0.02	0.12	0.14	0.21	0.04	0.2	0.14	0.19	0.12	0.21	0.2
11/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.08	0.13	0.11	0.27	0.08	0.17	0.17	0.24	0.11	0.24	0.14
11/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.04	0.12	0.17	0.2	0.05	0.2	0.16	0.17	0.12	0.19	0.12
11/05/2018	0-58	3:00 PM	0.06	0.15	0.16	0.4	0.02	0.27	0.17	0.18	0.12	0.23	0.19
13/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.03	0.13	0.15	0.2	0.03	0.18	0.18	0.18	0.12	0.2	0.23
13/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.06	0.1	0.12	0.4	0.01	0.13	0.12	0.23	0.12	0.21	0.17
13/05/2018	0-58	3:00 PM	0.04	0.14	0.2	0.12	0.02	0.17	0.14	0.1	0.18	0.23	0.24
15/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.06	0.13	0.21	0.11	0.05	0.18	0.13	0.2	0.2	0.24	0.18
15/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.05	0.11	0.17	0.12	0.06	0.14	0.12	0.15	0.18	0.1	0.12
15/05/2018	0-58	3:00 PM	0.07	0.1	0.1	0.12	0.04	0.17	0.18	0.12	0.19	0.2	0.17
PROMEDIO			0.05	0.14	0.15	0.28	0.05	0.16	0.14	0.15	0.15	0.21	0.21

Fuente: Elaborado por los autores

5.4.2.3. Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

Tabla 19 : Monitoreo de dióxido de nitrógeno (NO₂) en el sub nivel 058

MONITOREO NO ₂ (%)													
FECHA	SUB NIVEL	HORA	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
23/04/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.3	0.2	0.4	0.6	0.7	0.9	0.9	0.7	0.8	0.6	0.4
23/04/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.3	0.1	0.4	0.7	0.6	0.9	0.8	0.8	0.5	0.7	0.6
23/04/2018	0-58	3:00 PM	0.4	0.2	0.6	0.7	0.7	0.8	0.6	0.5	0.8	0.7	0.3
25/04/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.3	0.3	0.4	0.6	0.7	0.7	0.9	0.7	0.8	0.6	0.4
25/04/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.3	0.2	0.2	0.8	0.6	0.9	0.8	0.7	0.5	0.7	0.6
25/05/2018	0-58	3:00 PM	0.3	0.2	0.4	0.6	0.7	0.9	0.9	0.7	0.8	0.6	0.4
27/04/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.4	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8	0.6	0.5	0.8	0.7	0.3
27/04/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.3	0.3	0.6	0.7	0.6	0.9	0.8	0.8	0.5	0.8	0.4
27/04/2018	0-58	3:00 PM	0.3	0.2	0.4	0.6	0.7	0.9	0.9	0.7	0.8	0.6	0.4
29/04/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.3	0.3	0.5	0.7	0.6	0.9	0.8	0.8	0.5	0.7	0.6
29/04/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.4	0.2	0.6	0.7	0.7	0.8	0.6	0.5	0.8	0.7	0.6
29/04/2018	0-58	3:00 PM	0.3	0.2	0.7	0.8	0.6	0.9	0.5	0.5	0.6	0.6	0.4
01/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.2	0.2	0.5	0.8	0.8	0.9	0.7	0.7	0.6	0.4	0.4
01/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.4	0.4	0.2	0.5	0.5	0.7	0.6	0.4	0.8	0.6	0.3
01/05/2018	0-58	3:00 PM	0.4	0.3	0.3	0.3	0.6	0.7	0.5	0.2	0.6	0.6	0.3
03/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.2	0.2	0.4	0.5	0.7	0.8	0.6	0.4	0.4	0.2	0.3
03/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.3	0.5	0.3	0.6	0.6	0.8	0.5	0.3	0.6	0.4	0.4
03/05/2018	0-58	3:00 PM	0.3	0.2	0.2	0.4	0.7	0.7	0.6	0.5	0.3	0.3	0.2
05/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.2	0.3	0.3	0.5	0.6	0.6	0.5	0.3	0.2	0.2	0.4

05/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.4	0.4	0.6	0.8	0.7	0.5	0.5	0.4	0.4	0.2	0.3
05/05/2018	0-58	3:00 PM	0.2	0.3	0.3	0.6	0.9	0.9	0.7	0.4	0.4	0.2	0.2
07/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.3	0.4	0.2	0.5	0.5	0.5	0.7	0.6	0.3	0.4	0.4
07/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.3	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.3	0.3	0.7	0.5	0.5
07/05/2018	0-58	3:00 PM	0.4	0.4	0.2	0.2	0.5	0.4	0.7	0.9	0.9	0.6	0.5
09/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4	0.6	0.6	0.5	0.4	0.7	0.5
09/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.2	0.3	0.5	0.5	0.7	0.9	0.8	0.8	0.6	0.3	0.3
09/05/2018	0-58	3:00 PM	0.3	0.2	0.2	0.6	0.4	0.4	0.7	0.6	0.5	0.3	0.2
11/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.4	0.4	0.2	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2
11/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.2	0.2	0.5	0.6	0.4	0.4	0.2	0.5	0.5	0.3	0.3
11/05/2018	0-58	3:00 PM	0.2	0.4	0.4	0.3	0.2	0.5	0.5	0.6	0.6	0.4	0.3
13/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.4	0.4	0.5	0.7	0.9	0.9	0.6	0.5	0.2	0.3	0.3
13/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.3	0.4	0.4	0.6	0.4	0.7	0.6	0.6	0.4	0.2	0.3
13/05/2018	0-58	3:00 PM	0.4	0.2	0.2	0.5	0.5	0.7	0.7	0.9	0.8	0.5	0.4
15/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	0.2	0.2	0.4	0.6	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	0.4
15/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.6	0.8	0.5	0.5	0.3	0.3
15/05/2018	0-58	3:00 PM	0.2	0.3	0.3	0.6	0.6	0.7	0.9	0.7	0.5	0.5	0.4
PROMEDIO			0.30	0.29	0.39	0.57	0.59	0.70	0.64	0.56	0.56	0.47	0.38

Fuente: Elaborado por los autores

5.4.2.4. Oxígeno (O₂)

Tabla 20 : Monitoreo de oxígeno (O₂) en el sub nivel 058

MONITOREO O ₂ (%)													
FECHA	SUB NIVEL	HORA	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
23/04/2018	0-58	08:00:00 a.m	20.5	20	19.83	20.3	21	21.3	20.1	20	19.84	20.5	19.8
23/04/2018	0-58	11:00:00 a.m	19.98	20	19.6	20.01	19.9	20	20.1	20.4	20	19.8	20.1
23/04/2018	0-58	3:00 PM	20.4	20	19.8	20.1	20.4	20.03	20	19.83	20.3	21	21.3
25/04/2018	0-58	08:00:00 a.m	19.83	20.3	21	21.3	20.1	20	19.84	20.4	20	19.8	20.1
25/04/2018	0-58	11:00:00 a.m	20.4	20	19.8	20.1	20.4	20.03	20	19.83	20.3	21	21.3
25/05/2018	0-58	3:00 PM	19.83	20.3	21	21.3	20.1	20	19.84	19.6	20.01	19.9	20
27/04/2018	0-58	08:00:00 a.m	19.6	20.01	19.9	20	20.1	20.3	20	20.4	20.03	20.1	20
27/04/2018	0-58	11:00:00 a.m	20.4	20	19.9	20	20.1	20.4	20	19.8	20.1	21	21.3
27/04/2018	0-58	3:00 PM	19.83	20.3	20.4	20.03	20	19.83	20.3	21	21.3	19.8	20.1
29/04/2018	0-58	08:00:00 a.m	20.4	20	20.1	20	19.84	20.4	20	19.8	20.1	21	21.3
29/04/2018	0-58	11:00:00 a.m	19.83	20.3	20.4	20.03	20	19.83	20.3	21	21.3	19.9	20
29/04/2018	0-58	3:00 PM	19.6	19.6	20.1	20	19.84	19.6	20.01	19.9	20	20.1	20.1
01/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	19.8	20	20.1	20.3	20	20.4	20.03	20.1	20	20.3	20
01/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	20.4	20.04	20.1	20	19.84	19.6	20.01	19.9	20	20.2	20.03
01/05/2018	0-58	3:00 PM	20.5	20	19.4	20	20.5	20.2	19.7	20.1	20.1	20.5	19.8
03/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	19.98	20	19.6	20.01	19.9	20	20.1	20.4	20	19.8	20.1
03/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	20.4	20	19.8	20.1	20.4	20.03	20	19.83	20.3	21	21.3
03/05/2018	0-58	3:00 PM	19.83	20.3	21	21.3	20.1	20	19.84	20.4	20	19.8	20.1
05/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	20.4	20	19.8	20.1	20.4	20.03	20	19.83	20.3	21	21.3
05/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	19.83	20.3	21	21.3	20.1	20	19.84	19.6	20.01	19.9	20

05/05/2018	0-58	3:00 PM	19.6	20.01	19.9	20	20.1	20.3	20	20.4	20.03	20.1	20
07/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	19.83	20.3	21	21.3	20.1	20	19.84	19.6	20.01	19.9	20
07/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	19.6	19.6	19.8	20.2	19.4	20	20.5	20.2	19.7	20.1	20.1
07/05/2018	0-58	3:00 PM	19.8	20	19.98	20	19.6	20.01	19.9	20	20.1	20.3	20
09/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	20.4	20.04	20.4	20	19.8	20.1	20.4	20.03	20	20.2	20.03
09/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	20.5	20	19.83	20.3	21	21.3	20.1	20	19.84	20.5	19.8
09/05/2018	0-58	3:00 PM	19.98	20	19.6	20.01	19.9	20	20.1	20.4	20	19.8	20.1
11/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	20	19.84	19.6	20.01	19.9	20	20	19.83	20.3	21	21.3
11/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	20.3	20	20.4	20.03	20.1	20	19.84	20.4	20	19.8	20.1
11/05/2018	0-58	3:00 PM	20	19.84	19.6	20.01	19.9	20	20	19.83	20.3	21	21.3
13/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	20	20.5	20.2	19.7	20.1	20.1	20	19.83	20.3	21	21.3
13/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	20.01	19.9	20	20.1	20.3	20	19.84	20.4	20	19.8	20.1
13/05/2018	0-58	3:00 PM	20.1	20.4	20.03	20	20.2	20.03	20	19.83	20.3	21	21.3
15/05/2018	0-58	08:00:00 a.m	21.3	20.1	20	19.84	20.5	19.8	19.84	19.6	20.01	19.9	20
15/05/2018	0-58	11:00:00 a.m	20	20.1	20.4	20	19.8	20.1	20	20.4	20.03	20.1	20
15/05/2018	0-58	3:00 PM	19.83	20.3	21	21.3	20.1	20	19.84	19.6	20.01	19.9	20
PROMEDIO			20.08	20.07	20.12	20.25	20.11	20.10	20.01	20.07	20.14	20.30	20.37

Fuente: Elaborado por los autores

CAPÍTULO 6. RESULTADOS

6.1. Evaluación del sistema de ventilación en el sub nivel 058 de Minera TROY S.A.C.

Para realizar la evaluación del sistema de ventilación se realizó un balance con ingresos y salidas de aire en todos los niveles, esta investigación se enfocará solo en el nivel 1950 en el cual se encuentra el sub nivel 058 que es nuestra zona de estudio.

Con respecto a la evaluación que fue realizada por los trabajadores de la Unidad Minera Troy en el nivel 1950, como se puede evidenciar en la tabla el ingreso del aire es de 626.40 m³/min y la salida de aire es de 595.42 m³/min existiendo una pérdida de 30.98 m³/min.

En nuestra zona de estudio en el sub nivel 058 al calcular el caudal por parte de los tesisistas se llegó a la conclusión que se necesita un requerimiento de aire de 266.75 m³/min.

Tabla 21 : Balance de caudal de aire para ventilación Minera Troy S.A.C.

