

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN
Y LA CALIDAD DE AIRE EN LA EMPRESA
MINERA ARTESANAL LA CHIRA S.R.L.

Tesis para optar al título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autores:

Christopher Jhancarlo Fernandez Sanchez
Manuel Rafael Rengifo Lopez

Asesor:

Mg. Wilson Carlos Gómez Hurtado
<https://orcid.org/0000-0002-3434-3664>

Trujillo - Perú

Jurado 1 Presidente(a)	Jesús Gabriel Vilca Pérez	41779520
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

Jurado 2	Elmer O. Luque Luque	02044966
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

Jurado 3	Jorge Omar Gonzales Torres	43703713
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va dedicado especialmente a nuestros padres, grandes ejemplos de vida quienes fueron el motor principal de este logro que en cada momento de nuestras vidas estuvieron presente junto a nosotros brindándonos su apoyo incondicional y amor.

A Dios por guiarnos en el camino del bien, por cuidar de nosotros y de nuestros padres brindándonos salud y protección.

Por último, a nuestros docentes por sus enseñanzas brindadas, familiares y amigos que siempre nos apoyan y alientan para continuar con nuestras metas.

Este trabajo va dedicado para todos ustedes.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a nuestra casa de estudios la Universidad Privada del Norte sede San Isidro Trujillo quien fue participe del esfuerzo y dedicación en nuestra vida profesional.

A nuestro asesor Mg. Wilson Carlos Gómez, por su gran apoyo en el trabajo de investigación y desarrollo de esta tesis. A nuestros profesores que con sus grandes enseñanzas lograron encaminarme en nuestra vida profesional. A todas las personas con las que compartimos experiencias académicas, laborales, quienes con sus enseñanzas y consejos lograron encaminarnos por el camino del bien.

Así mismo, agradecer a la empresa minera MIARLACHI por brindarnos la facilidad de poder realizar nuestro estudio en su unidad minera.

A mi familia, amigos y compañeros; gracias totales.

Tabla de contenido

JURADO CALIFICADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	25
CAPÍTULO III: RESULTADOS	28
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	39
REFERENCIAS	43
ANEXOS	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Promedio de velocidades de aire en distintos puntos	28
Tabla 2 Medición del sistema actual de ventilación.	29
Tabla 3 <i>Gases presentes en interior de mina</i>	30
Tabla 4 Número de personal por guardia.....	33
Tabla 5 Factor de Producción de acuerdo con el consumo de madera	33
Tabla 6 Requerimiento de aire según la temperatura.....	34
Tabla 7 Cantidad de Caudales	37
Tabla 8 Inversión de equipo de ventilación.....	38
Tabla 9 Matriz de Consistencia	47
Tabla 10 Matriz de operacionalización de variables.....	49
Tabla 11 Matriz de diagrama fotográfico de equipos	54
Tabla 12 Cantidad mínima de aire hombre que debe preexistir en las minas de carbón.....	57
Tabla 13 Concentración de Metano CH ₄ en bocamina.....	60
Tabla 14 Concentración de Metano CH ₄ en BM + 100.....	60
Tabla 15 Concentración de Metano CH ₄ en BM + 200.	61
Tabla 16 Concentración de Metano CH ₄ en BM + 300.	61
Tabla 17 Concentración de Metano CH ₄ en BM + 380.	62
Tabla 18 Concentración de Oxígeno en Bocamina.	63
Tabla 19 Concentración de Oxígeno en Bocamina + 100.	63
Tabla 20 Concentración de Oxígeno en Bocamina + 200.	64
Tabla 21 Concentración de Oxígeno en Bocamina + 300.	64
Tabla 22 Concentración de Oxígeno en Bocamina + 380.	65
Tabla 23 Concentración monóxido de Carbono bocamina.	66
Tabla 24 Concentración monóxido de Carbono bocamina +100m.	66
Tabla 25 Concentración monóxido de Carbono bocamina +200m.	67
Tabla 26 Concentración monóxido de Carbono bocamina +300m.	67
Tabla 27 Concentración monóxido de Carbono bocamina +380m.	68
Tabla 28 Datos del anemómetro en BM.	69

Tabla 29 Datos del anemómetro en BM + 100.	70
Tabla 30 Datos del anemómetro en BM + 200.	71
Tabla 31 Datos del anemómetro en BM + 300.	72
Tabla 32 Datos del anemómetro en BM + 380.	73
Tabla 33 Matriz de diagrama fotográfica.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Concentración promedio Gas Metano (CH ₄) y	30
Figura 2 Concentración promedio de Oxígeno (O ₂).....	31
Figura 3 Concentración promedio de Monóxido de Carbono (CO)	32
Figura 4 Resultado de caudales	34
Figura 5 Sistema de ventilación en VENTSIM	36
Figura 6 Tiempo de evacuación del Monóxido de Carbono (CO)	36
Figura 7 Tiempo de evacuación del Óxido de Nitrógeno	37
Figura 8 Dimensiones de labor	58

RESUMEN

En la siguiente investigación tiene como principal objetivo Optimizar el sistema de ventilación en la empresa minera Miarlachi acorde al reglamento de seguridad y salud ocupacional, la presente investigación es de tipo aplicativo, por otro lado por su profundidad de investigación es de tipo descriptiva, de tal modo que se propone investigar el sistema actual de ventilación, así mismo es de tipo No Experimental – Cuantitativa, puesto que no se manipularán las variables y se realizarán toma de datos como el flujo de aire y gases presentes en las labores, como la presencia de gas Metano (CH₄), Monóxido de carbono (CO), Dióxido de carbono (NO₂) y Oxígeno (O₂), por otra parte se concluye la ineficiencia del sistema actual de ventilación con un caudal de 5292,32 cfm no apto para el buen desempeño de los colaboradores que trabajan en el frente de extracción, así mismo se llegó a calcular y simular en el software Ventsim el caudal necesario en la labor de acorde al número de trabajadores y parámetros correspondientes con un requerimiento de 8279,5448 cfm. Por ende es necesario implementar un nuevo sistema de ventilación en el nivel principal de la unidad minera, que cumpla con los estándares de acuerdo con el reglamento de seguridad y salud ocupacional.

PALABRAS CLAVES: Ventilación en mina, gases, sistema de ventilación, máximos permisibles.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La minería es una de las actividades industriales más antiguas que genera un mayor impacto económico en todo el mundo, por ello el hombre en su afán de superación extrae estos recursos de forma superficial y subterránea, convirtiéndose en una de las actividades más riesgosa. Osinergmin (2019) indica que una de las causas más comunes de los accidentes con víctimas mortales, se debe a la deficiencia que existe en el sistema de ventilación. Córdoba y Molina (2011) mencionan que en los últimos años, las entidades involucradas en la extracción de los recursos subterráneos realizaron medidas de precaución por los accidentes ocurridos, por ello estos hechos conllevan a brindar un buen sistema de ventilación, lo cual asegura un buen clima laboral y calidad de aire en los frentes de extracción, así mismo la dilución de los gases provocado por los trabajos como voladura y el metano generado por los mantos de carbón.

La Organización Mundial de la Salud, (2021) señala que el aire contaminado significa un gran riesgo medioambiental que pueden causar enfermedades cardiovasculares, respiratorias y en el peor de los casos llegando a contraer el cáncer. El Ministerio de Energía y Minas, (2016) estableció que todo titular minero debe cumplir con un sistema de ventilación, para suministrar la cantidad de aire necesaria en interior de mina y así estar acorde con los límites permisibles establecidos. Así mismo, el Servicio Nacional de Geología y Minería, (2015) menciona que el principal objetivo de la ventilación en las labores subterráneas es suministrar aire acorde a los parámetros establecidos para un mayor rendimiento de los trabajadores, dilución extracción del polvo y gases producto de la voladura además de trasladar fuera de la mina los gases tóxicos emitidos por los equipos diésel utilizados es los distintos métodos de explotación.

Una destacada noticia del continente asiático informo que en la provincia nororiental china de Jilin en el 2015, 12 mineros fallecieron y uno quedo herido luego de registrarse una alta fuga de gas, así mismo, la agencia estatal de noticias Xinhua informo que en el agosto del 2014 amenos 13 colaboradores murieron tras una explosión de gas en una mina de carbón en la provincia suroeste de Guizhou (Mahmut, 2016).

La falta de oxígeno en las minas subterráneas de Colombia cobra cada vez más vidas humanas, tal es el caso de una mina en Colombia, Boyacá. El Instituto colombiano de Geología minera registró el 23 de julio del 2011 la muerte de 3 colaboradores en la mina Socota (Vanguardia Liberal, 2011).

En un estudio realizado por (Osinermin, 2019) en los periodos 2015 – 2019 señaló que los accidentes ocurridos por exposición a gases nocivos, falta de oxígeno y deficiencia de ventilación tiene como víctimas mortales el 16% de colaboradores en la especialidad de supervisión, teniendo un mayor índice de frecuencia en pequeña minería.

En la ciudad de Arequipa se registró el accidente por gaseamiento de 2 colaboradores, dicho suceso ocurrió en la chimenea 233 Nivel 4600. El evento surgió cuando el capataz dio orden de inspección junto a su ayudante y no realizaron la ventilación correspondiente antes del ingreso, aun cuando se contaba con los servicios operativos para tal fin (Seguridad Minera, 2020).

Por otra parte, en la empresa minera artesanal La Chira S.R.L actualmente cuenta con un sistema de ventilación inicial, que consiste en un motor Diésel con un ventilador axial, este sistema de ventilación no es el adecuado, puesto que para la cantidad de trabajadores y equipos utilizados el aire que ingresa a interior de mina es muy limitante, además no se utilizaron los parámetros requeridos por el sistema de seguridad y salud ocupacional minero. Donde el personal estuvo expuesto a gases y polvo trayendo como

consecuencias deficiencia respiratoria, enfermedades ocupacionales y hasta en ocasiones la muerte. El tema desarrollado pertenece a la línea de investigación “Nuevas tecnologías” aprobada por la Universidad Privada del Norte, en este contexto y por todo lo propuesto anteriormente se formuló la siguiente incógnita ¿Cómo optimizar el sistema de ventilación y la calidad de aire en la empresa Minera Artesanal La Chira S.R.L.?

Baltazar (2016) señala que en la ciudad de Huancayo, el objetivo de su investigación fue determinar la influencia de los ventiladores en el diseño del sistema de ventilación de la mina Kazán, desarrolla una investigación descriptiva comparativa, ya que, ayuda a determinar las características de los fenómenos observados en el caso aplicado, para este caso de mina Kazán en su galería principal con una longitud de 3982 m requiere un caudal de inicio de 28,2 m³/s con una presión de ventilador de 9497 Pa el cual tiene una caída de presión de 8795 Pa esto debido a la altitud de la mina ubicada a 1730 msnm, así mismo se debe tener muy en cuenta los daños ocasionados a la manga puesto que lo vuelve ineficiente a los sistemas de ventilación en este caso mina Kazán trabaja con el 2% cada 100 metros. Las conclusiones de esta investigación señalan que por la alta presión que se genera en las mangas de ventilación, se generan daños y rasgaduras lo cual ocasiona pérdidas notables de aire, así mismo, incrementa el área de fuga lo cual reduce el caudal de aire requerido en los frentes de extracción. Rivas (2014) en su artículo tiene como principal objetivo diseñar el sistema de ventilación de la mina subterránea “SOSA MÉNDEZ”, desarrolló una investigación experimental con el diseño de ventilación para el yacimiento sosa Méndez, para tal caso los resultados obtenidos señalan que el caudal necesario de la mina es de 265,08 m³/s, potencia del motor 580 hp, modelo del ventilador aspirante, diámetro del ventilador 2 m, 2600 rpm con un costo aproximado de 180000 US\$. La conclusión de esta tesis señala que gracias al análisis de los parámetros de extracción y las características de la mina sosa

Méndez permitieron elaborar el sistema de ventilación el cual está sujeto al desprendimiento de gases de los sectores de explotación para el cual se necesita un caudal mínimo necesario de aire que ayude a remover estos gases de igual forma de acuerdo con los distintos factores como cantidad de trabajadores, maquinaria, etc. De igual manera (Toro et al., 2012), en su investigación su principal objetivo fue garantizar los niveles de seguridad en la mina, desarrollan una investigación experimental con caso aplicativo en mina Nechi, el cual tuvo como resultado un caudal requerido de 26,4 m³/s para un total de 102 personas y un requerimiento de 41,5 kg de explosivo utilizado en las labores y multiplicado por un 50 % de factor de fugas para el caso de mina de carbón. las conclusiones de este trabajo de investigación señalan que una correcta ventilación en minas subterráneas se rige por normativas y estándares que señalan la cantidad de aire requerido para asegurar una correcta ventilación y suministrar aire limpio al interior de mina para lo cual se presentó un método estructurado que permitirá implementar un procedimiento para la optimización de un sistema de ventilación. Asimismo, (Rueda et al., 2012) en la ciudad de Medellín (Colombia), tuvieron como principal objetivo en su trabajo de investigación sectorizar la unidad minera en recorridos de ventilación, lo cual, permitirá una optimización y también minimizar los problemas asociados con la pérdida de aire mediante las fugas y la recirculación, es por ello, que desarrolla una investigación experimental con datos de la mina Raura. Para este caso de obtuvo un caudal de aire requerido de 475 m³/s para un total de 237 personas y un consumo de explosivo de 763 kg multiplicado por un factor de fuga del 35 %. Las conclusiones de esta investigación nos señala que se debe cerrar las labores antiguas, como las que ya no se explotan, otra manera de aumentar el caudal requerido en los frentes de extracción es necesario eliminar las fugas de aire en las mangas de ventilación utilizando los materiales correctos como acoples y conexiones en cada punto necesario, por otra parte, se debe reducir

las pérdidas de choque de igual manera, se debe cerrar las chimeneas internas y externas que proporcionan la recirculación.

