

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería de Minas

“EVALUACIÓN DE LA VENTILACIÓN EMPLEANDO EL SOFTWARE VENTSIM PARA EL MODELAMIENTO DEL SISTEMA EN UNA MINA SUBTERRANEA POLIMETÁLICA EN EL CERRO JESUS, HUALGAYOC 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Elman Jhosmel Gamboa Cordova

Bach. Leiber Cotrina Pérez

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo Alvarez León

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios por brindarme buena salud, por darme la fortaleza para enfrentar todos los retos con responsabilidad y dedicación y así poder cumplir con todos mis objetivos. A mis padres por ser el pilar más importante durante todo este largo recorrido; a mis hermanos que me apoyaron siempre; a mis familiares y amigos, se den a entender mis sentimientos de cariños y aprecio a cada uno de ustedes.

Elman Jhosmel

La presente Tesis la dedico a Dios por otorgarme buena salud y la sabiduría para facilitar el logro de los objetivos planteados a nivel personal y profesional. A la memoria de mi Padre quien me apoyo siempre en el desarrollo de mi vida profesional, a mi Madre quien estuvo siempre presente en cada paso, a mis familiares y amigos quienes también fueron el respaldo para lograr mis objetivos, se den a entender mis sentimientos de consideración, respeto y aprecio.

Leiber

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a mis padres por el apoyo incondicional, a mis amigos por hacerme sentir que puedo contar con ellos en cada momento, y al ingeniero Víctor Eduardo Alvarez León por brindarme todos sus conocimientos para el desarrollo de la investigación.

A la Universidad Privada del Norte por permitir la adquisición de conocimientos y experiencias educativas.

Elman Jhosmel

Primero agradecer a Dios ya que sin su bendición no hubiese llegado a cumplir mis objetivos. A mi madre quien siempre estuvo a mi lado en lo buenos y malos momentos a lo largo de este periodo, a mis familiares y amigos.

Al Ingeniero Víctor Eduardo Alvarez León por ser nuestra una guía educativa.

A la Universidad Privada del Norte por permitir el desarrollo de mi aprendizaje profesional y personal.

Leiber

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ECUACIONES	7
RESUMEN	8
CAPÍTULO 1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad problemática.....	9
1.2. Formulación del problema	25
1.3. Objetivos	25
1.4. Hipótesis.....	26
CAPÍTULO 2. CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	28
2.1. Tipo de investigación	28
2.2. Población y muestra	28
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	30
2.4. Procedimiento	31
CAPÍTULO III. RESULTADOS	33
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	56
4.1 Discusión.....	56
4.2 Conclusiones	59
REFERENCIAS	61
ANEXOS	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites Máximos Permisibles	18
Tabla 2. Materiales, Instrumentos y Métodos de recolección de datos.....	30
Tabla 3. Concentración de Óxido de Nitrógeno en los niveles 3770 y 3765	33
Tabla 4. Concentraciones de Monóxido de Carbono en los niveles 3770 y 3765.....	35
Tabla 5. Concentraciones de Oxígeno en el aire de los niveles 3770 y 3765	37
Tabla 6. Comparación de las concentraciones de Óxido de Nitrógeno en los niveles 3770 y 3765 con los Límites Máximo Permisibles	39
Tabla 7. Comparación de las concentraciones de Monóxido de Carbono en los niveles 3770 y 3765 con los Límites Máximos Permisibles.....	41
Tabla 8. Comparación de la concentración de Oxígeno en el aire de los niveles 3770 y 3765 con el D.S. N° 023-2017-EM	43
Tabla 9. Velocidad y Caudal de aire en BM del nivel 3765.....	46
Tabla 10. Valores de temperatura.....	50
Tabla 11. Tiempo de permanencia del personal según temperatura.....	50
Tabla 12. Resumen del aire total requerido en la mina subterránea polimetálica de Hualgayoc.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plano topográfico de los niveles 3770 y 3765	29
Figura 2. Concentraciones de Óxido de Nitrógeno en los niveles 3770 y 3765	34
Figura 3. Concentraciones de Monóxido de Carbono en los niveles 3770 y 3765	36
Figura 4. Concentraciones de Oxígeno en el aire en los niveles 3770 y 3765	38
Figura 5. Comparación de las concentraciones de Óxido de Nitrógeno en los niveles 3770 y 3765 con los Límites Máximos Permisibles.....	40
Figura 6 . Comparación de las concentraciones de Monóxido de Carbono en los niveles 3770 y 3765 con los Límites Máximos Permisibles.....	42
Figura 7. Comparación de las concentraciones de oxígeno en el aire de los niveles 3770 y 3765 con el D.S. N° 023-2017-EM	44
Figura 8. Plano de los niveles 3770 y 3765 de la mina subterránea polimetálica en el cerro Jesús, Hualgayoc	45
Figura 9. Simulación de la velocidad de aire dentro de las galerías 1 y 3 de los niveles 3770 y 3765.....	46
Figura 10. Simulación del caudal de aire dentro de las galerías 1 y 3 de los niveles 3770 y 3765	47
Figura 11. Modelamiento del nuevo sistema de ventilación de los niveles 3770 y 3765	53
Figura 12. Curvas características del ventilador empleado en la nueva red de ventilación.....	54
Figura 13. Resumen de la nueva red de ventilación de los niveles 3770 y 3765	55

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Caudal de aire para personal.....	22
Ecuación 2. Caudal de aire para equipos.....	22
Ecuación 3. Caudal requerido por consumo de explosivos.....	22
Ecuación 4. Requerimiento de aire por temperatura	23
Ecuación 5. Requerimiento por fugas	23

RESUMEN

La presente investigación titulada “Evaluación de la Ventilación empleando el Software VentSim para el modelamiento del sistema en una Mina Subterránea Polimetálica en el Cerro Jesús, Hualgayoc 2021”, se genera debido a que en la pequeña labor subterránea que se viene explotando empleando el método subterráneo se tiene una cortada de 13.5 metros con un desarrollo en galerías en los niveles 3770 y 3765, se ejecuta operaciones de perforación y voladura. La limitada ventilación de las galerías es objeto de nuestro estudio para simular, evaluar y modelar la ventilación con el software VentSim. El objetivo de la investigación es evaluar la ventilación empleando el software VentSim, herramienta informática especializada para el diseño y modelamiento de redes de ventilación. La investigación fue no experimental – descriptiva y la muestra en estudio consistió en las labores de las galerías 1 y 3 de la mina subterránea polimetálica de Hualgayoc, ya que en estas galerías se realiza actualmente la extracción de minerales. Como resultado de la investigación se concluye que las concentraciones de NO, no superan el Límite Máximo Permisible establecido (5 ppm); con respecto al CO, este gas si supera el Límite Máximo Permisible (25 ppm). A sí mismo, se concluye que la concentración de Oxígeno en el aire, es deficiente ya que no alcanza el valor mínimo establecido en el D.S. N° 023-2017-EM (19.5 %). También se concluye que la velocidad de aire tomada en Bocamina del nivel 3765 es de 31.94 m/min y tiene un caudal de 4962 CFM y que el Software VENTSIM permitió modelar un nuevo sistema de ventilación directa, que cumple con la necesidad de aire requerido en interior mina.

Palabras clave: ventilación, VENTSIM, galería, gases de mina, partes por millón (ppm).

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Actualmente, la minería, es la actividad que representa un aporte económico representativo al país, por lo que las empresas están constantemente buscando mejorar los escenarios operacionales para poder maximizar las utilidades mediante la optimización de reservas y la alta productividad anual sin presencia de accidentes. En minería subterránea, la ventilación es vital para el desarrollo de cada una de las actividades del proceso productivo, pero ésta se va haciendo cada vez más compleja debido al aumento de las profundidades de los yacimientos mineros, obligando así a buscar nuevas tecnologías que faciliten diseñar la ventilación para cumplir con las condiciones necesarias y así desarrollar adecuadamente las actividades al interior de la mina.

La pequeña labor subterránea que se viene explotando utilizando el método subterráneo en el Cerro Jesús en Hualgayoc, inició operaciones en noviembre del 2020 y actualmente han hecho una cortada de 13.5 metros con un desarrollo en galerías en los niveles 3770 y 3765, profundizando y encontrando minerales de galena y esfalerita los que se están extrayendo, ejecutándose operaciones de perforación y voladura. La limitada ventilación de las galerías es objeto de nuestro estudio para que con ayuda del software especializado ventsim, realizar la simulación de la ventilación actual y el modelamiento de una nueva red de ventilación que cumpla con los requerimientos de aire en interior mina.

Viza (2016), menciona que en minería subterránea es imprescindible la ventilación, la cual va siendo más compleja cada día porque es un proceso continuo de proveer aire fresco de calidad y cantidad a todas las partes de una mina donde se encuentra personal y equipo trabajando. Al mismo tiempo, es esencial hacer un análisis temporal de la ventilación en el interior de la mina para recolectar datos que permitan definir anomalías en la misma y tomar medidas de corrección a fin de evitar incidentes y accidentes.

Según Viza (2016), “es indispensable actualizar el diseño de red de ventilación conforme va desarrollándose las labores donde va experimentando modificaciones continuas”. Por otro lado, llevar aire fresco a los frentes de trabajo demanda costos, es por ello que la utilización de un software de simulación de ventilación resulta una estrategia muy útil para optimizar costos y el tiempo empleado para la evaluación y diseño de los circuitos de ventilación.

En el contexto descrito anteriormente, se encuentra una Mina Subterránea Polimetálica en el Cerro Jesús - Hualgayoc, esta se encuentra a una altitud de 3546 m.s.n.m. La empresa se dedica a la extracción de minerales polimetálicos (Esfalerita y Galena) con una producción anual de 120 Tn – 150 Tn por año, el trabajo es de turno día con actividad de voladura por la noche. Las actividades se cumplen con un total de 12 trabajadores a través de una explotación convencional. En la actualidad, dentro de la Unidad Minera se están realizando trabajos de producción, por lo que surge la necesidad de evaluar continuamente la ventilación a fin de suministrar el volumen de aire fresco necesario para el bienestar del personal, el

correcto funcionamiento de equipos.

Luego de realizar la observación sistemática de las actividades de producción de la Empresa, y de haber aplicado la metodología de Ishikawa, se determinó que existe una deficiencia en la ventilación minera luego de la actividad de voladura (paras aproximadas de 5 horas generando retrasos en las operaciones); lo cual conlleva a que se trabaje solo turno día y generando malestar en los trabajadores. Los puntos críticos son: la deficiencia de respiración en el personal, la inexistencia de herramientas de gestión y equipos para ventilación y exposición a gases de mina (exposición a enfermedades ocupacionales).

Visto la problemática existente, la presente investigación busca evaluar la ventilación actual y posterior a ello modelar un nuevo sistema que cumpla con las condiciones apropiadas de trabajo, tanto a referencia de pureza, velocidad y caudal de aire a fin de ofrecer una ventilación eficiente en las labores de extracción, evitar posibles enfermedades ocupacionales y generar beneficio económico para la empresa (mejor eficiencia en las operaciones).

Los **antecedentes** identificados que nos permiten realizar comparaciones de los resultados similares son:

Ramírez y Fuentes (2019), presentaron su tesis a la facultad de ingeniería de la Universidad de Concepción, en Chile; titulada “modelamiento del sistema de ventilación y control de metano con el simulador VentSim™ en la mina subterránea de carbón Fezmine, Polonia”, tuvo como uno de sus objetivos seleccionar la

herramienta de simulación más adecuada para el desarrollo de la modelización del problema y el diseño del circuito de ventilación. En sus conclusiones los autores dicen que VentSim™ es el más apto para el desarrollo de este estudio, por sus capacidades, facilidad de uso y estabilidad, además de que es efectivamente una herramienta de simulación útil para el diseño e implementación de circuitos de ventilación considerando emisiones de metano y se diseña un sistema de ventilación de flujo de aire y metano que permite evaluar desgasificaciones con la ley.

Guevara y Villanueva (2018), presentaron su tesis a la facultad de ingeniería de la Universidad Privada del Norte, en Cajamarca; cuyo título fue “Evaluación y propuesta del sistema de ventilación en el subnivel 058 en minera Troy SAC – Cajamarca 2018”, como resultados de su investigación se obtuvieron los siguientes valores máximos: Oxígeno (O₂) 20.37%; monóxido de carbono (CO), 10.94 ppm; dióxido de carbono (CO₂) 0,28% y dióxido de nitrógeno (NO₂) 0,70%. A partir de estos resultados se estableció que la que la ventilación en el sub nivel 058 es deficiente ya que algunos gases superan los límites máximos permisibles según la normativa vigente.