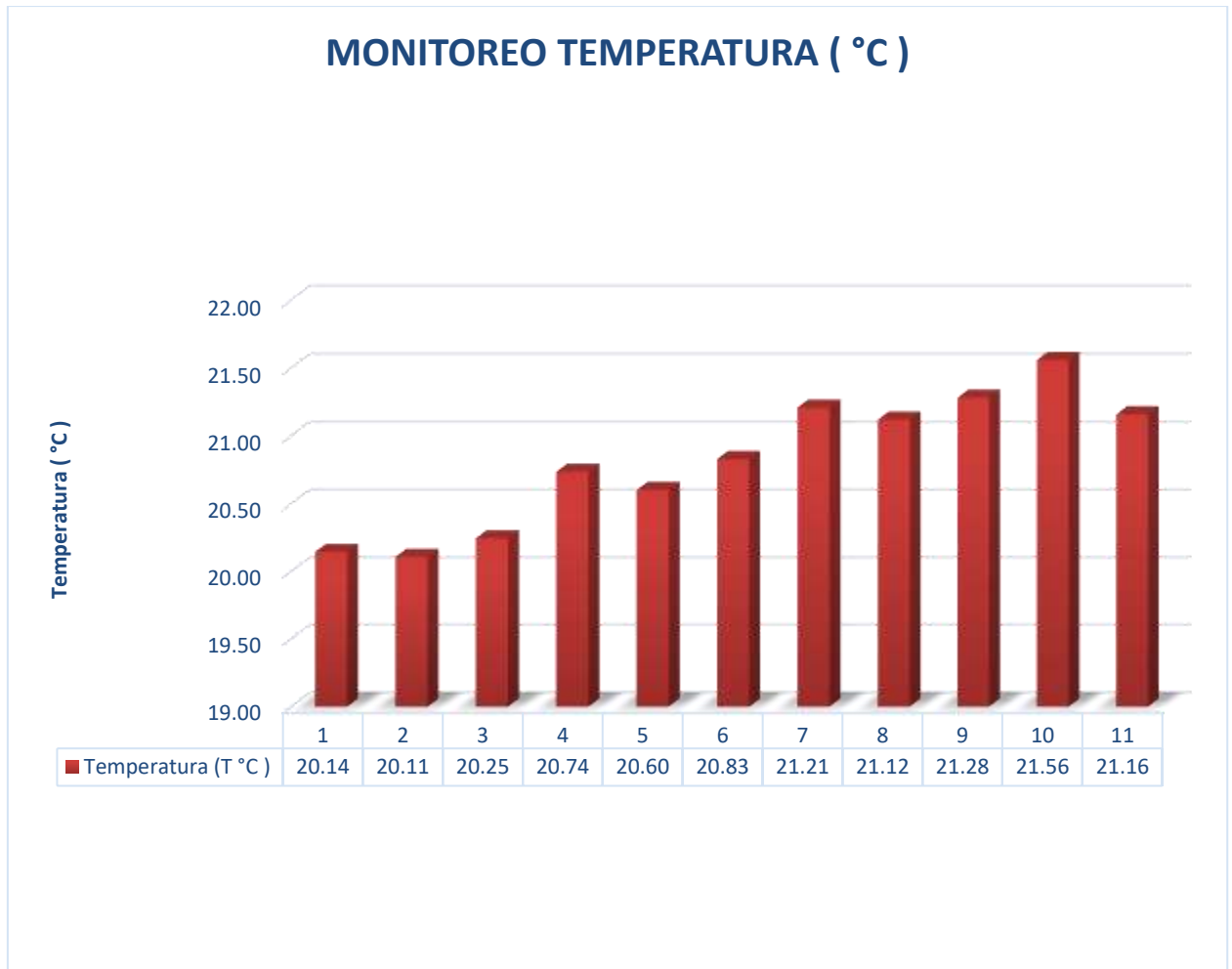
BALANCE DEL CAUDAL DE AIRE PARA VENTILACION MINERA TROY S.A.C.					
INGRESO DEL AIRE			SALIDA DEL AIRE		
LUGAR	Q m³/min	Q CFM	LUGAR	Q m³/min	Q CFM
NIVEL 2050	994.38	35116.53	NIVEL 2050	973.53	34380.21195
NIVEL 2000	947.64	33465.907	NIVEL 2000	834.46	29468.9549
NIVEL 1950	626.4	22121.316	NIVEL 1950	595.42	21027.2573
TOTAL	2568.42	90703.752		2403.41	84876.42415
VARIACIÓN	165.01	5827.3282		-165.01	-5827.32815
	(+ 6.42 %)			(- 6.42 %)	

Fuente: Extraída de los datos de Minera Troy S.A.C.

6.2. Gráfica de monitoreo de temperatura (°C) en el sub nivel 058

Gráfico 1

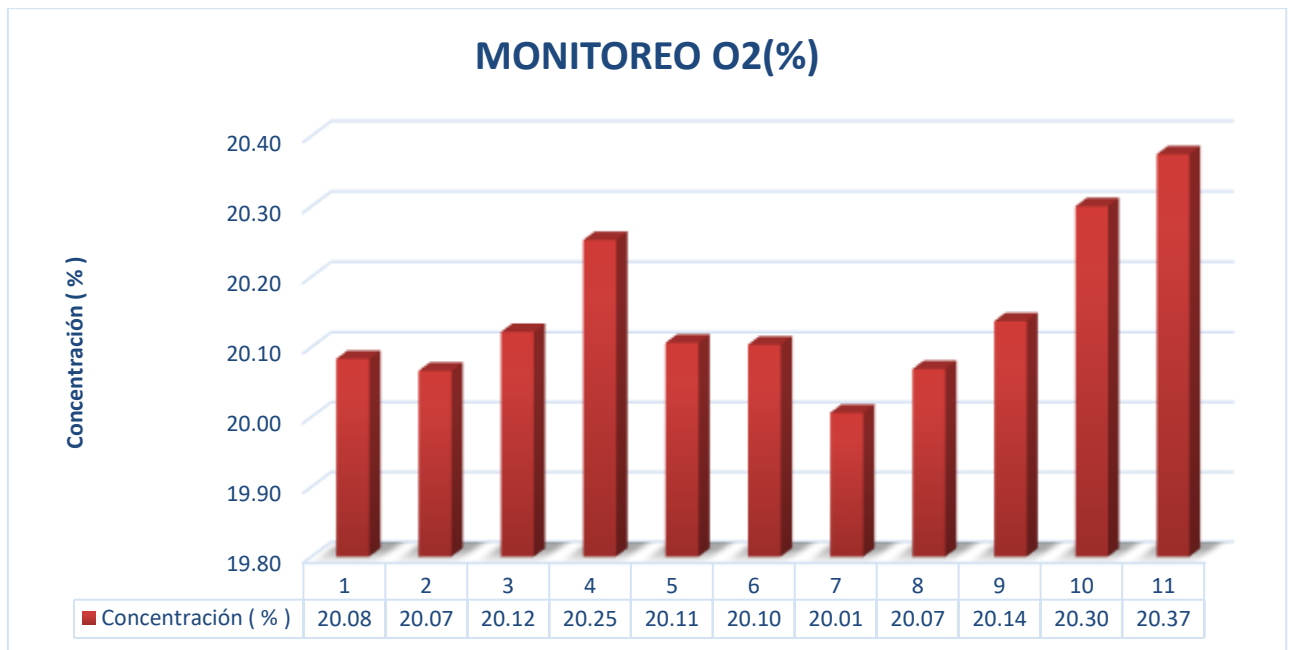
Monitoreo de temperatura (°C) en el sub nivel 058



Fuente: Elaborado por los autores

6.3. Gráfica de monitoreo de oxígeno (O₂) en el sub nivel 058

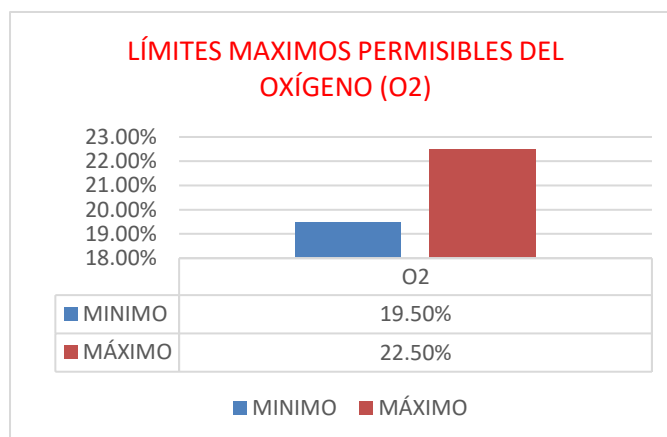
Gráfico 2
Monitoreo de oxígeno (O₂) en el sub nivel 058



Fuente: Elaborado por los autores

Según el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería (D.S. 023 – 2017 - EM), establece que los límites máximos permisibles para el oxígeno es:

Mínimo 19.5% y máximo 22.5%



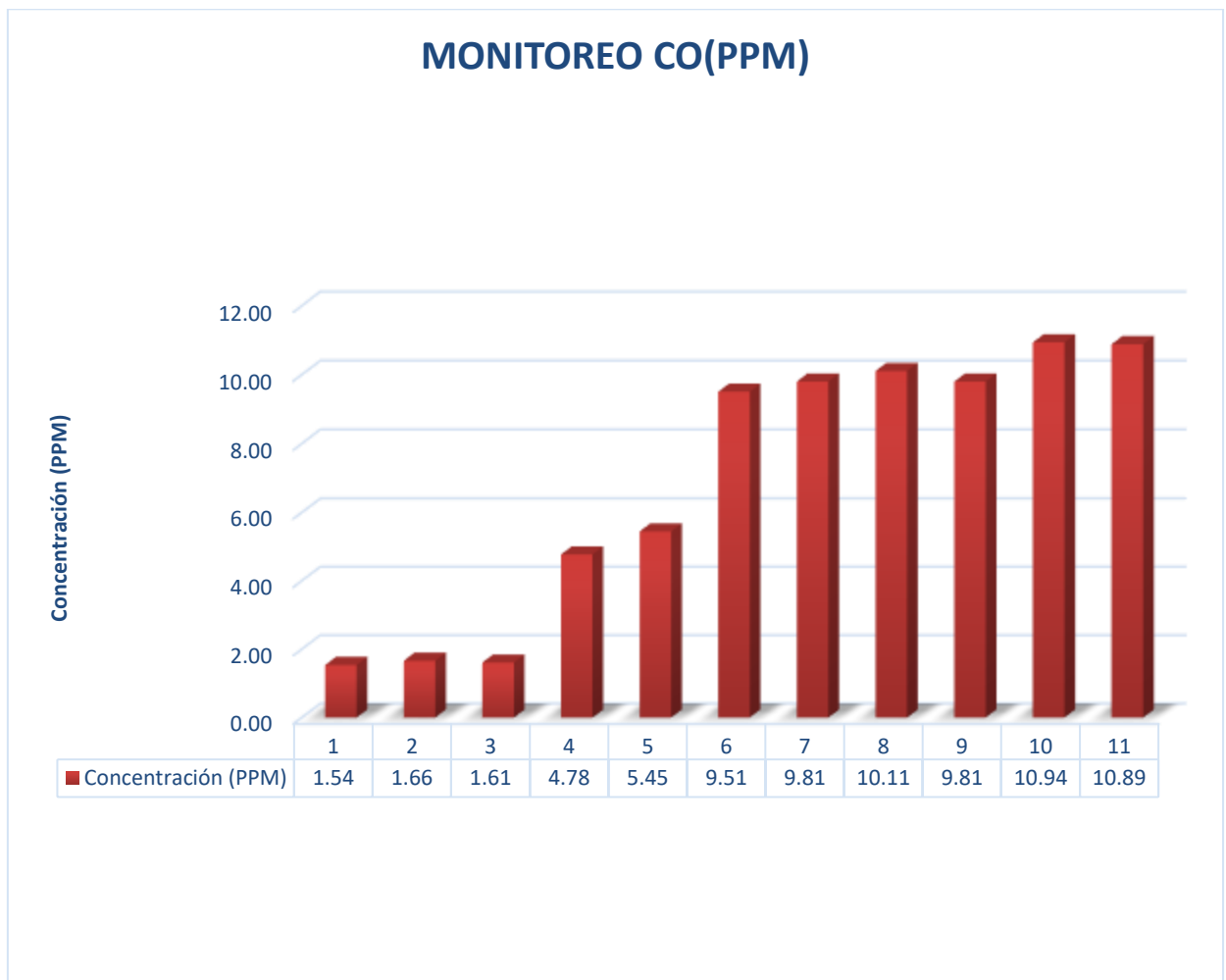
Fuente: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (D.S. N° 023-2017-EM)

- En el gráfico 2 se tiene los promedios de oxígeno que se realizaron en los 11 puntos de monitoreo del sub nivel 058, se verifica que si cumple con los parámetros de límites máximos permisibles establecidos en el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería.

