

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN
SUBTERRÁNEA PARA CUMPLIR CON LA
NORMATIVA VIGENTE EN EL DS-023-2017- EM
EN UNA MINA DE HUAROCHIRÍ, LIMA 2022”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Kevin Orlando Abad Rojas

Asesor:

Ing. Miguel Ricardo Portilla Castañeda
<https://orcid.org/0000-0002-3676-7137>

Cajamarca - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Rafael Ocas Boñon	169546
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Víctor Álvarez León	132270
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Danyer Girón Palomino	94271
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%	15%	0%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
5	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	2%
6	1library.co Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Alas Peruanas Trabajo del estudiante	1%
8	pdfcookie.com Fuente de Internet	1%
9	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	1%

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres, especialmente a mi madre quien fue la que me impulso a iniciar mis estudios de Ingeniería de Minas y a mis hermanos mayores quienes fueron mi principal soporte a lo largo de toda mi etapa universitaria, ya que asumieron un rol fundamental en vida desde el momento que nuestra madre nos faltó.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme llegar a este punto en mi carrera universitaria. A mi familia por brindarme su apoyo en todo momento. A mis amigos y compañeros a quienes Dios puso en mi camino para hacer de mí una mejor persona.

Agradecer a la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Privada del Norte y a cada uno de los docentes que contribuyeron en mi formación como profesional quienes impartieron sus conocimientos y experiencias a lo largo de toda mi etapa universitaria.

Tabla de contenido

Jurado evaluador	2
Informe de similitud	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento	5
Tabla de contenido	6
Índice de tablas	7
Índice de figuras	8
Resumen	9
Capítulo I: Introducción	10
Capítulo II: Metodología	23
Capítulo III: Resultados	33
Capítulo IV: Discusión y Conclusiones	49
Referencias	53
Anexos	55

Índice de tablas

Tabla 1: Cálculo de Requerimiento de Aire para Personal (Qtr)	34
Tabla 2: Cálculo de Requerimiento de Aire para Equipos con Motor Petrolero (Qeq)	35
Tabla 3: Cálculo de Requerimiento de Aire por consumo de explosivo (Qex).....	38
Tabla 4: Resumen requerimiento total de caudal de aire zona alta	39
Tabla 5: Balance de aire zona alta	39
Tabla 6: Resumen requerimiento total de caudal de aire zona baja 140	40
Tabla 7: Balance de aire zona baja 140	41
Tabla 8: Inventario de equipos de ventilación (Ventiladores).....	42

Índice de figuras

Figura 1: Esquema de ventilación natural	18
Figura 2: Instalación de ventiladores.....	21
Figura 3: Factor de producción de acuerdo al consumo de madera	28
Figura 4: Velocidad mínima del requerimiento de aire.....	29
Figura 5: Plano isométrico de ventilación.....	48

RESUMEN

En la tesis que se presenta a continuación, se tiene como objetivo principal evaluar el actual sistema de ventilación utilizado en mina para verificar su cumplimiento con la normativa vigente en el D.S-023-2017-EM. El Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería aprobado por DS- 024-2016- EM así como su modificatoria según el DS-023-2017-EM. Los ingresos de aire fresco principales son por la bocamina del Nv 821, bocamina del nivel 710, y por la bocamina del nivel 140. Se estimó el requerimiento teórico de aire fresco y balance de flujo de acuerdo a la cantidad de personal y a la cantidad de equipos diésel que se viene utilizando en las operaciones de mina, siendo en la zona alta, las mediciones del actual sistema de ventilación del caudal de ingreso de aire es de 136,610 cfm y la salida es de 136,219 cfm; de modo que la diferencia entre el caudal de aire de ingreso y salida es de 391 cfm; la cobertura de aire total en esta zona es del 112.02 %. En la zona baja, las mediciones del actual sistema de ventilación del caudal de ingreso de aire es de 80,335 cfm y la salida es de 80,179; de modo que la diferencia entre ingreso y salida es de 156 cfm. La cobertura de aire total en esta zona es del 103.92 %. Se realizó el inventario de los equipos de ventilación mecánica con los que cuenta la empresa minera considerando su funcionalidad actual, la unidad cuenta con ventiladores axiales mineros de diferentes capacidades, actualmente se tiene 19 ventiladores de los cuales 09 operativos (4 extractores princp,5 impelentes),07 inoperativos (1 extractor principal,6 impelentes) y 3 dados de baja. Para el reinicio de operaciones se repararán 07 ventiladores.

PALABRAS CLAVES: Ventilación, requerimiento, normativa, flujo de aire.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La ventilación de mina es la distribución y dirección del flujo de aire durante las operaciones mineras de la manera más económica, natural o mecánica, para satisfacer las necesidades de oxígeno del personal y el equipo, mientras se diluyen y transportan los contaminantes sólidos y gaseosos de tal manera que no afecten productividad y salud ocupacional, pero mejoran las condiciones ambientales y de temperatura del entorno de la mina a concentraciones y temperaturas aceptables (Raico, 2019).

La ventilación en la minería subterránea está diseñada para proporcionar aire fresco a fin de crear las condiciones ambientales y de temperatura adecuadas para el personal minero y para la operación de equipos e instalaciones subterráneas diferentes. (Vargas, 2015).

La minería en Sudamérica es una de las actividades extractivas principales que brinda el motor de desarrollo económico para estos países, por lo cual se debe brindar las mejores condiciones de trabajo para su ejecución; entre estas circunstancias encontramos la ventilación en minería subterránea, que tiene una función muy importante en el rendimiento de los trabajadores, esencialmente para evitar enfermedades y accidentes, ya que ayuda a diluir los contaminantes emitidos por los equipos, por la voladura, que libera gases tóxicos que pueden ser inflamables, aparte de esto la ventilación ayuda a mantener la temperatura a un nivel fresco dentro de las labores subterráneas (Carlos, 2014).

En los últimos años, los accidentes producidos en minería subterránea por accidentes de intoxicación de gases en las labores, han generado un llamado la atención a todas las empresas mineras; estos hechos han demostrado la importancia de garantizar una buena ventilación, ya que con esto se asegura una condición segura para los trabajadores que laboran en interior de la explotación, no sólo en términos de temperaturas y concentraciones de oxígeno, sino también en función de la dilución de los gases generados por las voladuras y el metano generado en los mantos de carbón mineral (Córdova & Molina, 2011).

En Colombia, el trabajo subterráneo está regulado por el Decreto 1335, emitido en 1987: la tasa mínima de circulación de aire al interior de la mina, así como el límite permisible de gases generados durante el trabajo. Para garantizar un control óptimo de las condiciones de la mina, es necesario monitorear el flujo y la temperatura del agua, así como monitorear continuamente la atmósfera en la mina para determinar la concentración de gas. Cuando el contenido de oxígeno es inferior al indicado en la figura y el contenido de contaminantes es superior a la VLP, se trata de una atmósfera irrespirable. Solo los rescatistas o socorristas pueden realizar estas tareas con equipo circular para restablecer las condiciones normales en la línea del frente. (Córdova & Molina, 2011).

En el Perú, la introducción de los Decretos Supremos vigentes como el DS-024-2016-EM y sus modificatorias DS-023-2017-EM, han preocupado a la minería en cuanto se refiere a los sistemas de ventilación y la capacidad instalada del aire, que debe cubrir totalmente la cantidad de aire requerido dentro de los parámetros exigidos,

necesarios para que brinde satisfacción al personal y la conservación de los equipos y maquinarias utilizadas en las operaciones (Duran, 2018).

En la mina subterránea de la cual se extrajeron los datos se cuenta con un sistema de ventilación mecánico sujeto a la operación de ventiladores primarios y secundarios, extractores de aire viciado. Los ingresos de aire fresco principales son por la bocamina del Nv 821, bocamina del nivel 710, y por la bocamina del nivel 140.

El objetivo principal del presente trabajo de investigación es evaluar el actual sistema de ventilación utilizado en mina para verificar su cumplimiento con la normativa vigente en el D.S-023-2017-EM. Regulaciones sobre saneamiento profesional y de seguridad en la industria de explotación aprobada por DS-024-2016 - Um, así como su cambio de acuerdo con DS-023-2017, como otros aspectos de los derechos, derechos y obligaciones relacionadas con los derechos y obligaciones relacionadas con el Derechos y obligaciones de seguridad y seguridad del propietario en la gestión de actividades de explotación, incluidos los artículos de 246 a 259, de los cuales la presión utilizada para todo lo relacionado con la ventilación en las minas de carbón de metal y subterráneo, regulando las necesidades de aire normales y por el equipo diésel, el equipo de la velocidad del aire Trabajo subterráneo interno por explosivos, los fanáticos principales y los fanáticos en las minas de metal y carbón, así como otras consideraciones.

Según Castillo (2017), el objetivo principal de su investigación fue realizar la evaluación de las condiciones actuales de la ventilación en la mina El Roble en Colombia. Se determina que el sistema de ventilación de la Mina El Roble no cumple con la Ordenanza 1886 de 2015, sec. 41, 43, 44, 46, 57 del Título II sobre ventilación.