García (2016), en su tesis presentada a la facultad de ingeniería de la Universidad Privada del Norte, en Cajamarca; cuyo título fue “evaluación de la situación actual del sistema de ventilación y propuesta para su optimización en mina subterránea carbonífera mi Grimaldina I- Cajamarca 2016”, en uno de sus objetivos específicos realiza la medición de la calidad de aire teniendo en cuenta, CO₂, SO₂ Y NO₂. Para

dicho objetivo los resultados máximos obtenidos a partir de las mediciones realizadas en campo respecto a cada uno de los gases fueron: SO₂, 9,24 µg/m³; para CO, 6371.96 µg/m³ y para NO₂, 61.91 µg/m³. Como conclusión se estableció que ninguno de estos gases sobrepasa los límites máximos permisibles establecidos.

Asimismo, es importante abordar el sustento teórico respecto a las variables del presente estudio identificadas en fuentes confiables como: Google académico, Scielo, Refseek, Science Directed, entre otros.

La evaluación; según el autor Ander -Egg (2000), la define como una forma de investigación social aplicada, sistemática, planificada y dirigida; encaminada a identificar, obtener y proporcionar de manera válida y fiable, datos e información suficiente y relevante en que apoyar un juicio acerca del mérito y el valor de los diferentes componentes de un programa (tanto en la fase de diagnóstico, programación o ejecución), o de un conjunto de actividades específicas que se realizan, han realizado o realizarán con el propósito de producir efectos y resultados concretos; comprobando la extensión y el grado en que dichos logros se han dado, de forma tal, que sirva de base o guía para una toma de decisiones racionales e inteligentes entre cursos de acción, o para solucionar problemas y promover el conocimiento y la comprensión de los factores asociados al éxito o al fracaso de sus resultados.

Por otra parte, Fernández (2005), define evaluación como: “Proceso contextualizado y sistematizado, intencionalmente diseñado y técnicamente

fundamentado, de recopilación de información relevante, fiable y válida, que permita emitir un juicio valorativo en función de los criterios previamente determinados como base para la toma de decisiones.

Modelo o modelamiento es una representación parcial de la realidad; esto se refiere a que no es posible explicar una totalidad, ni incluir todas las variables que esta pueda tener, por lo que se refiere más bien a la explicación de un fenómeno o proceso específico, visto siempre desde el punto de vista de su autor (Aguilera, 2000).

Por su parte Flórez (1999), indica que cuando el individuo prefigura en su mente la acción que va a ejecutar a continuación, la está planeando, preordenando, modelado. Por lo tanto, un modelo es la imagen o representación del conjunto de relaciones que definen un fenómeno, con miras a su mejor comprensión. Aunque difieren cualitativamente en cuanto a su valor explicativo, todos los modelos comparten la característica de ser imágenes o representaciones construidas acerca de lo que podría ser la multiplicidad de fenómenos o cosas observables reducidas a una raíz común que permita captarlas como similares en su estructura o al menos en su funcionamiento. Como conclusión, podemos decir que este término puede ser definido como una representación de algo propuesto como perfecto el cuál se debe seguir, cuyo propósito sería explicar un fenómeno cualquiera para facilitar su comprensión.

Circuito de ventilación, según Andrade (2008), es una forma como se encuentran interconectadas todas las galerías de un sistema de ventilación dentro de una mina,

una pequeña complicación dentro del circuito de ventilación estará ligada a las conexiones de todas las galerías dentro de este. Dentro de un circuito de ventilación es muy frecuente encontrar las siguientes uniones de galería. (Citado en Flores, 2017, p.20).

La unión en serie de un sistema, según Andrade (2008), dice que este tipo de unión se caracteriza principalmente porque la corriente de aire se va a mover sin ramificaciones, es decir si dentro de sistema no hay pérdidas, el caudal va a permanecer constante. (Citado en Flores, 2017, p.20).

La unión en paralelo, de acuerdo a Andrade (2008), en este tipo de unión, las galerías si tienen ramificaciones ya sea en dos o más circuitos que se unen en otro punto. Cuando dos o más galerías parten de un determinado punto y en el otro extremo se comunican con la atmósfera, se puede decir que también están en paralelo, en este caso se considera una unión en paralelo abierta, y si las dos galerías se encuentran en el interior de la mina será una unión cerrada. (Citado en Flores, 2017, p.22).

La ventilación en minería, es el caudal requerido para las actividades mineras subterráneas, ésta determinado según número de personas laborando y equipos utilizados, los niveles de polvo en suspensión, la temperatura y consumo de explosivos. Es por ello que se hace necesario llevar volúmenes de aire a través dos tipos de ventilación:

La ventilación natural, según Ramírez (2005), nos dice que es aquel flujo de aire

fresco que ingresa al interior de las labores mineras sin la necesidad de emplear equipos de ventilación, ya sea en una galería horizontal o en labores de desarrollo sobre un plano horizontal donde no se produce movimiento de aire, en minas profundas, la dirección y el movimiento del flujo de aire, se producen debido a las siguientes razones: por diferencia de presiones entre las entradas y salidas, y diferencias de temperaturas. (Citado en García, 2016, p.6).

Así mismo, Ramírez (2005), nos da su concepto de ventilación mecánica, la cual nos dice que es un tipo de ventilación secundaria y son aquellos sistemas que, empleando ductos y ventiladores auxiliares, ventilan aquellas áreas restringidas de la mina, usando para ello todos los circuitos de alimentación de aire fresco y evacuación de aire viciado que proporciona el sistema general de ventilación. (Citado en García, 2016, p.7).

Las actividades en labores subterráneas hoy en día casi siempre tienen la necesidad de poseer un ventilador para cumplir con la cantidad y calidad de aire necesario en el interior mina. Actualmente existen dos tipos de ventiladores:

Los Ventiladores Centrífugos, según Campillos (2015), el aire entra por un orificio central y es aspirado por centrifugación en una rueda de alabes, de donde es impulsado a un cuerpo en forma de caracol, llamado voluta, cuya sección va creciendo hasta alcanzar el orificio de salida en la zona llamada difusor.

Los Ventiladores Axiales, según Campillos (2015) comprenden en un conducto cilíndrico, una hélice construida por un cierto número de paletas fijadas, sobre un cubo o haciendo cuerpo con él. El aire entra y sale paralelamente a la máquina, y su funcionamiento puede asimilarse al de una tuerca y tornillo.

Por otro lado, según el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (D.S. N° 023-2017-EM) en su artículo N° 246 nos indica que, en todo sistema de ventilación, en cuanto a calidad de aire se refiera, debe 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
Hidrógeno 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 sulfuroso (SO ₂)	2 ppm mínimo a 5 ppm máximo
Aldehídos	Máximo 5 ppm
Hidrógeno (H)	Máximo 5000 ppm
Ozono	Máximo 0.1 ppm

Nota: Datos tomados del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D.S. N° 023-2017-EM (2020).

Otras consideraciones que establece el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, en su artículo N° 246, es que antes al inicio de cada jornada o antes de ingresar a las labores mineras en especial labores ciegas como chimeneas y piques debemos de realizar mediciones de gases de monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de nitrógeno, oxígeno, entre otros de acuerdo

de la naturaleza del yacimiento. También, indica que en toda labor subterránea se debe tener una circulación de aire limpio y fresco tanto en calidad como en cantidad suficientes de acuerdo al número de trabajadores, total de HPs de los equipos de combustión interna, y contar con un ambiente de trabajo con mínimo de 19.5% de oxígeno.

El monóxido de carbono (CO) «Viento Blanco» Según Claverías (2014), es un gas muy venenoso, es inodoro, incoloro e insípido y algo más ligero que el aire. La generación de este gas se debe principalmente a los disparos realizados en interior mina, los incendios y el empleo de equipos de combustión interna. Es muy peligroso para la salud humana ya que este gas se puede mezclar con mucha facilidad con la hemoglobina de la sangre, lo cual va a limitar la capacidad de absorber oxígeno por parte de esta. (Citado en Viza, 2016, p. 8).

El Anhídrido Carbónico (CO₂) «Viento Negro», según Marín, (2015), indica que es un gas incoloro, inodoro y con un sabor ligeramente ácido. Se puede producir por la combustión y oxidación de aquellos materiales que contienen carbono: Carbón, madera, aceite y por la descomposición de carbonatos bajo la acción del calor o los ácidos. (Citado en Viza, 2016, p. 8)

Para el Hidrogeno Sulfurado (H₂S) «Ácido sulfhídrico–Sulfuro de hidrógeno–Hidruro de azufre», Claverías (2014), indica que este tipo de gas es incoloro y bastante tóxico y tienen un olor característico a huevo podrido, un gusto dulzón

fácilmente soluble en agua, arde formando mezclas explosivas cuando se encuentra en concentraciones de 6% a 45% en el aire. Este gas irrita los ojos y las vías respiratorias, además que también ataca al sistema nervioso. Se forma en el proceso de putrefacción de sustancias orgánicas, como son la madera, descomposición de piritas sulfurosas en el agua. (Citado en Viza, 2016, p. 8).

Para el Óxido de Nitrógeno (NO) «humos nitrosos» Según Sacsi (2013), este tipo de gases en concentraciones bajas no tienen sabor, olor y color, pero en concentraciones altas se le puede detectar fácilmente por su color a pólvora quemada y sus humos de color rojizo. Son gases tóxicos e irritantes, que se producen por la combustión, detonaciones incompletas de dinamita y gases emitidos por equipos diesel y gasolina. (Citado en Viza, 2016, p. 8).

Para el Anhídrido Sulfuroso (SO₂) dióxido de azufre–óxidos de azufre, según Enrique (2011), es un gas incoloro, sofocante con un fuerte olor a azufre e inflamable, es más pesado que el aire y se puede disolver fácilmente en agua. Este gas se forma principalmente por la combustión de minerales que tienen alto grado de contenido de azufre, en incendios subterráneos y por las voladuras en minas que contienen azufre. Es extremadamente irritante lo que lo hace fácil de poder detectarlo y muy difícil que una persona puede permanecer más de unos minutos en una atmósfera que tiene presencia de este gas. (Citado en Viza, 2016, p. 9).

El Grisú (CH₄) «Metano», es un gas incoloro, inodoro e insípido, de densidad de 0,555. Es un asfixiante simple y actúa desplazando el oxígeno del aire, cuando el aire contiene 25% de metano produce asfixia por deficiencia de oxígenos. Al mezclarse con el aire en la proporción adecuada (entre 5 a 15%), este gas es altamente explosivo. Por su bajo peso específico, se le encuentra en lugares elevados, como cerca del techo de las galerías. Puede generarse por la descomposición de la madera bajo el agua, por la descomposición de materias orgánicas (Vargas, 2015).

El RS & SO indica el aire requerido para la necesidad vital de los trabajadores del subsuelo:

- Hasta 1500 msnm el mínimo es de 3m³ de aire por trabajador, equivalente a 106 CFM.
- De 1500 a 3000 msnm el mínimo es de 4m³ de aire por trabajador, equivalente a 141CFM.
- De 3000 a 4000 msnm el mínimo es de 5m³ de aire por trabajador, equivalente a 177CFM.
- De 4000 a más metros es de 6m³ de aire por trabajador, equivalente a 212 CFM.

Según DS 024-2016-EM, anexo 38, el caudal de aire para los trabajadores será:

Ecuación 1

Caudal de aire para personal

$$Q_{Tr} = q \times n$$

Donde:

Q_{Tr} = Cantidad de aire para el personal (m^3/min)

q = Cantidad de aire mínima por persona (m^3/min) (RS&SO)

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

Según DS 024-2016-EM, anexo 38, el caudal de aire para equipos estará dado por:

Ecuación 2

Caudal de aire para equipos

$$Q_{EQ} = K \times N$$

Donde:

Q_{EQ} = Cantidad de aire para el uso de equipos diésel (m^3/min).

K = Cantidad de aire necesario por cada HP ($3m^3/min$) (RS&SO).

N = Numero de HP de los equipos que trabajan en mina.