Karagianni & Benardos, (2021) en su artículo tienen como principal objetivo desarrollar un modelo de red de ventilación válido y calibrado que proporcione información fiable de las condiciones imperantes, lo cual desarrolla una investigación no experimental, para cumplir con su objetivo realizaron pruebas de campo teniendo como base el punto 592 del nivel de explotación el cual proporciona una información por cada tipo de gas O₂ 20,8 %, CO₂ 920 ppm, CO 1 ppm, NO 0,9 ppm, NO₂ 0,3 ppm. en cuanto los límites permisibles están comprendidos en O₂ 19,5 %, CO₂ 5000 ppm, CO 50 ppm, NO 25 ppm, NO₂ 5 ppm. La conclusión de este trabajo señala que la ventilación en las explotaciones subterráneas es parte esencial de todo proceso minero, puesto que debe desarrollarse de una manera racional y optimizada para evitar impactos adversos y garantizar la seguridad de los trabajadores y de las operaciones.

Mayala et al., (2016) en la ciudad de Canadá, en su artículo su principal objetivo fue evaluar los problemas causados por la mala ventilación de la mina y mejorar la seguridad y salud de los trabajadores artesanales, desarrolla una investigación experimental en los sistemas de ventilación de Merelani. con capacidad de suministro de 10 m³ por ventilación mina, lo cual está lejos del caudal requerido para una mina subterránea considerando la cantidad de hombres de 100 a 120 por cada turno de trabajo por lo cual el flujo adecuado debe ser 10 o 12 veces mayor teniendo en cuenta que el 29 % de los accidentes es por asfixia, En sus conclusiones señala que los sistemas de ventilación en las labores mineras artesanales son importantes, puesto que brinda seguridad y salud a los trabajadores, los sistemas actuales por lo general son poco eficientes.

Prosser y Stinnette (2013) tuvieron como objeto optimizar el sistema de ventilación de mina la Camorra, desarrolla una investigación no experimental. Los datos obtenidos muestran la eficiencia de la optimización del sistema de ventilación el cual permitió una eficiencia del 70 % pasando de 59 m³/s a 99,1 m³/s. Las conclusiones señalan que la incorporación de algunas modificaciones de infraestructura en el sistema de ventilación permite una mejor optimización de la ventilación.

Chatterjee et al., (2015) en la ciudad de pretoria, tienen como propósito hacer funcionar el sistema de ventilación de manera más eficiente para reducir costos, desarrolla una investigación no experimental. Para tal sistema se requiere de un caudal de aire de 28.5m³/s con un costo de energía de \$1015 diario, por otra parte, la caída de velocidad de 300 rpm a 225 rpm reduce el consumo de energía de 125 kW a un aproximado de 50 kW con un costo de \$431 diario el cual brinda un ahorro de \$584. Las conclusiones señalan que una correcta optimización del sistema de ventilación mejora las actividades desarrolladas día. Así mismo Condori & Hidalgo (2012) en la ciudad de Bolivia, su artículo mantuvo como objetivo abastecer con aire fresco el frente de trabajo brindando un ambiente apropiado para las labores de extracción, a su vez impulsar el aire viciado al exterior de la mina, desarrolla una investigación cuasi experimental aplicado en la minera Sinchi Wayra, con los resultados obtenidos de modelación, para cubrir el requerimiento de 82,500 p³/m es necesario optar por un ventilador de 82,000 p³/min de caudal con una presión de 5,5 pulgadas de H₂O, las conclusiones de esta investigación señalan que la modelación de un sistema de ventilación es importante ya que nos permite obtener el requerimiento de aire necesario para tal sistema de ventilación a aplicar.

Díaz (2019) en la ciudad de Arequipa, en su trabajo de investigación planea mejorar el sistema de control de calidad de aire con el cumplimiento de las normativas D.S. 024-2016

EM y su modificatoria D.S. 023-2017 EM, D.S., Estándar de calidad de aire en minería N°003-2017MINAM; reglamento Nacional de calidad de aire D.S. 074-2001PCM., desarrolla una investigación de dos ámbitos, recopilación de datos y procesamiento y análisis de datos, si se aplica la optimización del sistema en las zonas críticas se obtendrá un rendimiento del 98,9 % mientras que el 1,1 % de estas zonas se han optado por instalar ventiladores auxiliares de 30,000 CFM, las conclusiones de este trabajo señalan que, al aplicar la optimización del sistema de ventilación como método para la mejora de calidad de aire y poder cumplir con el D.S.024-EM-2016 y su modificatoria.

Bustamante, (2017) en la ciudad de Medellín, tuvo como objetivo en su trabajo de investigación buscar el mayor acercamiento de las unidades mineras al cumplimiento de las normas debidamente establecidas, desarrolla una investigación cuasi experimental aplicado a una de las cinco unidades mineras tomadas para el trabajo, el aire que ingresa a mina es de 0,5 m³/seg, el cual con los sellamientos del nivel 6, logró que llegue a los frentes de extracción con 0,3 m³/seg, lo cual equivale a 30 m³/min, que permitirá trabajar a 5 personas en el frente, teniendo en cuenta el D.S. 1885 del 2015, el cual exige 6 m³/min por cada trabajador, Las conclusiones manifiestan que con la ventilación natural es eficiente hasta un cierto punto, por lo cual es necesario optar por la ventilación artificial la cual deberá ser optimizada para una mejor eficiencia.

La ventilación es un componente vital para cualquier mina ya sea de tipo natural o artificial la cual se encarga de brindar un ambiente de confort de acuerdo a los parámetros establecidos, el suministro de aire fresco se da con el fin de remover partículas de polvo y gases presentes en interior mina por las distintas actividades realizadas por los equipos trakles y hombres (Rebolledo, 2019).

Se infiere que la ventilación tiene como principal objetivo suministrar aire que ayude con la disolución de gases y brindar un cálido ambiente de trabajo (Compumet, 2006). Sus principales objetivos son: Abastecer oxígeno para todos los trabajadores de dicha mina, facilitar aire para los equipos e instalaciones y así evitar pérdidas en equipos e instalación y por último prevenir posibles gaseamientos de los trabajadores y evitar posibles accidentes. así mismo, la ventilación en una mina subterránea es un proceso mediante el cual se hace circular aire por el interior de dicha mina asegurando una atmósfera adecuada para los trabajos a realizarse, se realiza estableciendo un circuito de ventilación principal, recorriendo y desprendiendo la ventilación hacia los frentes de trabajo de dicha mina. Por otra parte, la ventilación principal debe ser forzada, de acuerdo con lo establecido en el artículo 40 del decreto 1886 de la guía de seguridad para la ventilación de minas subterráneas. El caudal de aire que circule por la mina dependerá del número de trabajadores, la extensión y sección de las labores, el tipo de maquinarias de combustión interna y las emanaciones de gases de la mina (Positiva Compañía de Seguros, 2017).

El ingeniero Figueroa Galiano reconoce que cualquier esquema de ventilación empleado en una mina es sensible a variaciones o ajustes, pero siempre tomando en cuenta el lugar de colocación del ventilador principal y el sentido de la corriente de aire, la elección de las entradas y salidas de aire, además de la influencia del método de explotación sobre la ventilación (Seguridad Minera, 2020).

Igualmente hay requerimientos generales para un sistema de ventilación en mina, donde involucra distintas variables como: Personal indicado y calificado para realizar dicho sistema, realizar un plano estructurado, tener en cuenta el sistema de seguridad para un buen control del volumen del aire, seguir al pie de la letra todos los procedimientos establecidos para la seguridad de todo el personal, por último realizar consecutivamente mantenimiento y restablecimiento de la ventilación (Positiva Compañía de Seguros, 2017).

El sistema de ventilación cuenta con distintos tipos como el: sistema aspirante que consiste en ingresar el aire fresco por la galería y el residual sale por el ducto. Para ventilar todas las zonas, áreas y desarrollos de túneles desde la superficie, este sistema es el preferido para la ventilación de una mina (Positiva Compañía de Seguros, 2017).

Por otra parte, en el sistema impelente el aire es impulsado dentro del ducto y sale ya viciado. En una sección no menor a 400 metros y de 3 x 3 metros de sección - lo conveniente es usar un sistema impelente de mediana o baja capacidad (Induambiente, 2010).

El sistema combinado emplea dos ductos de ventilación uno para extraer aire y otro para impulsar aire limpio. Este método reúne las ventajas de los dos tipos de sistema básicos, ya que mantiene las áreas en renovación constante de aire limpio. Su desventaja es su más alto costo de instalación y mantenimiento (Positiva Compañía de Seguros, 2017).

Para la ventilación de una mina se considera distintos tipos de sistemas entre ellos la ventilación natural, la cual se realiza por medio de la ventilación natural propiamente dicho de su nombre el cual se encarga de emitir un flujo natural de aire al interior mina, pues este método depende de manera directa de las condiciones climáticas principalmente para que este sistema funcione la mina tiene que tener dos labores de acceso, cabe mencionar que la ventilación natural es muy cambiante de acuerdo a la época o inclusive a las horas del día o noche (Haros, 2014).

Por otro lado la ventilación artificial necesita de ventiladores los cuales se encargan de suministrar aire fresco al interior mina mediante mangas o ductos de ventilación, este método es empleado cuando la ventilación natural es ineficiente lo cual hace optar por una ventilación mecánica, para la aplicación de este es preciso evaluar distintos parámetros como: las condiciones de la mina, cantidad de trabajadores y equipos puesto que depende de estos la cantidad de aire que se va a suministrar al interior mina (Haros, 2014).

Los ventiladores se clasifican de distintas maneras dentro de ellos está el centrífugo, en este ventilador el aire ingresa en dirección paralela al eje del rotor, por la boca de aspiración, y la descarga se realiza tangencialmente al rotor, es decir Es por ello por lo que este tipo de ventiladores es mucho mayor en capacidad que los ventiladores axiales, desarrollándose hasta 1500 milímetros. El funcionamiento de estos ventiladores centrífugos es el mismo de las bombas centrífugas.

Este ventilador está compuesto por aletas las cuales giran dentro de una carcasa espiral a la cual se le conoce como voluta, la rotación de este se da generalmente a través de un motor eléctrico con una finalidad de proporcionar aire principalmente en la minería sirve para transporte neumático de materiales, acondicionamiento de aire, climatización, etc. (Lahidalga)

Por otro lado, los ventiladores axiales se encargan generalmente de extraer el aire del interior mina el cual puede estar compuesto de 3 a 13 alabes de distintas formas y materiales, por lo general suele necesitarse en zonas donde el caudal de aire debe ser elevado y poca presión, en ocasiones se requiere una presión estática que recibe como nombre inyector de aire. (Motorex, 2017).

Los ventiladores centrífugos y axiales son muy importantes cuando se necesita desplazar un caudal. Asimismo, se realiza un cálculo y diseño al momento de la instalación de dicho ventilador como en su mayoría de veces los ventiladores axiales son de accionamiento directo, aunque en algunos países no se da de la misma manera, en su mayoría para las mineras peruanas influye bastante el diámetro, las revoluciones, el ángulo de los álabes y su anchura: en primer lugar, el diámetro se da de acuerdo con las leyes de ventilación, por consiguiente el caudal debe crecer cúbicamente con el mismo diámetro así mismo, las revoluciones se proporciona al número que nos da por minuto y por último el ángulo de los álabes se produce cuando el caudal crece de forma lineal con el seno de dicho

ángulo, la anchura de los álabes se da cuando el caudal cambia y asimismo se alarga (S&P Sistemas de Ventilación, 2017).

De igual importancia en la consideración de requerimiento de aire necesario para las labores de explotación debe de ser calculada teniendo en cuenta los siguientes parámetros operacionales: caudal requerido por el número de personas, caudal requerido por desprendimiento de gases según Normativa, caudal requerido por temperatura, caudal requerido por el polvo en suspensión, caudal requerido por la producción, caudal requerido por consumo de explosivos, caudal requerido por equipo Diésel y de acuerdo al método de explotación utilizado por consiguiente este cálculo permitirá brindar una correcta ventilación para las labores de minado mediante un control de flujos tanto el aire que ingresa como el aire viciado que sale (Gallardo, 2008).

En primer lugar, la cantidad de caudal requerido acorde al número de colaboradores; $Q_t = F \times N$ ($m^3/min.$) donde F es el caudal mínimo por persona de acuerdo con escala establecida por el artículo 247 del reglamento y N el número de trabajadores de la guardia más numerosa.

En segundo lugar, la cantidad de aire necesario para la mina es de acuerdo con la altitud en la que se encuentra ubicada, teniendo en cuenta que 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 ($3 m^3 /min$) mientras que en las minas carboníferas será de $4,5 m^3 /min$. Así mismo la cantidad de aire necesario en otras altitudes será correspondiente a su altitud (Ministerio de Energía y Minas - Minería, 2017).

En tercer lugar, la cantidad de aire necesaria requerido acorde a la cantidad de maquinaria diésel; $Q_{eq} = 3 \times H_p \times D_m \times F_u$ ($m^3/min.$) donde H_p es la cantidad efectiva de potencias, D_m es la disponibilidad mecánica promedio de los equipos y F_u es el factor de utilización promedio.

Cuarto lugar, cantidad de aire requerido al consumo de explosivos; $Q_{ex} = A \times V \times N$ (m³/min.) donde A es el área promedio de labores, V es la velocidad mínima requerida según la norma y N el número de niveles en voladura (Compumet, 2006).