6.4. Gráfica de monitoreo de monóxido de carbono (CO) en el sub nivel 058

Gráfico 3

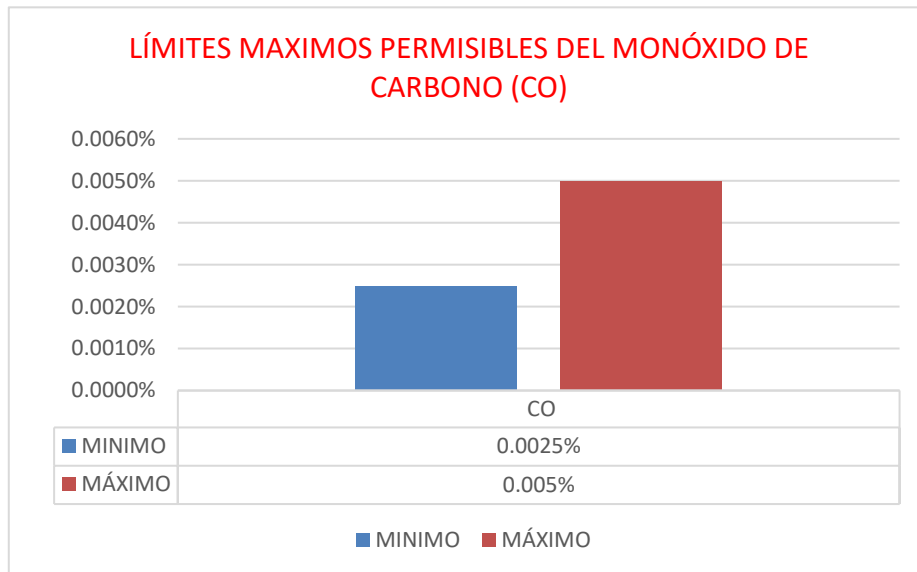
Monitoreo de monóxido de carbono (CO) en el sub nivel 058



Fuente: Elaborado por los autores

Según el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería (D.S. 023 – 2017 - EM), estable que los límites máximos permisibles para el monóxido de carbono es:

Mínimo 0.005 % y máximo 0.0025 %

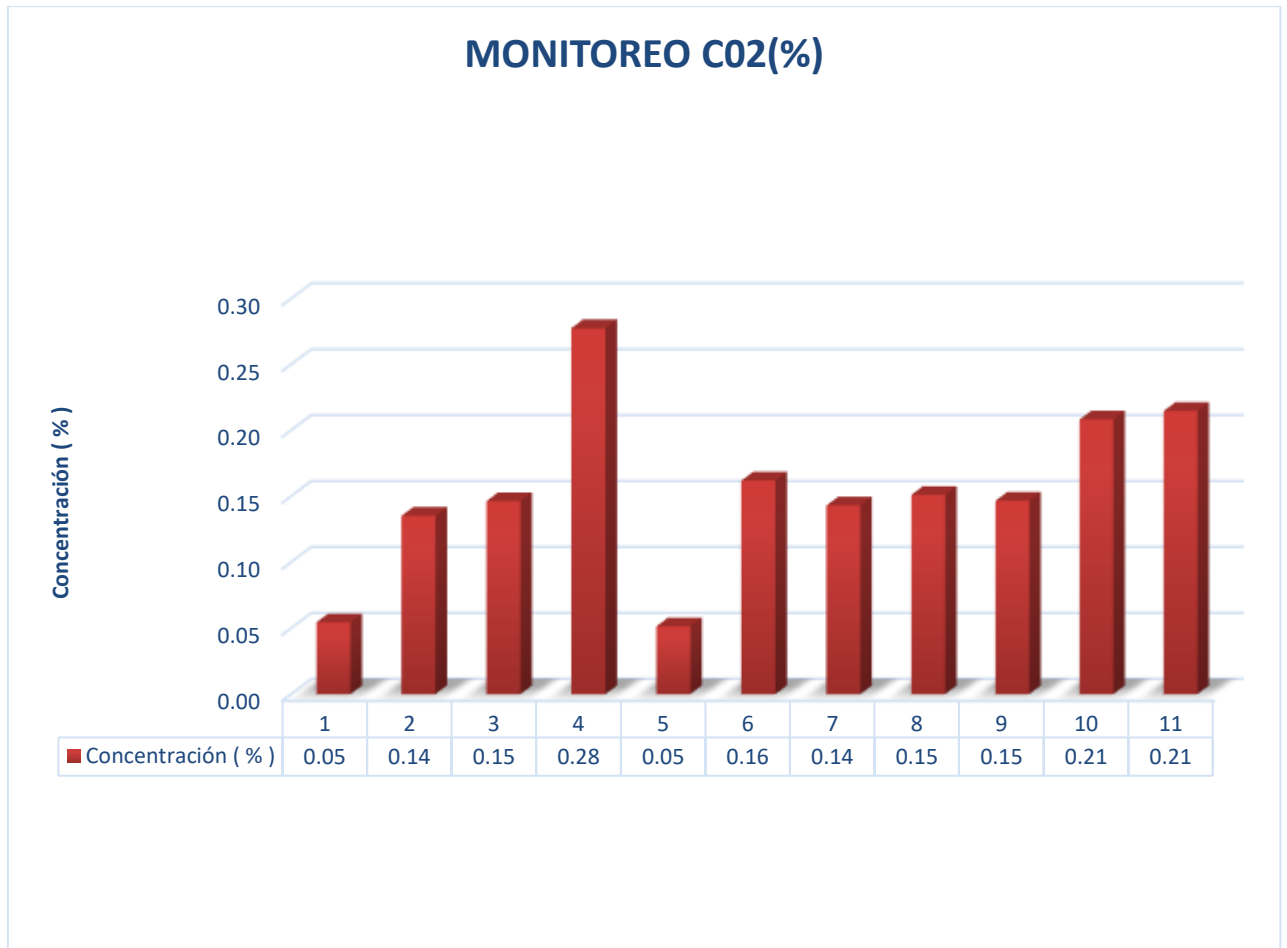


Fuente: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (D.S. N° 023-2017-EM)

- Según los promedios obtenidos del monitoreo de monóxido de carbono se observa en el gráfico 3 que si cumple con los parámetros de límite máximo permisible establecido en el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería.

6.5. Gráfica de monitoreo de dióxido de carbono (CO₂) en el sub nivel 058

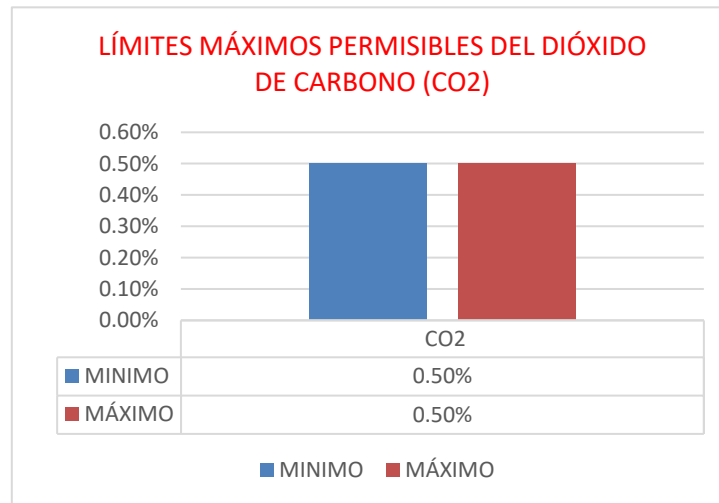
Grafico 4
Monitoreo de dióxido de carbono (CO₂) en el sub nivel 058



Fuente: Elaborado por los autores

Según el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería (D.S. 023 – 2017 - EM), estable que los límites máximos permisibles para el dióxido de carbono es:

Mínimo 0.50 % Máximo 5000 PPM

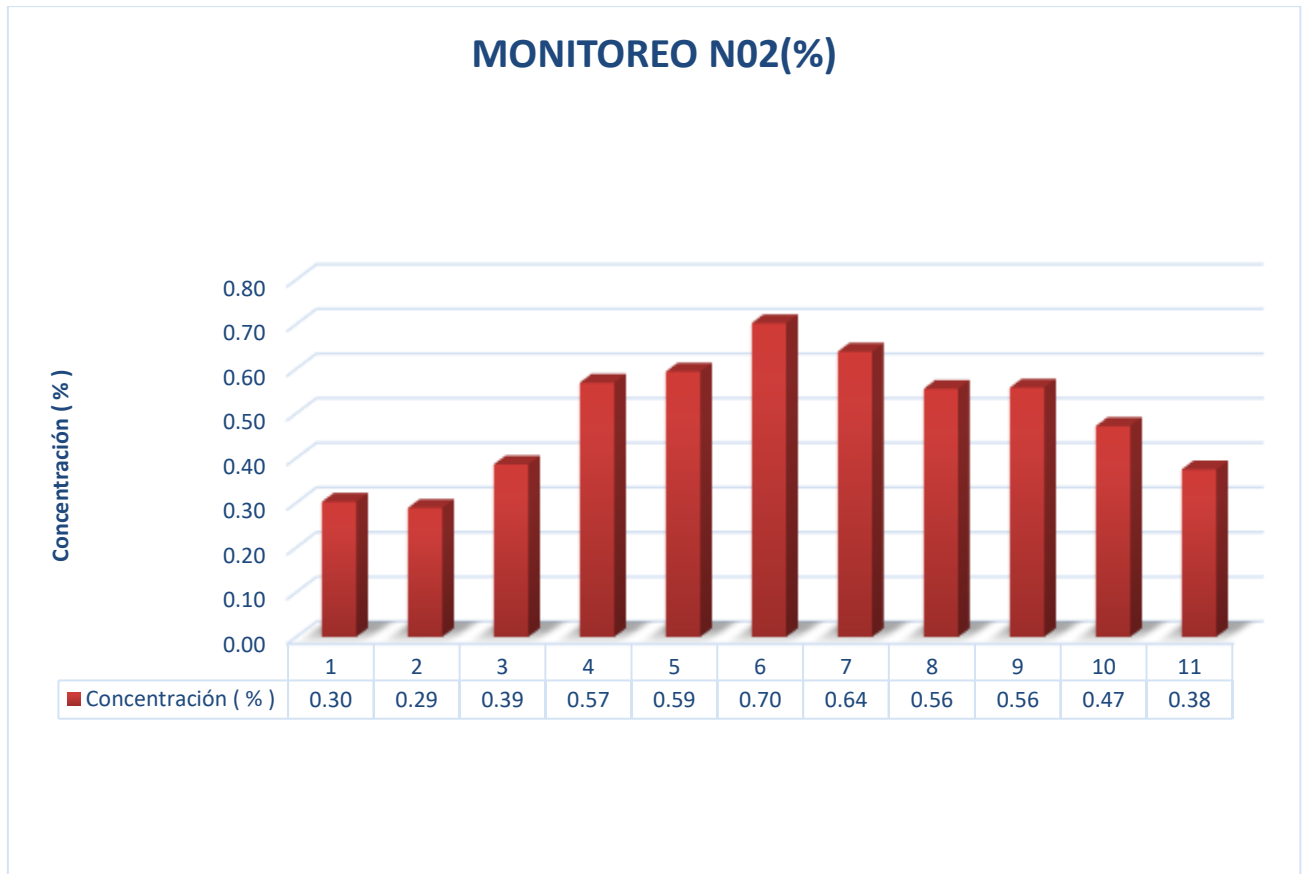


Fuente: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (D.S. N° 023-2017-EM)

- Con los promedios obtenidos luego de que se realizó el monitoreo del dióxido de carbono, se aprecia en el gráfico 4 que si está dentro de los límites máximos permisibles según el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería.

6.6. Gráfica de monitoreo de dióxido de nitrógeno (NO₂) en el sub nivel 058

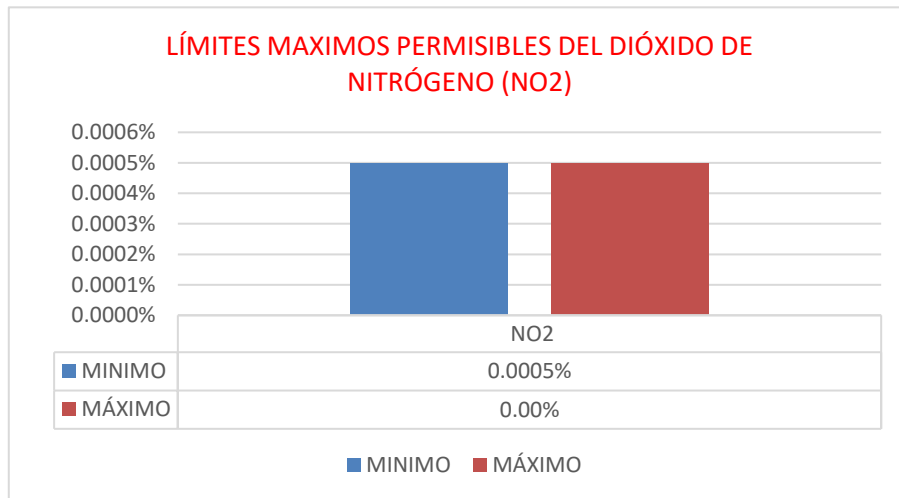
Grafico 5
Monitoreo de dióxido de nitrógeno (NO₂) en el sub nivel 058



Fuente: Elaborado por los autores

Según el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería (D.S. 023 – 2017 - EM), establece que los límites máximos permisibles para el dióxido de nitrógeno es:

Mínimo 0.0005% y Máximo 5 PPM



Fuente: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (D.S. N° 023-2017-EM)

- En este gráfico 5 de dióxido de nitrógeno no cumple en ningún punto con los límites máximos permisibles establecidos, es por ello que se realizó el diseño de ventilación del sub nivel 058 para que todos los gases estén dentro de los límites máximos permisibles y así se tenga una mejor atmosfera respirable para los trabajadores.

