



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN UNA
MINA SUBTERRÁNEA EN LA PROVINCIA DE CAJABAMBA
- CAJAMARCA 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera de Minas

Autora:

Jaqueline del Rocío Vásquez Vásquez

Asesor:

Mg. Ing. Oscar Arturo Vásquez Mendoza

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

Dedico este fruto del esfuerzo a todos aquellos que me han inspirado lograrlo; a mis familiares por su apoyo y amor incondicional que me brindan y por ser la parte más importante para mí crecimiento profesional.

A mis maestros, por impartir sus conocimientos e impulsarme al estudio y la investigación.

A mis amigos y a la divina inteligencia infinita que nos permite aflorar lo mejor de cada uno de nosotros.

Jaqueline Vásquez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por el regalo más maravilloso que es la vida, por permitirme luchar para alcanzar mis metas; a mis padres, por el apoyo moral e incondicional que me brindan para continuar estudiando, a mis docentes, quienes, con su infinita paciencia y sabiduría, nos guían por el camino del aprendizaje y la innovación, a mi asesor, por su orientación y ayuda para la realización de éste trabajo; y a todos los quienes contribuyeron con sus ideas y acciones para lograr hacerlo posible.

Jaqueline Vásquez

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	24
CAPÍTULO III. RESULTADOS	27
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	31
REFERENCIAS	33
ANEXOS	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición del aire.....	14
Tabla 2. Carta de gases.....	15
Tabla 3. Dimensiones de la bocamina	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de ventilación natural	17
Figura 2. Sistema de ventilación impelente.....	18
Figura 3. Zonas del sistema de ventilación impelente.....	19
Figura 4. Sistema de ventilación aspirante.....	20
Figura 5. Sistema de ventilación mixta.....	20
Figura 6. Sistema aspirante con apoyo impelente.....	21

RESUMEN

La presente tesis lleva por título, “Evaluación del sistema de ventilación en una mina subterránea en la provincia de Cajabamba Cajamarca 2021”; tiene como objetivo general realizar la evaluación del sistema de ventilación en una mina subterránea en la provincia de Cajabamba, Cajamarca 2021.

El tipo de investigación es no experimental, transversal, descriptivo. Para el desarrollo de la presente investigación se tomaron datos en las instalaciones de la mina subterránea ubicada en la provincia de Cajabamba, para luego determinar los siguientes resultados, se determinó el caudal de aire requerido por el número de personas que trabajan la mina subterránea cuyo caudal es $Q = 30 \text{ m}^3/\text{min}$, de la misma forma se calculó el caudal de aire requerido para la producción en la mina subterránea $Q = 3.95 \text{ m}^3/\text{min}$, se determinó el caudal requerido por consumo de explosivos el cual es $Q_e = 16,67 \times A \text{ m}^3/\text{min}$ finalmente se realizó la evaluación de la utilización de ventilación artificial por lo cual se concluye que con los resultados obtenidos no se necesita ventilación artificial, sólo mejorar la ventilación natural es decir realizar apertura de cámaras para que la ventilación tenga mejor circulación.

Palabras clave: sistema de ventilación, mina subterránea, caudal, ventilación artificial.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Castillo (2017) una investigación titulada “Evaluación del sistema de ventilación de La Mina El Roble”, con el propósito de desarrollar una evaluación de la situación actual de ventilación en mina. Lo cual, se reconoció la condición en la que estaba el trabajo en la mina y su método de ventilación existente. Cuya finalidad fue reconocer los inadecuados y defectos de la ventilación en el trabajo de dicha mina, a través de la operación de campo como capacidades, evaluaciones y también se utilizó el programa Ventsim para plantear una solución impecable.

Así mismo, Chacha (2016) una investigación titulada “Sistema de ventilación para labores subterráneas de la Empresa Produmin S.A”, con el fin de agregar un sistema de ventilación para las funciones que se desarrollan en la parte interna de la mina. Asimismo, los datos de campo que autorizaron a que se desarrolle dicho proyecto de ventilación de la mina. Se concluye, que el sistema de ventilación está constituido por 4 generadores secundarios. Lo cual, estos implementos de ventilación han mejorado el rendimiento de la mina y operaran de manera eficiente.

Entre los antecedentes nacionales Valdivia (2018) una investigación titulada “Evaluación Del Sistema De Ventilación De La Mina Consorcio Minero Horizonte – La Libertad – 2018”, cuyo objetivo es realizar un estudio sobre la condición existente de la técnica de ventilación con el que cuenta el Consorcio Minera Horizonte. Donde para determinar dicha técnica de ventilación de la mina se programaron 5 funciones de reconocimiento de etapas de monitoreos, inclusión de equipos, reportes constantes de investigaciones y realizar informes finales. De la misma forma, para determinar la

condición y el caudal del aire que existe en las zonas asignadas usaron PCERCM 10.

Finalmente, la información recogida fue comparada con tablas desarrolladas de acuerdo a la norma de emisiones de aire y fracciones de polvo en interrupción.

La ventilación de minas es el trabajo que se realiza para lograr el acondicionamiento del aire que circula a través de las labores subterráneas siendo su objetivo principal asegurar un ambiente libre de riesgo, saludable y cómodo para los trabajadores, el cual debe de ser aumentado de manera más eficiente y de menor costo. Por lo tanto, existen varias razones que justifican lograr que el aire que entre a una mina subterránea asegure la renovación de este vital elemento durante el laboreo minero. Para luego garantizar la preservación del oxígeno necesario para la vida de los trabajadores, suprimir los gases tóxicos producidos en las voladuras con explosivos, eliminar la concentración nociva de polvo en suspensión, reducir la temperatura en lugares muy calurosos y aumentarla, si es muy baja, y proporcionar el aire suficiente para el trabajo seguro de los trabajadores por el creciente aumento equipos diésel dentro de las minas. (Sutty, 2016)

Toda actividad minera subterránea requiere de ventilación en el interior de sus labores, los que permitirán suministrar aire en calidad y en cantidad necesaria. La empresa minera requiere evaluar sus costos de ventilación, en la instalación de un ventilador mecánico versus la ampliación de una chimenea y determinar cuál de ellos es más económico y favorable para el sistema de ventilación. El circuito de ventilación funciona mayormente en base a la ventilación natural que llega a las labores (tiro de aire), creados entre dos puntos: iniciales (bocaminas) y finales (chimeneas) corridas cada 50.00 m. en labores horizontales, que comunican de nivel a nivel y/o a superficie.