En quinto lugar, Cálculo total del caudal de aire que equivale a la sumatoria total de todos los caudales obtenidos (Sutty, 2016)

Por otro lado, el caudal requerido por temperatura según la legislación chilena la temperatura húmeda máxima en el interior de la mina no podrá exceder de 30 ° C, para jornadas de trabajo de 8 horas (Gallardo, 2008).

Cálculo de caudales parciales de aire por cada operación: Perforación Mecanizada (Jumbo), carguío de explosivos, acuñadoras y trabajos varios interior mina, tronadura de avance (tiempo de dilución de 30 minutos), tronadura de banqueo (tiempo de dilución 180 minutos), caudal requerido por la producción, caudal requerido por carguío y transporte (Gallardo, 2008).

El sistema de aire fresco en una mina de carbón debe estar muy bien ubicada y construida de tal manera que no haya posibilidad de ser afectada por derrumbes o que las corrientes de aire puedan ser contaminadas con polvo de carbón. Las minas, sectores y frentes de explotación de carbón, deberán disponer de dos galerías de ventilación. Por una de estas vías se introducirá el aire fresco requerido y por la otra se extraerá el aire. Estas vías se denominarán principal y revuelta (Vargas, 2015).

Los gases se clasifican en: Gases asfixiantes, ocasionan disminución de oxígeno en el aire, debido de que se ocupan en nuestra atmosfera, Gases Tóxicos el cual origina pérdida de oxígeno, causando daño a los pulmones y a todo el organismo, Gases explosivos, producen intoxicación, envenenamiento y en última instancia la muerte (Positiva Compañía de Seguros, 2017).

En las minas es común encontrar la presencia de gases, los cuales son producidos por diferentes fuentes, tales como explosivos, propiedades intrínsecas del material de la zona, descomposición de la madera, entre otros (Cordoba & Molina, 2011).

De la misma forma existen medidas preventivas para la medición de dichos gases como: calibrar una alarma para tomar lectura de los gases que no excedan los límites permisibles y nos permita detectar O_2 , CO , CH_4 , H_2S , CO_2 y Gases nitrosos (Positiva Compañía de Seguros, 2017).

El gas metano (CH_4) es un gas incoloro, con una densidad relativa al aire de 0,554. Debido a que su peso específico es inferior al del aire, se acumula en las partes superiores de las labores mineras, es insoluble en agua, tóxico y se mezcla bien con el aire, Comúnmente se le nombra grisú, aunque realmente el grisú está compuesto en promedio de 95 % de metano y pequeños porcentajes de dióxido de carbono (CO_2), nitrógeno (N_2), monóxido de carbono (CO), por otra parte, la principal propiedad del grisú es su combustibilidad y puede formar mezclas explosivas con el aire, el límite de explosividad comprende entre 5 % y 14 % de grisú, pero estos límites dependen de la temperatura, presión, presencia de otros gases, etc. (Cordoba & Molina, 2011).

Como se genera el gas metano: Se desprende a través del carbón, por la descomposición de la madera bajo agua, por la descomposición de materias orgánicas, en las alcantarillas de la ciudad y se produce o emite en la extracción de carbón (Aguilar, 2018).

El monóxido de carbono es un gas sin color, sin sabor ni olor, tóxico y combustible; combustible cuando su contenido es de 13 a 75 % es un gas bastante venenoso que tiene mucha más afinidad por la hemoglobina de la sangre que el oxígeno formando la carboxihemoglobina reduciendo en esta forma el aporte de oxígeno a los tejidos, de tal forma que el efecto inmediato del CO es comparable con el de un anestésico suave el peligro del CO radica principalmente en que el individuo aun consciente puede notar en su organismo un

cierto estado general de intoxicación pero la debilidad que se presenta le impide retirarse de la zona de peligro, por sus propios medios (Cordoba & Molina, 2011).

Principalmente el monóxido de carbono es un producto de materias orgánicas o carbonáceas ya que todo material combustible rico en carbono necesita oxígeno para quemarse y cuando es insuficiente, la combustión es incompleta y se forma monóxido de carbono (CO) (MetroGas, s. f.).

El dióxido de carbono es un gas sin color, con un sabor ligeramente ácido, existe en porcentajes de (0,03 %) en el aire natural, cuando su concentración alcanza el 0,5 % ocasional el aumento del ritmo y la profundidad de la respiración, con 2 % de CO₂ la respiración aumenta en 50 %, con 5 % la respiración se hace más penosa, con 10 % no se puede resistir unos pocos minutos, las causas de origen del CO₂ son la respiración de las personas, las voladuras y la oxidación de la madera o carbón, esta última es más importante y en algunos lugares se le atribuyen los 16/17 del CO₂ producido en la mina, asimismo para la detección de estos gases se usan sistemas de detecciones personales o sistemas de monitoreo continuo para que no excedan los máximos permisibles (Cordoba & Molina, 2011).

Por ello se planteó la investigación “Optimización del sistema de ventilación y la calidad de aire en la Empresa Minera Artesanal La Chira S.R.L.” con el propósito de mejorar la calidad y eficiencia del sistema de ventilación ya que en la toma de datos se pudo presenciar que a partir de BM+200 empieza la deficiencia del sistema de ventilación puesto que la cantidad de oxígeno disminuye a 18,8%, así mismo en BM+380 la deficiencia es de 14,8% sabiendo que el mínimo permisible según el reglamento de seguridad es de 19,5%. Con los resultados de estos niveles de oxígeno puede ocurrir accidentes y hasta incluso llegar a causar la muerte a los colaboradores. Es por ello por lo que se planteó la optimización del

sistema de ventilación acorde a los parámetros establecidos por el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería obteniendo así un mejor cuidado en la salud, eficiencia y rendimiento en los colaboradores.

Para el desarrollo de la investigación nos hemos planteado como objetivo general: optimizar el sistema de ventilación y la calidad de aire en la empresa Minera Artesanal La Chira S.R.L. Como objetivos específicos se propuso: evaluar el sistema de ventilación actual en la empresa minera Artesanal La Chira S.R.L, seguidamente evaluar la calidad de aire en el interior de las labores de la mina La Chira S.R.L; Determinar el caudal de aire que requiere la mina, considerando la cantidad de trabajadores, maquinarias, tipo de explosivos entre otros; Proponer un sistema de ventilación con la aplicación del Software Ventsim y calcular los costos de la nueva propuesta de sistema de ventilación para la empresa Minera Artesanal La Chira S.R.L. Demostrando que la optimización del sistema de ventilación para la empresa minera Miarlachi aumenta significativamente la calidad de aire para brindar un mejor ambiente laboral, de igual forma ayudará en la producción de mina.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La investigación presenta un enfoque Cuantitativo ya que se utiliza la recolección de datos tales como el flujo de aire y gases existentes dentro de una mina, para que posterior a ello se realice un análisis mediante cuadros y gráficos. Por otra parte es de tipo Aplicada, ya que está orientada a encontrar estrategias para resolver los problemas con los que cuenta actualmente el sistema de ventilación en la Empresa Minera Artesanal La Chira S.R.L. Según su profundidad de investigación es explicativa puesto que se propone investigar sobre las causas y consecuencias del sistema de ventilación actual para poder conseguir una mejora. El presente trabajo es de tipo No Experimental ya que no se manipula ninguna de las variables a estudiar (Anexo 1).

Para el desarrollo de tesis, se consideró como población la labor de minado en la empresa Minera Artesanal La Chira S.R.L., mientras que, para la muestra se determinó utilizar la galería principal de la empresa mencionada.

La técnica aplicada en la presente investigación es la observación directa ya que se realizó la toma de datos en la Empresa Minera Artesanal La Chira S.R.L, tomando puntos específicos (BM, BM + 100, BM + 200, BM + 300, BM + 380). En cada uno de estos puntos se realizó un muestreo de 5 datos continuos tales como la velocidad de aire, humedad y temperatura; así como también se realizó la muestra de gases existentes en la empresa minera durante intervalos de tiempo en un transcurso de 24 horas.

Los instrumentos utilizados para la investigación fueron equipos previamente calibrados (Anexo 2). Los equipos empleados en esta oportunidad fueron el Anemómetro Kestrel 300, es un equipo empleado para medir la velocidad de aire, humedad relativa y temperatura dentro de mina. El detector de gas Altair 4x, detecta hasta 4 gases (NO₂, CO,

O₂ y metano) de forma segura. Por último, el GPS Garmin Oregon 550, utilizado para obtener las coordenadas exactas de mina.

Se empleó la libreta de campo como instrumento para realizar las anotaciones que se recaudó en el monitoreo con los equipos ya mencionados dentro de mina. Posteriormente se realizó el análisis de datos, los datos obtenidos en la libreta de campo fueron digitados en Excel donde se elaboraron tablas y gráficos comparando con los límites permisibles para obtener una mejor comprensión en cómo se encontraba actualmente la mina (Ver anexo 6, 7, 8 y 9).

El procedimiento que se realizó a primera instancia fue corroborar la calibración de los equipos para posterior a ello realizar la toma de datos en interior de mina. El primer equipo para utilizar fue el GPS para tomar las coordenadas exactas de bocamina. Luego a ello con ayuda de la cinta métrica se realizó mediciones y se marcó puntos exactos con un Sprite para saber con claridad de donde se obtendrían los datos. Posterior a ello se utilizó el Anemómetro y el detector de gas, para realizar mediciones en intervalos de 1 hora y media.

Las primeras tomas de datos se empezaron a realizar a partir de las 8:30 pm en bocamina utilizando el método de barrido el cual consiste en circular los equipos a lo largo de la sección teniendo un barrido completo, el mismo procedimiento se realizó 5 veces continuas para luego obtener un promedio aritmético. Posterior a ello se realizó el mismo procedimiento en BM+100, BM+200, BM+300 y BM+380. Este procedimiento continuo a lo largo de 24 horas con intervalos de 1 hora y 30 minutos.

Los datos obtenidos a lo largo del día fueron almacenados en la libreta de campo para luego procesarlos en Excel, realizando un promedio aritmético de 5 toma de datos continuas en los intervalos de tiempo de 1 hora y media en cada punto estratégico. Se pudo realizar graficas en comparación con los máximos permisibles para reconocer la deficiencia del sistema de ventilación existente.

Se realizaron cálculos acordes al reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería teniendo en cuenta la cantidad de trabajadores, equipos a utilizar, altitud, madera empleada para el armado de cuadros, temperatura y explosivos para lograr obtener el caudal de aire necesario dentro de mina.

Finalmente, con el caudal calculado se optó por un determinado equipo de ventilación y acorde a ello se diseñó un sistema de ventilación con ayuda del Software Ventsim para reducir costos y optimizar la eficiencia de los colaboradores en interior de mina.

La elaboración de este trabajo de investigación cuenta con aspectos éticos tales como: certificación de instrumentos calibrados para poder ser empleados en el trabajo de investigación, adicional a esto se redactó y cito algunos autores acordes a norma APA 7ma edición para poder validar y reforzar ciertos conocimientos, y por último el recojo de información y tomas de datos se dio previo consentimiento por parte de la empresa.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Al realizar la evaluación del sistema de ventilación actual se permitió calcular el caudal de aire impulsado por el ventilador, tanto en la boca del ventilador axial y en la labor.

Para obtener el caudal básico de salida de aire del ventilador se aplica la Ecuación 2 (Ver anexo 4), requiriendo el área transversal del ventilador, siendo este 0,1164 m² (Ver ecuación 1, anexo 4) y la velocidad de salida de aire, 48 mph que fue proporcionada por el anemómetro. Se obtuvo un caudal de salida de 5292,3265 cfm,

Así mismo para calcular el caudal de aire en interior de mina se necesitó la velocidad de viento en distintas horas (ver anexo 9), posterior a ello se realizó un promedio aritmético en cada uno de los puntos a examinar (Ver tabla 1) y para obtener el área de la labor se aplicó la Ecuación 3 (Ver anexo 4) obteniendo 3,9490 m². Aplicando la Ecuación 4 (Ver anexo 4) muestra que el caudal en interior de mina es de 1421,4320 cfm.

Tabla 1

Promedio de velocidades de aire en distintos puntos

Punto	Velocidad del viento (mph)
BM	0,26
BM + 100	0,56
BM + 200	0,64
BM + 300	0,29
BM + 380	0,17
Promedio	0,38

Teniendo como segundo objetivo evaluar la calidad de aire en interior de mina, se realizó el monitoreo en 5 puntos estratégicos de la galería principal (Ver tabla 1) durante los 2 turnos de trabajo, realizando la toma de datos de la velocidad de aire, humedad, temperatura, índice de calor (Ver tabla 2) y de gases tales como Metano (CH₄), Oxígeno (O₂) y Monóxido de Carbono (CO) (Ver tabla 3). Los datos fueron procesados en Excel para verificar gráficamente la concentración de gases en función tiempo.

Tabla 2

Medición del sistema actual de ventilación.

Puntos	Vel. viento	Temperatura	Humedad	Índice de	Punto de
	Mph	°C	relativa	calor	rocío
			%	%°C	°C
BM	0,26	23,87	76,14	24,63	19,12
BM + 100	0,56	26,23	93,94	30,35	25,16
BM + 200	0,64	26,81	89,76	31,30	24,85
BM + 300	0,29	29,16	93,61	38,98	28,06
BM + 380	0,17	30,69	95,65	45,21	29,96
	0,38	27,35	89,82	34,10	25,43

Nota. Se aprecia la velocidad del viento, temperatura, humedad relativa, índice de calor y punto de rocío promedio tomado desde las 8 pm del día 28/10/2020 hasta las 6 pm del día 29/10/2020 en los 5 puntos estratégicos localizados en la galería principal.