6.7. Diseño del sistema de ventilación del sub nivel 058 en el Software Ventsim

Luego de realizar el monitoreo del sistema de ventilación en el sub nivel 058 de la Unidad Minera Troy S.A.C., se calculó los requerimientos de aire para dicho sub nivel y se propone incrustar un ventilador con capacidad de 10000 cfm con el fin de mejorar el sistema de ventilación en el sub nivel y mejorar la productividad minimizando la presencia de gases tóxicos en los frentes de trabajo.

Con el soporte del software VENTSIM™, seleccionaremos que tipo de ventiladores son los óptimos, con el objetivo de cumplir la demanda de aire.

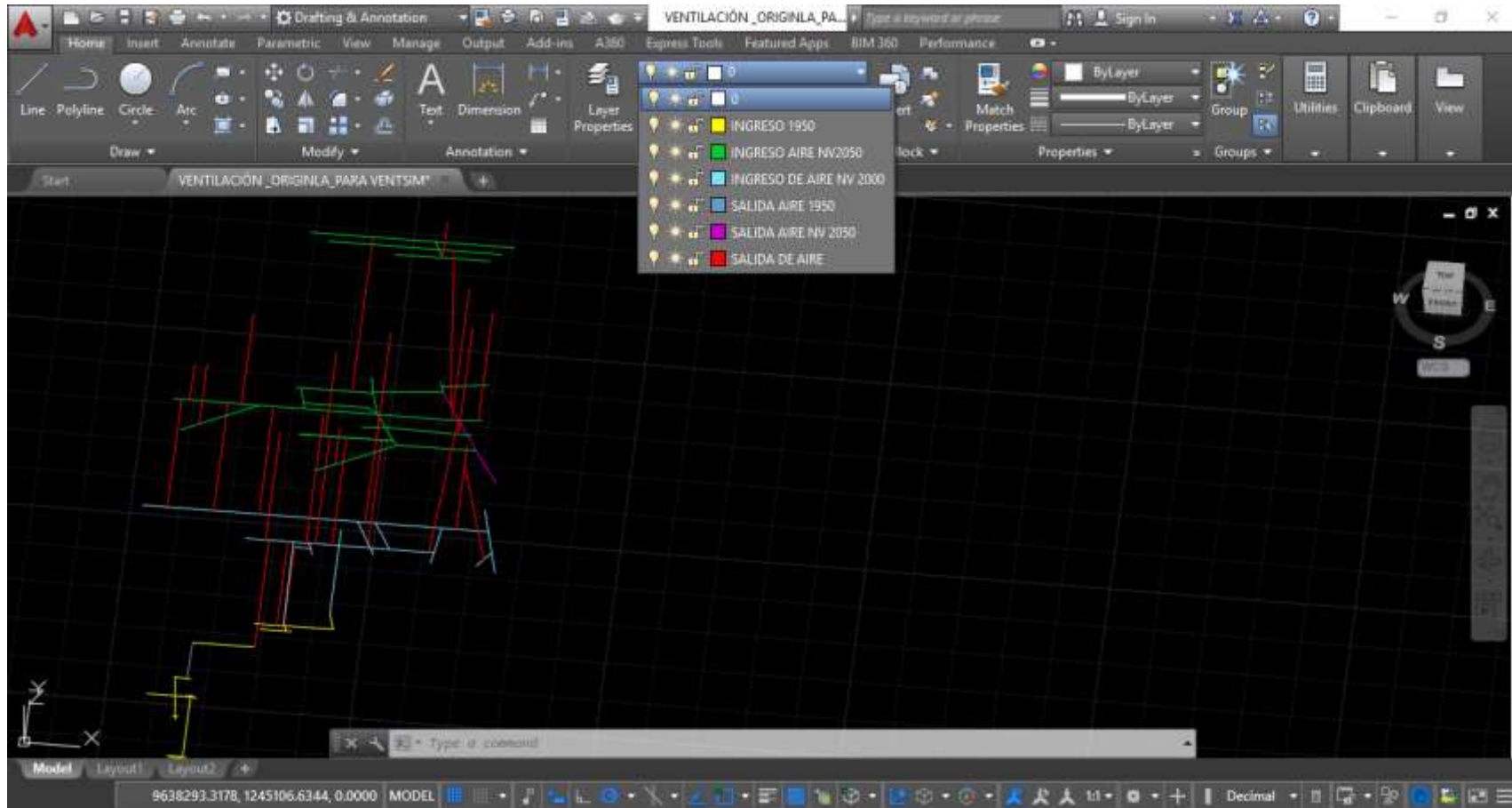
6.7.1. Estudio geométrico

Después de efectuar el reconocimiento de campo de las labores y recopilar la información necesaria se realizará la simulación de ingreso y salida de aire en el software VENTSIM™ Desing 5.1.

A continuación se describen los pasos para la construcción del modelo en el software VENTSIM™ Desing 5.1.

- Con los datos obtenidos en campo se realizó el diseño de las labores mineras en el software AutoCAD con sus respectivas capas y luego se guardó en formato DXF para realizar la importación al software VENTSIM™ Desing 5.1.(Ver figura 15)

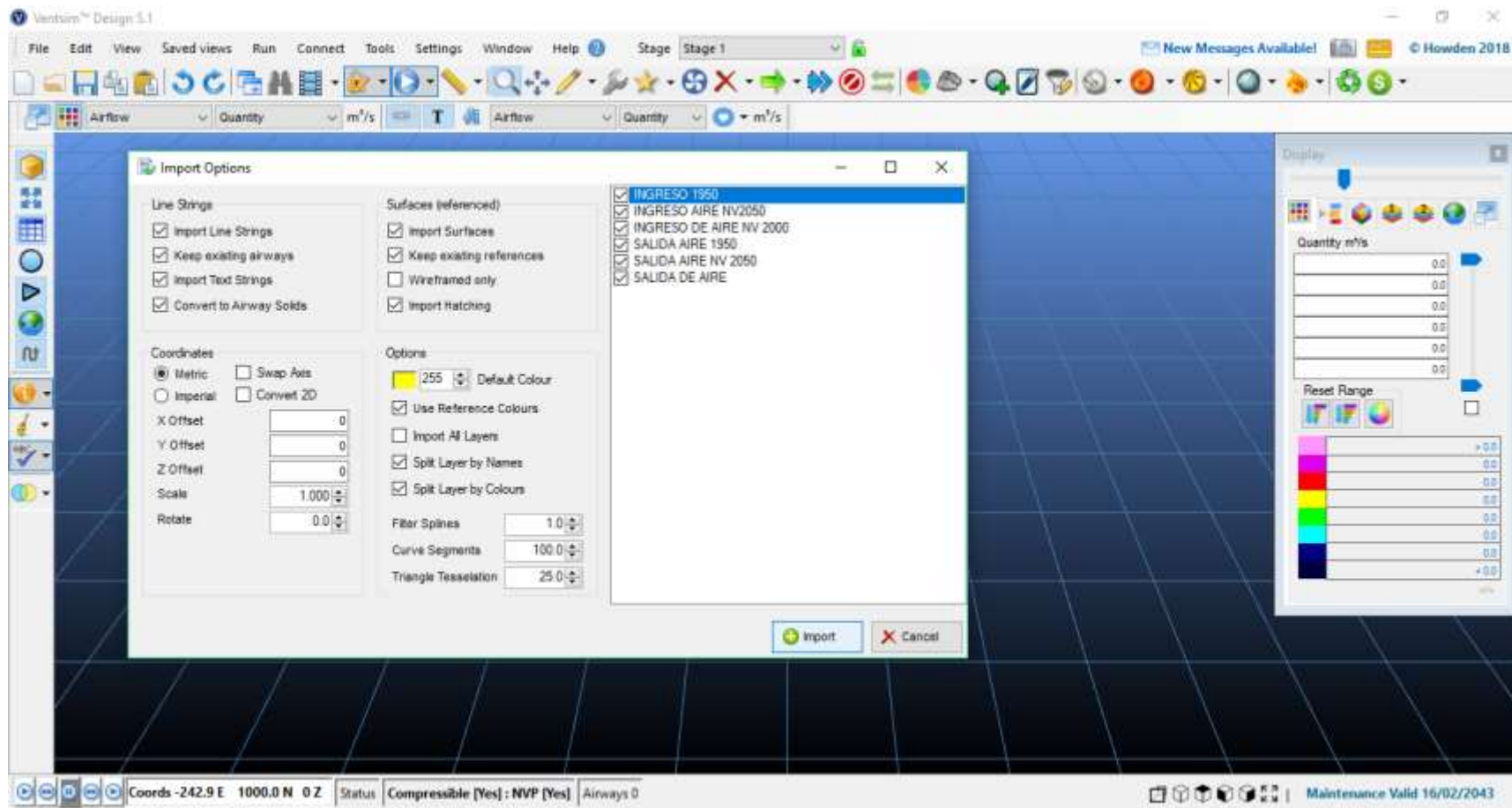
Figura 15 : Modelo 3d en AutoCAD



Fuente: Elaborado por los autores

- Realizando la importación al software VENTSIM™ Desing 5.1.(Ver figura 16)

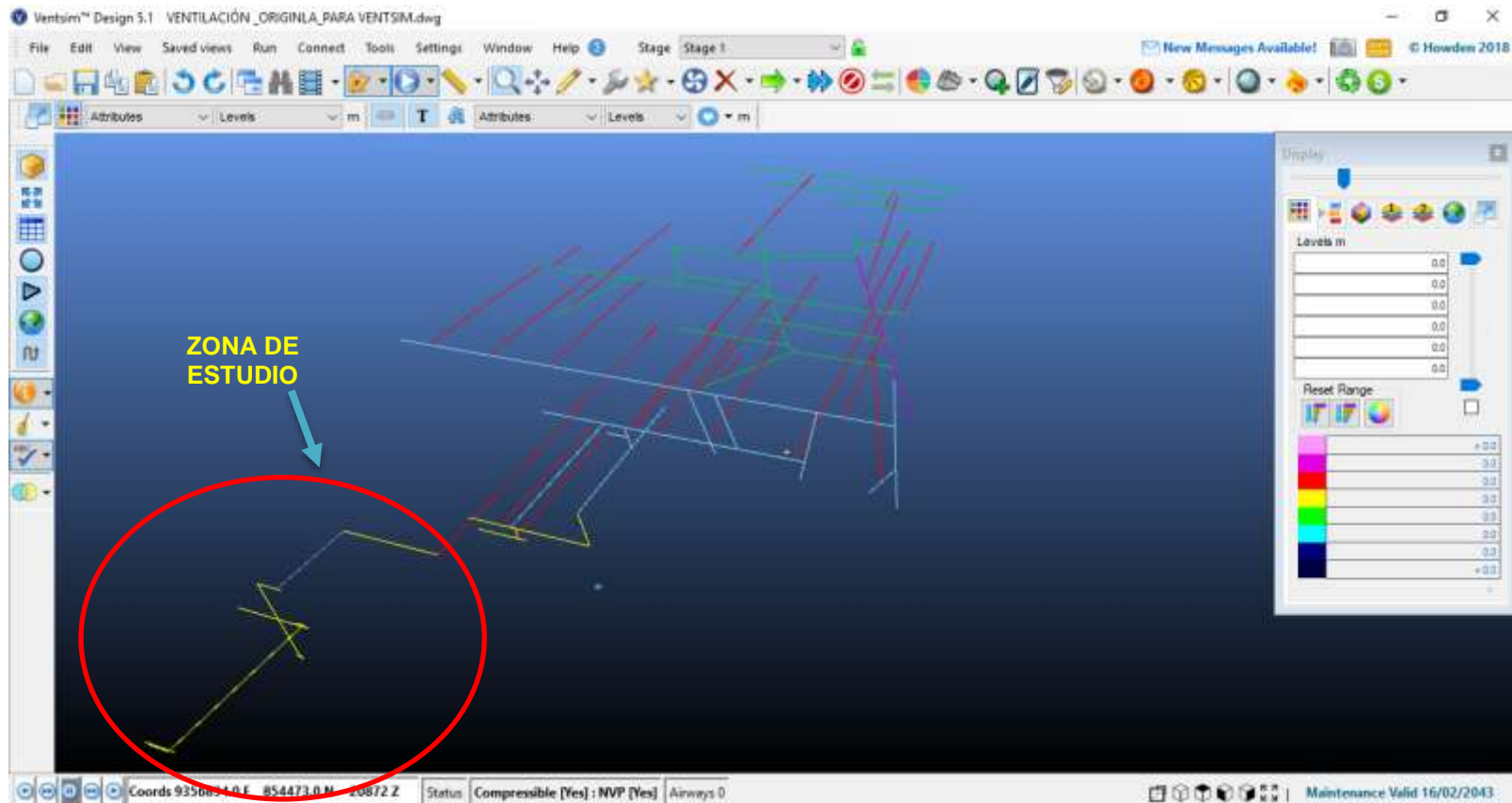
Figura 16 : Importación del modelo de AutoCAD a Ventsim



Fuente: Software VENTSIM™ Desing 5.1.