Según DS 024-2016-EM, anexo 38, el caudal de aire por consumo de explosivos.

Ecuación 3

Caudal requerido por consumo de explosivos

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

Donde:

Q_{EX} = Caudal de aire requerido por consumo de explosivo detonado (m^3/min).

A = Área promedio de labores (m^2)

V = Velocidad mínima requerida según norma (20 m/min Art.248 Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería).

N = Numero de niveles en voladura.

Según DS 024-2016-EM, anexo 38, el requerimiento por temperatura será:

Ecuación 4

Requerimiento de aire por temperatura

$$Q_{Te} = Vm * A * N \text{ (} m^3/min \text{)}$$

Donde:

Q_{Te} = Caudal por temperatura (m^3/min)

Vm = Velocidad mínima

A = Área de la labor promedio.

N = Numero de niveles con temperatura mayor a 23°C.

Según DS 024-2016-EM, anexo 38, el requerimiento por fugas estará dado por:

Ecuación 5

Requerimiento por fugas

$$Q_{Fu} = 15\% \times Q_{To} \text{ (} m^3 /min \text{)}$$

$$Q_{To} = (Q_{Tr} + Q_{Te})$$

El software Ventsim simula redes de ventilación en donde incluye puntos de operación de los ventiladores, cantidad de flujos de aire y pérdidas por fricción y choque muy similares a los del sistema real. (Flores, 2017)

Descripción. Ventsim visual fue introducido en sus inicios a las operaciones mineras en 1994 para ayudar a diseñar, mejorar y optimizar visualmente los sistemas de ventilación subterráneas. Ahora está siendo utilizado en más de 1000 mineras, consultores, universidades, gobiernos y organismo de investigación alrededor de todo el mundo. (Viza, 2016).

El nuevo software de ventilación Ventsim Visual fue lanzado el 2009 y ofrece una gran riqueza gráfica y dinámica para la ventilación del medio ambiente con muchas más funciones que el original Ventsim clásico. (Viza, 2016). El software Ventsim Visual tiene las siguientes herramientas:

- El software Ventsim proporciona al usuario las herramientas para simular y entregar un registro de caudales y presiones en una mina existente.
- Ejecutar simulaciones de casos hipotéticos para nuevos desarrollos planificados.
- Ayudar en el planeamiento a corto y largo plazo de los requerimientos de la ventilación.
- Asistir en la elección de los tipos de circuitos de ventiladores para la ventilación de la mina.
- - Asistir el análisis financiero de las diferentes opciones de ventilación.

- Simular la distribución y concentraciones de humo, polvo o gas, para el planeamiento de la mina o en situaciones de emergencia (Stewart,2010). El

Software Ventsim Visual posee las siguientes características:

- Soporta hasta 30000 ramales individuales.
- 1000 diferentes tipos de ventiladores, con su eficiencia puede ser modelado dentro la red.
- Las redes se pueden crear a escala real en 3D simplemente dibujando ramales con el clic del ratón.
- La rotación en 3D permite la rotación real para ayudar en la visualización y la creación de ramales.
- Simulación de contaminantes de humo gases u otros contaminantes (Stewart, 2010)

1.2. Formulación del problema

¿Cómo realizar la evaluación y modelamiento final del sistema de ventilación en una mina subterránea polimetálica en el cerro Jesús de Hualgayoc, 2021?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar y modelar la ventilación empleando el software VentSim en una mina subterránea polimetálica en el cerro Jesús de Hualgayoc, 2021.

1.3.2. Objetivos específicos

Evaluar las concentraciones de los gases de mina y oxígeno que se encuentran en el interior de los niveles 3770 y 3765.

Comparar la concentración de gases y oxígeno existentes dentro de los niveles 3770 y 3765 con los límites máximos permisibles establecidos según el D.S. N° 023-2017-EM.

Simular el funcionamiento de la ventilación actual en los niveles 3770 y 3765 empleando el software VentSim.

Modelar la nueva red de ventilación de los niveles 3770 y 3765 empleando el software ventsim teniendo en cuenta el requerimiento de aire necesario.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Monitoreando el aire y los gases de los niveles 3770 - 3765 y procesando esta información en el software Ventsim se evaluará y modelará el sistema de ventilación.

4.1.2. Hipótesis específicas

Las concentraciones de gases de mina y oxígeno que se encuentran en el interior de los niveles 3770 y 3765 superan los límites máximos permisibles.

La comparación de las concentraciones de gases y oxígeno existentes en el interior de los niveles 3770 y 3765 con los límites establecidos en el D.S. N° 023-2017-EM permiten determinar si las condiciones dentro de la mina son adecuadas para el desarrollo de las operaciones mineras.

La simulación de la ventilación empleando el software VentSim permite obtener información en tiempo real sobre el comportamiento de la ventilación actual dentro de los niveles 3770 y 3765.

El modelamiento de la ventilación de los niveles 3770 y 3765 empleando el software ventsim, permite obtener información real sobre las características que la nueva red debe poseer para cumplir con el requerimiento de aire necesario en interior mina.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Tipo de investigación no experimental, descriptiva; ya que según Sampieri (1998), los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades de cualquier fenómeno que sea sometido a análisis. No experimental, debido a que no se manipularán las variables intencionalmente, sino que solo se observará y analizará el fenómeno (Hernández, 2003).

Por lo que el presente estudio recoge información de campo tal y como se presenta en la realidad. La cual nos permita simular en el software VentSim. El método de la investigación es analítico-explicativo. Durante el desarrollo de la tesis, necesitamos analizar todos los parámetros de las variables dependientes e independientes como son: caudal de aire, velocidad de aire, emisión de gases, dimensiones de las labores y explicar los resultados en función a lo obtenido en la aplicación del software VentSim.

2.2. Población y muestra

Población

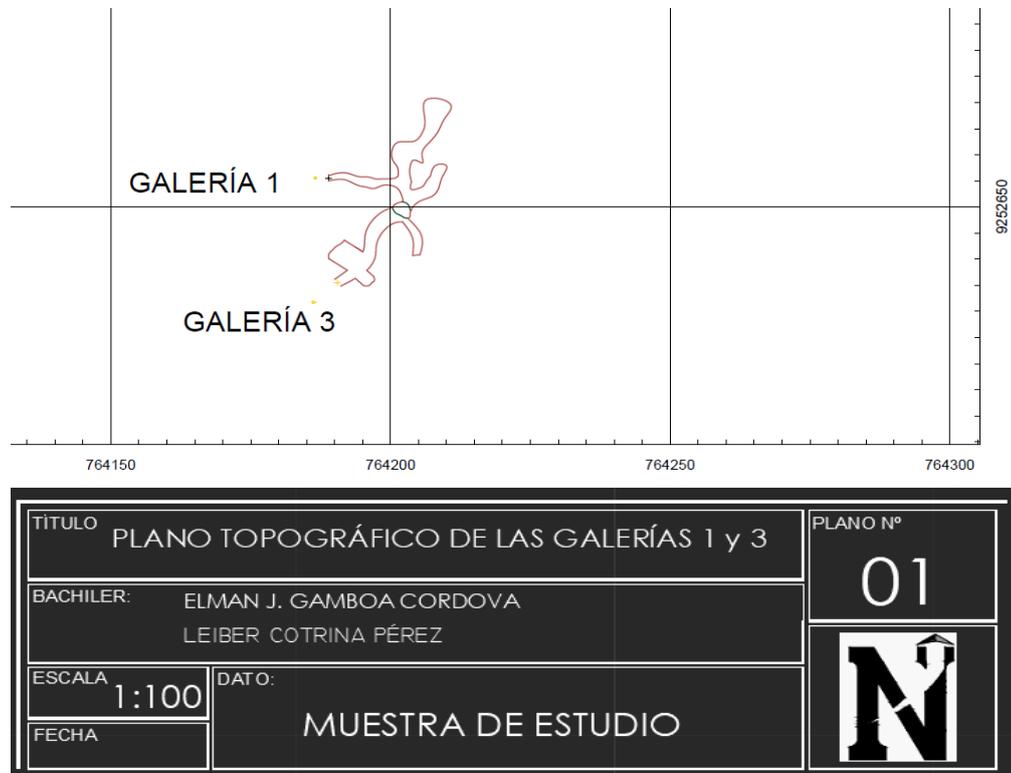
La población consiste en las tres galerías que forman parte de la mina subterránea polimetálica de Hualgayoc, dos ellas de extracción de mineral y una de exploración.

Muestra

La muestra en estudio consiste en las labores de las galerías 1 y 3 de la mina subterránea polimetálica de Hualgayoc, ya que en estas galerías se realiza actualmente la extracción de minerales.

Figura 1

Plano topográfico de los niveles 3770 y 3765



Nota: La figura muestra el plano topográfico de las galerías 1 y 3 ubicadas en los niveles 3770 y 3765 respectivamente de la mina subterránea polimetálica en el cerró Jesús de Hualgayoc. Fuente: Levantamiento Topográfico (2021).

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Tabla 2

Materiales, Instrumentos y Métodos de recolección de datos

Métodos	Instrumentos	Materiales
	Ficha de monitoreo	Libreta de apuntes
De campo	Fichas	Formato de campo
	Tomas fotográficas	Fotografía
	Levantamiento Topográfico	GPS, Brújula y Cinta métrica
	Monitoreo de velocidades de aire.	Termo anemómetro Smart Sensor AR 856.
De laboratorio	Monitoreo de gases	Detector Multigas Altair 4x.
	Normas técnicas peruanas	Formato estándar
	Fichas de resultados	Informe
	Toma de fotografías	Fotografía

Nota: Materiales, instrumentos y métodos empleados para la recolección de datos (2021).

El instrumento de recolección de datos empleado en la investigación es la ficha de monitoreo de gases y aire la cual se encuentra en el anexo 3; Así mismo este instrumento se encuentra validado por un experto en el anexo 4.

2.4. Procedimiento

2.4.1. Procedimiento de recolección de datos.

Para la recolección de datos se realizó la visita a las instalaciones de la mina subterránea polimetálica de Hualgayoc, en donde, empleando un termo anemómetro Smart Sensor AR 856 se realizó la medición de la velocidad del aire en bocamina del nivel 3765. También se realizó la detección de la concentración de oxígeno (O₂) y presencia de posibles gases (CO y NO), ya sea en reposo o en movimiento, que se encuentran en la atmósfera de la mina, para lo cual fue necesario emplear el detector multigas Altair 4x.

Para realizar la recolección de datos (monitoreo de gases y oxígeno) se establecieron distintos puntos de control a lo largo de los niveles 3770 y 3765 de la mina, estos puntos fueron localizados a una distancia estratégica y adecuada en relación de uno con respecto al otro. En cada estación de control se tomó un tiempo de 2 a 5 minutos para realizar la medición de los datos, el cual es el tiempo recomendado para que los equipos nos proporcionen medidas con mayor exactitud.

2.4.2. Procedimiento de tratamiento de análisis de datos.

En base a la información recolectada en campo, se procedió a realizar el respectivo análisis. Se analizó la información de cada una de las estaciones tomadas en el interior de la mina, para determinar si existen presencia de gases, de que tipo son y la magnitud de su concentración.

A partir del dato de velocidad de aire tomado en bocamina y empleando el

software VentSim, se realizó una simulación de la ventilación actual de la mina, determinando cual es el caudal de ingreso y su comportamiento dentro de las galerías.

2.4.3. Aspectos éticos de la investigación.

En esta investigación, se está citando a todas las fuentes que han sido consultadas y consideradas, también se cuenta con la autorización de la empresa minera en estudio en el cerro Jesús, para recolectar la información necesaria y pertinente; dicha información será usada solamente con fines académicos, basándonos en el método científico y sin dejar de lado los valores que un investigador debe observar, todos los resultados obtenidos se presentan sin alterar los datos reales.

La presente investigación, en el ámbito ambiental no consigna impacto alguno ya que solo se realizarán monitoreo con equipos manuales no mecanizados.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Evaluación de las concentraciones de los gases de mina y velocidad del aire

que se encuentran en el interior de los niveles 3770 y 3765.