Teniendo en cuenta el grado de precisión que se espera normalmente de los cálculos

de ventilación y que las pérdidas locales son en realidad caídas bruscas de la energía cinética del aire, no se consideran en los cálculos las causas de pérdidas de presión, las cuales se recomienda incluirlas sólo cuando la velocidad del aire sea superior a los 200 m/min. Después de la voladura se genera gases y sólidos en suspensión que no permiten a los trabajadores desempeñarse con eficiencia en los trabajos que realizan debido a la profundidad de la mina, a la falta de circuito de ventilación por carencia de puertas de ventilación para su direccionamiento correcto del flujo de aire, alta concentración de gases nocivos. Se estudia el análisis de costos para optar con un sistema de ventilación adecuado y menor costo en la empresa minera. Carranza, 2015). (2015), Carranza y Quispe en la investigación titulada “Mejoramiento en el diseño de chimeneas en minería subterránea con el uso del sistema PEM en la unidad de producción Minera Troy S.A.C” tuvo como objetivo principal mejorar el diseño de chimeneas en minería subterránea, con el sistema (PEM), en la unidad de producción minera Troy S.A.C. Demostró que el sistema PEM (plataformas y escaleras metálicas), a comparación del sistema convencional con madera, es mucho más versátil e innovador en labores verticales (chimeneas y piques), dentro de minería subterránea, reduciendo los costos notablemente en la ejecución de chimeneas, se confirmó con cifras reales, que este sistema es de menor costo que el sistema convencional con madera reduciendo los costos hasta un 23% en pocos días de ser implementado. Además, en pocos días incrementó hasta 50 % en la productividad, brindándonos un mayor avance en la ejecución de la obra y por ende mayores ingresos, siendo la instalación y desinstalación no es complicado y no demanda de mucho tiempo ni de mucho personal, por lo que lo hace más práctico y efectivo. Los autores tuvieron un

diseño de investigación no experimental, transversal descriptivo para la investigación que se desarrolló.

En (2017), Valle presentó la tesis titulada: “Optimización del sistema de ventilación de la mina Charito, Compañía Minera Poderosa S.A.”, cuyo objetivo fue determinar el diseño y método de ventilación más adecuado, para optimizar el sistema de ventilación de la mina Charito, Proyecto Palca - Compañía Minera Poderosa S.A. La mina Charito tiene labores ciegas, por lo que se utiliza ventilación auxiliar. En un inicio el método de ventilación utilizado fue combinada, con dos ventiladores de 10 000 CFM uno instalado como aspirante y el otro como impelente; siendo el principal problema el prolongado tiempo de ventilación para evacuar los gases producto de las voladuras y la necesidad de ventilación en otros puntos de la mina, que no estaban considerados en el sistema. Se argumentó que el sistema de ventilación de la Mina Charito, es muy sensible a los cambios debido a la variación de los puntos de trabajo. Por lo que fue necesario usar ventilación mecánica o forzada desde bocamina, para satisfacer la necesidad en los distintos puntos de trabajo, de acuerdo a la norma del RSSO, el caudal de aire requerido para esta etapa de desarrollo será de un caudal de 241.67 m³/min (8,534CFM). En la ventilación se utilizará dos ventiladores enseriados 10 000 CFM cada uno (Airtec), con mangas de 24” de diámetro por 100 m de longitud, el cual inyectará aire limpio desde la bocamina hacia los frentes de trabajo

D.S. N° 024-2016-EM (modificatoria DS. N°023-2017 EM), Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería del estado peruano. Artículo 246.- El titular de actividad minera velará por el suministro de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a la necesidad del trabajador, de los equipos y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del

trabajador, así como para mantener condiciones termo-ambientales confortables. Todo sistema de ventilación en la actividad minera, en cuanto se refiere a la calidad del aire, deberá mantenerse dentro de los límites de exposición ocupacional para agentes químicos de acuerdo al ANEXO N° 15 y lo establecido en el Reglamento sobre Valores Límite Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo, aprobado por Decreto Supremo N° 015-2005-SA o la norma que lo modifique o sustituya.

Figuroa (2016) dice que la ventilación es un trabajo que se realiza para poder lograr una adaptación del aire, donde este desarrolla una circulación a través de las faenas subterráneas. Por otra parte, Quispe (2019) señala que la ventilación sirve para distribuir el aire en cantidades y calidades a la parte interna de las diferentes zonas de la mina. Esto es necesario para evacuar el aire dañado que se encuentra en mina a causa de los gases y polvos que originan en la parte interna de la mina.

De acuerdo a Merelles (2013) la ventilación subterránea es muy importante para las labores en las minas. Por lo que, sirve para extraer los polvos y gases que se originan en mina. Mediante la ventilación se suministra aire limpio que es indispensable para los operarios de la mina.