- Modelamiento de las labores de la Unidad Minera Troy S.A.C. en el Software VENTSIM™ Desing 5.1, incluido nuestra zona de estudio, el sub nivel 058.(Ver figura 17)

Figura 17 : Modelo de sólido en Ventsim



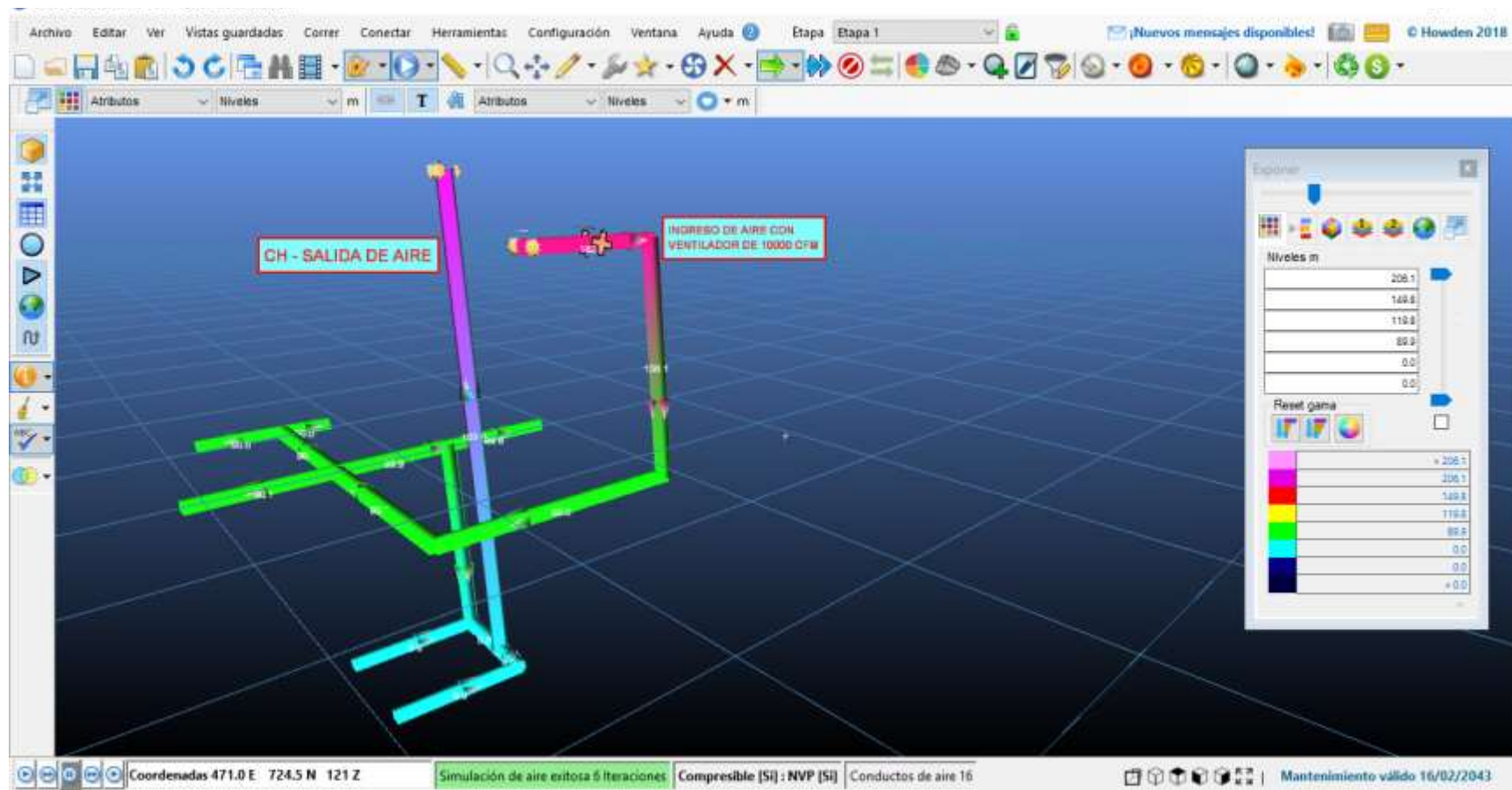
Fuente: Software VENTSIM™ Desing 5.1

6.7.2. Selección del ventilador

Luego de realizar los monitoreos de la situación actual del sub nivel 058 en la Unidad Minera Troy S.A.C, se analizó el sistema y se obtuvieron alternativas de mejora, que se refiere a la propuesta de instalar un ventilador de 10000 cfm para mejorar el ambiente en los frentes de trabajo. El proceso de análisis y planteamiento de alternativas de mejora se realizó en conjunto con nuestro asesor.

- A continuación en el software VENTSIM™ Desing 5.1 se detalla el ingreso de aire a través de un ventilador de 10000 cfm de tipo axial , el cual se distribuye por todo el sub nivel 058 y la salida del aire es a través de la chimenea desde el sub nivel 1950 hasta el sub nivel 2000. (Ver figura 18)

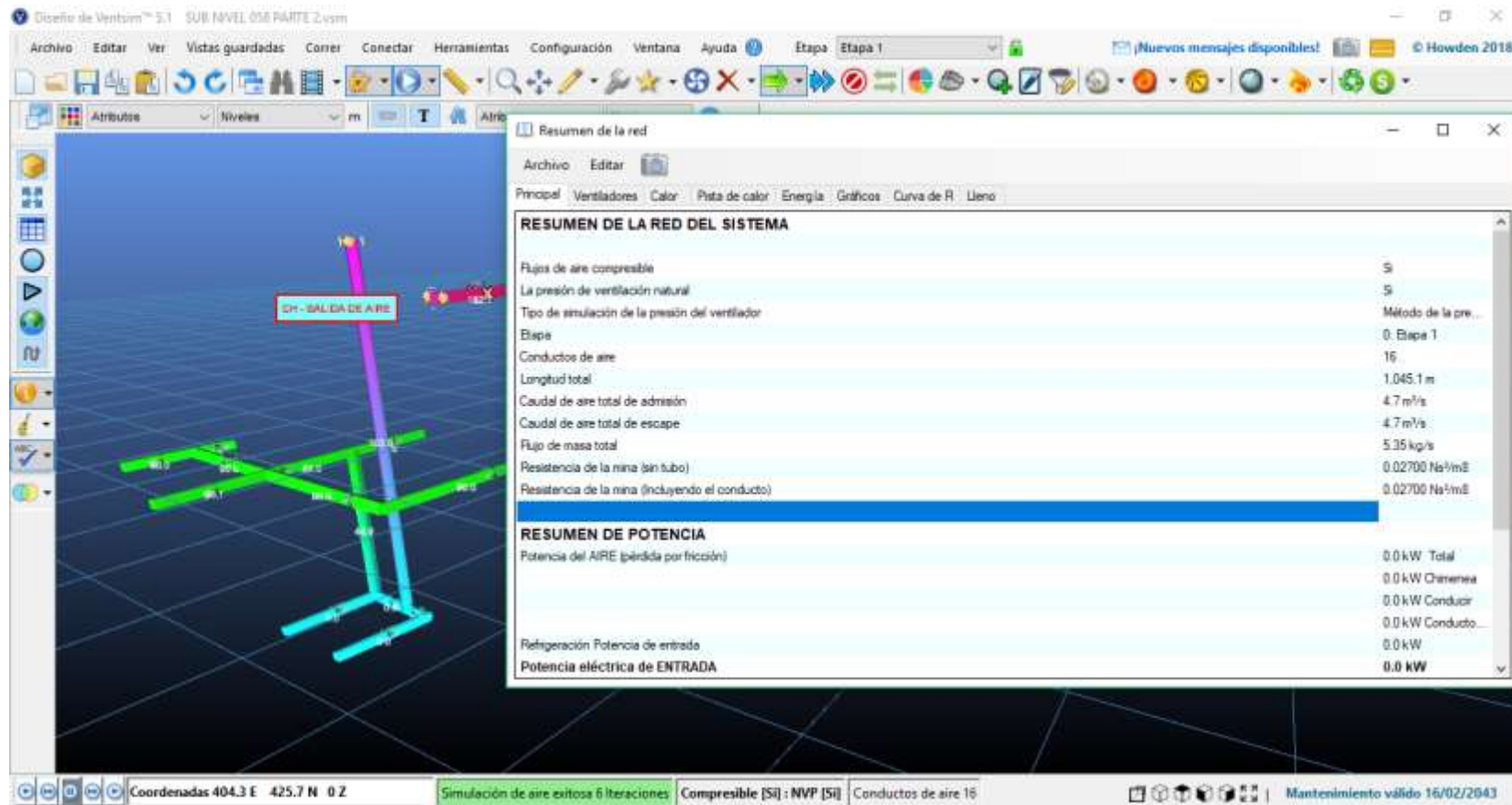
Figura 18 : Modelo de sólido del sub nivel 058 en Ventsim



Fuente: Elaborado por los autores

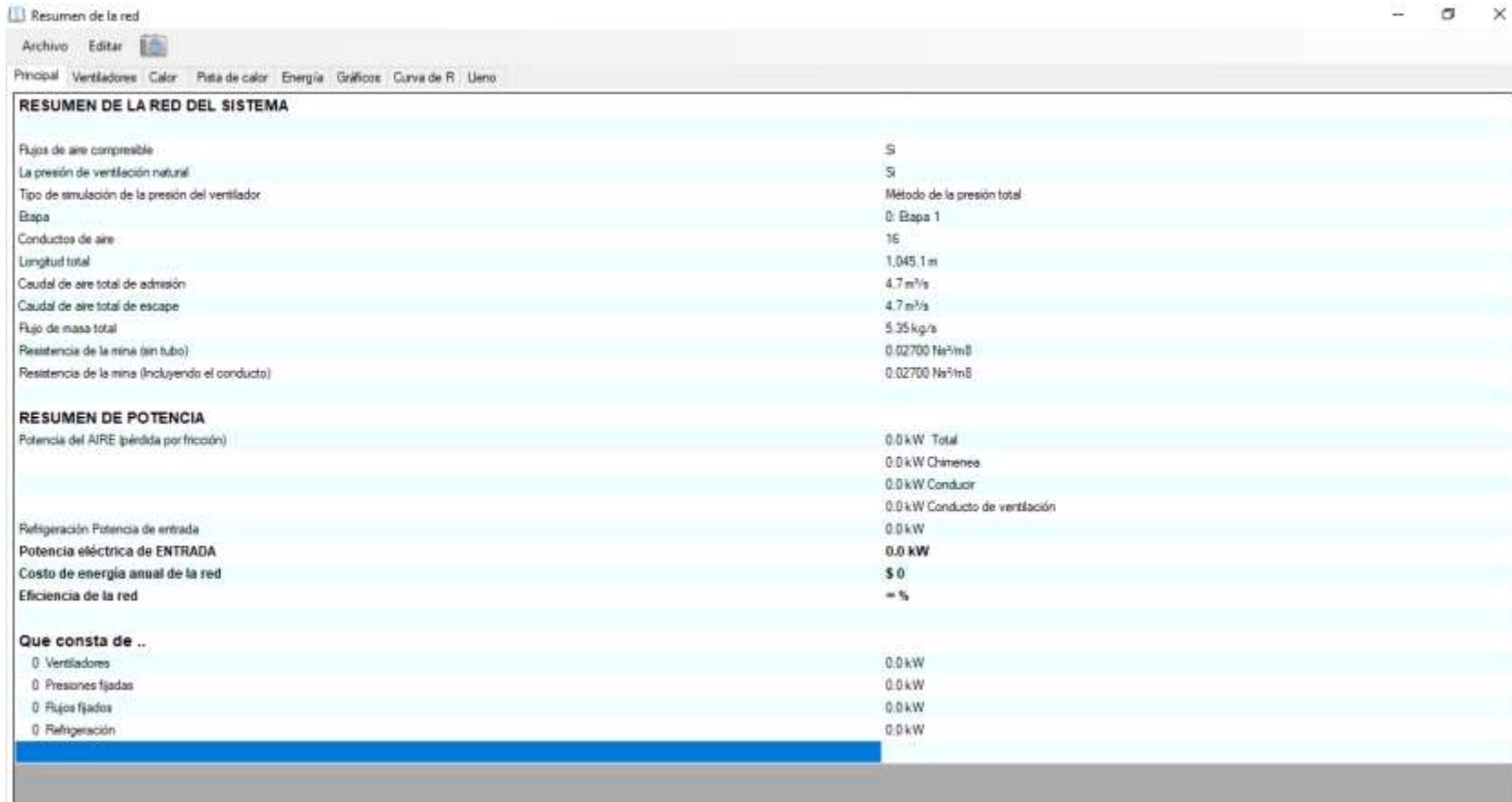
- En la figura que se presenta a continuación, se ha realizado un resumen de la red del sistema en la cual se detalla algunos parámetros acerca del ventilador axial. (Ver figura 19 y 20)