Tabla 3

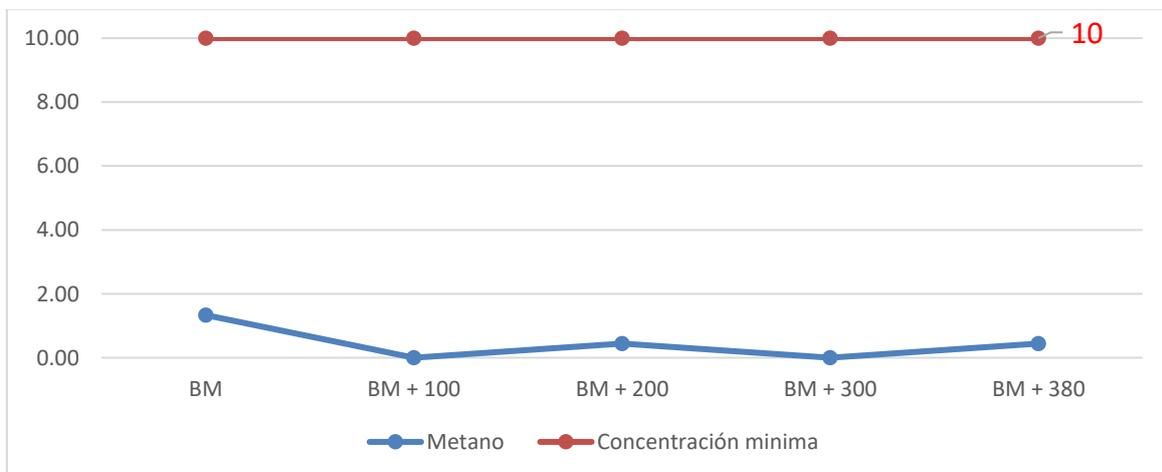
Gases presentes en interior de mina

Gases	Metano	O2	CO
Puntos	%	%	PPM
BM	1,33	20,80	3,44
BM + 100	0,00	20,10	3,78
BM + 200	0,44	19,90	6,08
BM + 300	0,00	17,77	2,78
BM + 380	0,44	16,60	2,39
	0,44	19,03	3,69

Nota. Se aprecia el promedio total de concentración de gases existentes en interior de mina entre las 20 horas del día 28/10/2020 hasta las 18 horas del día 29/10/2020. Si bien es cierto el gas metano y el monóxido de carbono se encuentran dentro de los límites permisibles, el nivel de oxígeno se encuentra por debajo de lo permitido.

Figura 1

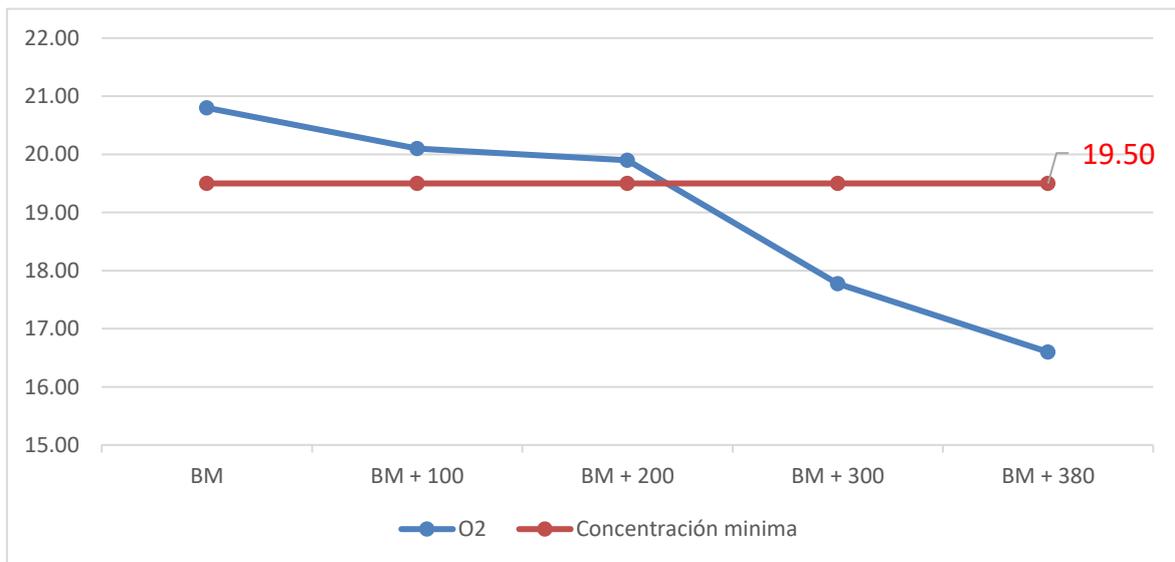
Concentración promedio Gas Metano (CH₄) y



Nota. El promedio total de concentrado de gas metano es casi nulo, en ocasiones tiene elevaciones, pero estas se encuentran por debajo del máximo permisible. La concentración máxima de gas metano es de 4 % en bocamina (Anexo 6).

Figura 2

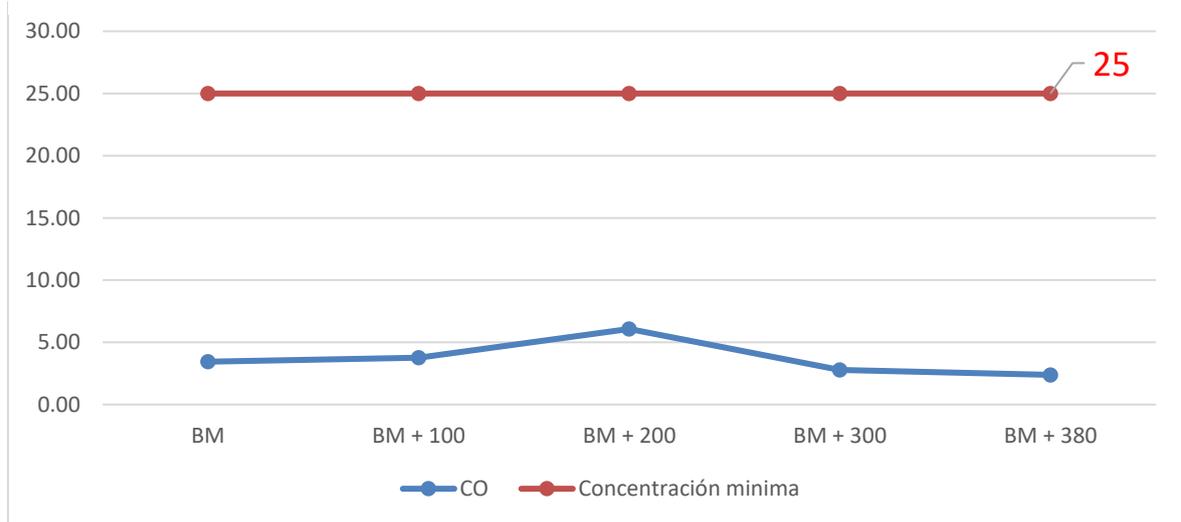
Concentración promedio de Oxígeno (O₂)



Nota. A mayor profundidad el nivel de oxígeno disminuye, hasta bocamina + 200 metros se encuentra en los límites permitidos. A partir de bocamina + 300 existe un gran déficit de oxígeno (Ver Tabla 21, 22; Anexo 7) causando que los colaboradores tengan dificultad para respirar y su eficiencia sea menor al momento de realizar las labores encomendadas.

Figura 3

Concentración promedio de Monóxido de Carbono (CO)



Nota. El promedio de concentración se encuentra por debajo del máximo permisible, sin embargo, se observa un punto que sobrepasa los límites permisibles teniendo 48 ppm en bocamina + 200 metros (Ver tabla 25, Anexo 8) Las elevaciones de CO se deben al uso de motosierra en interior de mina.

Como tercer objetivo se debe determinar el cálculo del caudal de aire fresco requerido en interior de una mina de carbón, este se calcula acorde al número de colaboradores, consumo de madera, consumo de explosivos, temperatura dentro de mina, y otros factores como las fugas; todo ello especificado en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D.S. N.º 024- 2016-EM modificado por D.S. N.º 023- 2017-EM.

El decreto supremo N.º 024- 2016-EM modificado por D.S. N.º 023- 2017-EM Título IV Capítulo I, Artículo 258 establece la cantidad mínima de aire hombre que debe preexistir acorde a la altitud, considerando que Huaranchal se encuentra a 2180 M.S.N.M. (Ver Tabla 12, Anexo 5). De la misma manera se requiere el número de trabajadores de la

guardia más numerosa (Ver Tabla 4), con los datos obtenidos se aplica la Ecuación 5 (Ver Anexo 5) teniendo como flujo de aire por trabajadores $50,4 \text{ m}^3/\text{min}$

Tabla 4

Número de personal por guardia

Puesto	Turno 1	Turno 2
Capataz	1	1
Ayudantes	5	5
Otros	2	1
Total	8	7

El uso de madera empleada en las minas de carbón para sostenimiento genera emisión de gases como el CO_2 . Para obtener el caudal requerido por producción se emplea el factor de producción establecida en el decreto supremo N.º 024- 2016-EM Título IV Capítulo I, Artículo 252 (Ver tabla 5). Considerando que el consumo de madera es un 90% y la producción en toneladas por guardia es de 28, se aplica la Ecuación 6 (Ver Anexo 5) obteniendo que el caudal requerido por producción es de $35 \text{ m}^3/\text{min}$.

Tabla 5

Factor de Producción de acuerdo con el consumo de madera

Consumo de madera	Caudal (m^3/min)
0 – 20	0
21 – 40	0,6
40 – 70	1
70 -100	1,25

Para lograr mantener la temperatura confort en el área de trabajo según el artículo 252 del decreto supremo N.º 024- 2016-EM indica que se debe considerar en los cálculos de caudal por temperatura en las labores la velocidad mínima de aire (Ver Tabla 6) teniendo en cuenta la temperatura seca del área (Ver Tabla 2), el área de labor (Ver ecuación 3, Anexo 4) y número de niveles. Aplicando la Ecuación 7 (Ver anexo 5) se obtuvo que el caudal necesario por temperatura es de 118,47 m³/min.

Tabla 6

Requerimiento de aire según la temperatura

T° Seca (°C)		Vm (m/min)
menos de	24	0
24	29	30

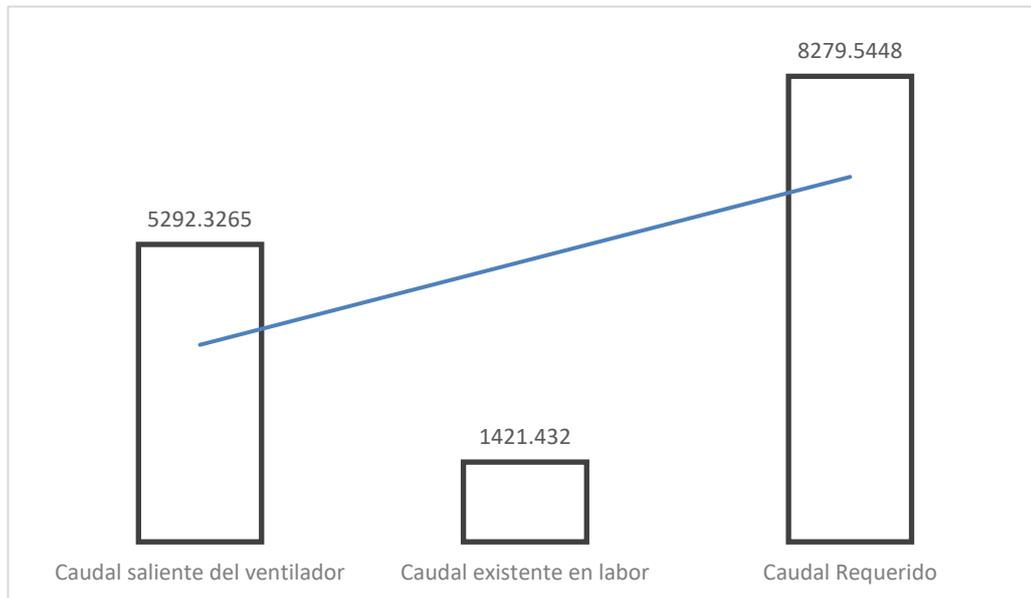
El caudal requerido por fugas se calcula de acuerdo con el porcentaje de la sumatoria de otros caudales, esto se realiza por las posibles fugas que pueda tener la manga de ventilación. Aplicando la Ecuación 8 (Ver Anexo 5) se obtiene que el caudal por fugas es 30,5806 m³/min.

Teniendo los caudales acordes al número de colaboradores, consumo de madera, temperatura dentro de mina, y otros factores como las fugas, se realiza una sumatoria para obtener el caudal total que requiere la mina (Ver Ecuación 9, Anexo 5) siendo este 234,4506 m³/min que equivale a 8279,5448 cfm.

Con los cálculos obtenidos se puede notar el déficit que existe con respecto al caudal existente en interior de mina (Figura 4).