Si bien el monitoreo de la atmósfera al interior de la mina se realiza mediante la medición de la concentración de gases, este trabajo solo lo realiza el equipo de protección laboral y no es rutinario ni involucra las actividades generales que se realizarán en caso de inseparabilidad. Parte de técnicos y/o especialistas del control y mantenimiento de las condiciones y conductos de ventilación. Se han propuesto opciones de mejora de la ventilación, que deben realizarse de forma periódica y de acuerdo con las necesidades y requerimientos de aire calculados. La recomendación más importante es comprar un nuevo ventilador de 200,000 cfm para extender el rango y el rendimiento óptimo de minería en la mina El Roble.

Así mismo Carrascal & Manzur (2014), su investigación tuvo como objetivo principal, Evaluación y propuesta de nuevo flujo de aire en el campo El Maracaibo en Colombia. Se puede evaluar el sistema de ventilación existente de la mina Maracaibo, donde se han encontrado varios factores importantes que afectan el flujo de aire en el circuito de ventilación principal, donde se registraron los caudales actuales de la mina y las condiciones climatológicas de esta. Lográndose detectar los diferentes puntos críticos del circuito de ventilación. Para diseñar la red de ventilación, es necesario estudiar las operaciones mineras en curso, tanto actuales como planificadas, para determinar hacia dónde dirigimos el flujo de aire limpio requerido en las diferentes partes de la mina, de modo que se cumplan los estándares de ventilación requeridos. encontrarse. Ordenanza N° 1335 de 1987 "Reglamento sobre seguridad laboral en el suelo". Se deben seleccionar los ventiladores principales y auxiliares correctos para evitar mayores costos de energía, y los puntos de medición de la ventilación deben

ajustarse para un estado del aire más preciso, guardando y publicando las mediciones tomadas en el panel de ventilación.

Por otro lado Carabao (2012) se dice que: El balance de masa de aire fresco muestra un déficit del 75% en la circulación del flujo de ingresos requerido, el valor aumenta a medida que crece la mina ya que no tienen un sistema de rociado de chimenea o entrada de aire fresco en las profundidades donde las concentraciones de gas aumentan debido a el uso de equipos con motores de combustión interna, ambientes que impiden el desempeño de los empleados y malas condiciones de trabajo (p. 185-186).

Por ultimo a nivel internacional, Cisternas (2010) señala que, cuando se haga referencia a distribución de aire, se entenderá como tal las siguientes fases: inyección de aire fresco – ventilación – extracción de aire contaminado en las minas subterráneas de Chile.

Según Mamani (2019), el objetivo principal de su investigación fue la evaluación del mal funcionamiento de los sistemas de ventilación U.O. Pallancata de Ayacucho e investigamos y diseñamos sistemas de ventilación para determinar el caudal de aire necesario para una ventilación óptima. Concluimos que la ventilación inicial no es perfecta ya que se requieren 421,208 cfm y el suministro es de 230,407 cfm con solo el 56% de la cobertura de flujo de aire requerida. Para obtener el diseño óptimo del sistema de ventilación, se debe realizar un estudio de factibilidad comparando diferentes variaciones del sistema de ventilación para cumplir con los requerimientos de ventilación con el fin de cumplir con el aumento de producción esperado a mediano plazo (próximos 3 años). Comparando aspectos operativos y de

costos, se seleccionaron 4 opciones de ventilación y se consideró que la opción 4 es la mejor por tener el mejor costo total, teniendo en cuenta los costos de capital y operativos.

Vila (2013), concluyó en su estudio que la tasa de flujo de aire de ventilación en la región I-B Nv se incrementa. 4530 de la veta Alexia, en base a: número de empleados y equipos diésel, para mejorar la ventilación utilizando la fórmula de Atkinson y datos obtenidos del software de ventilación Ventsim, que simula condiciones varias operaciones de la mina Arcata en Arequipa. Esto reduce los costes de ventilación a 0,28 \$/TMS, un 4,33 % menos, un ahorro sustancial para la empresa.

Según Durán (2018) en su investigación se tuvo como objetivo principal lograr un buen desempeño de los equipos de minería subterránea y desempeño con buena ventilación en la mina Colquihirca en Cerro de Pasco. En resumen, el campo tiene una cobertura de aire del 66,43%, lo que significa que es necesario aumentar el suministro de gas fresco al campo en 6.617,54 m³/min (233.695,78 ft³/min) para lograr una cobertura del 100, % sin ventilación. La ventilación en las excavaciones es difícil debido a la falta de sistemas especializados para eliminar el aire contaminado, lo que lleva a la acumulación de humos y gases con concentraciones que superan el MPC en algunos casos. Los ventiladores auxiliares instalados en serie para ventilar los distintos fosos de trabajo están mal instalados, lo que genera una recirculación de aire que suprime el humo generado por los equipos diésel y ralentiza la extracción de gases.

Sutty (2016) considera que: El proceso de ventilación afecta la operación de la mina, por lo que es necesario agregar ventiladores para traer más gases, e instalar cámaras de gas dentro de la mina (p. 98).

Córdova et al. (2011), en su estudio establece que la ventilación es esencial en cualquier mina subterránea, ya que la ventilación garantiza un confort mínimo para todos los trabajadores. Para ello, es necesario conocer las características del circuito de ventilación, es decir, los caudales requeridos, los requisitos del nuevo programa, las dimensiones de las operaciones verticales y horizontales a través de las cuales fluye la corriente y, por lo tanto, la posibilidad de calcular la resistencia de la mina. . Asimismo, es necesario determinar la demanda de aire a partir del número de empleados en la mina para la dilución de gas tanto de minado como de voladura y desempolvado. También es necesario tener la adecuada sección transversal de trabajo, así como la adecuada disposición de puertas y cortinas de ventilación, necesarias para una buena circulación de aire fresco. Con toda esta información, se tomará la decisión correcta simulando la rejilla de ventilación mediante un software de ventilación.

La ventilación en el eje subterráneo es un proceso en el que el aire necesario para garantizar la respiración y la atmósfera segura para desarrollar el trabajo extendido por dentro, la ventilación se realiza estableciendo diagramas de circulación de aire. En el proceso de trabajo. Para este propósito, es importante que la mina tenga dos tareas de acceso independiente: dos pozos, dos jugos, pozos y fallas, en el trabajo, solo acceso (por ejemplo: una habitación de la galería anterior) es necesaria para ventilar con ayuda con una ayuda y Las tuberías, las tuberías colocadas entre la entrada y el final del último trabajo, esta ventilación se llama secundaria, mientras que se llama toda la mina. Como los principales, los fanáticos son responsables del aire, tanto en la

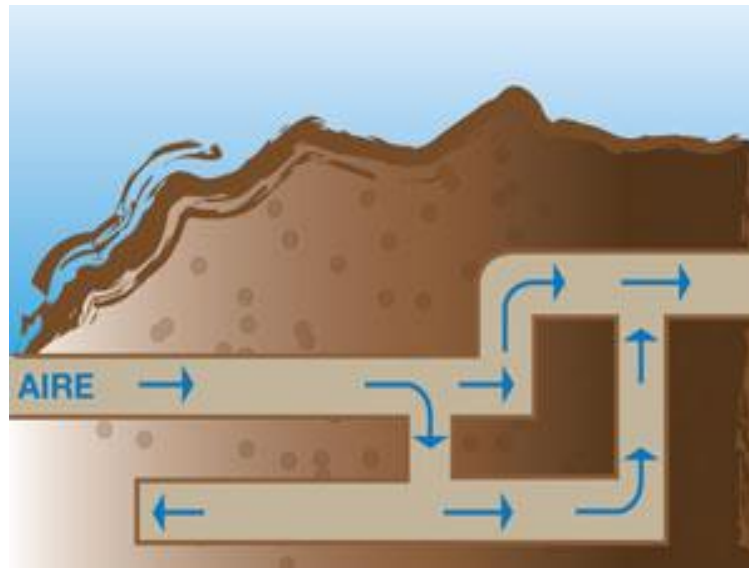
ventilación principal como en la escuela secundaria. Por regla general, los ventiladores principales se encuentran fuera de la labor, en la superficie. (Vergaray, 2017).

En una mina subterránea existen diferentes tipos de ventilación: natural y mecánica; ventilación de succión de rotor mixto o combinado dentro de la mina; en el impulsor, un ventilador aspira aire hacia la mina o tubería; Los costes necesarios se calcularán en función del número de personas. Partículas, aumento de la temperatura y consumo de explosivos (Vergaray, 2017).