Figura 19 : Resumen de la red del sistema, Ventsim Desing 5.1



Fuente: Elaborado por los autores

Figura 20 : Resumen de la red del sistema, Ventsim Desing 5.1

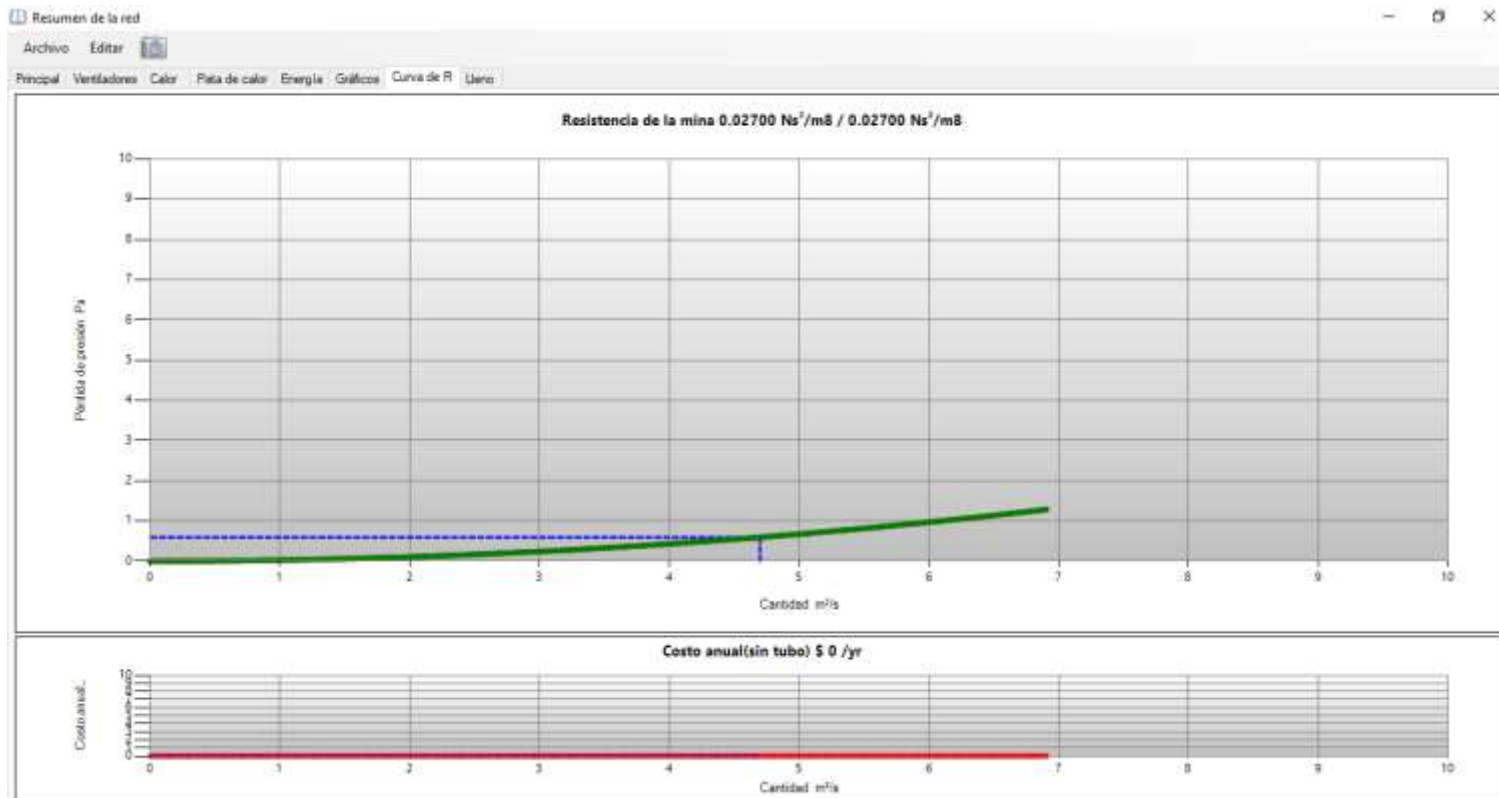


RESUMEN DE LA RED DEL SISTEMA	
Flujos de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Etapas	0: Etapa 1
Conductos de aire	16
Longitud total	1,045.1 m
Caudal de aire total de admisión	4.7 m ³ /s
Caudal de aire total de escape	4.7 m ³ /s
Flujo de masa total	5.35 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.02700 Ns ² /m ⁸
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	0.02700 Ns ² /m ⁸
RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	0.0 kW Total
	0.0 kW Chimeneas
	0.0 kW Conductor
	0.0 kW Conducto de ventilación
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 kW
Potencia eléctrica de ENTRADA	0.0 kW
Costo de energía anual de la red	\$ 0
Eficiencia de la red	= %
Que consta de ..	
0 Ventiladores	0.0 kW
0 Presiones fijas	0.0 kW
0 Flujos fijos	0.0 kW
0 Refrigeración	0.0 kW

Fuente: Elaborado por los autores

- En la gráfica que se presenta, se detalla la resistencia de la mina, a través de la cantidad m³/s vs la pérdida de presión en Pa.(Ver figura 21)

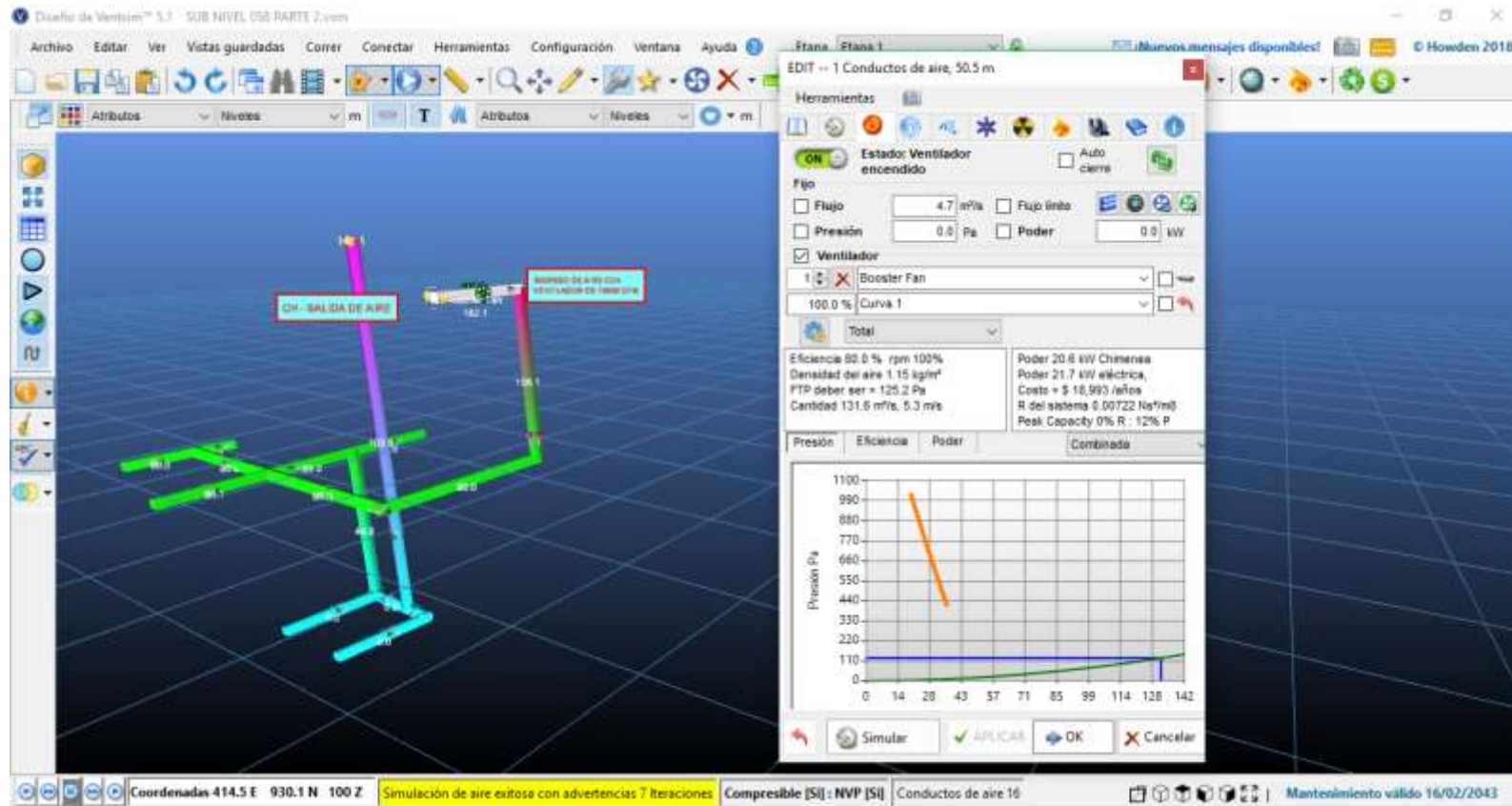
Figura 21 : Resumen de la red del sistema, Ventsim Desing 5.1



Fuente: Elaborado por los autores

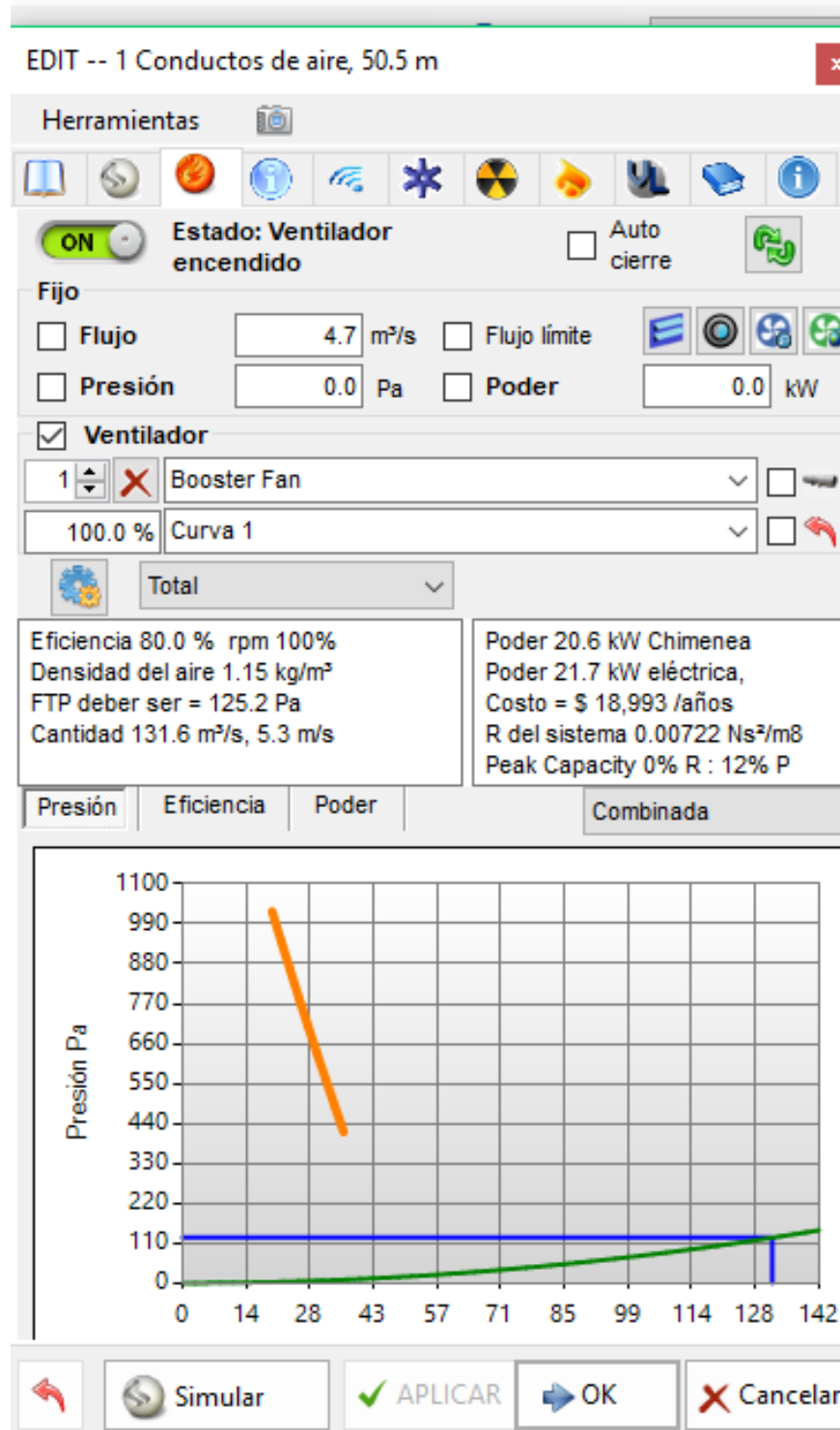
- A continuación se detalla las especificaciones del ventilador a utilizar en el sub nivel 058. (Ver figura 22 y 23)