Para Caxi (2017) señala que el aire de mina es una combinación de vapores y gases, comúnmente asociado con polvos en suspensión que invade el área creada por las actividades en minería subterránea. Por otro lado, se puede decir que es el aire atmosférico ingresado a mina que ha padecido un conjunto de variaciones en su composición. Los tipos de ventilación son ventilación natural y ventilación mecánica. En primer lugar, Nieto (2014) dice que la ventilación natural trabaja con dos accesos. Lo cual, una actúa como entrada del aire y el otro como salida del aire; este se utiliza en todos los socavones. Esta ventilación se ocasiona debido a las diferentes

temperaturas y presiones barométricas que origina una desigualdad de peso específico entre la entrada y salida del aire. En segundo lugar, Vargas (2015) afirma que la ventilación mecánica tiene su principal propósito que es el de asegurar un ambiente limpio y seguro para los trabajadores. Este tipo de ventilación se obtiene mediante ventiladores que ingresan aire fresco por medio de mangas. Asimismo, se utilizan equipos auxiliares para una mejor aireación en la mina.

Los sistemas de ventilación se dividen de la siguiente manera: ventilación impelente, ventilación aspirante y ventilación impelente con apoyo aspirante. Para Capel (s.f.) la ventilación impelente consta en usar un ventilador que se acopla al acueducto. Lo cual, sirve para una circulación buena de aire limpio y fresco entre la parte interna de la mina y el frente de avance. Yepes (2013) dice que la ventilación aspirante se utiliza un acueducto rígido para extraer los gases y los polvos que se encuentran en mina. Asimismo, el aire ingresa por la entrada de la galería que pasa por toda la zona hasta que llega al frente de avance; donde se mezcla con las diferentes contaminaciones que existen en mina.

Minería Subterránea: La minería subterránea consiste en la extracción por separado de la totalidad de la sustancia mineral y estéril que se encuentra en el depósito, hasta una profundidad determina por las condiciones propias del yacimiento. Se deben tener en cuenta una serie de conceptos o elementos básicos que permiten el manejo de las condiciones atmosféricas y de seguridad en las labores de desarrollo, preparación y explotación del mineral. (Fritzsche, 1965)

Aire en las minas: El aire normal consta de 21% de oxígeno y 78% de nitrógeno, en volumen. Contiene, además, Gas carbónico, gases raros, vapor de agua en porcentajes variables.

Tabla 1.

Composición del aire

Gas	Composición (% en volumen)
N ₂	78,03
O ₂	20,99
Ar	0,94
CO ₂	0,033
Ne	0,0015
He	0,000524
Kr	0,00014
Xe	0,000006

Fuente: Fritzsche, 1965

Los principales contaminantes del aire son: monóxido de carbono (CO), gas carbónico (CO₂), metano (CH₄), gases nitrosos (NO + NO₂), anhídrido sulfuroso (SO₂), polvos de rocas y en los casos de los minerales radiactivos, el Radón y el Torio que son isotopos radioactivos, de vida corta, proveniente de la desintegración de los isotopos de radio perteneciente a las familias de actinio y del torio. Estos componentes del aire pueden representar un peligro, tanto por su propia nocividad como por la disminución de oxígeno que ocasionen. (Fritzsche, 1965)

Tabla 2.

Carta de gases

CARACTERÍSTICA	METANO	MONOXIDO DE CARBONO	ACIDO SULFHIDRICO	GAS CARBONICO	NITROGENO	OXIGENO
FORMULA QUIMICA	CH ₄	CO	H ₂ S	CO ₂	N ₂	O ₂
GRAVEDAD ESPECIFICA	0.555	0.967	1.191	1.5291	0.967	1.105
INCIDENCIA EN EL AIRE (%)	*	*	*	0.03	78.10	20.93
¿ES COMBUSTIBLE?	SI	SI	SI	NO	NO	NO
¿ES SOPORTE DE LA COMBUSTION?	NO	NO	NO	NO	NO	SI
¿ES VENENOSO?	NO	SI	SI	NO	NO	NO
¿COMO SE DETECTA?	Lámpara de seguridad multidetector	Multidetector análisis químico	Multidetector análisis químico tubo de control	Análisis químico lámpara de seguridad	Análisis químico lámpara de seguridad	Análisis químico multidetector lámpara de seguridad
RANGO EXPLOSIVO EN EL AIRE	5 a 15 %	12.5 a 73 %	4.3 a 46 %	Ninguno	Ninguno	Ninguno
TEMPERATURA DE IGNICION EN °C	593 a 749	593	371	Ninguna	Ninguna	Ninguna
ORIGEN	Ocluido en el carbón y mantos de arcilla; Descomposición de materia vegetal en el agua	Combustión incompleta; Fuegos de mina; Explosivos de metano y en voladuras con dinamitas	En aguas de mantos de carbón; En tuberías en lugares proveniente ventilados	Combustión completa; Pequeñas cantidades son encontradas en forma natural en el aire	Es encontrado en forma natural en el aire; La oxidación de carbón libera nitrógeno	Se encuentra naturalmente en el aire
¿CUAL ES EL EFECTO SOBRE LA VIDA?	Causa la muerte por sofocación si es respirado en altas concentraciones; El efecto pasa al re refrescarse en aire limpio de metano	0.10 % en el aire causa un colapso completo; Excluye el oxígeno de la sangre	0.07 % causa la muerte en una hora; Muy venenoso; Destruye el nervio del olfato	Causa muerte por sofocación; Reemplaza el oxígeno de la sangre; Respiración difícil	Causa la muerte por sofocación; Reemplaza el oxígeno de la sangre	Necesario para la vida

Fuente: Fritzsche, 1965

Vergaray (2017) dice que la ventilación impelente con apoyo aspirante compone las capacidades de cada método, alcanzando el deseable resultado de ventilación en ocasiones delimitadas de minería. Lo cual, son probables dos ordenaciones en ocupación de que la línea primordial sea la solicitante, donde una línea impelente con

ocultos solicitantes que consta de un método impelente primordial con una instauración auxiliar solicitante.