La ventilación natural en la mina es el resultado de la diferencia en la gravedad específica del aire de entrada y salida. La diferencia de gravedad específica se debe principalmente a la diferencia de temperatura del aire y en menor medida a la diferencia de presión, además, también se ve afectado el porcentaje de humedad y la composición química del aire. Esta ventilación es irregular durante el día, poco fiable y funciona bien en minas poco profundas de unos 600 m de profundidad o minería manual, sujeta a vientos externos que varían durante el día y la estación. Esta ventilación es problemática porque no es fija y es mejor medirla en las bocas de mina a diferentes horas y días que calcularla teóricamente (Jiménez, 2011).

Figura 1

Esquema de ventilación natural



Fuente: SERNAGEOMIN, 2008.

La ventilación mecánica es creada por la presión proporcionada por un ventilador en un volumen específico de aire, dependiendo de sus propiedades, lo que puede conducir a entrada de aire fresco o extracto de aire deformado; La ventilación mecánica asegura que la presión del aire sea constante y una cierta cantidad de sólidos, ya que están controlados por motores eléctricos y seleccionados por el diseño del sistema de ventilación para garantizar el ritmo de actividad y el período de actividad del ciclo. Este tipo de ventilación es más costoso, por lo que requiere que la electricidad funcione, por lo que el objetivo es diluir y transferir contaminantes, además de garantizar la comodidad de los empleados a un costo operativo más bajo (Jiménez, 2011).

El proyecto minero cubre un área de aproximadamente 60 kilómetros cuadrados dentro de un rectángulo de referencia delimitado por coordenadas UTM, WGS 84. Está ubicado en la vertiente occidental del brazo occidental de los Andes Centrales en la cuenca del río Rimak. El terreno es muy accidentado, es producto de la erosión fluvial, formando fuertes pendientes a una altura de 2.800 a 4.500 m sobre el nivel del mar. El acceso desde Lima es a través de una carretera central pavimentada por kilómetros. 90 y Central Railway, la estación de Tamborake está a 120 km. del puerto del Callao. San Mateo tiene una población de 10.000 habitantes.

Al sur de la quebrada Aruri se observa la geología local, se expone toda la cadena andesítica del grupo Rimak; Estos van desde las brechas volcánicas de nivel inferior adyacentes al desfiladero de Aruri hasta los flujos andesíticos gigantes y los cúmulos volcánicos y tobas hacia las Sierras superiores. Las principales vetas del sistema pertenecen a un dominio estructural con una pendiente de 15°E. (subvertical) y parece formar un corredor tectónico con movimientos de colisión-deslizamiento entre bloques, permitiendo la aparición de otras fisuras por tensión que se extienden en dirección NE-Suroeste, dirección inferior. . En ambos casos, como resultado de eventos hidrotermales y piro termales tardíos, se produjo la mineralización polimetálica de estas fracturas abiertas junto con la formación de vetas

En cuanto al tipo de sedimentos mineralizados, se trata de las vetas polimetálicas, un relleno hidrotermal de las fracturas de tracción y corte que se cruzan entre las rocas volcánicas andesíticas del grupo Rimak. Las venas miden hasta 120 cm. de ancho, con extensiones locales de hasta 2 m y anillos tubulares. La mineralización está representada por pirita, esfalerita (marmatita) que contiene hierro, galena de plata,

calcopirita, cuarzo y arsenopirita como los minerales más importantes; algunos tetraedros también están presentes.

Para el método de excavación y relleno, la capa de sedimentos está representada por parámetros geológicos y geomecánicos: vetas (grosor promedio de 50 cm, pendiente de 80°), caja de techo común, caja de fondo y se ha determinado el método utilizando el modelo matemático de Mikołaj 1981. Aumenta la parte operativa y de relleno. El método actual es la excavación vertical en una estructura mineralizada y el ancho mínimo de trabajo es de 0,9 m. Estas ranuras se perforan vertical o diagonalmente en una malla perforada preestablecida y se inflan para luego arrojar el material dañado hacia el establo. Cabe señalar que la altura del pozo de excavación durante la operación es de 1,56 m, las ménsulas utilizadas concuerdan con los datos geo mecánicos. Durante la limpieza se colocará la rejilla, al terminar la limpieza se empezará a llenar. Esto completa el ciclo de minería, que se repetirá hasta alcanzar el nivel superior del bloque; El ciclo minero es el siguiente: perforación, voladura, limpieza, mantenimiento.

Con fines de orientar el flujo y el caudal necesario a las labores de operación se hace uso de los siguientes elementos de ventilación:

Tapones: que son construidos de concreto o con madera hermetizados con material plástico o lona.

Compuertas: que son construidos con concreto y cuentan con aberturas regulables.

Puertas de Ventilación: que son puertas construidas de material metálico de 2 hojas.

Para la instalación de los ventiladores se deben seguir las recomendaciones técnicas dadas por los fabricantes, la cual según nuestro caso para interior mina sería según el grafico siguiente:

Figura 2

Instalación de ventiladores



Fuente: Área de Operaciones.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la evaluación del sistema de ventilación subterránea para cumplir con la normativa vigente en el DS-023-2017-EM en una mina subterránea de Huarochirí en el año 2022?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar los sistemas de ventilación subterránea para cumplir con la normativa vigente en el DS-023-2017-EM, en una mina de Huarochirí, Lima en el año 2022.

1.3.2. Objetivos específicos

Estimar el requerimiento teórico de aire fresco y balance de flujo de acuerdo a la cantidad de personal y a la cantidad de equipos diésel que se viene utilizando en las operaciones de mina.

Realizar el inventario de los equipos de ventilación mecánica con los que cuenta la empresa minera, considerando su estado de funcionalidad actual.

Proponer medidas de seguridad para los ventiladores principales y recomendaciones para el circuito de ventilación.

1.2. Hipótesis

Al evaluar el sistema de ventilación subterránea para cumplir con la normativa vigente en el DS-023-2017-EM, en una mina ubicada de Huarochirí, se obtendrá como resultado que la cobertura de aire en las labores de zona alta y baja son superiores al 100% y cumplen con los rangos establecidos en la normativa de requerimiento de aire total.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada, con enfoque cuantitativo, alcance descriptivo, diseño No experimental y de corte transversal.

Según Alvarez (2020) la prueba se utiliza "cuando tiene como objetivo adquirir nuevos conocimientos para resolver problemas prácticos, en este caso se realizó una evaluación del sistema de ventilación subterránea para el cumplimiento de las normas vigentes en el D.S-023-2017 en las minas Según Martínez (2020), el enfoque es cuantitativo: "si se utiliza encuesta, se procesará el porcentaje o la cantidad". Para efectos de este estudio se realizaron cálculos para estimar la demanda teórica de aire fresco y balancear el caudal en función del número de empleados y el número de equipos diésel utilizados en las actividades mineras. De igual forma, Martínez (2020) señala que "la investigación, o no experimental, solo describe la realidad". Es decir, no se hicieron cambios a esta investigación, solo se describieron los hechos encontrados. Un estudio transversal se define como un tipo de estudio observacional que analiza datos de variables recopiladas durante un período de tiempo en una población, muestra o subconjunto predefinido, por esta razón, este estudio es un estudio transversal porque solo obtuvo datos de un hecho. Implementado, es decir, 2022.

Murillo (2008), indica que La investigación aplicada se conoce como "investigación práctica o experimental", la cual se caracteriza por la aplicación o aprovechamiento de conocimientos adquiridos, mientras que otros conocimientos se obtienen luego de la realización y sistematización de investigaciones basadas en la práctica. El uso del

conocimiento y los resultados de la investigación, que conducen a un aprendizaje práctico riguroso, organizado y sistemático.

Según Hernández, Fernández y Baptista (2012), la investigación no empírica se realiza sin manipulación intencional de variables. Esto significa que este es un estudio en el que intencionalmente no cambiamos las variables independientes. Lo que hacemos en la investigación no empírica es observar los fenómenos en su contexto natural y luego analizarlos; es cualquier estudio en el que las variables no pueden manipularse o los objetos o condiciones se especifican arbitrariamente. De hecho, no hubo condiciones o estímulos a los que los sujetos estuvieran expuestos. Los objetos se observan en su entorno natural, en su realidad.

Según Tamayo y Tamayo (2006), el tipo de investigación descriptiva incluye describir, registrar, analizar y explicar la naturaleza y composición o proceso actual de un fenómeno; el énfasis está en la conclusión dominante o cómo una persona, grupo o cosa está operando en el presente; Los estudios descriptivos de la realidad se caracterizan principalmente por darnos una interpretación precisa.

2.2. Población y muestra

Población

La población para el trabajo de investigación está constituida por los sistemas de ventilación de todos los niveles de la mina subterránea ubicada en Huarochirí, Lima.

Muestra

La muestra del proyecto de investigación está conformada por los ingresos de aire fresco principales en la bocamina del Nv 821, bocamina del nivel 710, y la bocamina del nivel 140.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Recopilación de la información documental

Las técnicas utilizadas fueron el análisis documental y la observación directa.

A través del análisis de documentos, información bibliográfica, información de revistas, folletos e información virtual a través de Internet, se recopila información sobre los sistemas de ventilación de minería subterránea y la normativa sobre requerimiento de aire.