Figura 22 : Especificaciones del ventilador a utilizar



Fuente: Elaborado por los autor

Figura 23 : Especificaciones del ventilador a utilizar



Fuente: Elaborado por los autores

CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

A partir de la investigación realizada, consideramos que la hipótesis establece que el nivel de ventilación en el sub nivel 058 de la Unidad Minera Troy es deficiente, algunos gases superan los límites máximos permisibles según la normatividad vigente. La manera de incrementarla es realizando el diseño e instalar un ventilador de 10 000cfm. Estos resultados guardan relación con lo que sostienen Castillo (2017), Reinoso (2017), Ponciano (2016), García (2016), y Claverías (2014), quienes señalan que una vez aplicadas las medidas correctivas en el diseño del circuito de ventilación de las unidades mineras, estas serán viables para cumplir con los estándares y normas vigentes, siendo capaz de proveer a los trabajadores un ambiente subterráneo de trabajo adecuado y favorable para desempeñar sus labores diarias, libre de riesgos y accidentes laborales, garantizando la seguridad en su salud. Estos autores expresan que la evaluación del sistema de ventilación va ligados en toda empresa minera de producción con el fin de obtener mejores condiciones termo ambiental de sus trabajadores, ya que el activo más valioso son los trabajadores. Concordando con los autores anteriormente mencionados.

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES

- En la evaluación del sistema de ventilación del sub nivel 058, las mediciones de las velocidades de aire se realizaron con ayuda de un anemómetro Lutrón Electronic Ent. CO., LTD modelo AM - 4206, donde se concluyó que a medida que se profundizan las labores de desarrollo, la velocidad de aire es insuficiente para mantener el ambiente de trabajo en condiciones saludables. En algunos sitios del sub nivel 058 se encuentran velocidades de 0 m/s, inconveniente que ocasiona la recirculación del aire contaminado y el aumento de la temperatura, por lo cual se genera una atmósfera minera con presencia de gases fuera de los límites máximos permisibles según la normativa peruana (D.S.023 – 2017 –EM).
- De acuerdo a los estudios realizados en el sub nivel 058 de la Unidad Minera Troy S.A.C. se llegó a una conclusión que el caudal requerido para el sub nivel 058 es de 266.75 m³/min o 9420.27 cfm, por lo cual se propone la instalación de un ventilador de 10000 cfm para mejorar la ventilación, mejorar la productividad, además de ello para que los gases presentes en el sub nivel 058 cumplan con los estándares según el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería (D.S. 023-2017-EM).
- En la Unidad Minera Troy S.A.C. la concentración de gases aumenta conforme las actividades de desarrollo se profundizan , en el sub nivel 058 debido a que se encuentra en la zona de más profundidad de la Unidad Minera las concentraciones de gases nitrosos exceden los límites máximos permisibles establecidos según el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería (D.S. 023 – 2017 – EM) , esto se debe a la utilización de productos químicos para la voladura ,lo cual hace que se dificulte el desempeño de los trabajadores. Es por ello que se utilizará el software Ventsim para el diseño y simulación del sistema de ventilación con la capacidad del ventilador propuesto a instalar en sub nivel 058.

CAPÍTULO 9. RECOMENDACIONES

- Se recomienda al titular de Minera Troy S.A.C. implementen el diseño del sistema de ventilación propuesto en el sub nivel 058 con el fin de mejorar el rendimiento de los trabajadores en las labores de desarrollo y aumentar la productividad.
- Se recomienda a unidad Minera Troy, que una vez que instale el ventilador de 10000 cfm en el sub nivel 058 se haga un monitoreo inicial para que se haga una comparación entre los datos tomados inicialmente cuando no se contaba con el ventilador.
- Se recomienda al titular de Minera Troy S.A.C. adquirir el software ventsim para que realicen las simulaciones del sistema de ventilación considerando la ubicación de los ventiladores en los diferentes sub niveles.
- Para la ubicación del ventilador, sugerimos realizar estudios de geotecnia para evaluar la estabilidad de la zona y de acuerdo a ello establecer medidas de prevención con el fin de garantizar seguridad cuando el equipo sea instalado y esté en operación.
- Implementar instrumentos de tecnología más avanzada, con el fin obtener información de mayor cantidad de gases que están presentes en las labores de desarrollo de la unidad Minera Troy S.A.C.
- La ventilación en el sub nivel 058 de la Unidad Minera Troy S.A.C. presenta deficiencia debido a la presencia de gases nitrosos en cantidades altas, es por ello que se recomienda instalar un ventilador de 10000 cfm.

CAPÍTULO 10. REFERENCIAS

Caxi, 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. (Tesis de pre-grado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.

Castillo, D.R. (2017). Evaluación del sistema de ventilación de la mina el roble. (Tesis de pre-grado). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Boyacá, Colombia.

Sutty, J. (2016). Influencia de la ventilación mecánica, en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 Mina Urano SAC - Puno. (Tesis de pre-grado). Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, Perú.

Carabajo, C.S. (2015). Diseño del circuito de ventilación de la zona norte de la Mina Cabo de Hornos, ubicada en el distrito aurífero – polimetálico Portovelo – Zaruma. (Tesis de pre-grado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

Claverías, J.S. (2014). Evaluación y optimización del sistema de ventilación de la compañía Minera Caravelí S.A.C aplicando el software ventsim visual 3. (Tesis de pre-grado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.

D.S. 024 – 2016 – EM, Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería, Lima ISEM.

Zitrón, (2010). Conferencia de ventilación de Minas, Lima Perú.

Yáñez, G. (1993). Ventilación de minas. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/282945685/Ventilacion-de-Minas-Exequiel-Yanez>

De la Cuadra, Luis. (1974). Laboreo de minas, Universidad Politécnica de Madrid – España.

Enrique, Jorge F. (2011). Evaluación del sistema de ventilación de la Mina San Ignacio de Morococha, aplicando el software Ventsim 3.9.

AIRTEC, Manual de Selección de Ventiladores Axiales. 2007, Lima.

CAPÍTULO 11. ANEXOS

ANEXO N° 1. PLANO DE UBICACIÓN DE LA UNIDAD MINERA TROY.

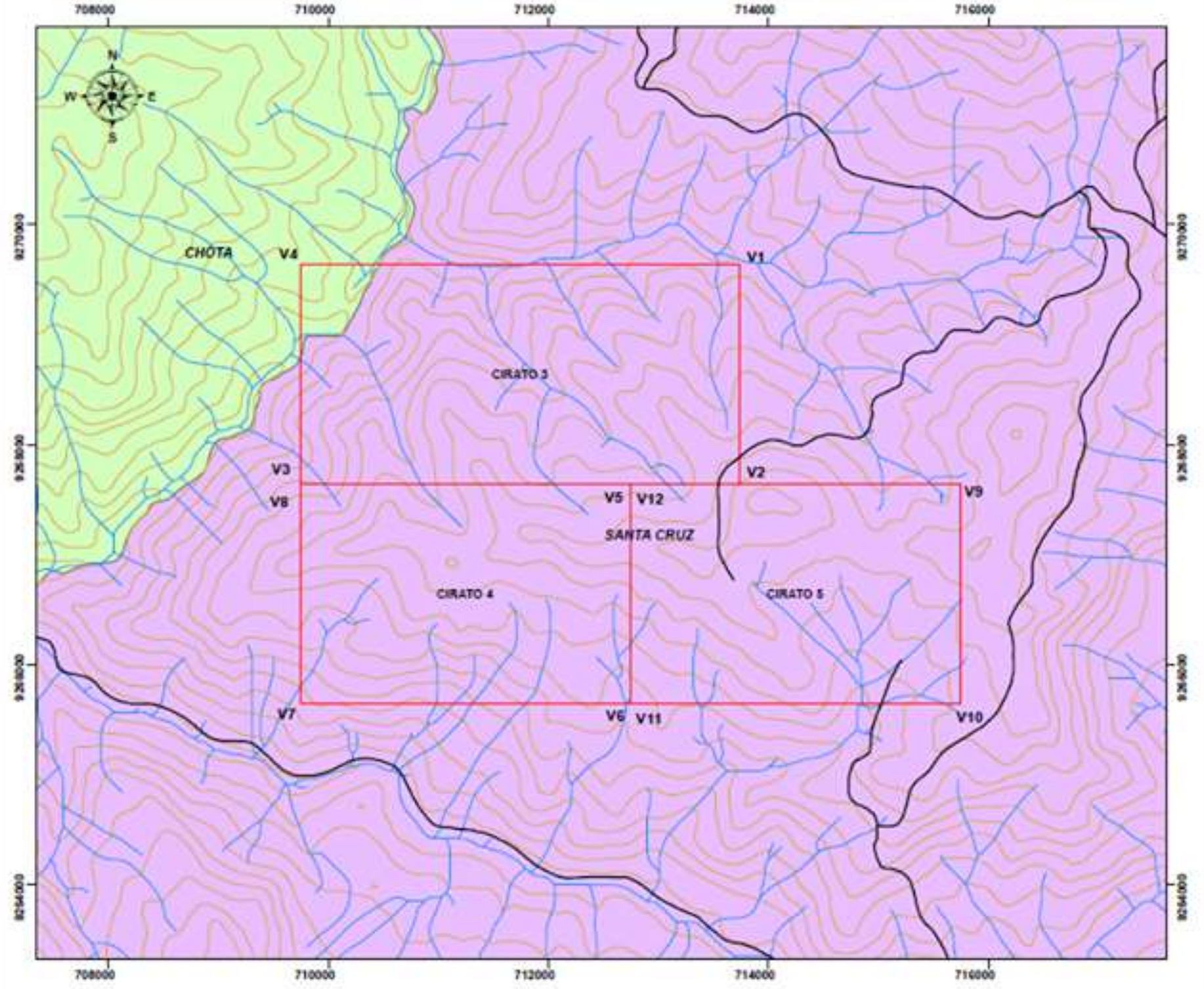
PROVINCIA DE SANTA CRUZ



PROYECTO LOS PIRCOS								
COORDENADAS UTM WGS 84 (Zona 17)								
CIRATO 3			CIRATO 4			CIRATO 5		
Vert.	Longitud (m)	Latitud (m)	Vert.	Longitud (m)	Latitud (m)	Vert.	Longitud (m)	Latitud (m)
1	9269636.53	713744.65	5	9269636.53	713744.65	9	715742.297	9267637.262
2	9267636.54	713744.65	6	9267636.54	713744.65	10	715742.297	9268637.262
3	9267636.54	709744.70	7	9267636.54	709744.70	11	712742.297	9268637.262
4	9269636.53	709744.70	8	9269636.53	709744.70	12	712742.297	9267637.262

LEYENDA

- VIAS DE ACCESO
- DRENAJE
- CURVAS DE NIVEL
- PROYECTO LOS PIRCOS



ESCALA : 1/40 000
 SISTEMA DE CUADRICULADO UTM CADA 2 KILÓMETROS
 DATUM : WGS '84
 ZONA : 17 S



PLAN DE MINADO PROYECTO MINERO "LOS PIRCOS"		PLANO : UBICACIÓN	
	ELABORADO POR:	TESISTAS	
	UBICACIÓN:		
	DISTRITO :	SEXI	ESCALA : 1/40 000
	PROVINCIA :	SANTA CRUZ	
DEPARTAMENTO :	CAJAMARCA	FECHA : 20-07-2018	LAMINA N°: 01