Los tipos de ventiladores se dividen en 2 tales como los ventiladores centrífugos y el axial. Por un lado, Rumbo Minero (s.f.) afirma que el ventilador centrífugo se utiliza para realizar un caudal que sea menor y las presiones que sean mayores. Este está conformado por una pieza electromagnética englobado en una envoltura de modo de un espiral. Por otro lado, Campillos (2015) señala que un ventilador axial consta en una red cilíndrica, una hélice que está conformada por algunos números de paletas establecidas. Lo cual, el aire ingresa y sale de manera paralela al equipo. Los gases en mina son el nitrógeno, oxígeno, anhídrido carbónico, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, anhídrido sulfuroso y los polvos en mina. Para Seguridad Minera (2016) dice que el nitrógeno es un gas inexpressivo y además es más leve que el mismo aire, lo cual es amalgamado con un limitado de oxígeno; este va ocasionar una asfixia en el cuerpo del trabajador. Por lo cual, este gas se va formando porque existen segregaciones de los sedimentos de dichas rocas en determinadas minas y normalmente el nitrógeno se almacena en las áreas altas del trabajo como en las chimeneas. Así mismo este gas puede ocasionar hasta la misma muerte de los operadores.

Ventilación natural: Para que la ventilación natural funcione tiene que existir una diferencia de alturas entre las bocaminas de entrada y salida. Siendo el factor determinante más importante el 5 intercambio termodinámico que se produce entre la superficie y el interior de la mina. La energía térmica agregada al sistema genera presión en el sistema, produciendo un flujo de aire, debido al desplazamiento del aire caliente por el aire frío. (SERNAGEOMIN, 2012)

La ventilación natural en las minas se debe a la diferencia de peso específico del aire entrante y saliente. La diferencia de peso específico proviene principalmente de la diferencia de temperatura del aire, y en menor grado de la diferencia de presión, además también tiene influencia el porcentaje de humedad y la composición química del aire. Esta ventilación es irregular durante todo el día, no es confiable y trabaja en minas de poca profundidad hasta unos 600 m o en minería artesanal, siendo afectada por los vientos externos que son cambiantes durante el día y por las estaciones. Esta ventilación ocasiona problemas por no ser constante y es mejor medirla en las bocaminas a diferentes horas y días que calcularla teóricamente. (Jiménez, 2011).

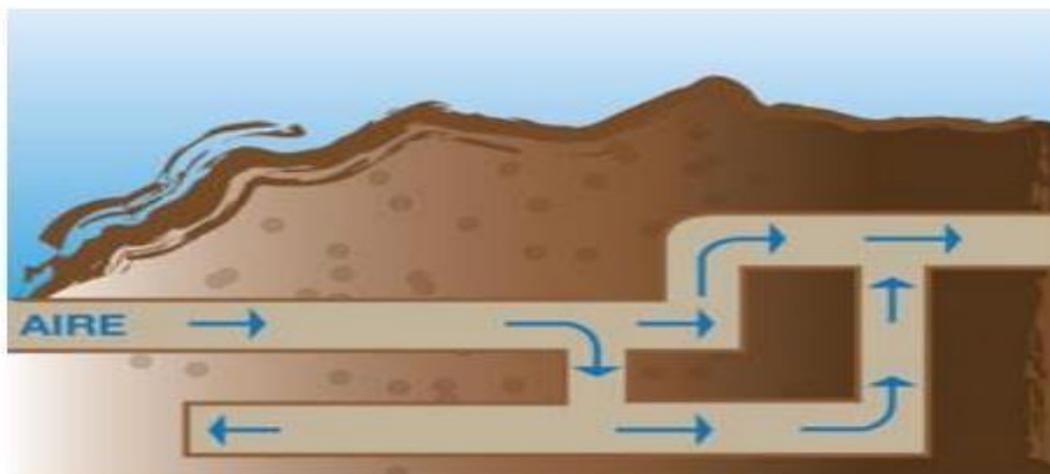


Figura 1. Esquema de ventilación natural.

Fuente: SERNAGEOMIN, 2012

Ventilación mecánica: La ventilación mecánica es generada por la presión que ejerce un ventilador sobre cierto volumen de aire, el cual dependiendo de sus características puede forzar el ingreso de aire fresco o extraer el aire viciado; la ventilación mecánica permite una presión constante sobre el aire y cierta cantidad de volumen fijo, ya que son accionados por un motor eléctrico y son seleccionados de acuerdo al diseño del sistema de ventilación con el fin de asegurar el ritmo de las operaciones y los ciclos de

trabajo. Este tipo de ventilación es más cara por lo que requiere energía eléctrica para su funcionamiento, por tal motivo el objetivo es poder diluir y trasladar contaminantes, además de brindar confortabilidad al personal al más bajo costo de operación. (Jiménez, 2011)

Sistema de ventilación impelente: El aire es forzado hacia el tope de la labor mediante un ducto de ventilación, el cual es impulsado mediante ventiladores, lo cual desplaza la masa de aire viciado a través de la galería. Este es el sistema predominante usado en la mayoría de las minas subterráneas. (SERNAGEOMIN, 2012)

Este sistema permite el uso de conductos flexibles no reforzados, que tienen una superficie interior lisa. Estos conductos son más económicos y manejables, además presentan una menor resistencia al paso del aire. (López, 2011).