Los mapas de campo se utilizan para la observación directa, que registra la altura de la mina, la cantidad de aire que ingresa a la excavación, la temperatura del aire en la excavación, la cantidad de trabajadores, el equipo de excavación, etc.

Los instrumentos de recolección de datos se localizan en el anexo 1 y fueron los siguientes:

Instrumento 1: Ficha del Cálculo de Requerimiento de Aire para Personal (Qtr).

Instrumento 2: Ficha de Cálculo de Requerimiento de Aire para Equipos con Motor Petrolero

(Qeq)

Instrumento 3: Cálculo de Requerimiento de Aire por consumo de explosivo (Qex).

Instrumento 4: Resumen requerimiento total de caudal de aire zona alta.

Instrumento 5: Balance de aire zona alta.

Instrumento 6: Resumen requerimiento total de caudal de aire zona baja 140.

Instrumento 7: Balance de aire zona baja 140.

Instrumento 8: Inventario de equipos de ventilación (Ventiladores)

Cuando se utilicen equipos con motor a petróleo, la demanda de aire en el interior de la mina deberá calcularse de acuerdo con el punto (d) del artículo. 252 del reglamento, teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

Ecuación 1: *Requerimiento de aire total zona alta*

$$Q_{to} = Q_{tl} + Q_{fu}$$

Donde:

Q_{to} = Caudal total para la operación.

Q_{tl} = Sumatoria de caudal requerido por:

- A) Número de trabajadores (**Q_{tr}**),
- B) Consumo de madera (**Q_{ma}**),
- C) Temperatura en labores de trabajo (**Q_{te}**) y
- D) Equipos con motor petrolero (**Q_{eq}**)

Q_{fu} = 15% del **Q_{tl}**

Ecuación 2: *Caudal requerido por el número de trabajadores - (**Q_{tr}**)*

$$Q_{tr} = F \times N$$

Donde:

Q_{tr} = Caudal total para "n" trabajadores (m³/min);

F = Caudal mínimo por persona de acuerdo a escala establecida en el artículo 247 del reglamento;

N = Número de trabajadores de la guardia más numerosa.

A. Art. 247 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional DS 023-2017 EM.

En los lugares de trabajo de las minas ubicadas hasta 1,500 metros sobre el nivel del mar, la cantidad mínima de aire necesaria por hombre será de tres (03) metros cúbicos por minuto.

En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo con la siguiente escala:

* De 1,500 a 3,000 metros aumentará en 40%; será igual a 4m³/min.

* De 3,000 a 4,000 metros aumentará en 70%; será igual a 5m³/min.

* Sobre los 4,000 metros aumentará en 100%; será igual a 6m³/min.

B. Caudal requerido por el consumo de madera (Qma)

Ecuación 3: *Caudal requerido por consumo de madera*

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

Donde:

Q_{Ma} = Caudal requerido por toneladas de producción (m³/min)

u = Factor de producción, de acuerdo a escala establecida en el segundo párrafo del literal d) del artículo 252 del reglamento;

T = Producción en toneladas métricas húmedas por guardia.

Artículo 252 DS 023-2017 EM. - d) La demanda de aire en la mina debe ser igual a la cantidad de aire que necesitan los trabajadores para mantener una temperatura agradable en el lugar de trabajo y operar equipos petroleros. Si no se utilizan equipos a gasolina durante la operación, el aire requerido para diluir el gas explosivo se considerará de acuerdo con el ANEXO 38. Madera utilizada en la mina para trabajos de mantenimiento ej. Las emisiones de CO₂ y CH₄ deben tenerse en cuenta al calcular la cantidad de aire requerida en la mina.

Este factor se determina proporcional a la producción. En el cálculo debe utilizarse la siguiente escala: - Si el consumo de madera está entre el 20% y el 40% de la producción total, el factor de producción debe ser de 0,60 m³/min. - Si el consumo de madera es del 41% al 70% de la producción total, el factor de producción debe ser de 1,00 m³/min. - Si la cantidad de madera consumida supera el 70% de la producción total, el coeficiente de producción es de 1,25 m³/min. Para mantener una temperatura agradable

En el lugar de trabajo, se debe tener en cuenta una velocidad mínima de 30 m/min para el cálculo de la demanda de aire cuando la temperatura se encuentre entre 24°C y un máximo de 29°C.

Figura 3:

Factor de producción de acuerdo al consumo de madera

CONSUMO DE MADERA (%)	FACTOR DE PRODUCCIÓN (m ³ /min)
< 20	0.00
20 a 40	0.60
41 a 70	1.00
> 70	1.25

Fuente: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional DS 023-2017 EM.

C. Caudal Requerido Por Temperatura En Las Labores De Trabajo (Qte)

Ecuación 4: *Caudal requerido por temperatura*

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

Donde:

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

V_m = Velocidad mínima;

A = Área de la labor promedio;

N = Número de niveles con temperatura mayor a $23^\circ C$, de acuerdo a escala establecida en el tercer párrafo del literal d) del artículo 252 del reglamento.

Artículo 252, del Decreto Supremo DS 023-2017 EM. - d) Para mantener una temperatura confortable en el lugar de trabajo, se debe tener en cuenta una velocidad mínima de 30 m/min al calcular la demanda de aire cuando la temperatura está entre $24^\circ C$ y $29^\circ C$ como máximo.

Figura 4:

Velocidad mínima del requerimiento de aire

TEMPERATURA SECA ($^\circ C$)	VELOCIDAD MÍNIMA (m/min)
< 24	0.00
24 a 29	30.00

Fuente: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional DS 023-2017 EM.

D. Caudal Requerido por Equipo con Motor Petrolero (Q_{eq}).

Ecuación 5: *Caudal Requerido por Equipo con Motor Petrolero*

$$Q_{eq} = 3 \times HP \times D_m \times F_u$$

Donde:

Q_{eq} = Volumen de aire necesario para la ventilación (m^3/min);

HP = Capacidad efectiva de potencia (HPs);

D_m = Disponibilidad mecánica promedio de los equipos (%);

F_u = Factor de utilización promedio de los equipos (%).

* Cuando se utilizan equipos con motor diésel, el caudal de aire circulante mínimo es de 03 m³/min por cada HP generada por el equipo. Para la mina utilizaremos equipos livianos y pesados empleados en las distintas actividades operacionales de supervisión, abastecimiento de materiales varios, limpieza, transporte, perforación y disparo.

E. Caudal requerido por consumo de explosivos (Q_{ex}).

Si la operación no utiliza equipos a gasolina, se deben calcular y contabilizar los requerimientos de aire debido al uso de explosivos.

Ecuación 6: *Caudal requerido por consumo de explosivos*

$$Q_{ex} = A \times V \times N$$

Donde:

Q_{exp} = Caudal requerido por consumo de explosivos (m³/min)

A = Promedio de área de la labor

V = Velocidad de aire

N = N° de niveles de operación

En ningún caso la velocidad aérea debe ser inferior a veinte metros por minuto (20 m/min) y no superior a 250 m/min durante las actividades operativas, incluido el desarrollo y la

preparación, el uso de Anfo y otros explosivos, la velocidad aérea mínima no será inferior a veinticinco metros por minuto (25 m/min); Según Artículo 248 del DS 023-2017 EM.

2.3.2. Análisis de datos

Para el análisis de datos se utiliza el programa Excel, donde se sistematiza la información referente al N° de personal, altitud, producción, N° de equipos, disponibilidad, etc. Además de realizar los inventarios de los ventiladores, tomando en cuenta su operatividad. Finalmente, se utilizó estadística descriptiva, visualizando los datos mediante gráficos y tablas estadísticas.

2.4.Procedimiento

2.4.1. Primera etapa: Etapa de Gabinete o Precampo

Inicialmente se realizó una revisión inicial de las investigaciones existentes sobre el tema, en los diversos ámbitos, tanto locales, nacionales e internacionales, en los cuales se utilizaron repositorios virtuales, El contenido presenta información que es de suma importancia para poder captar y mejorar los objetivos que se han alcanzado en este estudio.

2.4.2. Segunda etapa: Etapa de campo

La información se recopiló a través de una visita a la Mina Huarochirí, donde se obtuvieron datos de observación en vivo de conteos de abanicos, tanto primarios como secundarios, así como información sobre ductos de aire rígidos y ductos flexibles. Luego se monitorea el sistema de ventilación, midiendo la velocidad del aire, el número de personas que trabajan, la temperatura del aire circulante, la tasa de flujo requerida para el equipo accionado por aceite y la cantidad de equipo en la carga. y desgaste Estas mediciones se realizaron tanto

para la parte superior como para la inferior de la mina subterránea Huarochirí. Al mismo tiempo, determine el estado actual del sistema de ventilación existente.