Tabla 3

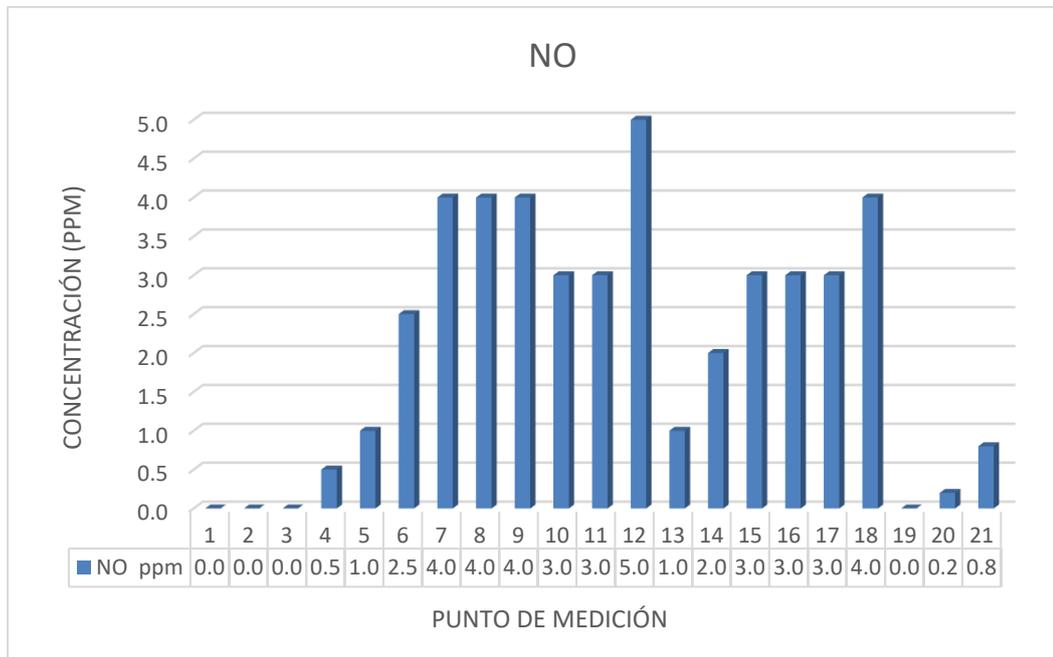
Concentración de Óxido de Nitrógeno en los niveles 3770 y 3765

Labores	Punto Medición	NO (ppm)
Cortada superior	1	0.0
Cortada superior	2	0.0
Cortada superior	3	0.0
Galería 1	4	0.5
Galería 1	5	1.0
Galería 1	6	2.5
Galería 1	7	4.0
Galería 1	8	4.0
Galería 1	9	4.0
Inclinado	10	3.0
Inclinado	11	3.0
Inclinado	12	5.0
Galería 3	13	1.0
Galería 3	14	2.0
Galería 3	15	3.0
Galería 3	16	3.0
Galería 3	17	3.0
Galería 3	18	4.0
Cortada inferior	19	0.0
Cortada inferior	20	0.2
Cortada inferior	21	0.8

Nota: Datos de monitoreo (2021).

Figura 2

Concentraciones de Óxido de Nitrógeno en los niveles 3770 y 3765.



Nota: La figura muestra las concentraciones de Óxido de Nitrógeno en los niveles 3770 y 3765. Fuente: Datos de monitoreo (2021).

Tabla 4

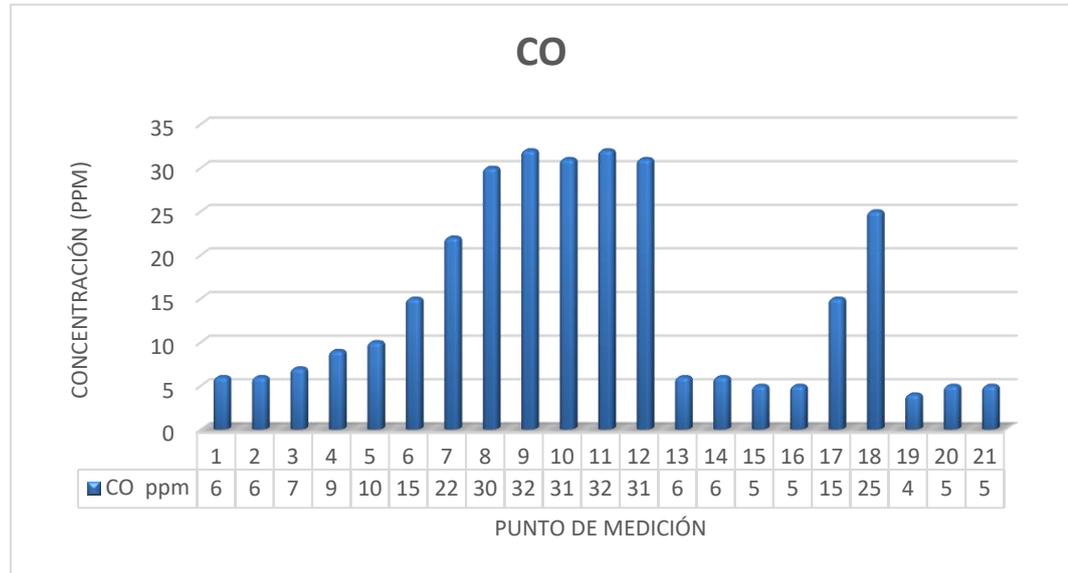
Concentraciones de Monóxido de Carbono en los niveles 3770 y 3765.

Labores	Punto Medición	CO (ppm)
Cortada superior	1	6
Cortada superior	2	6
Cortada superior	3	7
Galería 1	4	9
Galería 1	5	10
Galería 1	6	15
Galería 1	7	22
Galería 1	8	30
Galería 1	9	32
Inclinado	10	31
Inclinado	11	32
Inclinado	12	31
Galería 3	13	6
Galería 3	14	6
Galería 3	15	5
Galería 3	16	5
Galería 3	17	15
Galería 3	18	25
Cortada inferior	19	4
Cortada inferior	20	5
Cortada inferior	21	5

Nota: Datos de monitoreo (2021).

Figura 3

Concentraciones de Monóxido de Carbono en los niveles 3770 y 3765.



Nota: La figura muestra las concentraciones de Monóxido de Carbono en los niveles 3770 y 3765. Fuente: Datos de monitoreo (2021).

Tabla 5

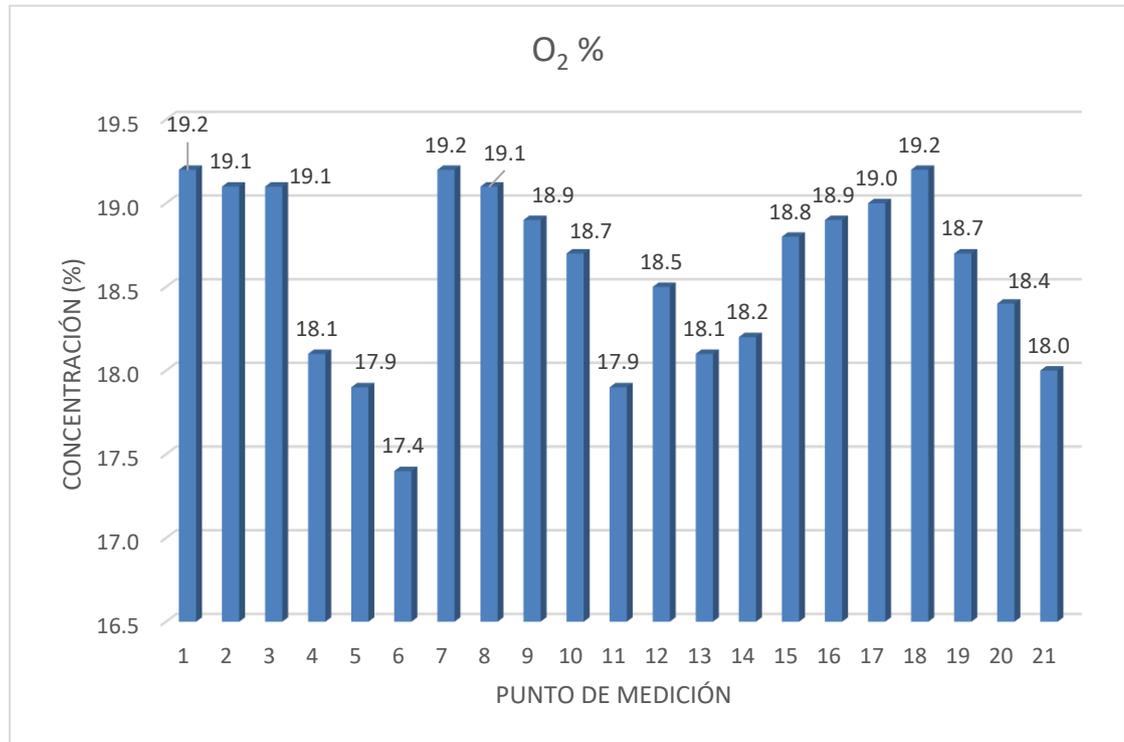
Concentraciones de Oxígeno en el aire de los niveles 3770 y 3765.

Labores	Punto Medición	O₂ %
Cortada superior	1	19.20
Cortada superior	2	19.10
Cortada superior	3	19.10
Galería 1	4	18.10
Galería 1	5	17.90
Galería 1	6	17.40
Galería 1	7	19.20
Galería 1	8	19.10
Galería 1	9	18.90
Inclinado	10	18.70
Inclinado	11	17.90
Inclinado	12	18.50
Galería 3	13	18.10
Galería 3	14	18.20
Galería 3	15	18.80
Galería 3	16	18.90
Galería 3	17	19.00
Galería 3	18	19.20
Cortada inferior	19	18.70
Cortada inferior	20	18.40
Cortada inferior	21	18.00

Nota: Datos de monitoreo (2021).

Figura 4

Concentraciones de Oxígeno en el aire en los niveles 3770 y 3765.



Nota: La figura muestra la concentración de oxígeno en el aire en los niveles 3770 y 3765. Fuente: Datos de monitoreo (2021).

3.2 Comparación de la concentración de gases existentes y la velocidad del aire dentro de los niveles 3770 y 3765 con los límites máximos permisibles establecidos según el D.S. N° 023-2017-EM.

Tabla 6

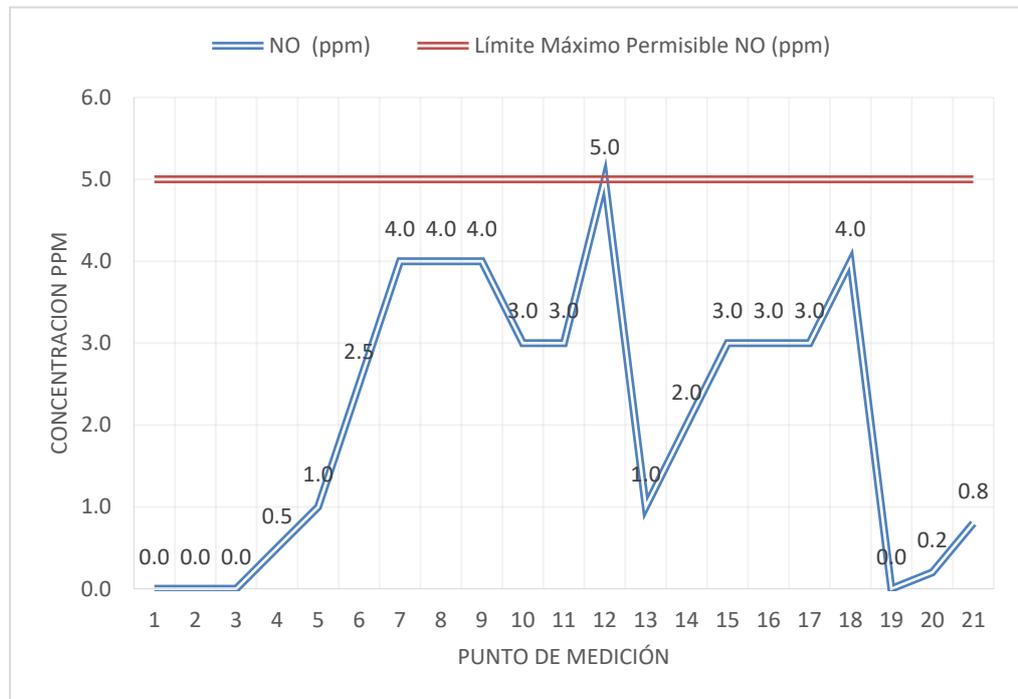
Comparación de las concentraciones de Óxido de Nitrógeno en los niveles 3770 y 3765 con los Límites Máximo Permisibles.