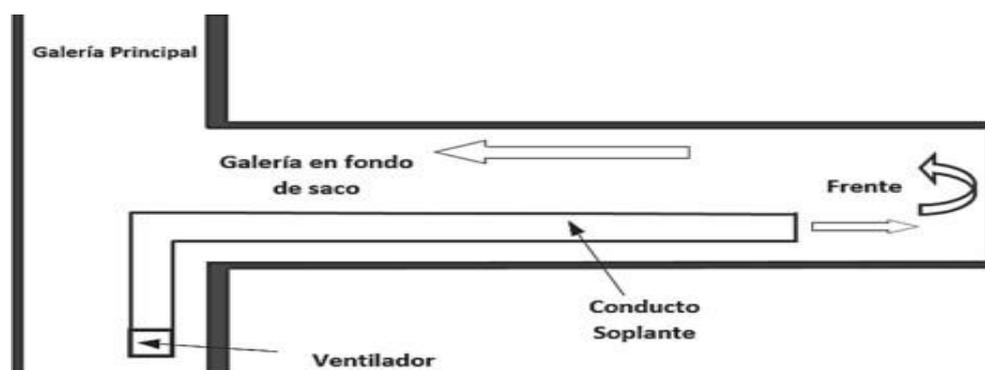


Figura 2. Sistema de ventilación impelente

Fuente: López, 2011

La corriente de aire limpio, al entrar en contacto con los gases que hay en el frente genera una mezcla turbulenta con cual se asegura la eliminación de una posible acumulación o estratificación de gases en zonas próximas a tope de la labor. El final del conducto debe estar situada a una distancia adecuada del frente, de modo que la

zona de barrido se extienda hasta este. Si la distancia es excesiva, se crea una zona muerta, en la que el aire se acolchona y no se renueva. (López, 2011).

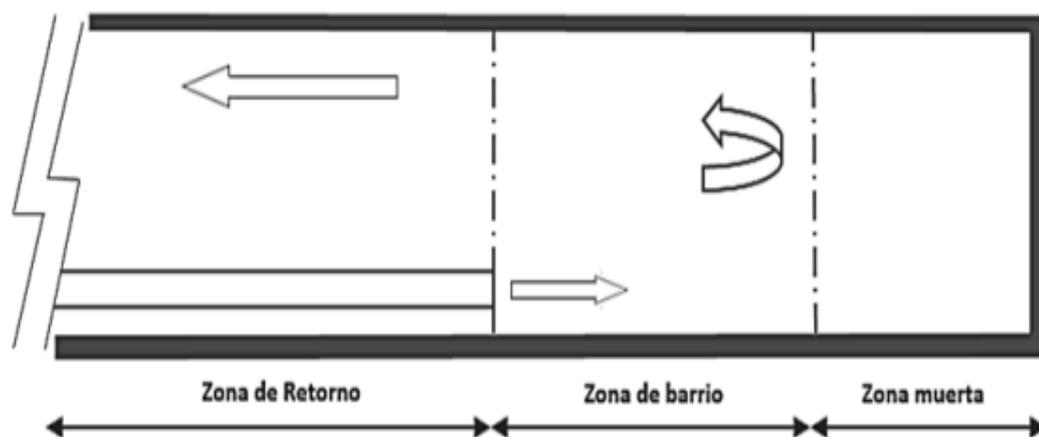


Figura 3. Zonas del sistema de ventilación impelente.

Fuente: López, 2011

Sistema de ventilación aspirante: El aire contaminado del frente es succionado mediante el conducto de ventilación, creando una depresión y haciendo ingresar aire fresco a través de la galería. (SERNAGEOMIN, 2012)

El aire fresco ingresa hacia el frente a través de la galería, la cual tiene una sección mucho mayor que el conducto de ventilación, por lo tanto, la velocidad y turbulencia del aire fresco será mucho menor; es así que un sistema aspirante por sí solo no es capaz de garantizar un buen barrido del tope, si este es de gran sección o si el conducto de aspiración no está situado en el mismo frente. Por ello, es conveniente adoptar una solución mixta, con un ventilador de refuerzo impelente que cree una turbulencia adecuada para garantizar la dilución de gases. El sistema requiere un conducto rígido (fabricado en acero, plástico o fibra de vidrio) o un conducto flexible reforzado. Si los sistemas requieren un gran caudal, su ejecución práctica puede ser problemática técnicamente hablando, ya que necesitan presiones muy elevadas que conducen a la utilización de varios ventiladores en serie. (López, 2011).

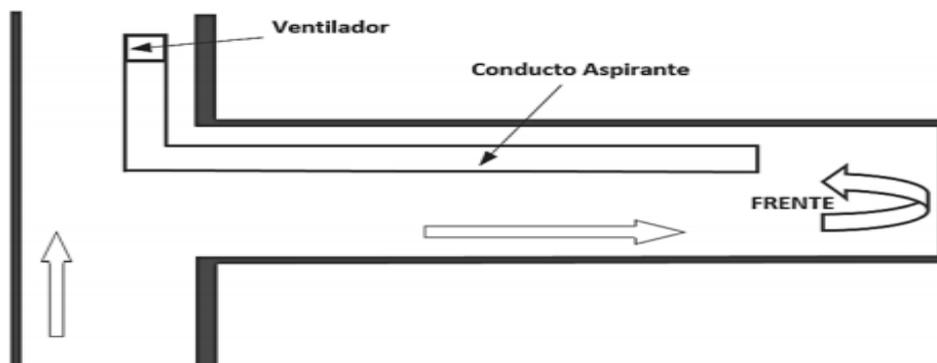


Figura 4. Sistema de ventilación aspirante.

Fuente: López, 2011

Sistema impelente con apoyo aspirante: Es también denominado sistema solapado, el cual utiliza un ventilador auxiliar de refuerzo, situado frente a la labor, con un tramo de conducto de poca longitud. Estos sistemas combinan las ventajas de cada sistema, consiguiendo el mejor efecto de ventilación en situaciones concretas. El sistema consiste en una línea principal impelente con solape aspirante, cuya función por lo general es la de recoger y evacuar el polvo generado del frente. (López, 2011).