2.4.3. Tercera etapa: Procesamiento de datos

La data de los levantamientos de cada estación de ventilación por niveles, se registró en Excel y se elaboró la base de datos con los cálculos de caudales de ingreso y salida de aire. El resumen de los cálculos de caudales, conforme a las proyecciones de velocidades, temperatura e instalación de ventiladores en las zonas de operación del plan de minado, zona alta y baja. De igual forma haciendo uso del mismo programa se realizó el registro de ventiladores tomando en cuenta como criterio principal su rango de operatividad.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Requerimiento teórico de aire fresco y balance de flujo de acuerdo a la cantidad de personal y equipos diésel que se viene utilizando en las operaciones de mina

Los resultados corresponden al cálculo de la demanda teórica de aire fresco y el balance de consumo según el número de personal y equipos de combustión utilizados en la minería, aplicando las fórmulas descritas en el Capítulo II, que se presenta a continuación.

3.1.1. Requerimiento de aire total zona alta

Los cálculos de requerimiento de aire en las operaciones mina han sido trabajados tomando en cuenta 2 zonas dentro del proyecto minero: zona alta (Nv 821 y Nv 710) y baja (Nv 140), dado que el personal y cantidad de los equipos varían para cada zona.

3.1.1.1. Requerimiento de aire para personal

Para el análisis de aire requerido se consideran los siguientes datos:

- Altura de la Mina: 3,900 m.s.n.m.
- Cantidad de aire: 5.1 m³/min. por persona (Art. 247 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional DS 023-2017 EM)
- N° de personas: 109 por guardia.

Tabla 1

Cálculo de Requerimiento de Aire para Personal (Qtr)

N°	Descripción	N° Personal	Altitud		CFM
			M ³ /min.	M3/min.	
1	Mina CIA (Planeamiento, geología, mina)	28	5.1	142.8	5,043
2	Mina ECM (Operaciones, Serv. mina, seguridad, manto)	69	5.1	351.9	12,427
TOTAL (Qtr)		97		494.7	17,470

Fuente: Área de planeamiento mina.

3.1.1.2. Requerimiento de aire para equipos

A continuación, se muestra los resultados de los cálculos de requerimiento de aire para los equipos y adicionalmente a estos se ha considerado los requerimientos de aire por consumo de madera (Qma), por temperatura en las labores de trabajo (Qte), por fugas (Qfu) y por consumo de explosivos (Qex).

A. Caudal Requerido por Equipo con Motor Petrolero (Qeq)

Cuando se utilizan equipos diésel, la circulación de aire mínima es de 03 m³/min por cada caballo de fuerza desarrollado por el equipo, para la mina utilizaremos equipos livianos y pesados empleados en las distintas actividades operacionales de supervisión, abastecimiento de materiales varios, limpieza, transporte, perforación y disparo.

Tabla 2

Cálculo de Requerimiento de Aire para Equipos con Motor Petrolero (Qeq)

Equipos	Nº de Equipos	M ³ /min. x HP	HP x Equipo	Disp. - Factor Utilización Eq	M ³ /min. x Equipo	CFM x Equipo	
Scoop Yd3.	1.5	0	3	77	0.85	0	0
Scoop Yd3	2.2	0	3	117	0.85	0	0
Scoop Yd3	2.2	0	3	140	0.50	0	0
Scoop Yd3	2.5	4	3	117	0.85	1,193	42,145
Dumper	2	3	193	0.85	984	34,760	
Camioneta 4 x 4	4	3	110	0.25	330	11,654	
TOTAL (Qeq)	7				2,508	88,559	

Fuente: Área de planeamiento mina.

B. Caudal Requerido Por Temperatura En Las Labores De Trabajo (Qte)

Artículo 252 DS 023-2017 EM: -d) Para mantener una temperatura confortable en el lugar de trabajo, se debe tener en cuenta una velocidad mínima de 30 m/min al calcular la demanda de aire cuando la temperatura está entre 24 °C y 29 °C como máximo.

La temperatura para el nivel 140 (zona IV) está en 24°C, en el resto de los niveles superiores (zona I, II, III) están entre 14 y 23 °C.

Área de la labor NV 140, galería de $2.7 \times 2.7 \times 0.90 = 6.5 \text{ m}^2$.

El cálculo para el caudal requerido por temperatura para la mina, se divide en 2, zona alta (I, II, III) y zona baja (IV).

Por lo tanto, se obtiene como resultado lo siguiente:

$$Q_{te} = 30 \times 6.5 \times 1$$

$$Q_{te} = 1950 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{te} = 6,886 \text{ CFM}$$

C. Caudal requerido por el consumo de madera (Q_{ma})

Madera utilizada en la mina para trabajos de mantenimiento ej. Las emisiones de CO₂ y CH₄ deben tenerse en cuenta al calcular la cantidad de aire requerida en la mina. Este factor se determina proporcional a la producción. En el cálculo debe utilizarse la siguiente escala: - Si el consumo de madera está entre el 20% y el 40% de la producción total, el factor de producción debe ser de 0,60 m³/min. - Si el consumo de madera es del 41% al 70% de la producción total, el factor de producción debe ser de 1,00 m³/min. - Si la cantidad de madera consumida supera el 70% de la producción total, el coeficiente de producción es de 1,25 m³/min. Para mantener una temperatura confortable en el lugar de trabajo, se debe tener en cuenta una velocidad mínima de 30 m/min al

calcular la demanda de aire cuando la temperatura está entre 24 °C y 29 °C como máximo.

Producción en toneladas métricas húmedas máxima por guardia=275 tn/g día.

Consumo máximo de madera 2tn/g día (120tn madera x mes cuando la producción es 550tn/día), entonces $2/275 = 0.7\%$, consumo madera <20%

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

$$Q_{ma} = 275 \times 0$$

$$Q_{ma} = 0$$

D. Caudal requerido por fugas (Q_{fu})

$$Q_{fu} = 15\% \times Q_{t1} \text{ (cfm)}$$

$$Q_{fu} = 15\% \times (17,470 + 0 + 0 + 88,559)$$

$$Q_{fu} = 15,904 \text{ cfm.}$$

E. Caudal requerido por consumo de explosivos (Q_{ex})

Si la operación no utiliza equipos a petróleo, se deben calcular y contabilizar los requerimientos de aire debido al uso de explosivos.

Tabla 3

Cálculo de Requerimiento de Aire por consumo de explosivo (Q_{ex})

Labores	Sección		Área m ²
	Ancho m	Alto m	
Rampa Principal	3	3	8.0
Inclinados de ventilación	0.90	1.80	2.0
Chimeneas entre Niveles	2.0	2.0	3.6
Tajeos	0.90	1.80	9.4
Galería principal	2.70	2.70	6.5
Promedio de Área			5.9

Fuente: Área de planeamiento mina.

Nº de Niveles de Operación: N= 3

En ningún caso la velocidad del aire debe ser inferior a veinte metros por minuto (20 m/min) y superior a 250 m/min durante el mantenimiento, incluido el desarrollo y preparación, con Anfo y otros explosivos. Menos de veinticinco metros por minuto (25 m/min); Según Artículo 248 del DS 023-2017 EM.

Se hizo el siguiente cálculo para cubrir nuestro requerimiento de aire.

$V=25$ (m/min.) :

$Q_{ex} = A \times V \times N$ (m³/min)

$Q_{ex} = 5.9 \times 25 \times 3$

Q_{ex} (m³/min) =443

Q_{ex} (cfm) =15,627

Se compiló los datos calculados del requerimiento de caudales en la zona alta, los cuales se presentan en las siguientes tablas resumen:

Tabla 4

Resumen requerimiento total de caudal de aire zona alta

Requerimiento de Caudal de Aire	m3/min	CFM
QTr: Personas (97 trabajadores / guardia)	495	17,470
QEq: Equipos Diésel	2,508	88,559
Qte: Temperatura (<24° C, Niveles zona alta, prom. 14-23°C)	0	0
QMa: Madera (<20% prod/guardia, Mad:2 Tn/g, Prod: 275 Tn/g)	0	0
Qfu: Fugas (15%)	450	15,904
Qex: Dilución explosivos	443	15,627
Caudal Requerido: QTr+QEq+Qte+Qma+Qfu	3,453	121,933

Fuente: Área de planeamiento mina.

Tabla 5

Balance de aire zona alta

Caudal de Aire	m3/min	CFM
Total de aire requerido	3,453	121,933
Ingreso de aire a mina	3,868	136,610
Salida de aire	3,857	136,219
COBERTURA %	112.02%	

Fuente: Área de planeamiento mina.

Nota: En la zona alta, las mediciones del actual sistema de ventilación del caudal de ingreso de aire es de 136,610 cfm y la salida es de 136,219 cfm; de modo que la diferencia entre el caudal de aire de ingreso y salida es de 391 cfm. La cobertura de aire total en esta zona es del 112.02 %, es decir $(3,868/3,453 \cdot 100)$.

3.1.2. Requerimiento de aire total zona baja

De igual forma se realizó el cálculo de requerimiento de aire y balances de flujo de la zona baja Nv 140, a continuación, se muestra el resumen:

$Q_{to} = Q_{t1} + Q_{fu}$ donde:

Q_{to} = Caudal total para la operación.