Labores	Punto Medición	NO (ppm)	Límite Máximo Permisible NO (ppm)
Cortada superior	1	0.0	5
Cortada superior	2	0.0	5
Cortada superior	3	0.0	5
Galería 1	4	0.5	5
Galería 1	5	1.0	5
Galería 1	6	2.5	5
Galería 1	7	4.0	5
Galería 1	8	4.0	5
Galería 1	9	4.0	5
Inclinado	10	3.0	5
Inclinado	11	3.0	5
Inclinado	12	5.0	5
Galería 3	13	1.0	5
Galería 3	14	2.0	5
Galería 3	15	3.0	5
Galería 3	16	3.0	5
Galería 3	17	3.0	5
Galería 3	18	4.0	5
Cortada inferior	19	0.0	5
Cortada inferior	20	0.2	5
Cortada inferior	21	0.8	5

Nota: Datos de monitoreo (2021).

Figura 5

Comparación de las concentraciones de Óxido de Nitrógeno en los niveles 3770 y 3765 con los Límites Máximos Permisibles.



Nota: La figura muestra la comparación de las concentraciones de Óxido de Nitrógeno en los niveles 3770 y 3765 con el Límite Máximo Permissible.
Fuente: Datos de monitoreo (2021).

Tabla 7

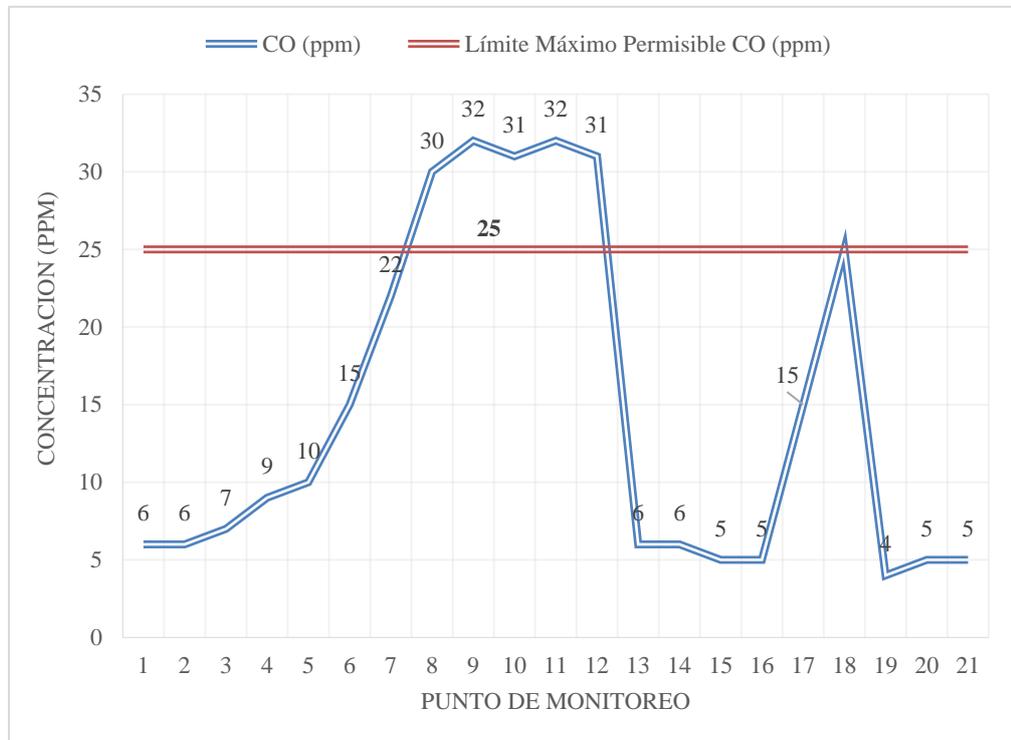
Comparación de las concentraciones de Monóxido de Carbono en los niveles 3770 y 3765 con los Límites Máximos Permisibles.

Labores	Punto Medición	CO (ppm)	Límite Máximo Permisible CO (ppm)
Cortada superior	1	6	25
Cortada superior	2	6	25
Cortada superior	3	7	25
Galería 1	4	9	25
Galería 1	5	10	25
Galería 1	6	15	25
Galería 1	7	22	25
Galería 1	8	30	25
Galería 1	9	32	25
Inclinado	10	31	25
Inclinado	11	32	25
Inclinado	12	31	25
Galería 3	13	6	25
Galería 3	14	6	25
Galería 3	15	5	25
Galería 3	16	5	25
Galería 3	17	15	25
Galería 3	18	25	25
Cortada inferior	19	4	25
Cortada inferior	20	5	25
Cortada inferior	21	5	25

Nota: Datos de monitoreo (2021).

Figura 6

Comparación de las concentraciones de Monóxido de Carbono en los niveles 3770 y 3765 con los Límites Máximos Permisibles.



Nota: La figura muestra la comparación de las concentraciones de Monóxido de Carbono en los niveles 3770 y 3765 con el Límite Máximo Permissible. Fuente: Datos de monitoreo (2021).

Tabla 8

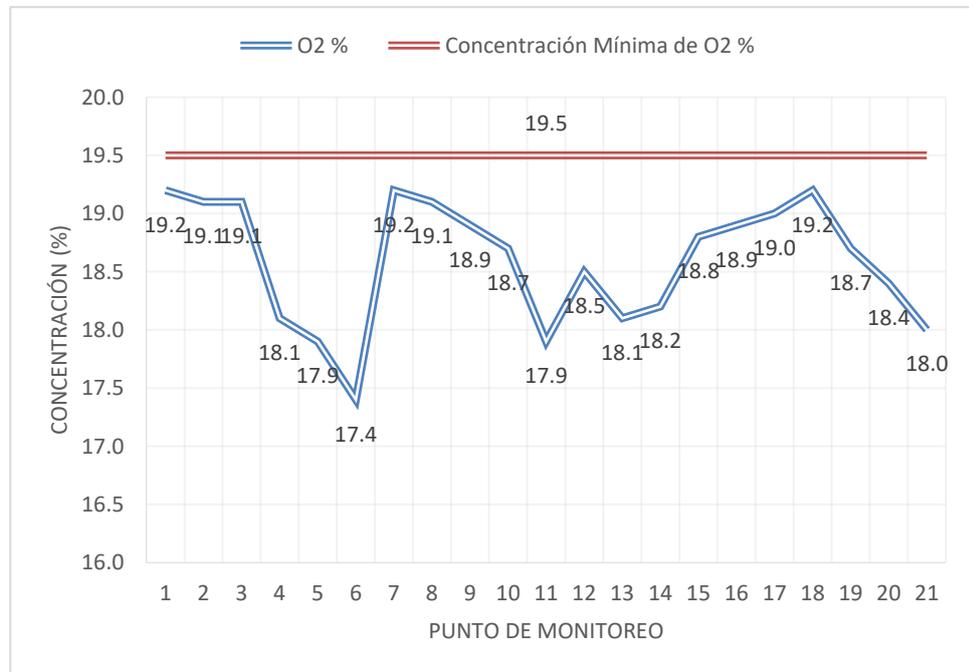
Comparación de la concentración de Oxígeno en el aire de los niveles 3770 y 3765 con el D.S. N° 023-2017-EM.

Labores	Punto Medición	O ₂ %	Concentración Mínima de O ₂ (%)
Cortada superior	1	19.2	19.5
Cortada superior	2	19.1	19.5
Cortada superior	3	19.1	19.5
Galería 1	4	18.1	19.5
Galería 1	5	17.9	19.5
Galería 1	6	17.4	19.5
Galería 1	7	19.2	19.5
Galería 1	8	19.1	19.5
Galería 1	9	18.9	19.5
Inclinado	10	18.7	19.5
Inclinado	11	17.9	19.5
Inclinado	12	18.5	19.5
Galería 3	13	18.1	19.5
Galería 3	14	18.2	19.5
Galería 3	15	18.8	19.5
Galería 3	16	18.9	19.5
Galería 3	17	19.0	19.5
Galería 3	18	19.2	19.5
Cortada inferior	19	18.7	19.5
Cortada inferior	20	18.4	19.5
Cortada inferior	21	18.0	19.5

Nota: Datos de monitoreo (2021).

Figura 7

Comparación de las concentraciones de oxígeno en el aire de los niveles 3770 y 3765 con el D.S. N° 023-2017-EM.



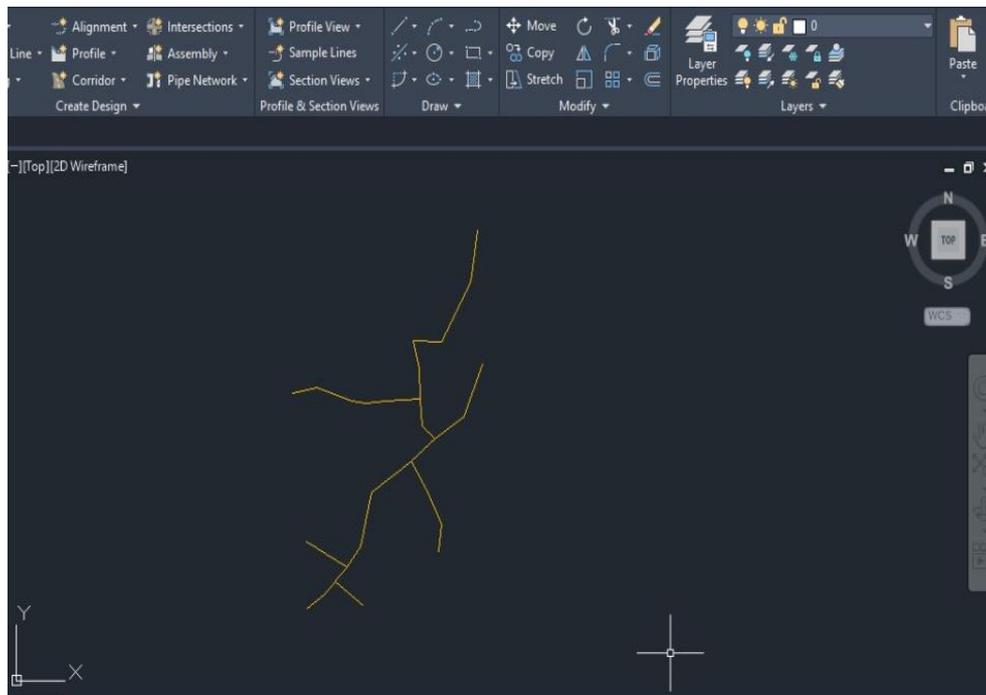
Nota: La figura muestra la comparación de la concentración de oxígeno en el aire de los niveles 3770 y 3765 con el con el D.S. N° 023-2017-EM. Fuente: Datos de monitoreo (2021).

3.3 Simular el funcionamiento de la ventilación actual en los niveles 3770 y 3765 empleando el software VentSim.

Con la información obtenida en el levantamiento topográfico de las dos galerías de nuestro estudio, se realiza un plano empleando el software de ingeniería Civil 3D, dicha información nos va a facilitar la realización de la simulación de la ventilación en el software VENTSIM.

Figura 8

Plano de los niveles 3770 y 3765 de la mina subterránea polimetálica en el cerro Jesús, Hualgayoc



Nota: La figura muestra el plano de los niveles 3770 y 3765 elaborado en el software Civil 3D. Fuente: Elaboración Propia (2021).

A partir de haber realizado el plano en el programa Civil 3D, se procede a importar la información obtenida al programa VENTSIM donde se realizará la evaluación de velocidad y caudal de aire.