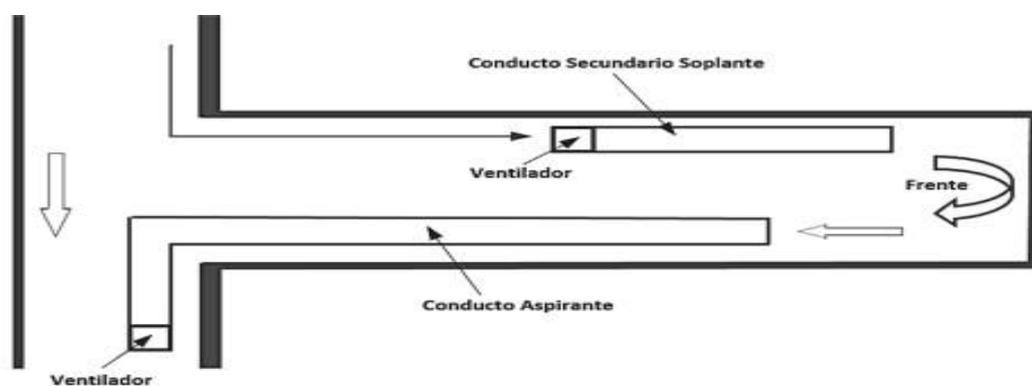


Figura 5. Sistema de ventilación mixta

Fuente: López, 2011

Sistema aspirante con apoyo impelente: El sistema aspirante principal extrae el aire viciado mediante conductos rígidos de ventilación, de esta manera forzando el ingreso de aire fresco a través de la galería; mientras que la función del ventilador auxiliar de

refuerzo (impelente) es la de captar el aire de la galería y direccionarlo hacia el frente de la labor para asegurar un buen barrido, evitando la formación de zonas muertas. (López, 2011).

El sistema reúne las ventajas de los dos sistemas básicos, en cuanto a mantener la galería y el frente en desarrollo con una renovación constante de aire limpio y diluyendo con mayor efectividad los gases producidos por las voladuras, con la desventaja de su mayor costo de instalación y manutención. (SERNAGEOMIN, 2012)

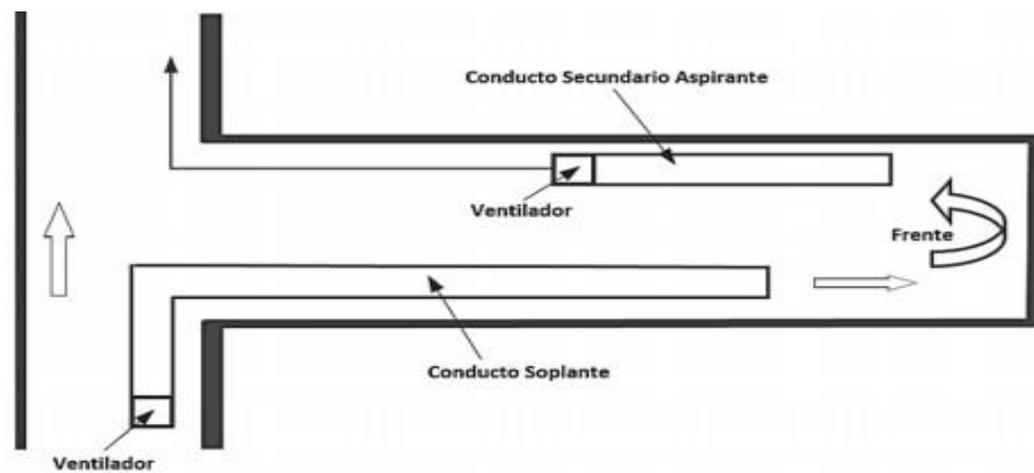


Figura 6. Sistema aspirante con apoyo impelente.

Fuente: López, 2011

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye la evaluación en el sistema de ventilación en una mina subterránea en la provincia de Cajabamba, Cajamarca 2021?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Realizar la evaluación del sistema de ventilación en una mina subterránea en la provincia de Cajabamba, Cajamarca 2021

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el caudal de aire requerido por el número de personas.
- Calcular el caudal de aire requerido para la producción en la mina subterránea
- Calculo de caudal requerido por consumo de explosivos.
- Evaluar la utilización de ventilación artificial

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Con la evaluación del sistema de ventilación en la mina subterránea se permitirá el incremento de aire de acuerdo al requerimiento del personal, producción asimismo se determinar si es necesario la utilización de ventilación artificial.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Se determinará el caudal de aire requerido para el número de personas que trabajan en la mina subterránea.
- Se realizará el cálculo de caudal de aire requerido para la producción en la mina subterránea.
- Se calculará el caudal requerido para el consumo de explosivos.
- Mediante la evaluación se determinará si es necesario la utilización de ventilación artificial.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El trabajo de investigación según CONCYTEC (2018) es de tipo básica. El diseño de investigación es no experimental de tipo transversal descriptivo, porque está dirigido a recoger datos. Además, Según Hernández, Fernández y Baptista (2015) afirma que las investigaciones descriptivas buscan implantar las características considerables de personas, agrupaciones, asociaciones o cualquier otro prodigio que se ha impuesto a la observación. Por lo cual, estas investigaciones se sitúan a determinar o evaluar variadas apariencias, capacidades o factores del fenómeno o fenómenos a investigar.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población: La población para la presente investigación es el sistema de ventilación de una mina subterránea.

2.2.2 Muestra: La población para el presente trabajo de investigación fueron el sistema de ventilación de la labor 1.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas.

Análisis documental: Se recopiló la información bibliográfica en revistas, folletos y repositorios virtuales haciendo uso del internet, sobre temas relacionados con la normativa de evaluación de sistema de ventilación en función al Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional D.S. N° 023-2017-EM.

Observación directa: consta de la verificación de las zonas de estudios para realizar la evaluación del sistema de ventilación además de la inspección del estado de los conductos de ventilación.

2.3.2. Instrumentos de recolección de datos.

Instrumentos utilizados para la toma de datos son.