Figura 4

Resultado de Caudales



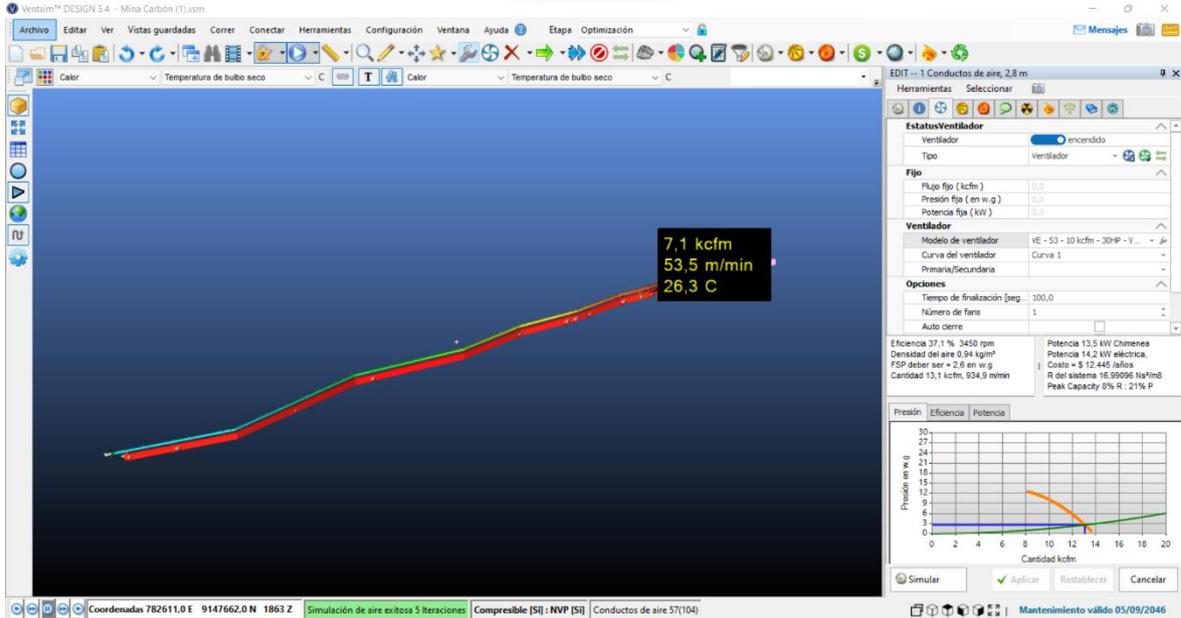
Nota. El caudal saliente del ventilador solo corresponde al 63,92% del caudal requerido, y el caudal existente en la labor corresponde al 17,17% del caudal requerido.

Como ultimo objetivo se realizó el diseño del sistema de ventilación, para esto se realizó la elaboración de 2 simulaciones, una de ella consiste en la utilización de los parámetros con los que trabaja actualmente la mina y la otra simulación con los parámetros óptimos utilizando un ventilador eléctrico de 10 kcfm - 30HP con una manga de ventilación de polipropileno con diámetro de 0,71 m (Ver Figura 5).

Al comparar los 2 sistemas de ventilación se puede notar un aumento de oxígeno en la labor llegando a los 19,5%, la temperatura disminuye de 29,9°C a 26,3°C y los tiempos de evacuación de gases también reducen.

Figura 5

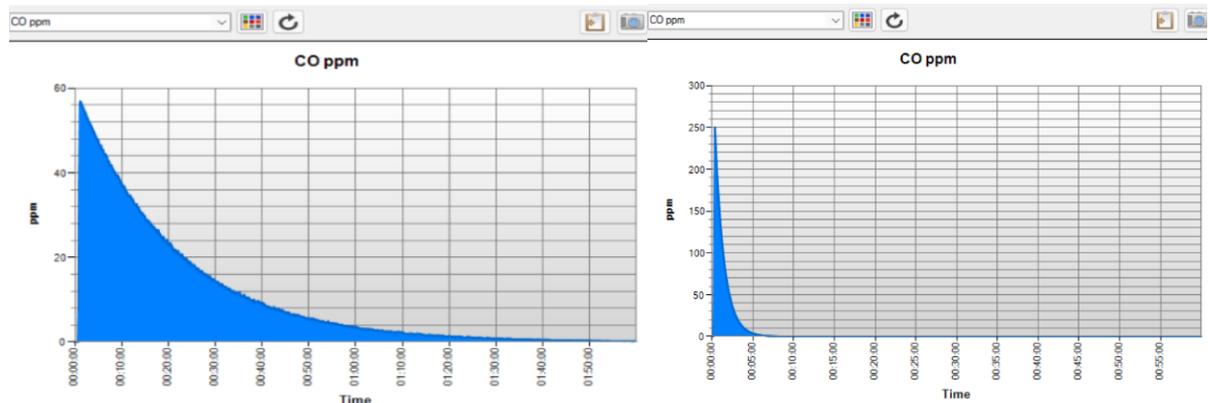
Sistema de ventilación en VENTSIM



Al diseñar y simular los sistemas de ventilación como se describió en la etapa “Actual” y “Optimización” se observó que disminuye el tiempo de evacuación de gases producidos por la voladura (Ver figura 6 y 7) y a su vez se reduce la temperatura.

Figura 6

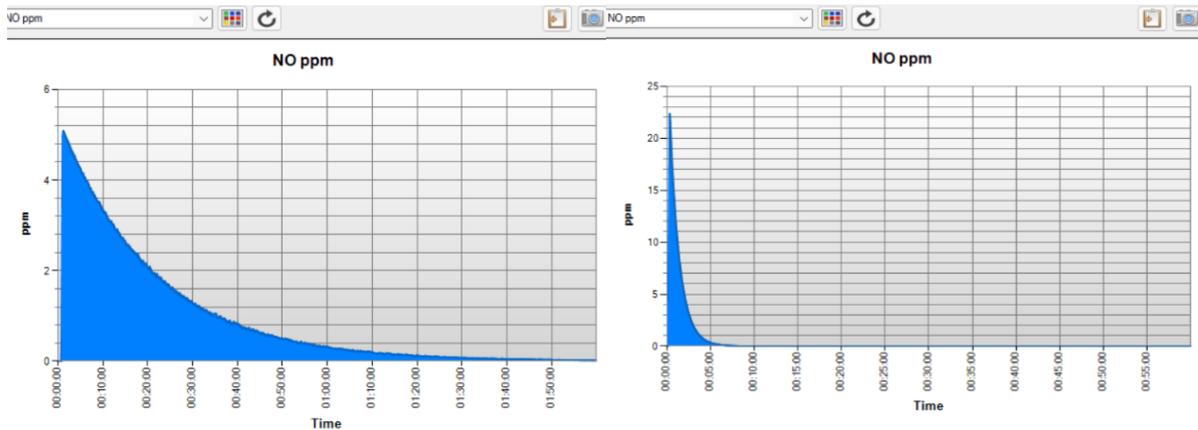
Tiempo de evacuación del Monóxido de Carbono (CO)



Nota. Se logra apreciar la gran diferencia de tiempos en la evacuación del monóxido de carbono al simular una voladura, en el sistema “actual” para llegar a los límites permisibles (25 ppm) tarda aproximadamente 20 minutos y en “optimización” solo tarda 5 minutos.

Figura 7

Tiempo de evacuación del Óxido de Nitrógeno



Nota. En el sistema de ventilación “Actual” para no llegar a tener presencia de óxido de nitrógeno se requiere más de 1 hora mientras que en el sistema de ventilación “Optimización” no requiere más de 10 minutos.

Al realizar la implementación se utiliza un ventilador de 10 kcfm, ya que este se aproxima al cálculo obtenido en el requerimiento 221,455 m³/min que equivale a 7820,6272 cfm (Tabla 7). El costo de implementación del ventilador eléctrico de 10000 cfm y una nueva manga de ventilación de 28” es de 3300,00 dólares (Tabla 8).

Tabla 7

Cantidad de Caudales

Nombre	Cantidad	Unidad
Caudal por trabajadores	44,1	m ³ /min
Caudal por producción	30	m ³ /min

Caudal por temperatura	118,47	m ³ /min
Caudal por fugas	28,8855	m ³ /min
Caudal Total	221,455	m³/min

Tabla 8

Inversión de equipo de ventilación

Cantidad	Equipo	Capacidad	Unidad	Costo	Costo total
1	Ventilador eléctrico 30 Hp + tablero	10000 cfm	unidad	\$ 2800,00	\$ 2800,00
400	Manga de ventilación 28 pulgadas		metro	\$ 1,25	\$ 500,00
Costo Total de equipo					\$ 3300,00

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La presente investigación busca optimizar la eficiencia del sistema de ventilación para mejorar la calidad de aire en la empresa minera artesanal La Chira S.R.L. en este sentido se aspira obtener una mejora del sistema actual de ventilación mediante la optimización.

El sistema de ventilación actual cuenta con un caudal saliente del ventilador de 5292,32 CFM, este mismo llega al frente de extracción con 1421 CFM presentado ineficiencia puesto que el oxígeno llega a condiciones extremas de 14,8 % y temperatura máxima de 31,36 C°. Luego de la toma y análisis de datos en la investigación mediante cálculos donde influye la temperatura, explosivos, número de colaboradores y uso de madera se obtiene que el caudal requerido para una correcta ventilación es de 7820,62 CFM y mediante la simulación en el software ventsim se observa que el nivel de oxígeno alcanza el 19,5 % y la temperatura reduce a 26,3 C°. Es por ello por lo que se aceptó la hipótesis de investigación que la optimización del sistema de ventilación aumenta significativamente la calidad de aire, este estudio coincide con el caso aplicativo de en la mina NECHI la cual requiere un caudal de 55593,84CFM para un total de 102 colaboradores y 41,5 kg de explosivo que mediante esta optimización alcanza un 80 % de incremento en el caudal y una decadencia de temperatura de 14 %. De igual manera (Baltazar, 2016) al determinar la influencia de los ventiladores en el diseño del sistema de ventilación logro disminuir la temperatura en un 13 % y aumentar el nivel de oxígeno hasta un 7 %. Este resultado coincide con el estudio de (Gomez De La Torre & Alcala, 2022) en su trabajo de investigación señalan que mediante la optimización y simulación en software ventsim se alcanza el incremento de oxígeno a 20,9 % y una temperatura de 25,1 %.

El caudal requerido en la mina artesanal La Chira es de 192,57 m³ /m y aumentando el factor de fuga del 15 %, ya que es una mina carbonífera, se requiere un caudal total de

221,455 m³/s. así mismo (Rueda et al., 2012) indican que un factor de fugas se puede considerar hasta un 25%, es por ello que en mina Raura su caudal requerido es de 475m³/s y considerando un factor de fugas de 10 % su caudal total aumenta a 522,5 m³/s, lo cual tiene similitud con los estudios realizados por (Ricse Ramos, 2021) quien señala que la mina artesanal Aurex requiere un caudal del 332,31 m³/m considerando un factor de fuga del 15 %. Por otra parte (Toro et al., 2012) señalan que en la mina Nechi se requiere un factor de fugas de 50% obteniendo un caudal total de 26,4 m³/s. El principal reto que se generó en este indicador fue el cálculo para determinar el factor de fugas debido a que autores consideran valores distintos pero en su mayoría utilizaban el 15%.

Al analizar la situación actual del sistema de ventilación de la unidad minera MIARLACHI en los diferentes puntos se tiene presencia de gases como CO, CH₄ y O₂, que a medida que se profundiza las labores el O₂ disminuye por debajo de lo requerido, mientras que el CH₄ se encuentra presente en los distintos puntos de la mina y en diferentes horas, pero tan solo con un 4 %, con presencia por debajo del máximo permisible. Así mismo, el CO tiene una presencia de hasta 49 ppm en horas donde se utiliza la motosierra para los trabajos dentro de mina lo cual hace que varíe la presencia de este gas correspondiente a la hora de uso de este equipo, por tanto para la correcta disolución de estos gases se requiere de un caudal de 42 m³/min, con lo cual se llega a un desacuerdo con (Mayala et al., 2016) puesto que señalan que en la minería artesanal por lo general los ventiladores no superan los 10m³/min así mismo revela que debe ser 10 o 12 veces superior en lo cual no concordamos, puesto que en la MIARLACHI se requiere de 42m³/min para 7 personas mientras que los autores ya mencionados señalan que para 120 personal se requiere entre 100 y 120 m³/ min, si bien es cierto que por persona el caudal deberá ser de 6 m³/min, lo cual está sujeto a los parámetros de caudal requerido por persona.

Para calcular el caudal de aire requerido por temperatura en la empresa Miarlachi se utiliza como velocidad mínima 30 m/min debido a que su temperatura promedio es menor de 30°C mientras que (Rivas, 2014) emplea una velocidad de 120 m/min debido a que su temperatura promedio sobrepasa los 30°C.

Dentro de las limitaciones para la realización del trabajo se tiene poca información acertada concerniente a sistemas de ventilación en minas artesanales subterráneas. Por otra parte, resulta un poco complicado obtener los datos sobre la calidad de aire y los tipos de gases existentes dentro de la mina, ya que anteriormente por falta de presupuesto de la unidad minera no se ha llegado a realizar estudios concernientes al sistema de ventilación.

El caudal de aire inicial impulsado por el motor tiene una notable caída del flujo al llegar al frente de extracción por lo cual es lógico pensar que el ventilador no cumple con las condiciones para dicho sistema y a su vez se puede tener presencia de fugas de aire en la manga de ventilación.

Se realizó la toma de datos que permitieron identificar gases tales como CO, CH₄ y O₂, concluyendo que la mayor concentración de monóxido de carbono se concentra durante las horas que se realizan los cortes realizados por la moto sierra en interior mina para habilitar la madera utilizada en el sostenimiento, y la deficiencia de oxígeno se hace presente a partir de los 300 m de profundidad.