Tabla 9

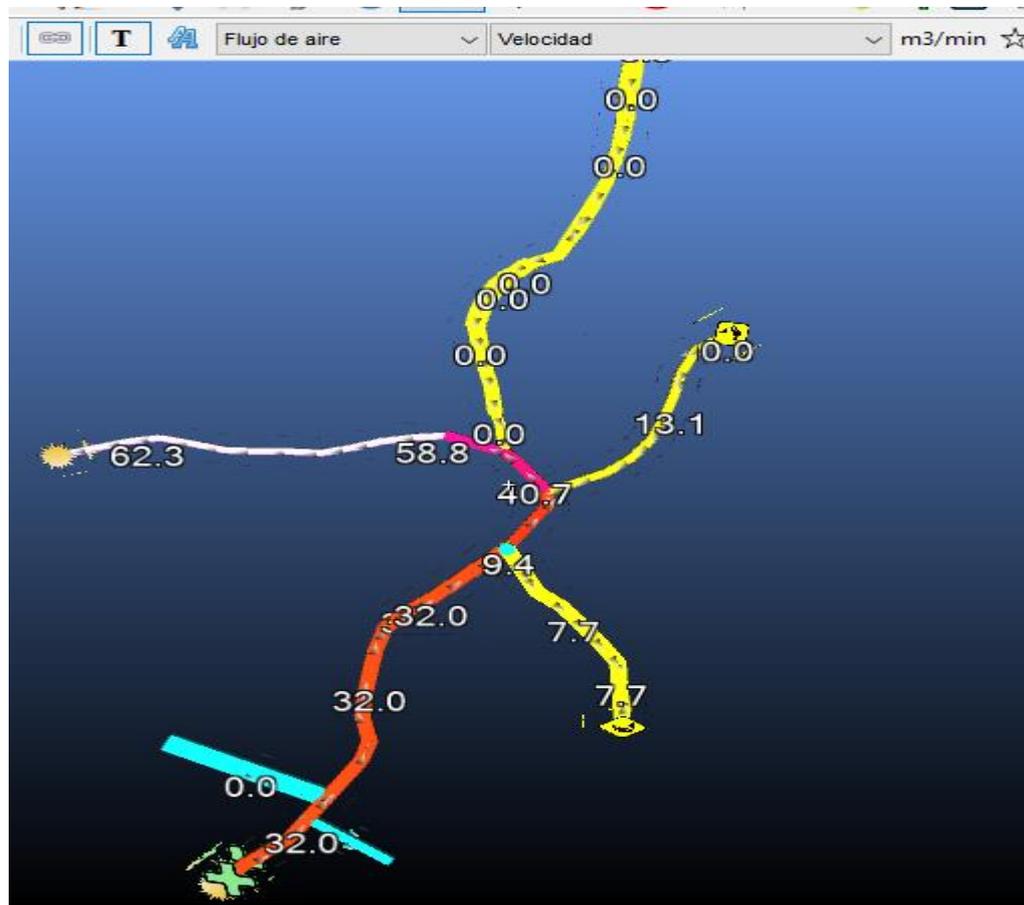
Velocidad y Caudal de aire en BM del nivel 3765

Labor	Punto Medición	Velocidad m/min	Área Promedio m ²	Caudal m ³ /min	Caudal CFM
Cortada inferior	BM	31.94	4.40	140.5	4962.3

Nota: Datos de monitoreo (2021)

Figura 9

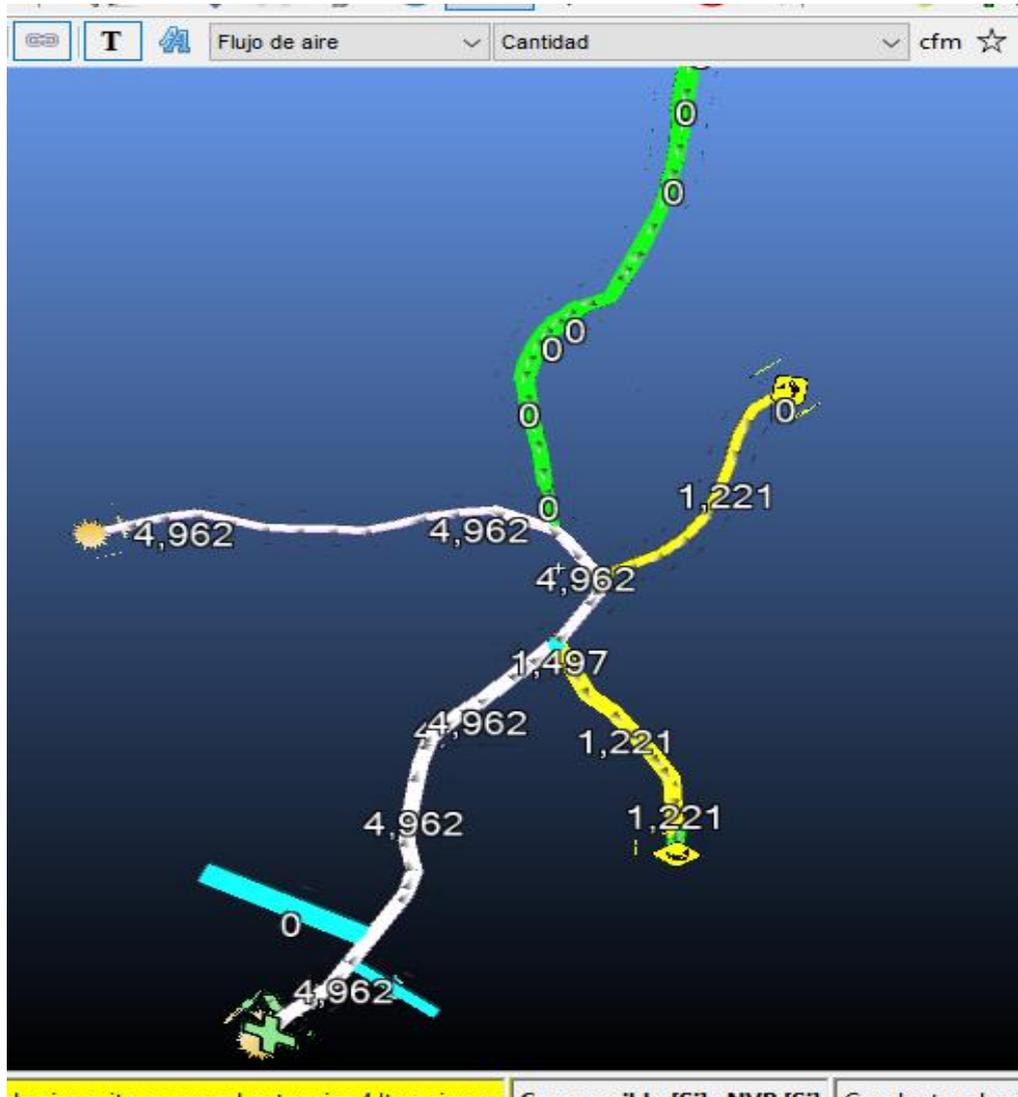
Simulación de la velocidad de aire dentro de las galerías 1 y 3 de los niveles 3770 y 3765.



Nota: La figura muestra la evaluación de la velocidad de aire que circula por el interior de las galerías de los niveles 3770 y 3765. Fuente: Elaboración Propia (2021).

Figura 10

Simulación del caudal de aire dentro de las galerías 1 y 3 de los niveles 3770 y 3765



Nota: La figura muestra la evaluación de la velocidad de aire que circula por el interior de las galerías de los niveles 3770 y 3765. Fuente: Elaboración Propia (2021).

3.4. Modelar la nueva red de ventilación de los niveles 3770 y 3765 empleando el software ventsim teniendo en cuenta el requerimiento de aire necesario.

a. Requerimiento de aire por personal.

El requerimiento va a depender de la altura de la mina, como la empresa minera polimetálica de Hualgayoc se encuentra ubicada a una altura de 3546 m.s.n.m. y con una guardia de 12 personas.

$$Q_{Tr} = q \times n$$

Donde:

Q_1 = Cantidad de aire para el personal (m^3/min)

q = Cantidad de aire mínima por persona ($5 m^3/min$)

n = Número de personas presentes en la mina por guardia (12).

$$Q_1 = 5 \times 12$$

$$Q_1 = 60 m^3/min$$

b. Requerimiento de aire por equipos diésel.

El caudal requerido en la industria minera depende de la potencia de los motores a Diésel, considerando que dentro de la mina no se cuenta con este tipo de equipos tenemos un requerimiento de **0 m^3/min** .

c. Caudal requerido por consumo de explosivos.

El caudal de aire para explosivos se calculará en un frente de 2 x 1.6 metros (área promedio 2.9) y 2 niveles de voladura.

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

Donde:

Q_{EX} = Caudal de aire requerido por consumo de explosivo detonado (m^3/min).

A = Área promedio de labores ($2.9 m^2$)

V = 20 m/min Art.248 Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería

N = Numero de niveles en voladura (2).

$$Q_{EX} = 2.9 m^2 \times 20 \times 2 (m^3/min)$$

$$Q_{EX} = 116 m^3/min.$$

d. Requerimiento de aire por Temperatura.

Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo (Q_{Te}), según DS 024-2016- EM, anexo 38.

$$Q_{Te} = V_m * A * N (m^3/min)$$

Donde:

Q_{Te} = Caudal por temperatura (m^3/min).

V_m = Velocidad mínima.

A = Área de la labor promedio.

N = Numero de niveles con temperatura mayor a $23^\circ C$.

Para mantener una temperatura adecuada para los trabajadores en interior mina, se debe considerar en el cálculo del requerimiento de aire una velocidad mínima de 30 m/min, cuando la temperatura se encuentre en el rango de $24^\circ C$ hasta $29^\circ C$ como máximo.

Tabla 10

Valores de temperatura

TEMPERATURA SECA °C	VELOCIDAD MÍNIMA (M/MIN)
<24 °C	0.0
24 °C – 29 °C	30.0

Nota: Datos tomados del DS-024-2016-EM (2021).

De acuerdo a los niveles de temperatura alcanzados en el interior de mina, se limita el tiempo de permanencia del personal.

Tabla 11

Tiempo de permanencia del personal según temperatura

TEMPERATURA EFECTIVA (°C)	TIEMPO DE PERMANENCIA (HORAS)
28	Sin limitación
29	6
30	4
31	2
32	0

Nota: Datos tomados de CS Toro Ingeniería de Proyectos Mineros (2021).

e. Caudal requerido por fugas (QFu), según DS 024-2016-EM

$$Q_{Fu} = 15\% \times Q_{T1} \text{ (m}^3 \text{/min)}$$

$$Q_{To} = (Q_{Tr} + Q_{te})$$

$$Q_{Fu} = 15\% (60+0)$$

$$Q_{Fu} = 9 \text{ m}^3 \text{/min}$$

f. Total, de requerimiento de aire en la empresa minera subterránea polimetálica de Hualgayoc.

Como resultado de los cálculos realizados para calcular el requerimiento total de aire se requiere un total de:

$$QT = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_{Fu}$$

$$QT = 60 + 0 + 116 + 9$$

$$QT = 185 \text{ m}^3/\text{min} \times 35.31 \text{ cfm}$$

$$QT = 6532.35 \text{ cfm}$$

Tabla 12

Resumen del aire total requerido en la mina subterránea polimetálica de Hualgayoc

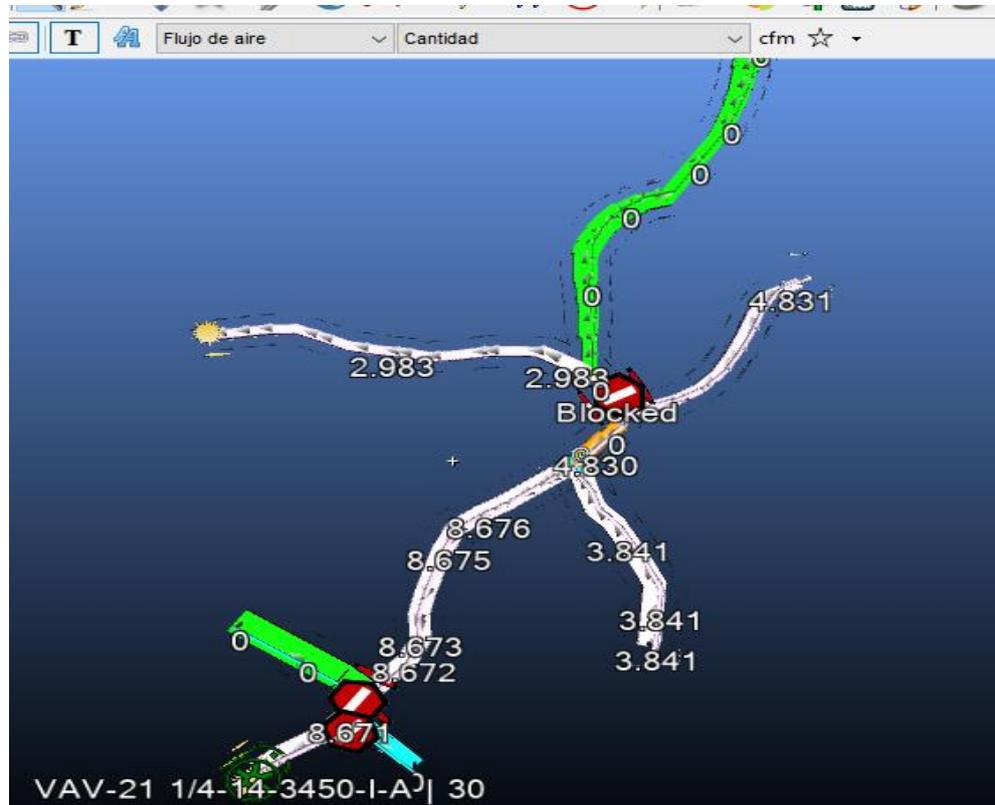
ITEM DE OPERACIÓN	FLUJO DE AIRE REQUERIDO (m ³ /min)	FACTOR DE CONVERSIÓN	FLUJO DE AIRE CFM
Número de personas	60	35.315	2118.6
Número de equipos Diesel	0	35.315	0
Disolución de gases por explosivos	116	35.31	4095.96
Por fugas	9	35.315	317.79
TOTAL	185	35.315	6532.35

Nota: Datos obtenidos a partir de cálculos realizados (2021).