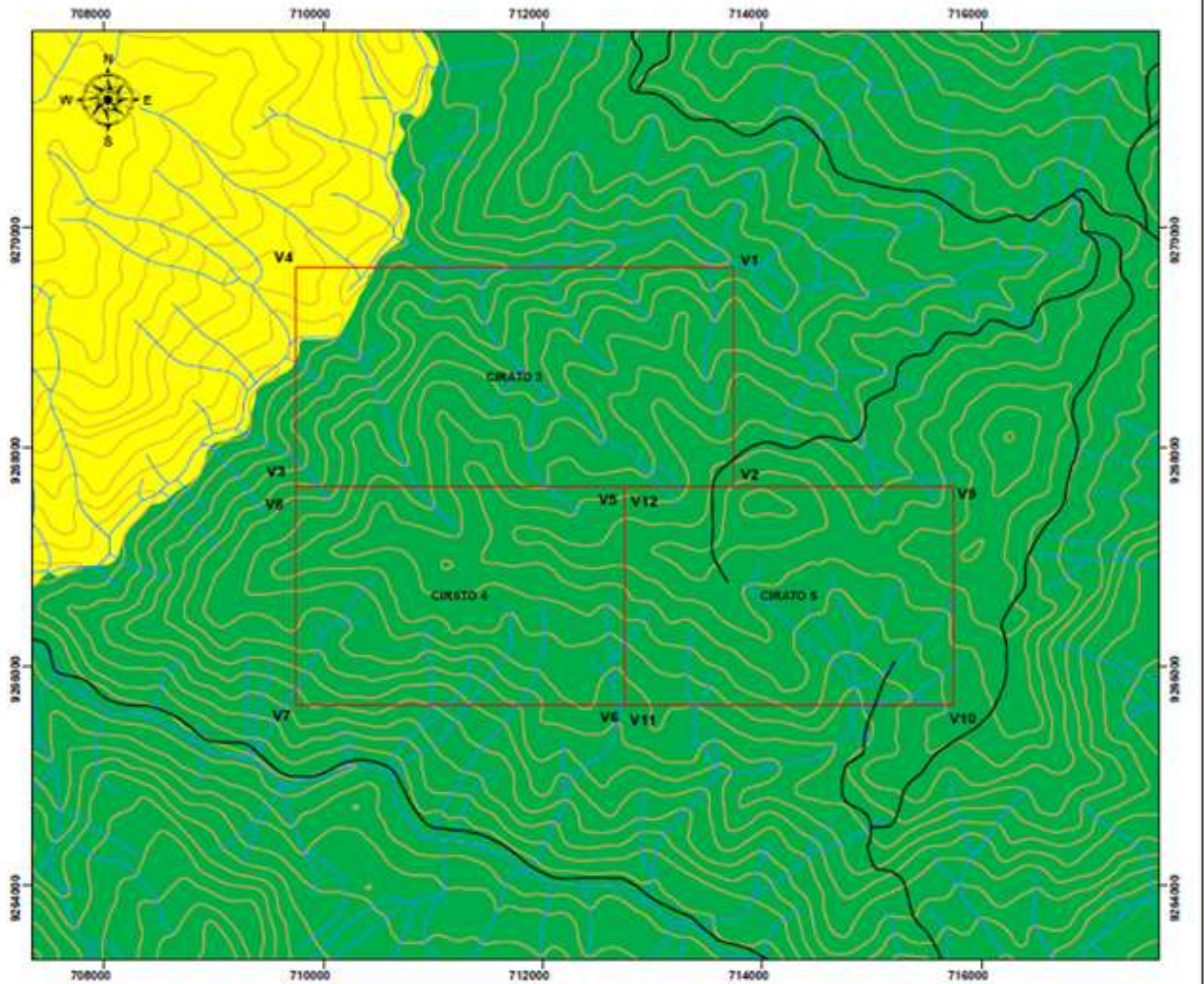
ANEXO N° 2. ZONIFICACIÓN SÍSMICA EN LA QUE SE ENCUENTRA LA UNIDAD MINERA TROY.

ZONAS SÍSMICAS DEL PERÚ



PROYECTO LOS PIRCOS								
COORDENADAS UTM WGS 84 (Zona 17)								
CIRATO 3			CIRATO 4			CIRATO 5		
Vert.	Longitud (m)	Latitud (m)	Vert.	Longitud (m)	Latitud (m)	Vert.	Longitud (m)	Latitud (m)
1	9269636.53	713744.65	5	9269636.53	713744.65	9	715742.297	9267637.262
2	9267636.54	713744.65	6	9267636.54	713744.65	10	715742.297	9264637.262
3	9267636.54	709744.70	7	9267636.54	709744.70	11	712742.297	9264637.262
4	9269636.53	709744.70	8	9269636.53	709744.70	12	712742.297	9267637.262

LEYENDA		ZONAS SÍSMICAS	
	VIAS DE ACCESO		ZONA 1
	DRENAJE		ZONA 2
	CURVAS DE NIVEL		ZONA 3
	PROYECTO LOS PIRCOS		ZONA 4



ESCALA : 1/40 000
 SISTEMA DE CUADRICULADO UTM CADA 2 KILOMETROS
 DATUM : WGS '84
 ZONA : 17 S



PLAN DE MINADO PROYECTO MINERO "LOS PIRCOS"		PLANO : ZONIFICACIÓN SÍSMICA	
ELABORADO POR: TESISTAS		ESCALA : 1/40 000	
UBICACIÓN : DISTRITO : SEXI PROVINCIA : SANTA CRUZ DEPARTAMENTO : CAJAMARCA		FECHA : 20-07-2018	
			LAMINA N°: 02

ANEXO N° 3. DIAGRAMA ISOMÉTRICO DE VENTILACIÓN MINERA TROY

**ANEXO N° 4. REGISTRO DE PUNTOS DE MONITOREO DE CAUDALES DE AIRE
MINA TROY S.A.C.**

ANEXO N° 5. INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN EL MONITOREO DE GASES

Fotografía 5: Medición de temperaturas y velocidades de aire

Anemómetro Lutrón Electronic Ent. CO., LTD.



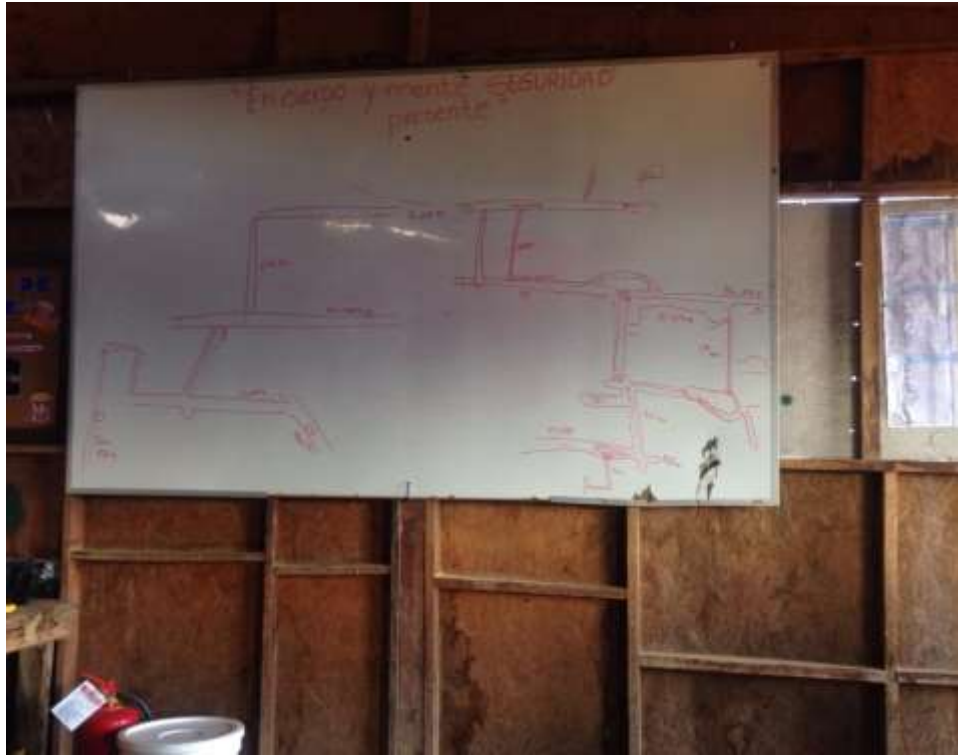
Fuente: Foto tomada por los autores

Fotografía 6: equipo Detector Multigas Altair 5x



Fuente: Foto tomada por los autores

ANEXO N° 6. INDUCCIÓN ACERCA DE LA UNIDAD MINERA TROY S.A.C.



Fuente: Foto tomada por los autores

ANEXO N° 7. LÍMITES DE EXPOSICIÓN OCUPACIONAL PARA AGENTES QUÍMICOS

Nº	Agentes Químicos (en el aire)	Límites de Exposición Ocupacional					
		TWA		STEL		Techo (C)	
1	Acetona	500	ppm	750	ppm		
2	Ácido Acético	10	ppm	15	ppm		
3	Ácido Clorhídrico					2	ppm
4	Ácido Nítrico	2	ppm	4	ppm		
5	Acido Sulfhídrico (H2S)	10	ppm	15	ppm		
6	Amoníaco Anhidro	25	ppm	35	ppm		
7	Anhidrido Sulfuroso (SO2)	2	ppm	5	ppm		
8	Antimonio	0.5	mg/m ³				
9	Arseniato de Plomo	0.15	mg/m ³				
10	Arseniato de Calcio	1	mg/m ³				
11	Arsénico (can)	0.01	mg/m ³ A1				
12	Benceno (can)	0.5	ppm (p)				
13	Cianuro (Como CN)					5	mg/m ³ (p)
14	Cianuro de Hidrogeno (HCN)					4.7	ppm(p)
15	Cloro	0.5	ppm	1	ppm		
16	Clorobenceno	10	ppm	20	ppm		
17	Cloroformo	10	ppm				
18	Cobre (humo)	0.2	mg/m ³				
19	Cobre (polvo/neblina)	1	mg/m ³				
20	Dióxido de Carbono	5000	ppm	30000	ppm		
21	Dióxido de Nitrógeno	3	ppm	5	ppm		
22	Éter Etílico	400	ppm	500	ppm		
23	Fluoruro de Hidrogeno (HF)					2.5	mg/m ³
24	Formaldehído					0.3	ppm
25	Fosgeno	0.1	ppm				
26	Gasolina	500	ppm				
27	Hidrógeno (H)					5000	ppm
28	Humo de Cadmio (can)	0.01	mg/m ³				
29	Humo de Óxido Férrico	5	mg/m ³				
30	Manganeso	0.2	mg/m ³				
31	Mercurio	0.025	mg/m ³ (p)				
32	Metano (CH ₄)					5000	ppm
33	Monóxido de Carbono (CO)	25	ppm				
34	Mónoxido de Nitrogeno	25	ppm				
35	Neblina de acido sulfúrico	1	mg/m ³	3	mg/m ³		
36	Oxígeno (O ₂)	19.5	%			22.5	%
37	Ozono Trabajo Pesado	0.05	ppm				
38	Ozono Trabajo Moderado	0.08	ppm				
39	Ozono Trabajo Ligero	0.1	ppm				
40	Ozono Trabajo Cualquiera (<= 2 horas)	0.2	ppm				
41	Plomo	0.05	mg/m ³				
42	Polvo de Carbón - Antracita	0.4	mg/m ³				
43	Polvo de Carbón - Bituminoso	0.9	mg/m ³				
44	Polvo inhalable (1)	10	mg/m ³				
45	Polvo respirable (1)	3	mg/m ³				
46	Selenio	0.2	mg/m ³				
47	Sílice Cristalino Respirable (Cristobalita)	0.05	mg/m ³				
48	Sílice Cristalino Respirable (Cuarzo)	0.05	mg/m ³				
49	Sílice Cristalino Respirable (Tridimita)	0.05	mg/m ³				
50	Sílice Cristalino Respirable (Tripoli)	0.1	mg/m ³				
51	Talio, Compuestos solubles de	0.1	mg/m ³ (p)				
52	Telurio	0.1	mg/m ³				
53	Tetracloruro de Carbono	5	ppm(p)	10	ppm(p)		
54	Tolueno	50	ppm(p)				
55	Uranio, Compuesto solubles e insolubles	0.2	mg/m ³	0.6	mg/m ³		
56	Vanadio, Polvos de V ₂ O ₅	0.5	mg/m ³				
57	Vanadio, Humos metálicos de V ₂ O ₅	0.1	mg/m ³				
58	Zinc (humo)	2	mg/m ³	10	mg/m ³		

Fuente: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (D.S. N° 024-2016-EM)