Al evaluar el sistema de ventilación actual y mediante los cálculos con los distintos parámetros del reglamento de seguridad y salud ocupacional se determina que el caudal requerido para la labor de la empresa MIARLACHI es de 8279,5448 CFM.

Se diseñó el circuito con la ayuda del software Ventsim utilizando un ventilador de 10 kcfm-30 hp y una manga de 0,71m de diámetro, logrando así un flujo apropiado para la labor y una disminución en el tiempo de evacuación del gas producido por la voladura.

Adecuar un motor a gasolina para el sistema de ventilación no es el adecuado puesto que contamina el medio ambiente, por ello se opta por los ventiladores eléctricos, ya que estos a su vez reducen contaminación de gases combustibles. Teniendo un costo de obtención promedio para este caso de 3300,00 dólares.

REFERENCIAS

- Aguilar, M. (2018). Prevención y Control del Metano en Minería Subterránea de Carbón como Oportunidad de Proyectos Sostenibles en Colombia. 60.
- Baltazar, R. (2016). Influencia de los ventiladores en el sistema ventilación de la Mina Kazán De La Compañía Minera Paraíso [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/4592>
- Chatterjee, A., Zhang, L., & Xia, X. (2015). Optimization of mine ventilation fan speeds according to ventilation on demand and time of use tariff. *Applied Energy*, 146, 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.134>
- Condori, J., & Hidalgo, L. (2012). Evaluación del sistema de ventilación de Mina Colquechaquita. https://www.academia.edu/31386947/Evaluaci%C3%B3n_del_sistema_de_ventilaci%C3%B3n_de_Mina_Colquechaquita
- Cordoba, C., & Molina, J. (2011). Caracterización del sistema de ventilación en minería subterránea. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 0(29), 73-86.
- Diaz, R. (2019). Optimización del sistema de ventilación como un método de control de la calidad del aire en La Mina San Rafael, de la Región Puno [Universidad Nacional San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10028>
- Gallardo, S. (2008). Guía Metodológica de Seguridad para proyectos de Ventilación de Minas. 25.
- Gomez De La Torre, A., & Alcalá, M. E. (2022). Sistema de Ventilación para Optimizar las Operaciones en la Integración de Dos Unidades de Producción en una Empresa Minera, *La Libertad 2021*. 19-24. <https://doi.org/10.54808/CICIC2022.01.19>
- Haros, K. (2014). Ventilación subterránea -. Mundo Huac & R. <https://www.mundohvacr.com.mx/2014/01/ventilacion-subterranea/>
- Induambiente. (2010). Ventilación Subterra. Induambiente. <https://www.induambiente.com/informe-tecnico/climatizacion/ventilacion-subterra>

- Karagianni, M., & Benardos, A. (2021). Ventilation Design Modeling and Optimization for an Underground Bauxite Mine. *Materials Proceedings*, 5(1), 29. <https://doi.org/10.3390/materproc2021005029>
- Kerguelen, J., González, V., & Jiménez, J. (2013). Calculo De Parámetros Determinantes En La Preparación De Un Circuito De Ventilación En Minería Subterránea De Carbón Usando Programación Estructurada. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 33, 155-162. <https://doi.org/No tiene>
- Mahmut, A. (2016). Gas leak at Chinese coal mine kills 12 workers. <https://www.aa.com.tr/en/world/gas-leak-at-chinese-coal-mine-kills-12-workers-/532766>
- Mayala, L. P., Veiga, M. M., & Khorzoughi, M. B. (2016). Assessment of mine ventilation systems and air pollution impacts on artisanal tanzanite miners at Merelani, Tanzania. *Journal of Cleaner Production*, 116, 118-124. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.002>
- MetroGas. (s. f.). El monóxido de carbono. MetroGas. Recuperado 22 de septiembre de 2020, de <https://www.metrogas.com.ar/Paginas/el-monoxido-de-carbono.aspx>
- Ministerio de Energía y Minas. (2016). Decreto Supremo N° 0024-2016-MEM. <https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/178152-0024-2016-mem>
- Ministerio de Energía y Minas - Minería. (2017). Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería—EDICIÓN 2017-2018. http://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=1&idPublicacion=559
- Motorex. (2017, julio 31). Ventilador axial o centrífugo ¿Cual es mi mejor opción? Motorex. <http://www.motorex.com.pe/blog/ventilacion-axial-o-centrifugo/>
- Organización Mundial de la Salud. (2021). Calidad del aire ambiente y salud. Calidad del aire y salud. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Osinermin. (2019). Boletín Estadístico de la Gerencia de Supervisión Minera. <https://www.osinermin.gob.pe/Paginas/search-results.aspx?q=Bolet%C3%ADn%20Estad%C3%ADstico%20de%20la%20Gerencia%20de%20Supervisi%C3%B3n%20Minera>

- Positiva Compañía de Seguros. (2017). Guía de Seguridad para ventilación de minas subterráneas (p. 40).
https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/23980938/010318_guia_seg_ventilacion_minas_subterranas.pdf/52d1871d-37c0-45fe-9951-1b2adff92289
- Rebolledo, C. (2019). Propuesta de ventilación para minera blanco III, comuna de los Vilos [Universidad Técnica Federico Santa María].
<https://repositorio.usm.cl/handle/11673/46926>
- Ricse Ramos, R. W. (2021). Diseño del circuito de ventilación para evacuar los gases, humo y polvo en suspensión en las labores de la galería principal en la mina Artesanal Aurex-Acopalca, Pasco 2018 [Universidad Continental].
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8706>
- Rivas, J. (2014). Diseño del sistema de ventilación de la mina subterránea de Oro “Sosa Méndez”, Municipio El Callao, Edo Bolívar – Venezuela [Tesis, Tesis presentada en opción al título académico de Máster en Minería].
<http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/1805>
- Rueda, N. R., Toro, S. C., & Zuleta, R. (2012). Optimización del sistema de ventilación en una mina de gran altura, Compañía Minera Raura. 8.
- Seguridad Minera. (2020). Métodos y planeación de ventilación de minas subterráneas. Seguridad Minera. <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/metodos-y-planeacion-de-ventilacion-de-minas-subterranas/>
- Servicio Nacional de Geología y Minería. (2015). Ventilación de Minas. 36.
- S&P Sistemas de Ventilación. (2017). Ventiladores axiales: Qué son, características y prestaciones. S&P Sistemas de Ventilación. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/ventiladores-axiales-que-son/>
- Sutty, J. (2016). Influencia de la ventilación mecánica, en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno [Universidad Nacional del Altiplano].
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3539>
- Toro, S. C., Rueda, N. R., & Marin, G. A. (2012). Estandarización del proceso de ventilación en minas de carbón- Caso Carbones del Caribe S.A.S. Colombia.

<https://docplayer.es/67712893-Estandarizacion-del-proceso-de-ventilacion-en-minas-de-carbon-caso-carbones-del-caribe-s-a-s-colombia.html>

Vanguardia Liberal. (2011). Tres trabajadores mueren por falta de oxígeno en una mina de Socotá, Boyacá. www.vanguardia.com.
<https://www.vanguardia.com/mundo/114135-tres-trabajadores-mueren-por-falta-de-oxigeno-en-una-mina-de-socota-boyaca-DBVL114135>

Vargas, E. (2015). Ventilación de minas (p. 36).
[http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/presentaciones-geo/Ventilacion-en-minas-subterraneas\(ErickVargasSernageomin\).pdf](http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/presentaciones-geo/Ventilacion-en-minas-subterraneas(ErickVargasSernageomin).pdf)

ANEXOS

Anexo 1: Matrices

MATRIZ DE CONSISTENCIA Y CRONOGRAMA

Tabla 9
Matriz de Consistencia

TÍTULO: OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN Y LA CALIDAD DE AIRE EN LA EMPRESA MINERA ARTESANAL LA CHIRA S.R. L					
PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
<p>¿Cómo optimizar El sistema de ventilación y la calidad del aire en la empresa Minera</p>	<p>La determinación y optimización del sistema de ventilación para la empresa minera Miarlachi aumenta significativamente la calidad</p>	<p>GENERAL: Optimizar la eficiencia del sistema de ventilación en la calidad de aire en la empresa Minera Artesanal La Chira S.R.L</p>	<p>VARIABLE 1: Independiente Optimización de la Eficiencia del sistema de ventilación en la Miarlachi</p>	<p>Tipo de investigación: Aplicada Según su nivel: Propositiva Diseño: no experimental Técnica: Observación directa Instrumento: Anemómetro, GPS, Medidor de gas y libreta de campo</p>	<p>Labor de minado en la empresa Minera Artesanal La Chira S.R.L</p>

Artesanal La Chira S.R.L.	de aire para brindar un mejor ambiente laboral, de igual forma ayudará en la producción de mina.	ESPECÍFICOS:	Método de análisis de datos:	MUESTRA
		Evaluar el sistema de ventilación actual.	Cuadros, gráficos en Excel y cálculos matemáticos	Galería principal
		Evaluar la calidad de aire que existe dentro de mina.	VARIABLE 2:	en la empresa
		Determinar el caudal de aire que requiere	Dependiente	Minera
		Diseñar un sistema de ventilación con los nuevos parámetros,	Calidad de aire	Artesanal La
		Simular el nuevo sistema de ventilación		Chira S.R.L
		Evaluar costos de implementación.		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10
Matriz de operacionalización de variables.

TÍTULO: OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN Y LA CALIDAD DE AIRE EN LA EMPRESA MINERA ARTESANAL LA CHIRA S.R. L					
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
VARIABLE DEPENDIENTE: Eficiencia de la ventilación en las labores de explotación de las empresas a mediana minería	Cuando el sistema de ventilación de una mina, con todos los requerimientos para una buena ventilación, es incapaz de proporcionar un ambiente agradable requerido por las normativas gurnamentables y normas propias de una mina. Entonces es necesario adaptar un mejor sistema ventilación el cual nos permita dar un correcto enfriamiento para la mina, para	para alcanzar una correcta ventilación se debe tener en cuenta los distintos parámetros tanto requerido por la empresa minera como por loa organismos gurnamentables y las normas establecidas por el reglamento de seguridad y salud ocupacional.	Niveles de explotación Chimeneas de producción Requerimientos de caudal de aire Longitud de manga	Número de personal. Tipos de explosivos Tipos de gases. Altitud de mina Temperatura	Unidad PPM / % m /pies °C

planificar este sistema hay que determinar la carga de enfriamiento requerida para esto hay que tener en cuenta todos los factores que intervienen dentro de mina (Orellana, 2010).

<p>VARIABLE INDEPENDIENTE:</p>	<p>Los criterios para evaluar la calidad de aire se dan de 2 tipos.</p>		<p>Capacidad de ventiladores</p>	<p>Metro cubico por minuto</p>
<p>Calidad de aire</p>	<p>ECA que proporcionan los criterios de calidad que se aplican al aire ambiental en su condición de cuerpo receptor de emisiones de contaminantes atmosféricos y Los máximos permisibles (MINEM, 2015).</p>	<p>Ventiladores Mangas de ventilación</p>	<p>Diámetro de mangas Máximos permisibles</p>	<p>Pulgadas ppm</p>

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2: Certificado de equipos



Fecha de Calibración : 10/9/2020
 Fecha de Emisión: 10/9/2020

Centro Autorizado MSA Perú
 SIMCAL S.A.C.
 Av. Carlos Izaguirre N° 520 Int. 301

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 48000

soporte.tecnico@simcalperu.com

Cliente: MEIN INGENIEROS S.A.C.	Equipo en uso: REPARADO Y/O CALIBRADO
Instrumento: ALTAIR4X	Equipo nuevo: NO
S/N: 00436701-116E0	Fabricante: MINE SAFETY APPLIANCES Co.

Gas Patrón	Objetivo a Verificar	Incert. del Gas	Número de Lote	Mediciones			Incert. de la Medición	Rango	SN del sensor
				1	2	3			
Dioxido de Nitrógeno (NO2) 10 ppm	10 ppm	5%	1293085 (3)	10	10	10	0,7638 ppm	0 - 20 ppm	11150200397
Monóxido de Carbono (CO) 60 ppm	60 ppm	2%	1293085 (3)	60	60	60	1,3317 ppm	0 - 2000 ppm	11150200397
Oxígeno (O2) 15 %	15 %	2%	1293085 (3)	15	15	15	0,6506 %	0 - 30 %	01160860426
Pentano (C5H12) 58 %	58 %	2%	1293085 (3)	58	58	58	1,2957 %	0 - 100 %	00160950151

Calibración: Contraste con gas patrón trazable a patrones de peso NIST

Condiciones ambientales de Calibración: Los Olivos - Lima Metropolitana

Temperatura (°C) 21,4°C
 Presión atmosférica (hPa): 1013 hPa
 Humedad (%): 66 %

Procedimientos de Calibración: De acuerdo al manual de cada equipo

La calibración de los equipos, instrumentos y dispositivos utilizados, los métodos de análisis aplicados, y las acciones u omisiones son realizadas en forma exclusiva por personal de SIMCAL S.A.C. sin intervención de MSA DEL PERU S.A.C. quien no responderá por los mismos.

Límites en el uso: Indicados en el manual del equipo

Como se especifica en el Manual del usuario y en concordancia con las recomendaciones de la OSHA, se debe realizar una verificación o revisión de la Calibración con el gas patrón antes de cada uso para comprobar el correcto estado del instrumento. En equipos fijos la verificación debe ser periódica. La garantía para equipos nuevos es de 1 año. Por servicio técnico, la garantía es de 60 días por mantenimiento y/o reparación, y de 6 meses por repuesto cambiado. La garantía no cubre la calibración de los equipos ni el daño producto del mal uso de los mismos.