Una vez concluido con el cálculo total del aire requerido en interior mina, se procede a realizar la simulación en el software VentSim, utilizando los datos calculados anteriormente.

Figura 11

Modelamiento del nuevo sistema de ventilación de los niveles 3770 y 3765.



Nota: La figura muestra el modelamiento del nuevo sistema de ventilación de los niveles 3770 y 3765 teniendo en cuenta el requerimiento de aire necesario para cubrir con las necesidades en interior mina. Fuente: Elaboración Propia (2021).

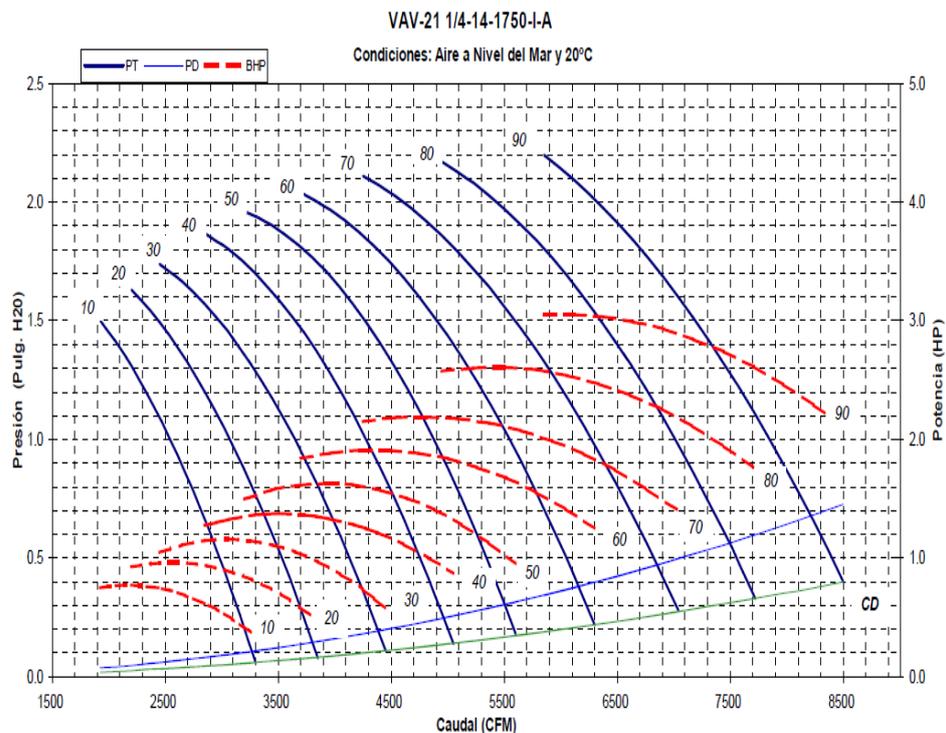
Para cumplir con el requerimiento de aire necesario en interior mina, y a partir de las simulaciones y cálculos realizados con anterioridad en el presente estudio, se tendrá que hacer uso de una ventilación mecánica

Esta nueva red de ventilación constará de una manga de ventilación de 24

pulgadas de diámetro y una longitud total de 156.3 metros la que permitirá llevar el aire hasta los dos frentes de trabajo; también será necesario contar con un ventilador de alabes variables de la marca Airtec de 21 pulgadas de diámetro de carcasa, una potencia máxima de 5 HPs, una presión máxima de 2.5 pulgadas de H₂O y un caudal de hasta 8500 CFM (condiciones de aire a nivel del mar).

Figura 12

Curvas características del ventilador empleado en la nueva red de ventilación.



Nota: Curvas características del ventilador. Fuente: Airtec (2021).

En condiciones de mina, el ventilador seleccionado trabajara a una potencia de 2.4 kW y un caudal de 8673 cfm de ingreso. Con esta cantidad de ingreso de aire, se alcanza a cubrir más del 100 % del caudal necesario en interior

mina (caudal calculado 6532.35 cfm) obteniendo así las condiciones de trabajo adecuadas y establecidas por mediante la legislación actual.

Figura 13

Resumen de la nueva red de ventilación de los niveles 3770 y 3765.

Nota: Resumen de la nueva red de ventilación. Fuente: Elaboración Propia.

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
Etapa	0:
Conductos de aire	167
Segmentos de etapa actual	27
Longitud total	156,3 m
Caudal de aire total de admisión	8.673 cfm
Caudal de aire total de escape	8.671 cfm
Flujo de masa total	3,19 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0,01119 Ns ² /m ⁸
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	6,74094 Ns ² /m ⁸
RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	0,5 kW Total
	0,0 kW Chimenea
	0,0 kW Conducir
	0,5 kW Conducto de ventilación
Refrigeración Potencia de entrada	0,0 kW
Potencia eléctrica de ENTRADA	2,4 kW
Costo de energía anual de la red	\$ 2.110
Eficiencia de la red	19,2 R
Que consta de ..	
1 Ventiladores	2,4 kW
0 Presiones fijadas	0,0 kW
0 Flujos fijos	0,0 kW
0 Refrigeración	0,0 kW

(2021)

Cabe mencionar que el nuevo sistema de ventilación cumple con el balance de ingreso y salida de aire de mina establecido de $\pm 10\%$ en el artículo 252 del D.S. 023-EM-2017 (ingreso 8673 cfm y salida 8671 cfm), obteniendo una recirculación total de 0.02 %.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Posterior a la presentación de los resultados en necesario discutir y analizar estos en base a los antecedentes, marco teórico y resultados obtenidos en las instalaciones de la Empresa Minera.

A partir de los hallazgos encontrados en el monitoreo de gases en interior mina, se muestra que el NO presenta un valor máximo de 5 ppm en el punto de monitoreo 12, el CO, alcanza un valor máximo de 32 ppm en dos puntos de monitoreo (9 y 11) y el O₂ registra valores mínimos de hasta 17.4 %; en comparación con los Límite Máximo permisibles el CO supera claramente este valor en varios puntos de monitoreo y el porcentaje de O₂ no alcanza su valor mínimo establecido en la normativa actual vigente, por lo que la ventilación en los niveles 3770 y 3765 es deficiente. Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Guevara y Villanueva (2018), en sus tesis “Evaluación y propuesta del sistema de ventilación en el subnivel 058 en minera Troy SAC – Cajamarca 2018”, los cuales señalan que la ventilación en el subnivel 058 es deficiente ya que algunos de los gases presentes en interior mina superan los límites máximos permisibles establecidos según la normativa vigente.

En derecho a la comparación de las concentraciones de gases y oxígeno existentes en el interior de los niveles 3770 y 3765 con los límites establecidos en el D.S. N° 023-2017-EM permiten afirmar que las condiciones en algunos puntos de las labores de explotación son deficientes ya que los gases CO y NO superan los LMP de 25ppm y 5ppm respectivamente, en diferencia a lo plasmado por (García, 2016), en su tesis presentada a la facultad de ingeniería de la Universidad Privada del Norte, en Cajamarca; cuyo título fue “ evaluación de la situación actual del sistema de ventilación y propuesta para su optimización en mina subterránea carbonífera mi Grimaldina I- Cajamarca 2016”, en uno de sus objetivos específicos realiza la medición de la calidad de aire teniendo en cuenta, CO₂, SO₂ Y NO₂ a partir de las mediciones realizadas en campo respecto a cada uno de los gases fueron: SO₂, 9,24 µg/m³; para CO, 6371.96 µg/m³ y para NO₂, 61.91 µg/m³. Como conclusión se estableció que ninguno de estos gases sobrepasa los límites máximos permisibles establecidos.

En base a los resultados obtenidos, respecto a la simulación del funcionamiento de la ventilación actual en los niveles 3770 y 3765 de la mina subterránea polimetálica en el Cerro Jesús – Hualgayoc, demuestra que utilizando los datos reales físicos y químicos de las galerías y labores de explotación procesadas en el Software VentSim, demuestra que actualmente el caudal de aire es de 4962 CFM, mismo que no cumple con la necesidad de aire requerido en interior mina y por ende es un sistema de ventilación deficiente. Este resultado guarda relación con lo

establecido por Guevara y Villanueva (2018), quienes presentaron su tesis a la facultad de ingeniería de la Universidad Privada del Norte, en Cajamarca; cuyo título fue “Evaluación y propuesta del sistema de ventilación en el subnivel 058 en minera Troy SAC – Cajamarca 2018”, ya que a partir de sus resultados encontrados y analizados se determinó que la ventilación es deficiente y se necesita una reestructuración en el sistema.

Respecto al nuevo sistema modelado y simulado arroja que el caudal de entrada de aire es de 8673 CFM, el cual muestra claramente que cumple con la demanda que es igual a 6532.35 CFM, Esto conlleva a mencionar que el software es eficaz para este tipo de trabajos ya que permite considerar una base de datos reales a fin de arrojar un modelo de sistema que cumple con los requerimientos de aire en interior mina, esto nos permite confirma los mencionado por, Ramírez y Fuentes (2019), mismos que presentaron su tesis a la facultad de ingeniería de la Universidad de Concepción, en Chile; titulada “modelamiento del sistema de ventilación y control de metano con el simulador VentSim™ en la mina subterránea de carbón Fezmine, Polonia”, quienes mencionan como conclusión acerca del software Ventsim™, que es efectivamente una herramienta de simulación útil para el diseño e implementación de circuitos de ventilación

Las limitaciones encontradas al realizar la presente investigación fue la dificultad en la adquisición de los equipos de monitoreo de velocidad de aire y gases para la

toma de datos; así mismo, no contar con el permiso por segunda vez a una visita a la mina por parte de los propietarios, con la intención de realizar un segundo monitoreo.

4.2 Conclusiones

De acuerdo al monitoreo de gases y oxígeno realizado en cada una de las estaciones evaluadas dentro de los niveles 3770 y 3765 de la mina subterránea polimetálica en el cerro Jesús de Hualgayoc, se concluye que las concentraciones de NO, no superan el Límite Máximo Permisible establecido (5 ppm), alcanzando un valor máximo de 5 ppm en el punto de medición numero 12; con respecto al CO, este gas si supera el Límite Máximo Permisible (25 ppm) en los puntos de medición 8, 9,10,11 y 12, alcanzando una concentración máxima de 32 ppm (punto 9 y 11).

Se concluye que la concentración de Oxígeno en el aire, es deficiente en todos los puntos de medición realizados, es decir no alcanza el valor mínimo establecido en el D.S. N° 023-2017-EM (19.5 %), el valor más bajo se registra en el punto de monitoreo numero 6 con un valor de 17.4 %, por lo que las condiciones en interior mina no son adecuadas para el desarrollo de las operaciones mineras.

Se concluye que a partir de la simulación realizada en el software VentSim, teniendo en cuenta la velocidad de aire tomada en Bocamina del nivel 3765 (31.94 m/min) las condiciones actuales son deficientes tanto en velocidad como en caudal

en los dos frentes de producción (galerías 1 y 3).