Q_{t1} = Sumatoria de caudal requerido por:

Número de trabajadores (Q_{tr})

Consumo de madera (Q_{ma})

Temperatura en labores de trabajo (Q_{te}) y

Equipos con motor petrolero (Q_{eq})

Q_{fu} = 15% del Q_{t1}

Tabla 6

Resumen requerimiento total de caudal de aire zona baja 140

Requerimiento de Caudal de Aire	m ³ /min	CFM
QT: Personas (63 trabajadores / guardia)	321	11,347
QEq: Equipos Diesel	1,387	48,989
QTe: Temperatura (<24° C, Niveles zona alta, prom 14-28°C)	195	6,886
QMa: Madera (<20% prod/guardia, Mad:2 Tn/g, Prod: 58 Tn/g)	0	0
Qfu: Fugas (15%)	286	10,083
Qex: Dilución explosivos	163	5,739
Caudal Requerido: $Q_{Tr} + Q_{Eq} + Q_{Te} + Q_{Ma} + Q_{Fu}$	2,189	77,305

Fuente: Área de planeamiento mina.

Tabla 7

Balance de aire zona baja 140

Caudal de Aire	m³/min	CFM
Total de aire requerido	2,189	77,305
Ingreso de aire a mina	2,275	80,335
Salida de aire	2,270	80,179
COBERTURA %	103.92%	

Fuente: Área de planeamiento mina.

Nota: En la zona inferior, el sistema de ventilación actual mide el aire de entrada en 80.335 cfm y el aire de salida en 80.179 cfm, por lo que la diferencia entre entrada y salida es de 156 cfm. La cobertura de aire total en esta zona es del 103.92 %, es decir $(2,275/2,189 * 100)$.

3.2. Inventario de los equipos de ventilación mecánica con los que cuenta la empresa minera, considerando su estado de funcionalidad actual

El sistema de ventilación de la Mina es mecánico sujeta a la operación de ventiladores principales, secundarios y auxiliares, instalados en modo impelente, extractores y boosters.

La unidad cuenta con ventiladores axiales mineros de diferentes capacidades, actualmente se tiene 19 ventiladores de los cuales 09 operativos (4 extractores princp,5 impelentes),07 inoperativos (1 extractor princ,6 impelentes) y 3 dados de baja. Para el reinicio de operaciones se repararán 07 ventiladores.

Tabla 8:

Inventario de equipos de ventilación (Ventiladores)

CÓDIGO	EQUIPO	MARCA	POTENCIA (HP)	CAUDAL (CFM)	CONDICIÓN
VE01	V. Eléctrico	AIRTEC	40 HP	30,000 CFM	Inoperativo
VE02	V. Eléctrico	AIRTEC	25 HP	15,000 CFM	Operativo
VE03	V. Eléctrico	AIRTEC - IETAPA	50 HP	30,000 CFM	Operativo
VE04	V. Eléctrico	AIRTEC - IETAPA	25 HP	15,000 CFM	Inoperativo
VE05	V. Eléctrico	AIRTEC	20 HP	10,000 CFM	Inoperativo
VE06	V. Eléctrico	AIRTEC - IETAPA	50 HP	30,000 CFM	Operativo
VE07	V. Eléctrico	AIRTEC	40 HP	20,000 CFM	Inoperativo
VE08	V. Eléctrico	AIRTEC	20 HP	10,000 CFM	Operativo
VE09	V. Eléctrico	AIRTEC - IETAPA	23 HP	10,000 CFM	Operativo
VE10	V. Eléctrico	AIRTEC	25 HP	15,000 CFM	Inoperativo
VE11	V. Eléctrico	AIRTEC - IETAPA	28 HP	10,000 CFM	Inoperativo
VE12	V. Eléctrico	AIRTEC	20 HP	10,000 CFM	Inoperativo
VE13	V. Eléctrico	AIRTEC	20 HP	10,000 CFM	Inoperativo
VE14	V. Eléctrico	AIRTEC - IETAPA	20 HP	10,000 CFM	Operativo
VE15	V. Eléctrico	IVENSAC	175 HP	100,000 CFM	Inoperativo

VE16	V. Eléctrico	IVENSAC	40 HP	20,000 CFM	Inoperativo
VE17	V. Eléctrico	IVENSAC	75 HP	30,000 CFM	Operativo
VE18	V. Eléctrico	IVENSAC	75 HP	30,000 CFM	Operativo
VE19	V. Eléctrico	IVENSAC	60 HP	30,000 CFM	Operativo

Fuente: Área de planeamiento mina.

3.3. Medidas de seguridad para los ventiladores principales y recomendaciones para el circuito de ventilación

3.3.1. Ingreso de Aire fresco

El suministro de aire fresco circula por las entradas principales de la mina y algunas chimeneas antiguas, las cuales son bombeadas y conducidas por ventiladores a las principales labores operativas de la mina. Los principales ingresos del transporte de aire son:

- **Boca Mina Del Nivel 3821**, Por aquí ingresa un caudal promedio de 101,502 cfm. En este nivel hay circulación de personal y equipos. Su sección promedio es de 13,01 m². No se supera la velocidad límite de 250 m/minuto.
- **Nivel 3550-Op140**, Por aquí ingresa un caudal promedio de 23,380 cfm. En este nivel hay circulación de personal y locomotoras, considerado como uno de los niveles de extracción principal de mineral, sección promedio de 5,30 m². El aire que ingresa circula por la GA 550, ingresando una parte de este aire por la CH OP150, OP1000, después serán evacuados como aire viciado.

- **Nivel 3710**, Por aquí ingresa un caudal promedio de 2,879 cfm, parte de este nivel es labor antigua y no hay circulación de personal y equipos, sección promedio de 2,76 m². En el segundo tramo del nivel 710(a partir 1km) intersección con la Rpa 476, el aire que ingresa del nivel 710 y niveles inferiores antiguos es captado por un ventilador y direccionado hacia la rampa (-) 680.
- **Nivel 3640**, Por aquí ingresa un caudal promedio de 8,849 cfm. En este nivel no hay circulación de personal ni de equipos. Su sección promedio es de 13,77 m².
- **Bocamina Nivel 140**, Bocamina principal donde se ubica la línea Trolley, se cuenta con 2 locomotoras para la extracción de mineral y desmonte. Por aquí ingresa un promedio de 23,845 cfm, sección promedio de 8.07 m². El aire que ingresa por esta bocamina circula por el cx558, GA 012, ingresando una parte de este aire a la Rampa 586 bajando por la CH 020 impulsado por ventiladores en los niveles inferiores para poder ventilar los niveles (-)090 y (-)040.

3.3.2. Salida de Aire viciado

La remoción de aire contaminado se realiza por medio de un extractor a superficie, los ventiladores se encuentran instalados en los niveles 871 y 920. Para cada uno de ellos se considera el siguiente esquema:

Nivel 871, En este nivel está instalado un ventilador extractor de 100,000 cfm. Este ventilador extrae el aire viciado por las comunicaciones que tiene con la chimenea

OP 1000 en los niveles 930, 871, 821, 765, 710,550, incluidos 441-443. Todo este aire sale directamente a superficie por las labores de la Salida SUR.

Nivel 920, En este nivel está instalado un ventilador extractor de 30,000 cfm. Este ventilador extrae el aire viciado por las comunicaciones que tiene con la chimenea OP 150 en los niveles 930, 871, 821, 765,710 y 550. Adicionalmente Extrae aire viciado por la galería 920,871 la cual está conectada a la Rampa Principal 515. Todo este aire sale directamente a superficie por las labores de la Salida Norte.

Nivel 550, En este nivel no se tiene ventiladores, tiene tiro natural de ingreso y salida de aire de 2,722 cfm , sección promedio de la labor 3.22 m².

Nivel 635, En este nivel no se tiene ventiladores, el flujo de salida es de 6,166 cfm, la sección promedio es de 3.96 m².

CH 440, Como proyecto se tiene la ejecución de esta chimenea hacia superficie ubicada en el nivel 3871, sección de 2.5 x 2.5 m. El ventilador de 100,000 cfm será reubicado cuando conecte la chimenea a la superficie.

3.3.3. Control de contaminantes

Evitar que las tolvas del nivel 3140 y niveles superiores queden vacías, solo así podrá controlarse el retorno hacia las labores del aire contaminado por efecto pistón en la descarga del mineral.

Al diseñarse obras de infraestructura (Talleres interior mina, Comedores, Polvorines, etc.) tener en cuenta los ingresos y salidas de aire.

Realizar permanente monitoreo de los gases de los equipos pesados y livianos (Limitar su ingreso con autorizaciones y establecer un máximo de dos moviidades simultaneas en interior mina).

Realizar monitoreo de gases producto de combustión diésel y voladura.

Sellar con muros y/ tabiques los accesos a labores antiguas que no se utilicen para evacuación de aire viciado.