- Formato Excel para la toma de datos, medidas entre otros.
- Cuaderno de notas
- Registro fotográfico

2.4. Procedimiento

La presente investigación se desarrolló mediante 3 etapas: las cuales se detallan a continuación.

2.4.1. Etapa de pre campo

En esta etapa se realiza la búsqueda y revisión de antecedentes, estudios previos, realizados al tema en estudio de evaluación de sistema de ventilación en mina subterránea en los diferentes ámbitos, tanto local, nacional como internacional, para lo cual se recurrió a los repositorios virtuales de las distintas universidades, lo cual nos permita tener referencia.

2.4.2. Etapa de Campo

Se realizó la toma de datos en campo para realizar la evaluación del sistema de ventilación haciendo uso de las siguientes fórmulas.

En primer lugar, se tomó las medidas de la bocamina alto, ancho y longitud para luego aplicar las formulas y determinar lo planteado en los objetivos específicos.

Fórmula utilizada para determinar el caudal de aire requerido por el número de personas.

$$Q = FXN(\text{m}^3/\text{min})$$

Fórmula para calcular el caudal de aire requerido para la producción en la mina subterránea.

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

Fórmula para Calcular el caudal requerido por consumo de explosivos.

$$Q = 100 \times A \times a/d \times t (\text{m}^3/\text{min})$$

2.4.3. Etapa de pos campo

Luego de recolectada toda la información necesaria en campo se procedió a procesar y tabular de forma digital los datos obtenidos en campo, con los programas Microsoft Word y Microsoft Excel, en el cual se aplicaron distintas fórmulas que nos permitieron realizar la evaluación del sistema de ventilación.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Descripción de Bocaminas y personal

A continuación, se describe las medidas de la bocamina y del personal que labora en la mina subterránea en la provincia de Cajabamba, Cajamarca.

3.1.1. Bocamina

Sirve como ingreso a la labor en cual tiene las siguientes medidas.

Tabla 3.

Dimensiones de la bocamina

Dimensiones de la bocamina		
Alto	1.8	Metros
Ancho	2.1	Metros
Longitud	160	Metros

3.1.2. Personal que labora la mina subterránea

Supervisor (1):

Está encargado de los pagos a los trabajadores, realizar un diseño de seguridad, y de verificar la calidad del mineral.

Jefe de Mina (1):

Este cargo se le ha asignado al dueño del terreno superficial, como parte de la responsabilidad social, su responsabilidad es brindarles las herramientas necesarias y verificar sus horas de trabajo.

Obreros (8):

Se encargan de picar, chancar el mineral, luego llenarlo en costales y llevarlos a la plataforma.

3.2. Determinar el caudal de aire requerido por el número de personas.

Se requiere una corriente de aire fresco de no menos de tres metros cúbicos por minuto (3 m³/ min.) por persona, en cualquier sitio del interior de la mina.

$$Q = FXN(\text{m}^3/\text{min})$$

Donde:

Q = Caudal total para “n” personas que trabajen en interior mina (m³/ min.)

F = Caudal mínimo por persona (3 m³/ min.)

N = Número de personas en el lugar.

A pesar que este método es utilizado con frecuencia, se debe considerar “F” sólo como referencia, pues no toma en cuenta otros factores consumidores de oxígeno, como lo son la putrefacción de la madera, la descomposición de la roca, la combustión de los equipos, etc. Considerando 1 supervisor, 1 jefe de mina, y los 8 obreros por labor.

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

$$Q = 3\text{m}^3/\text{min} \times 10$$

$$Q = 30 \text{ m}^3/\text{min}$$

3.3. Calcular el caudal de aire requerido para la producción en la mina subterránea.

Para determinar el caudal de aire requerido para la producción está expresado por la siguiente formula:

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

Donde:

Q = Caudal requerido por toneladas de producción diaria (m³/min.)

u = Consumo de aire por tonelada de producción diaria expresada en (m³/min.)

T = Producción diaria en toneladas.

Para minas subterráneas, "u" varía generalmente entre 1 a 1,7 (m³/min.), por tanto, tomamos el promedio que es 1.35

En la labor se tiene una producción de 88 toneladas al mes por lo tanto al día produce 2.93 toneladas.

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

$$Q = 2.93 \times 1.35 \text{ m}^3\text{/min}$$

$$Q = 3.95 \text{ m}^3\text{/min}$$

3.4. Cálculo de caudal requerido por consumo de explosivos.

La fórmula que se conoce para este cálculo de caudal y al tratarse de minas metálicas, este método es el que más se usa. Toma en cuenta la formación de productos tóxicos por la detonación de explosivos, el tiempo que se estima para despejar las galerías de gases y la cantidad máxima permitida.

Para el cálculo de este caudal, se emplea la siguiente relación empírica:

$$Q = 100 \times A \times a/d \times t \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

Q = Caudal de aire requerido por consumo de explosivo detonado (m³/min)

A = Cantidad de explosivo detonado, equivalente a dinamita 60% (Kg.)

a = Volumen de gases generados por cada Kg. de explosivo.

a = 0.04 (m³/Kg. de explosivo); valor tomado como norma general.

d = % de dilución de los gases en la atmósfera, deben ser diluidos a no menos de 0.008 % y se aproxima a 0.01 %

t = tiempo de dilución de los gases (minutos); generalmente, este tiempo no es mayor de 30 minutos, cuando se trata de detonaciones corrientes.

Reemplazando en la fórmula tendremos:

$$Q = (0,04 \times A \times 100) / (30 \times 0,008) \text{ m}^3/\text{min}$$

Entonces se tendría finalmente

$$Q_e = 16,67 \times A \text{ m}^3/\text{min}$$

3.5. Evaluación de la utilización de ventilación artificial

En la en la mina subterránea se presenta 1 labor subterránea para la explotación del mineral, mediante cámaras y pilares.