Se concluye que la nueva red de ventilación empleará un ventilador de alabes variables con caudal de aire de 8673 CFM, potencia de 2.4 kW y una manga de 24 pulgadas de diámetro, con lo cual se cumple con más del 100% del requerimiento de aire en interior mina.

De la investigación realizada, se recomienda incrementar el flujo de aire mediante la ventilación mecánica con la finalidad de reducir tiempos en las operaciones productivas, el software VentSim simula un ventilador de 2.4 kW de tipo alabes variables de la marca Airtec, con característica de ventilación directa, que proporcionara un caudal de aire de 8673 CFM, mismo que debe estar ubicado en la bocamina del nivel 3765.

Por otro lado, se recomienda continuar con la investigación introduciendo a la evaluación otros tipos de gases que se generan en interior mina tales como Dióxido de Carbono (CO₂), Sulfuro de Hidrógeno (H₂S), Dióxido de Azufre (SO₂).

REFERENCIAS

Andrade S. (2008). *Guía Metodológica de Seguridad para Proyectos de Ventilación de Minas*. Santiago-Chile: Depto. de Informática-SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería).

Ramírez, N. Fuentes, C. (2019). *Modelamiento del sistema de ventilación y control de metano con el simulador VentSim™ en la mina subterránea de carbón Fezmine, Polonia*. [Tesis Pregrado, Universidad Nacional de Concepción].

Repositorio Institucional UDEC.

<http://repositorio.udec.cl/xmlui/handle/11594/332>

Guevara, I. y Villanueva, W. (2018). *Evaluación y propuesta del sistema de ventilación en el subnivel 058 en minera Troy SAC – Cajamarca 2018*. [Tesis Pregrado, Universidad Privada de Norte]. Repositorio Institucional UPN.

<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13953>

Campillos, A. (2015). *Optimización y modelización del circuito de ventilación de una mina subterránea*. [Tesis Pregrado, Universidad Politécnica de Madrid].

Repositorio Institucional UPM.

https://oa.upm.es/36496/1/PFC_Alberto_Campillos_Prieto.pdf

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*. Perú. Tesis.

Claverías, J. (2014). *Evaluación y Optimización del sistema de Ventilación de la Compañía Minera Caraveli Aplicando el Software visual 3*. [Tesis Pregrado,

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional de la UNSA. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3857>.

Condori, V. (2016). *Optimización del sistema de ventilación con el software ventsim visual en la U.E.A. heraldos negros de la compañía minera san Valentín s.a. – Huancavelica*. [Tesis Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional UNAP. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4229/Condori_Condori_Victor_Hugo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Enrique F. (2011). *Evaluación del sistema de ventilación de la mina san Vicente-compañía minera San Ignacio de Morococha*. [Tesis Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional UNAP. http://biblioteca.unap.edu.pe/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=62995

Flores, M. (2017). *Diseño y simulación del sistema de ventilación de las labores de exploración en el proyecto San Gabriel cia de minas Buenaventura S.A.A*. [Tesis Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional UNAP. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4166/Flores_Aroni_Marco_Fredy.pdf?sequence=1&isAllowed=y

García, E. (2016). *Evaluación de la situación actual del sistema de ventilación y propuesta para su optimización en mina subterránea carbonífera Mi Grimaldina I –Cajamarca-016*. [Tesis Pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN.

<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/7582/GARCIA%20AGAMA%20EDWIN%20EDUARDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Maguiña, J. (2017). *Aplicación del software VENTSIM para el diseño y optimización proyectada del sistema de ventilación en la mina hércules de la compañía minera Lincuna S.A. – año 2017*. [Tesis Pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio Institucional UNASAM. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2898>

Marín E. (2015). Ventilación de minas. Puno.

Muñoz, C. & Salazar, L. (2018). *Modelamiento del sistema de ventilación del proyecto minero papelillo - Namora 2018 utilizando el software VentSim 5.0*. [Tesis Pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14650>

Ramírez, J. (2005). Ventilación de Minas. Módulo de Capacitación Técnico Ambiental. Chaparra Perú.

Sacsi R. (2013). *Cálculo de parámetros y diseño de la red de ventilación en labores de veta clara de acuerdo al D.S. 055-2010 EM. en mina san juan de churunga. Arequipa*. [Tesis Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional de la UNSA. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3928?show=full>

Stewart, C. (2010). Manual de usuario VentSim visual. Australia.

Vargas, E. (2015). Ventilación de minas. Curanilahue, Chile.

Viza, R. (2016). *Diseño y simulación de red de ventilación con el software VentSim visual en la unidad minera San Rafael Minsur S.A. Perú*. [Tesis Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional UNAP. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3446>

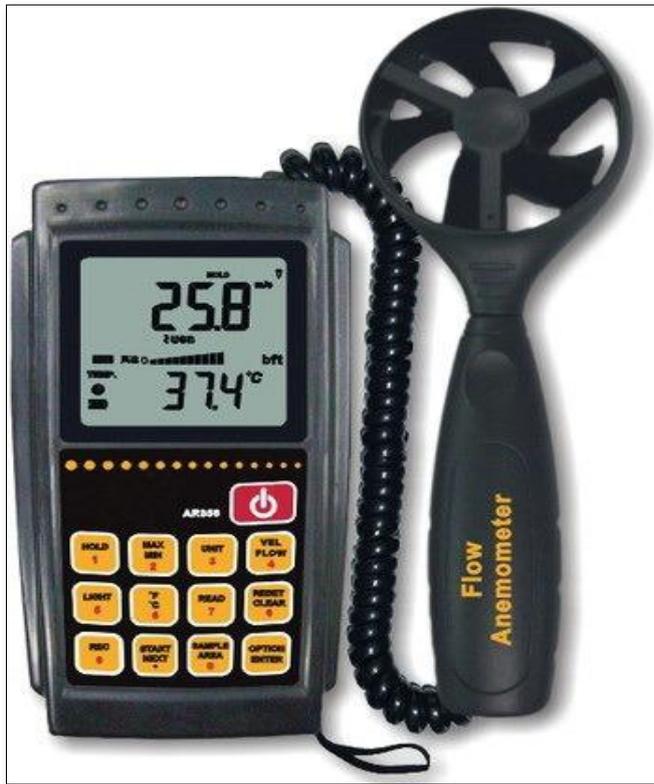
D.S. 024 –EM. (2016). Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. Ministerio de Energía y Minas. Perú.

ANEXOS

ANEXO N° 1. Detector Multigas Altair 4x empleado para la detección de gases en la mina subterránea polimetálica en el cerro Jesús, Hualgayoc.



ANEXO N° 2. Termo anemómetro Smart Sensor AR 856 empleado para la medición de la velocidad del aire en la mina subterránea polimetálica en el cerro Jesús, Hualgayoc.



ANEXO 4: Validación de experto.
MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de la investigación:	“EVALUACIÓN Y MODELAMIENTO DE LA VENTILACIÓN EMPLEANDO EL SOFTWARE VENTSIM PARA EL MODELAMIENTO DEL SISTEMA EN UNA MINA SUBTERRÁNEA POLIMETÁLICA EN EL CERRO JESÚS, HUALGAYOC, 2021”
Línea de investigación:	TECNOLOGÍAS EMERGENTES
Apellidos y nombres del experto:	VILCA PÉREZ, JESUS GABRIEL (MAGISTER)
El instrumento de medición pertenece a la variable:	VENTILACIÓN

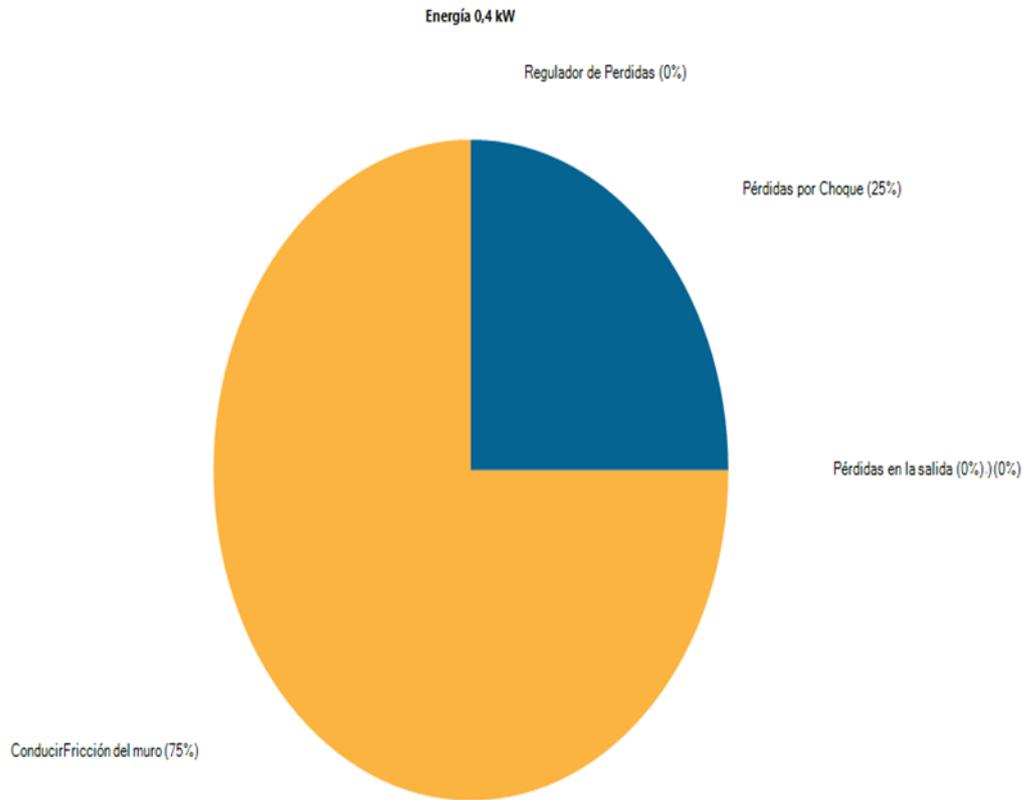
Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una “x” en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.

Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?	X		
7	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
8	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?	X		
10	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
11	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	X		

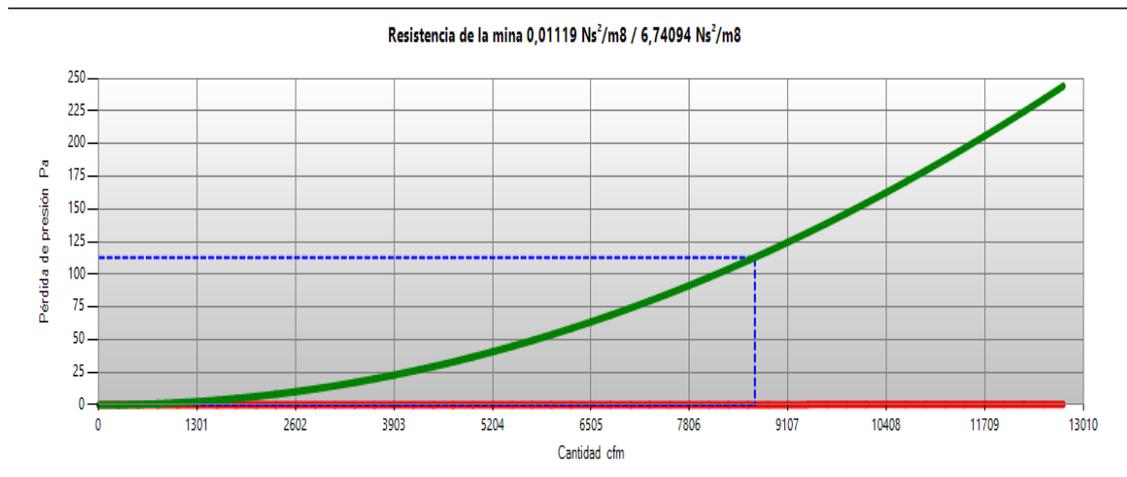
Sugerencias:
FIRMA DEL EXPERTO


Jesús Gabriel Vilca Pérez
ING. DE MINAS
R. CIP. N° 189681

ANEXO N° 5: Gráfico de regulador de pérdidas.



ANEXO N° 6. Curva de resistencia del ventilador.



ANEXO N° 7. Fotos del área de estudio.