3.3.4. Medidas de seguridad en los ventiladores principales

Los ventiladores principales deben contar con dos circuitos independientes de abastecimiento de energía, dos instalaciones para arranque de ventilador principal una cercana al ventilador y otra cerca al área de mayor trabajo, ambas con tarjetas y candados de seguridad.

En el nivel 871, by pass (30m) del ventilador principal instalar dos puertas metálicas, la distancia entre puertas será 1.5 veces la longitud del equipo más largo que transitará por este by pass, instalar puerta de malla 30 metros antes del ventilador.

Instalar elementos de Señalización, letreros de advertencia, peligro, esta señalización estará ubicada en un área cercana y visible al ventilador.

Capacitar al personal para el manejo del ventilador principal (Lock out, Tag out), arranque y apagado (personal serv. mina, manto, Operaciones).

3.3.5. Recomendaciones para el circuito de ventilación

Reactivar el ventilador principal de 100,000 cfm incluido sus dispositivos de seguridad, ubicada en el Nv. 871, 20 metros antes del límite de la concesión de San Nonato. Con la finalidad de operar con una cobertura de aire del 100%.

Reactivar el ventilador de 30,000 cfm en la galería-chimenea del nivel 3920, como extractor de aire viciado, para apoyar la evacuación de aire viciado de la rampa del nivel 3710, 3821 y niveles inferiores.

La simulación en el VENTSIM indica que el ventilador de 100,000 cfm tendrá en principio un caudal superior a los 100,000 cfm (Hasta 125,000 cfm) debido a la baja resistencia del circuito y conforme se profundice las labores mineras y el minado su capacidad será hasta de un 85-87 % de su capacidad nominal, continuar con las simulaciones para los circuitos de ventilación de las zonas nuevas.

Es necesario indicar que las labores mineras e inclinadas principales de los niveles superiores 871, 821, 765, 710 deben ser conservados en buen estado para ser utilizados como salida de aire viciado de los niveles inferiores.

Reponiendo la ventilación principal en el Nv. 3871(ventilador 100 k cfm) y en el Nv. 3920 (ventilador 30 k cfm) el balance de aire superara el 100 %; quedaría pendiente ejecutar los trabajos de encausamientos y/o reinstalación adecuada de ventiladores auxiliares en los frentes de avance.

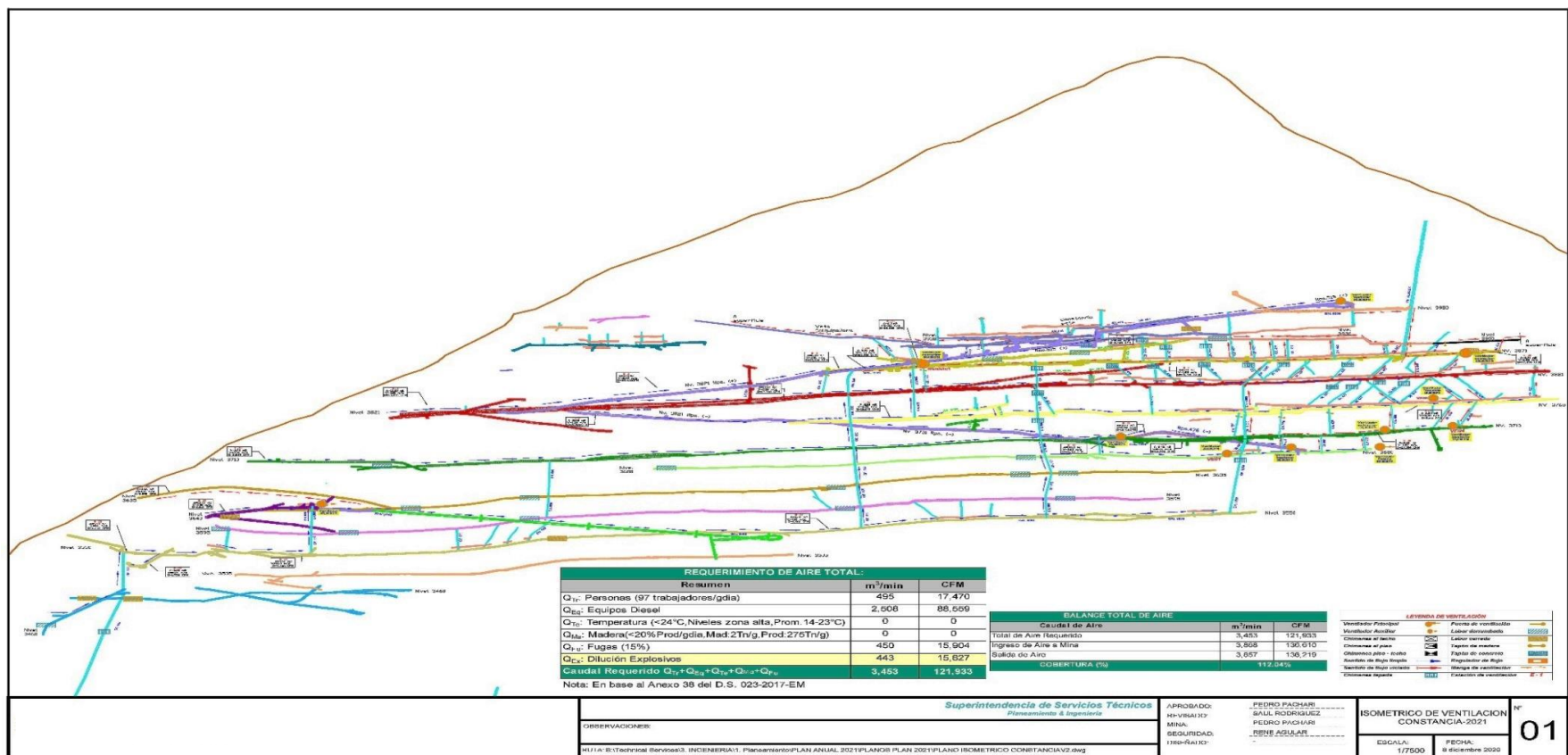
Realizar mantenimiento y limpieza (rehabilitación) del nivel 3550, a fin de garantizar el flujo de aire hacia los niveles inferiores.

Se debe evitar en lo posible la construcción de puertas en circuitos principales, labores de acceso de equipos. Las puertas, reguladores etc. son convenientes instalarlos cuando termine o paralicen sus trabajos en estas labores.

Estandarizar y Señalizar las estaciones de medición de los flujos de ventilación.

Figura 5

Plano isométrico de ventilación



Fuente: Área de planeamiento

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Durante la investigación, con base en los resultados en las tabla 5 y tabla 7, en las dos zonas de la mina subterránea, tanto la zona alta como la zona baja, los requerimientos de aire total superan el requerimiento de aire total, en tal sentido se acepta la hipótesis planteada: Al evaluar los sistemas de ventilación subterránea para cumplir con la normativa vigente en el DS-023-2017-EM, en una mina ubicada de Huarochirí, se obtendrá como resultado que la cobertura de aire en las labores de zona alta y baja son superiores al 100% y cumplen con los rangos establecidos en la normativa de requerimiento de aire total.

Los cálculos de requerimiento de aire en las operaciones mina han sido trabajados tomando en cuenta 2 zonas dentro de la mina: zona alta (Nv 821 y Nv 710) y baja (Nv 140), dado que el personal y cantidad de los equipos varían para cada zona. En la zona alta, mediciones actuales del sistema de ventilación de admisión de 136,610 cfm y emisiones de escape de 136,219 cfm; Así, la diferencia entre el caudal de aire de admisión y de escape es de 391 CC pies por minuto. La cobertura aérea total en esta zona es del 112,02%. En la zona inferior, el sistema de ventilación actual mide el aire de entrada en 80.335 cfm y el aire de salida en 80.179 cfm, por lo que la diferencia entre entrada y salida es de 156 cfm. La cobertura aérea total en esta zona es del 103,92%.

Estos resultados nos permiten confirmar lo mostrado por Durand (2018) en su investigación titulado “Mejora de la ventilación en minas subterráneas – Mina Colquijirca de la CIA. De minas Buenaventura S.A.A., el principal objetivo es lograr un buen desempeño de los equipos de minería subterránea y operar con buena ventilación en la mina Colquijirca.

Concluyendo que la mina tiene una cobertura de aire del 66,43%, lo que significa que se debe aumentar la cantidad de aire suministrado al campo en 6.617,54 m³/min (233.695,78 ft³/min) para una cobertura del 100% para evitar problemas de ventilación. . La ventilación en las excavaciones es difícil debido a la falta de sistemas especializados para eliminar el aire contaminado, lo que lleva a la acumulación de humos y gases con concentraciones que superan el MPC en algunos casos. Los ventiladores auxiliares instalados en serie para ventilar los distintos fosos de trabajo están mal instalados, recirculan el aire, suprimen el humo generado por los equipos diesel y ralentizan el proceso de remoción de humo.