Cantidad de hojas: 1



Marcos Peñafoza
 SERVICIO TÉCNICO
 SIMCAL S.A.C.



INSTRUMENTOS KESTREL

OFICINA DE VENTAS: 21 Creek Circle Boothwyn, PA 19061

Tel. 800-784-4221

Correo electrónico info@nkhome.com

www.kestrelinstruments.com

CALIBRACION Y CERTIFICADO DE PRUEBA

N.º -1040709

Fecha de emisión: 06/11/2019

A quien me concierne:

Por la presente certificamos que el instrumento mencionado a continuación ha sido ciertamente calibrado de acuerdo con nuestro estándar de calibración y que el resultado de la prueba en el procedimiento de calibración ha sido suficientemente bueno dentro de la tolerancia regulada en nuestra especificación.

Nombre del modelo: anemómetro

Número de modelo: 3000
relativa

Número de serie: 2350194

Datos de prueba: como en

Temperatura: 21,2 ° C

Humedad : 61,5% de humedad

Fecha de calibración : 06/11/2019

Inspector : MICHAEL

Rango	Resolución	Indicación	Punto de Calibración	Tolerancia	Resultado
m/s 0.4 – 30.3	0.1 m	10.1	10 m / s	± 0.5	Pasar
Km / hr 1.4 – 108.0	0.1 km	10.3	10 km / hr	± 0.5	Pasar
Pies/ min 80 - 5910	10 pies	1000	1300 pies / min	± 0.250	Pasar

Calibradores utilizados para calibración y prueba:

Nombre del modelo	Número de modelo	Número de serie	Fecha de vencimiento
ANEMÓMETRO estándar	TSI-5725	090139	08.11.2019

(Los generadores estándar utilizados para el procedimiento de calibración se prueban una vez al año y pueden ser trazables al estándar autorizado por una organización pública)

INSTRUMENTOS KESTREL

Gerente, Departamento de Control de Calidad

MICHAEL J. DELFINT


CONTRATO DE ARRENDAMIENTO

Conste el presente documento, el contrato de arrendamiento que celebran, de una parte, CONSTRUCTORA INGENIERIA & TOPOGRAFIA S.A.C. con RUC N° 20477281266. Con domicilio calle Cayetano Heredia 319 los Granados. De esta ciudad, que en adelante se denomina ARRENDADOR; y de otra, don Manuel Rafael Rengifo Lopez con DNI N° 70227900 Y domiciliado en Calle Manuel Ovalde 748 - EL PORVENIR de esta ciudad, quien en adelante se denomina ARRENDATARIO, en las condiciones siguientes:

PRIMERO-EL ARRENDADOR: alquila un GPS GARMIN OREGON 550 SERIE 136789, incluye cargador de pilas y cable de transferencia USB, al arrendatario para realizar trabajos de topografía.

SEGUNDO- el plazo de arrendamiento es de a partir del 27 de Octubre del 2020 en adelante.

TERCERO-EL ARRENDATARIO se compromete a pagar la suma S/. 30.00 (treinta soles), pagados diariamente desde el inicio hasta el fin de contrato. El precio no incluye IGV.

CUARTO- el arrendatario se responsabiliza en su totalidad de los equipos arrendados, golpes abolladuras y cualquier mal uso del operario, que contravengan en desperfectos de los equipos.

QUINTO- cualquier asunto no contemplado en este documento será resuelto de común acuerdo por las partes contratantes, en concordancias con las leyes correspondientes, la buena fe y las buenas costumbres. En todo caso se someterán a los fueros judiciales de la ciudad de Trujillo.

Los contratantes declaramos estar de acuerdo con el presente contrato en todos sus extremos por los que procedemos a firmarlos por duplicado en señal de conformidad.

Trujillo, 27 de Octubre Del 2020


CONSTRUCTORA INGENIERIA & TOPOGRAFIA S.A.C.
Pedro F. Loyaga Rojas
GERENTE

PEDRO FERNANDO LOYAGA ROJAS
DNI N° 80220751


DNI N° 70227900

Constructora Ingeniería & Topografía S.A.C.
RPC: 915361979



Anexo 3

Tabla 11
Matriz de diagrama fotográfico de equipos

Imagen	Fecha de toma	Descripción
	<p>28 de octubre del 2020</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Anemómetro marca Kestrel 3000. - Obtiene datos de la velocidad de aire, humedad relativa y temperatura dentro de mina.
	<p>28 de octubre del 2020</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Detector de gas Altair 4x - Detecta hasta 4 gases: NO₂, CO, O₂ y metano.
	<p>28 de octubre del 2020</p>	<ul style="list-style-type: none"> - GPS Garmin Oregon 550. - Sirve para tomar coordenadas exactas.

Fuente: Elaboración Propia

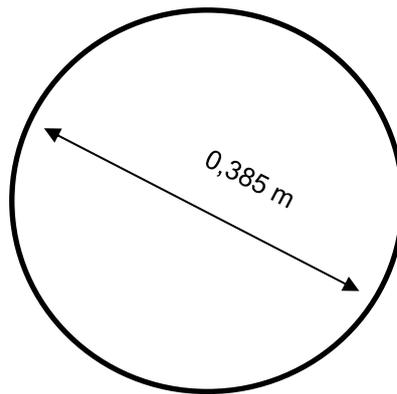
Anexo 4: Cálculos para evaluar el sistema de ventilación con el que cuenta actualmente la mina.

- ✓ Calculo para obtener el área transversal del ventilador

Datos:

- Diámetro de la manga: 0,385 m

Ecuación 1. Área transversal del ventilador



$$A_{transversal} = \pi * \frac{D^2}{4}; m^2$$

$$At = \pi * \frac{0,3850^2}{4}$$

$$At = 0,1164 m^2$$

- ✓ Cálculos para evaluar la salida de aire del ventilador

Datos:

- Velocidad de salida de aire: 48 mph = 21,4579 m/s
- Área transversal del ventilador = 0,11644 m²

Ecuación 2. Ecuación de continuidad

$$Q_{salida} = velocidad * superficie; m^3/s$$

$$Q_{salida} = 21,4579 m/s * 0,1164m^2$$

$$Q_{salida} = 2,4977 \text{ m}^3/s \approx 5292,3265 \text{ cfm}$$

- ✓ Calculo para obtener el área de sección media de labores

Datos:

- Ancho de labor: 2,06
- Alto de labor: 2,13
- Número de labores: 1
- Fcg: 0.9

Ecuación 3. Área de la sección media de las labores

$$A = \{(Ancho * Alto / \#labores)\} * Fcg$$

$$A = \{(2,06 * 2,13 / 1)\} * 0,9$$

$$A = 3,9490 \text{ m}^2$$

- ✓ Calculo para evaluar sistema de ventilación dentro de mina

Datos:

- Velocidad de viento promedio: 0,38 mph = 0,1699 m/s
- Área de la sección: 3,9490 m²

Ecuación 4. Caudal en interior de mina

$$Q = \text{velocidad} * \text{area}$$

$$Q = 0,1699 \text{ m/s} * 3,9490 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,6709 \text{ m}^3/s \approx 1421,5566 \text{ cfm}$$

Anexo 5: Cálculos para calcular la demanda de aire fresco dentro de mina.

Tabla 12

Cantidad mínima de aire hombre que debe preexistir en las minas de carbón

Altitud	Cantidad	Indicador
Menor a 1500 msnm la cantidad mínima de aire por hombre es	4,5	m ³ /min
De 1500 a 3000 msnm aumentará en 40 % que será igual a	6,3	m ³ /min
De 3000 a 4000 msnm aumentará en 70 % que será igual a	7,65	m ³ /min
Sobre los 4000 msnm aumentará en 100% que será igual a	9	m ³ /min

- ✓ Cálculos para obtener el caudal requerido por trabajadores

Datos:

- Trabajadores de la guardia más numerosa: 8 personas
- Aire mínimo por colaborador: 6,3 m³/min

Ecuación 5. Caudal de aire requerido por número de trabajadores

$$Q_{Tr} = F * N ; m^3/min$$

$$Q_{tr} = 6,3 * 8$$

$$Q_{tr} = 50,4 m^3/min$$

- ✓ Cálculos para obtener el caudal requerido por producción

Datos:

- Factor de producción, establecida en el artículo 252: 1,25 m³/min
- Producción: 28 TMH/gdia.

Ecuación 6. Caudal de aire requerido por producción.

$$Q_{Ma} = T * u ; m^3/min$$

$$QMa = 28 * 1,25$$

$$QMa = 35 \text{ m}^3/\text{min}$$

- ✓ Cálculos para obtener el caudal requerido por temperatura

Datos:

- Área de labor (Ver ecuación 3, Anexo 4): 3,9490 m²
- Velocidad mínima (Ver Tabla 8): 30 m/s
- Número de niveles: 1

Figura 8

Dimensiones de labor



Ecuación 7. Caudal de aire requerido acorde a la temperatura

$$QTe = Vm * A * N ; \text{m}^3/\text{min}$$

$$Qte = 30 * 3,9490 * 1$$

$$Qte = 118,47 \text{ m}^3/\text{min}$$

- ✓ Cálculos para obtener el caudal requerido por fugas

Datos:

- Factor por fugas: 15%
- Sumatoria de otros caudales (ecuación 5, 6 y 7): 203,87 m³/min

Ecuación 8. Caudal de aire requerido por fugas

$$QFu = 15\% * Qt1 ; m^3/min$$

$$QFu = 0,15 * 203,87$$

$$QFu = 30,5806 m^3/min$$

- ✓ Calculo para obtener el caudal total que requiere la mina

Datos:

- Caudal requerido por número de trabajadores: 50,4 m³/min
- Caudal requerido por producción: 35 m³/min
- Caudal requerido por temperatura dentro de mina: 118,47 m³/min
- Caudal requerido por fugas: 30,5806 m³/min

Ecuación 9. Caudal total requerido en mina

$$QTo = QTr + QMa + QTe + QFu$$

$$QTo = 50,4 + 35 + 118,47 + 30,5806$$

$$QTo = 234,4506$$

Anexo 6: Contenido de Gas Metano (CH₄) en los 5 puntos de monitoreo.

Tabla 13

Concentración de Metano CH₄ en bocamina.

Hora de Control	Ubicación	Fecha de monitoreo	Concentración de CH ₄ (%)
20:20	Bocamina	28/10/2020	0
22:35	Bocamina	28/10/2020	0
00:33	Bocamina	29/10/2020	0
02:42	Bocamina	29/10/2020	0
05:11	Bocamina	29/10/2020	0
10:35	Bocamina	29/10/2020	4
12:36	Bocamina	29/10/2020	0
15:54	Bocamina	29/10/2020	4
18:00	Bocamina	29/10/2020	4

Tabla 14

Concentración de Metano CH₄ en BM + 100.

Hora de Control	Ubicación	Fecha de monitoreo	Concentración de CH ₄ (%)
20:52	BM + 100	28/10/2020	0
22:43	BM + 100	28/10/2020	0
00:40	BM + 100	29/10/2020	0
02:48	BM + 100	29/10/2020	0
05:21	BM + 100	29/10/2020	0

10:40	BM + 100	29/10/2020	0
12:45	BM + 100	29/10/2020	0
16:11	BM + 100	29/10/2020	0
18:06	BM + 100	29/10/2020	0

Tabla 15

Concentración de Metano CH₄ en BM + 200.

Hora de Control	Ubicación	Fecha de monitoreo	Concentración de CH ₄ (%)
21:08	BM + 200	28/10/2020	0
22:50	BM + 200	28/10/2020	0
00:48	BM + 200	29/10/2020	0
02:57	BM + 200	29/10/2020	0
05:25	BM + 200	29/10/2020	0
10:46	BM + 200	29/10/2020	4
12:50	BM + 200	29/10/2020	0
16:17	BM + 200	29/10/2020	0
18:13	BM + 200	29/10/2020	0

Tabla 16

Concentración de Metano CH₄ en BM + 300.

Hora de Control	Ubicación	Fecha de monitoreo	Concentración de CH ₄ (%)
21:24	BM + 300	28/10/2020	0
22:56	BM + 300	28/10/2020	0

00:53	BM + 300	29/10/2020	0
03:04	BM + 300	29/10/2020	0
05:37	BM + 300	29/10/2020	0
11:00	BM + 300	29/10/2020	0
12:57	BM + 300	29/10/2020	0
16:22	BM + 300	29/10/2020	0
18:20	BM + 300	29/10/2020	0

Tabla 17

Concentración de Metano CH4 en BM + 380.

Hora de Control	Ubicación	Fecha de monitoreo	Concentración de CH4 (%)
21:39	BM + 380	28/10/2020	0
23:03	BM + 380	28/10/2020	0
00:56	BM + 380	29/10/2020	0
03:10	BM + 380	29/10/2020	0
05:45	BM + 380	29/10/2020	0
11:05	BM + 380	29/10/2020	0
13:02	BM + 380	29/10/2020	0
16:28	BM + 380	29/10/2020	4
18:28	BM + 380	29/10/2020	0

Anexo 7: Concentración de Oxígeno (O₂) en los 5 puntos de monitoreo.
Tabla 18
Concentración de Oxígeno en Bocamina.

Hora de Control	Ubicación	Fecha de monitoreo	Concentración de O ₂ (%)
20:20	Bocamina	28/10/2020	20.8
22:35	Bocamina	28/10/2020	20.5
00:33	Bocamina	29/10/2020	20.8
02:42	Bocamina	29/10/2020	20.8
05:11	Bocamina	29/10/2020	20.8
10:35	Bocamina	29/10/2020	20.8
12:36	Bocamina	29/10/2020	21.4
15:54	Bocamina	29/10/2020	20.8
18:00	Bocamina	29/10/2020	20.5

Tabla 19
Concentración de Oxígeno en Bocamina + 100.