En la labor de extracción el caudal promedio requerido por persona es de 30 m³/min, es decir es apto para la realización de operaciones en dicha mina. El caudal requerido por la producción es de 3.95 m³/min.

De acuerdo a estos resultados no se necesita ventilación artificial, sólo mejorar la ventilación natural, es decir realizar apertura de cámaras para que la ventilación tenga mejor circulación.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Guevara y Villanueva (2018) en “Evaluación y propuesta del sistema de ventilación en el sub nivel 058 en Minera Troy SAC-Cajamarca 2018”. Concluyó que al analizar el sistema de ventilación de la mina se obtuvo mejoras, ya que se instaló un ventilador axial. Con este ventilador se obtuvo mejores resultados para el ambiente de los trabajadores, donde la entrada del aire se divide por todas las galerías de la mina y su salida del aire es mediante la chimenea que hay en mina. Con estos resultados se encontró que es más conveniente utilizar una ventilación mecánica. En la presente investigación se determinó el caudal de aire requerido por el número de personas $Q = 30 \text{ m}^3/\text{min}$, de la misma manera de determino el caudal de aire requerido para la producción $Q = 3.95 \text{ m}^3/\text{min}$.

Por otro lado, Raico (2019) en “Evaluación y optimización del sistema de ventilación del túnel de exploración Chaquicocha nivel 3750-Minera Yanacocha, 2018”. Concluyó que al evaluar el sistema de ventilación de la mina se encontró que tiene un revestimiento del caudal de aire con un 90%. Lo cual, el sistema de ventilación no cumple con los requisitos que necesita la mina en la cantidad de aire en todas las galerías se observó que los ventiladores no son adecuados para una correcta aireación. Por lo que es importante desarrollar una evaluación a los sistemas de ventilación en mina para que así los trabajadores tengan un ambiente seguro y limpio. Para la presente investigación se realizó la evaluación de la utilización de ventilación artificial acuerdo a estos resultados no se necesita ventilación artificial, sólo mejorar la ventilación natural, es decir realizar apertura de cámaras para que la ventilación tenga mejor circulación.

4.2 Conclusiones

- Se determinó el caudal de aire requerido por el número de personas que trabajan la mina subterránea cuyo caudal es $Q = 30 \text{ m}^3/\text{min}$.
- De la misma forma se calculó el caudal de aire requerido para la producción en la mina subterránea $Q = 3.95 \text{ m}^3/\text{min}$.
- Se determinó el caudal requerido por consumo de explosivos el cual es $Q_e = 16,67 \times A \text{ m}^3/\text{min}$.
- Se realizó la evaluación de la utilización de ventilación artificial por lo cual se concluye que con los resultados obtenidos no se necesita ventilación artificial, sólo mejorar la ventilación natural, es decir realizar apertura de cámaras para que la ventilación tenga mejor circulación.

REFERENCIAS

- Agüero, A (20129) *Influencia de la ventilación natural y mecánica en el diseño del sistema de ventilación de las galerías del nivel 1950 Mina Calpa – Arequipa*. Tesis Lic. Huancavelica, Perú, Universidad Nacional de Huancavelica.
- Claverias, J. (2014) *Evaluación y optimización del sistema de ventilación de la Compañía Minera Caraveli S.A.C. aplicando el software Ventsim Visual 3*. Tesis. Arequipa, Perú, Universidad Nacional de San Agustín De Arequipa.
- Campirillos, A. (2015). *Optimización y modelización del circuito de ventilación de una mina subterránea*. (Tesis de Titulación). Universidad Politécnica de Madrid, España, Madrid.
- Carranza, J. (2015). *Mejoramiento en el diseño de chimeneas en minería subterránea con el uso del sistema PEM en la unidad de producción minera Troy SAC*. (Tesis de Titulación). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
- CAXI, Y. (2017) *Estudio de ventilación e implementación de mejoras en el circuito de ventilación de minera Sotrami S.A. – UEA Santa Filomena – aplicando el software Ventsim*. Tesis (Título en Ingeniería de Minas). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Flores, M. (2017). *Diseño y simulación del sistema de ventilación de las labores de exploración en el proyecto San Gabriel CIA. De Minas Buenaventura S.A.A.* (Tesis de Titulación). Universidad Nacional del Antiplano, Puno.

- Jiménez, P. (2011) *Ventilación de minas subterráneas y túneles: Práctica, aplicada y avanzada en minería clásica y minería por trackles*. Lima, Perú, Instituto de Ingenieros de Minas del Perú.
- Giménez A. (2016) *Ventilación de Minas Subterráneas y Túneles. Practica Aplicada, Avanzada en Minería Clásica y Minería por Trackles*. Edición III Perú.
- Portilla, R. (2015). *Propuesta técnica de mejora del sistema de ventilación principal de una operación minera subterránea polimetálica – 2015*. (Tesis de Titulación). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú
- Rodríguez, V. (2010). *Diseño del sistema de control para la ventilación de una mina subterránea usando un controlador AC800M*. (Tesis de Titulación). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú
- Sutty, J. (2016). *Influencia de la ventilación mecánica, en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 mina Urano SAC – Puno*. (Tesis de Titulación). Universidad Nacional del Antiplano, Puno, Perú.
- Valle, R. (2017). *Optimización del sistema de ventilación de la mina Charito, compañía minera Poderosa S.A.* (Tesis de Titulación). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- ERGARAY, R. (2017) *Optimización del sistema de ventilación de la Mina Charito, Compañía Minera Poderosa S.A. Tesis* (Título en Ingeniería de Minas). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2017.

ANEXOS

Anexo 1. Instrumento de recolección de datos

Dimenciones de la bocamina		
Alto	Metros	Pies
Ancho		
Longitud		

Anexo. Galería fotográfica.

Anexo 2. Galería fotográfica.