Hora de Control	Ubicación	Fecha de monitoreo	Concentración de O ₂ (%)
20:52	BM + 100	28/10/2020	20.3
22:43	BM + 100	28/10/2020	20.3
00:40	BM + 100	29/10/2020	20.1
02:48	BM + 100	29/10/2020	20.3
05:21	BM + 100	29/10/2020	19.9
10:40	BM + 100	29/10/2020	20.3

12:45	BM + 100	29/10/2020	20.3
16:11	BM + 100	29/10/2020	19.5
18:06	BM + 100	29/10/2020	19.9

Tabla 20

Concentración de Oxígeno en Bocamina + 200.

Hora de Control	Ubicación	Fecha de monitoreo	Concentración de O ₂ (%)
21:08	BM + 200	28/10/2020	19.5
22:50	BM + 200	28/10/2020	20.2
00:48	BM + 200	29/10/2020	20.1
02:57	BM + 200	29/10/2020	20.3
05:25	BM + 200	29/10/2020	20.1
10:46	BM + 200	29/10/2020	20.2
12:50	BM + 200	29/10/2020	20.1
16:17	BM + 200	29/10/2020	18.8
18:13	BM + 200	29/10/2020	19.8

Tabla 21

Concentración de Oxígeno en Bocamina + 300.

Hora de Control	Ubicación	Fecha de monitoreo	Concentración de O ₂ (%)
21:24	BM + 300	28/10/2020	18.8
22:56	BM + 300	28/10/2020	18.6
00:53	BM + 300	29/10/2020	17.8

03:04	BM + 300	29/10/2020	17.4
05:37	BM + 300	29/10/2020	17.6
11:00	BM + 300	29/10/2020	16.4
12:57	BM + 300	29/10/2020	16.85
16:22	BM + 300	29/10/2020	16.9
18:20	BM + 300	29/10/2020	19.6

Tabla 22

Concentración de Oxígeno en Bocamina + 380.

Hora de Control	Ubicación	Fecha de monitoreo	Concentración de O2 (%)
21:39	BM + 380	28/10/2020	17.4
23:03	BM + 380	28/10/2020	16.8
00:56	BM + 380	29/10/2020	16.4
03:10	BM + 380	29/10/2020	15.6
05:45	BM + 380	29/10/2020	15.7
11:05	BM + 380	29/10/2020	15.8
13:02	BM + 380	29/10/2020	14.8
16:28	BM + 380	29/10/2020	17.4
18:28	BM + 380	29/10/2020	19.5

Anexo 8: Concentración de Monóxido de carbono (CO) en los 5 puntos de monitoreo.

Tabla 23

Concentración monóxido de Carbono bocamina.

Hora de Control	Ubicación	Fecha de monitoreo	Concentración de CO (PPM)
20:20	Bocamina	28/10/2020	0
22:35	Bocamina	28/10/2020	0
00:33	Bocamina	29/10/2020	0
02:42	Bocamina	29/10/2020	0
05:11	Bocamina	29/10/2020	0
10:35	Bocamina	29/10/2020	0
12:36	Bocamina	29/10/2020	31
15:54	Bocamina	29/10/2020	0
18:00	Bocamina	29/10/2020	0

Tabla 24

Concentración monóxido de Carbono bocamina +100m.

Hora de Control	Ubicación	Fecha de monitoreo	Concentración de CO (PPM)
20:52	BM + 100	28/10/2020	0
22:43	BM + 100	28/10/2020	0
00:40	BM + 100	29/10/2020	0
02:48	BM + 100	29/10/2020	0
05:21	BM + 100	29/10/2020	0

10:40	BM + 100	29/10/2020	16.5
12:45	BM + 100	29/10/2020	17.5
16:11	BM + 100	29/10/2020	0
18:06	BM + 100	29/10/2020	0

Tabla 25

Concentración monóxido de Carbono bocamina +200m.

Hora de Control	Ubicación	Fecha de monitoreo	Concentración de CO (PPM)
21:08	BM + 200	28/10/2020	0
22:50	BM + 200	28/10/2020	1
00:48	BM + 200	29/10/2020	0
02:57	BM + 200	29/10/2020	0
05:25	BM + 200	29/10/2020	7
10:46	BM + 200	29/10/2020	46
12:50	BM + 200	29/10/2020	7
16:17	BM + 200	29/10/2020	0
18:13	BM + 200	29/10/2020	0

Tabla 26

Concentración monóxido de Carbono bocamina +300m.

Hora de Control	Ubicación	Fecha de monitoreo	Concentración de CO (PPM)
21:24	BM + 300	28/10/2020	0
22:56	BM + 300	28/10/2020	0

00:53	BM + 300	29/10/2020	0
03:04	BM + 300	29/10/2020	1
05:37	BM + 300	29/10/2020	8
11:00	BM + 300	29/10/2020	7
12:57	BM + 300	29/10/2020	8
16:22	BM + 300	29/10/2020	1
18:20	BM + 300	29/10/2020	0

Tabla 27

Concentración monóxido de Carbono bocamina +380m.

Hora de Control	Ubicación	Fecha de monitoreo	Concentración de CO (PPM)
21:39	BM + 380	28/10/2020	0
23:03	BM + 380	28/10/2020	0
00:56	BM + 380	29/10/2020	0
03:10	BM + 380	29/10/2020	1
05:45	BM + 380	29/10/2020	14
11:05	BM + 380	29/10/2020	4
13:02	BM + 380	29/10/2020	1.50
16:28	BM + 380	29/10/2020	1
18:28	BM + 380	29/10/2020	0

Anexo 9: Datos tomados con el anemómetro Kestrel 3000 en 5 puntos de monitoreo.

Tabla 28
Datos del anemómetro en BM.

BM	Velocidad viento	Ráfaga de viento máx..	Vel. viento medio	Temperatura	Efecto de enfriamiento del viento	Humedad relativa	Índice de calor	Punto de rocío
Horario	mph	mph	mph	C°	C°	%	%C°	C°
20:30	0.00	0.00	0.00	22.96	22.96	74.68	23.54	18.28
22:35	0.4	1.02	0.4	23.54	23.64	93.08	25	22.74
00:33	0.40	1.60	0.68	21.92	21.90	79.78	22.58	18.32
02:35	0.44	1.16	0.4	23.06	23.02	77.9	23.8	18.96
05:07	0.4	0.84	0.26	23.66	23.3	74.28	24.42	18.64
07:12	0.36	0.83	0.22	23.56	23.38	76.12	24.44	18.7
10:35	0.34	0.8	0.12	23.52	23.54	80.98	24.46	20.52
12:36	0	1	0.12	25.04	25	83.94	26.86	22.46
15:54	0.16	1.2	0	26.22	26.18	48.18	25.74	14.44

18:00	0.34	0.56	0.38	25.18	24.64	72.44	25.48	18.18
Promedio	0.28	0.90	0.26	23.87	23.76	76.14	24.63	19.12

Tabla 29
Datos del anemómetro en BM + 100.

BM + 100	Velocidad viento	Ráfaga de viento máx..	Vel. viento medio	Temperatura	Efecto de enfriamiento del viento	Humedad relativa	Índice de calor	Punto de rocío
Horario	mph	mph	mph	C°	C°	%	%C°	C°
20:53	0.56	1.78	1.16	25.94	25.90	95.70	30.40	25.34
22:45	0	1.28	0.24	27.38	27.36	97.08	34.16	27.06
00:40	1.32	2.86	0.96	25.2	25.16	99	28.62	25
02:45	1.22	4	0.74	25.98	25.92	96.88	30.14	25.32
05:16	1.1	1.54	0.62	25.68	25.56	90.84	27.64	24.02
07:20	0.924	1.46	0.6	25.72	25.72	91.06	27.62	24.06
10:40	0.16	1.4	0.6	25.92	25.82	95.24	29.88	24.98

12:45	0.18	1.6	0.72	26.18	26.16	96.32	30.84	25.62
16:11	0	1.2	0	28.14	28.2	84.66	33.76	25.28
18:06	0	1	0	26.2	26.16	92.6	30.44	24.92
Promedio	0.55	1.81	0.56	26.23	26.20	93.94	30.35	25.16

Tabla 30
Datos del anemómetro en BM + 200.

BM + 200	Velocidad viento	Ráfaga de viento máx..	Vel. viento medio	Temperatura	Efecto de enfriamiento del viento	Humedad relativa	Índice de calor	Punto de rocío
Horario	mph	mph	mph	C°	C°	%	%C°	C°
21:11	0.16	1.32	0.64	27.42	27.34	89.18	32.56	25.38
22:50	0	2.8	0.7	27.22	27.16	94.82	33.06	26.2
00:45	0.64	3.6	1.36	25.7	25.66	95.54	29.46	24.96
02:51	0.48	4	1.2	26.56	26.56	90.9	30.92	24.92

05:26	0.32	1.9	0.6	27.22	27.12	88.08	31.56	24.56
07:28	0.3	1.72	0.6	27.2	27.18	88.32	31.66	24.6
10:46	0	2.7	0.6	26.36	26.34	91.6	30.44	24.82
12:50	0	1.6	0.7	26.54	26.46	86.08	30.24	23.98
16:17	0	1.4	0	27.34	27.28	84.26	32.14	24.38
18:13	0	1	0	26.58	26.64	88.78	31	24.68
Promedio	0.19	2.204	0.64	26.814	26.774	89.756	31.304	24.848

Tabla 31
Datos del anemómetro en BM + 300.

BM + 300	Velocidad viento	Ráfaga de viento máx..	Vel. viento medio	Temperatura	Efecto de enfriamiento del viento	Humedad relativa	Índice de calor	Punto de rocío
Horario	mph	mph	mph	C°	C°	%	%C°	C°
21:27	0	0.76	0	29.36	29.32	97.66	41.04	29.12
22:56	0	1.7	0.64	28.82	28.74	99.64	39.28	28.78

00:52	0	3.66	1.32	27.68	27.64	99.18	35.2	27.58
03:05	0	1	0	28.9	28.82	94.6	38.34	28
05:40	0	1.9	0.6	28.94	28.92	94.34	38.44	27.9
07:35	0	0.74	0.3	29.02	28.94	92.08	38.5	27.98
11:00	0	0.16	0	29.64	29.598	91.34	39.94	28.12
12:57	0	0	0	29.66	29.64	90.86	40.04	28.04
16:22	0	1.4	0	29.62	29.58	89.82	39.32	27.66
18:20	0	0.48	0	29.96	29.88	86.54	39.72	27.44
Promedio	0.00	1.18	0.29	29.16	29.11	93.61	38.98	28.06

Tabla 32
Datos del anemómetro en BM + 380.

BM + 380	Velocidad viento	Ráfaga de viento máx..	Vel. viento medio	Temperatura	Efecto de enfriamiento del viento	Humedad relativa	Índice de calor	Punto de rocío
Horario	mph	mph	mph	C°	C°	%	%C°	C°

21:41	0	1.18	0	31.36	31.36	100	49.5	31.44
23:02	0	2.7	0.7	29.88	29.96	100	44.12	30.1
00:57	0	0.56	0	30.88	30.78	97.82	46.38	30.54
03:11	0	1.3	0	30.64	30.6	94.94	44.7	29.82
05:44	0	1.9	0.6	30.46	30.4	97	44.64	29.96
07:43	0	0.78	0.42	30.34	30.52	95.66	44.92	29.98
11:05	0	0.32	0	31.18	30.92	95.38	46.14	30.22
13:02	0	0.7	0	30.82	30.78	97.38	46.36	30.5
16:28	0	0.64	0	30.58	30.58	95.7	44.82	29.9
18:28	0	1	0	30.8	30.74	82.58	40.56	27.12
Promedio	0	1.108	0.172	30.694	30.664	95.646	45.214	29.958

Anexo 10

Tabla 33

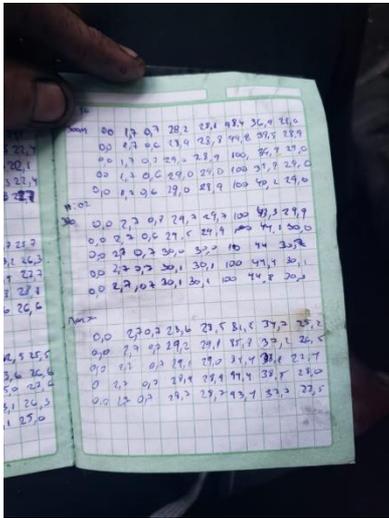
Matriz de diagrama fotográfica

Imagen	Fecha de toma	Descripción
	<p>28 de octubre del 2020</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Bocamina. - Se aprecia la manga de ventilación desgastada y el carrito minero.
	<p>28 de octubre del 2020</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Motor gasolinero.
	<p>28 de octubre del 2020</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Bocamina + 200 metros. - Se aprecia el medidor de gas Altair 4x.



- Utilización del anemómetro Kestrel 3000 dentro de mina.

28 de octubre del 2020



- Libreta de campo.
- Apuntes de los datos obtenidos.

29 de octubre del 2020



29 de octubre del 2020

- Cinta métrica
- Medición dentro de mina.



29 de octubre
del 2020

-Bocamina.



29 de octubre
del 2020

-Toma de datos en
Bocamina + 300
metros

- Se aprecia el
medidor de gas y la
libreta de campo



29 de octubre
del 2020

-Medidor de gas en
bocamina + 200 metros.