Se realizó un inventario de los equipos de ventilación, la unidad cuenta con ventiladores axiales mineros de diferentes capacidades, actualmente se tiene 19 ventiladores de los cuales 09 operativos (4 extractores princp, 5 impelentes),07 inoperativos (1 extractor principal, 6 impelentes) y 3 dados de baja. Para el reinicio de operaciones se repararán 07 ventiladores. Además, se implementaron medidas de seguridad en los ventiladores principales, siendo las de mayor importancia las siguientes: los ventiladores principales deben contar con dos circuitos independientes de abastecimiento de energía, dos instalaciones para arranque de ventilador principal una cercana al ventilador y otra cerca al área de mayor trabajo, ambas con tarjetas y candados de seguridad; instalar elementos de Señalización, letreros de advertencia, peligro, esta señalización estará ubicada en un área cercana y visible al ventilador; por último capacitar al personal para el manejo del ventilador principal (Lock out, Tag out), arranque y apagado (personal serv. mina, Manto, Operaciones).

Estos últimos resultados nos evidencian de forma clara la importancia de tener distribuidos de forma adecuada los ventiladores y bien definidos los circuitos de entrada y salida de aire

viciado, ya que de ellos dependerá la eficiencia del sistema y la seguridad de los trabajadores incluyendo las operaciones dentro de las labores mineras. Estos resultados nos permiten apoyar lo indicado por Córdova et al. (2011), En su estudio titulado “Características de los Sistemas de Ventilación en Minería Subterránea”, concluyó que la ventilación es de fundamental importancia en todas las minas subterráneas, ya que asegura las condiciones mínimas de confort para todos los trabajadores. Para ello, es necesario conocer las características del circuito de ventilación, es decir, los caudales requeridos, los requisitos del nuevo programa, las dimensiones de las operaciones verticales y horizontales por las que circula el flujo y, por tanto, la posibilidad de calcular la resistencia. de la mina Asimismo, es necesario determinar la demanda de aire a partir del número de empleados en la mina para la dilución de gas tanto de minado como de voladura. También es necesario tener la adecuada sección transversal de trabajo, así como la adecuada disposición de puertas y cortinas de ventilación, necesarias para una buena circulación de aire fresco. Con toda esta información, se tomará la decisión correcta simulando la circuito de ventilación mediante un software de ventilación.

4.2 Conclusiones

Evaluación del sistema de ventilación subterránea en la mina en Huarochirí de Lima en el año 2022 y de los resultados obtenidos en la investigación se tiene que la cobertura de aire en las labores de zona alta y baja son superiores al 100% y cumplen con los rangos

establecidos en la normativa de requerimiento de aire total, con estos resultados se concluye que la mina cumple con la normativa vigente en el DS-023-2017-EM

Se estima el requerimiento teórico de aire fresco y el balance de flujo a partir del número de empleados y el número de equipos diesel utilizados en la operación, y se encuentra que la zona alta tiene una demanda total de aire de 121,933 metros cúbicos por segundo con una cobertura de 112.04 %, y en la región inferior el requerimiento total de aire es de 77,305 CFM con 103.92% de cobertura.

Se realizó el inventario del equipamiento de ventilación mecánica con los que cuenta la empresa minera considerando su funcionalidad actual, la unidad cuenta con ventiladores axiales mineros de diferentes capacidades, concluyéndose que, actualmente se tiene 19 ventiladores de los cuales 09 operativos (4 extractores princ,5 impelentes),07 inoperativos (1 extractor princ,6 impelentes) y 3 dados de baja. Para el reinicio de operaciones se repararán 07 ventiladores.

Se propone medidas de seguridad para los ventiladores principales y recomendaciones para el circuito de ventilación. Siendo las principales la instalación de dos puertas metálicas, la distancia entre puertas será 1.5 veces la longitud del equipo más largo que transitara por este by pass, instalar puerta de malla 30 metros antes del ventilador, en el nivel 871, by pass(30m) del ventilador principal; y la instalación de elementos de Señalización, letreros de advertencia, peligro, esta señalización estará ubicada en un área cercana y visible al ventilador.

Referencias

- Carabajo Naula, C. S. (2012). *“Diseño del circuito de ventilación de la zona norte de la mina Cabo de Hornos, ubicada en el distrito de Aurífero-Polimetálico Portovelo – Zaruma”*. Universidad Central del Ecuador, Ecuador.
- Carlos J. (2014). *“Ventilación”*. Universidad de las Américas. Carrera de Ing. de Minas. Lima, Perú.
- Carrascal, A. & Manzur, C. (2014). *“Evaluación y propuesta del mejoramiento de la ventilación para la mina el Maracaibo”*. (tesis pre grado). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Colombia.
- Castillo, D. (2017). *“Evaluación del Sistema de ventilación de la mina El Roble”*. (tesis pre grado). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Colombia.
- Cisternas Yañez, R. (2010). *“Distribución de aire – Ventilación minería subterránea”*. Chile.
- Córdova, C. & Molina, J. (2011). *“Caracterización del sistema de ventilación en minería Subterránea”*. Facultad de Ingeniería de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Duran, J. (2018). *“Mejoramiento de la ventilación en la mina subterránea. Mina Colquijirca, Cía de Minas Buenaventura S.A.A”*. (tesis pre grado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Pasco, Perú.

- 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. 255 p.
- Mamani Condori, R. (2019). *“Estudio y diseño del sistema de ventilación de las zonas Yurika y Pablo, Hochschild mining - Unidad Operativa Pallancata”*. Tesis pre grado, Universidad Nacional San Antonio de Abad. Cuzco, Perú.
- Raico, A. (2013). *“Evaluación y optimización del sistema de ventilación del túnel de exploración Chaquicoccha nivel 3750 – Minera Yanacocha, 2018”*. (Tesis pre grado). Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.
- Sutty, J. A. (2016). *“Influencia de la ventilación mecánica, en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 Mina Urano SAC. Puno”*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Vargas, E. (2015). *“Ventilación de minas”*. Sernageomin Zona Sur. Chile.
- Vila, A. (2013). *“Mejoramiento del circuito de ventilación en unidad minera Arcata mediante la ejecución del Raise Boring # 90”*. (Tesis pre grado). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Anexos

Anexo N° 01: Instrumentos de recolección y análisis de datos

Instrumento 1: Ficha del Cálculo de Requerimiento de Aire para Personal (Qtr)

N°	Descripción	N° Personal	Altitud m ³ /min.	m ³ /min.	CFM
1	Mina CIA (Planeamiento, geología, mina)				
2	Mina ECM (Operaciones, Serv. mina, seguridad, manto)				
TOTAL (Qtr)					

Instrumento 2: Cálculo de Requerimiento de Aire para Equipos con Motor Petrolero (Qeq)

Equipos	Nº de Equipos	M³/min. x HP	HP x Equipo	Disp. - Factor Utilización Eq	m³/min. x Equipo	CFM x Equipo
Scoop Yd3.	1.5					
Scoop Yd3	2.2					
Scoop Yd3	2.2					
Scoop Yd3	2.5					
Dumper						
Camioneta 4 x 4						
TOTAL (Qeq)						

Instrumento 3: Cálculo de Requerimiento de Aire por consumo de explosivo (Q_{ex})

Labores	Sección		Área m ²
	Ancho m	Alto m	
Rampa Principal			
Inclinados de ventilación			
Chimeneas entre Niveles			
Tajeos			
Galería principal			
Promedio de Área			

Instrumento 4: Resumen requerimiento total de caudal de aire zona alta

Requerimiento de Caudal de Aire	m ³ /min	CFM
Q _{Tr} : Personas (97 trabajadores / guardia)		
Q _{Eq} : Equipos Diesel		
Q _{te} : Temperatura (<24° C, Niveles zona alta, prom. 14-23°C)		
Q _{Ma} : Madera (<20% prod/guardia, Mad:2 Tn/g, Prod: 275 Tn/g)		
Q _{fu} : Fugas (15%)		
Q _{ex} : Dilución explosivos		
Caudal Requerido: Q_{Tr}+Q_{Eq}+Q_{te}+Q_{Ma}+Q_{fu}		

Instrumento 5: Balance de aire zona alta

Caudal de Aire	m³/min	CFM
Total de aire requerido		
Ingreso de aire a mina		
Salida de aire		
COBERTURA %		

Instrumento 6: Resumen requerimiento total de caudal de aire zona baja 140

Requerimiento de Caudal de Aire	m³/min	CFM
QT: Personas (63 trabajadores / guardia)		
QEq: Equipos Diesel		
QTe: Temperatura (<24° C, Niveles zona alta, prom 14-28°C)		
QMa: Madera (<20% prod/guardia, Mad:2 Tn/g, Prod: 58 Tn/g)		
Qfu: Fugas (15%)		
Qex: Dilución explosivos		
Caudal Requerido: QTr+Qeq+Qte+Qma+Qfu		

Instrumento 7: Balance de aire zona baja 140

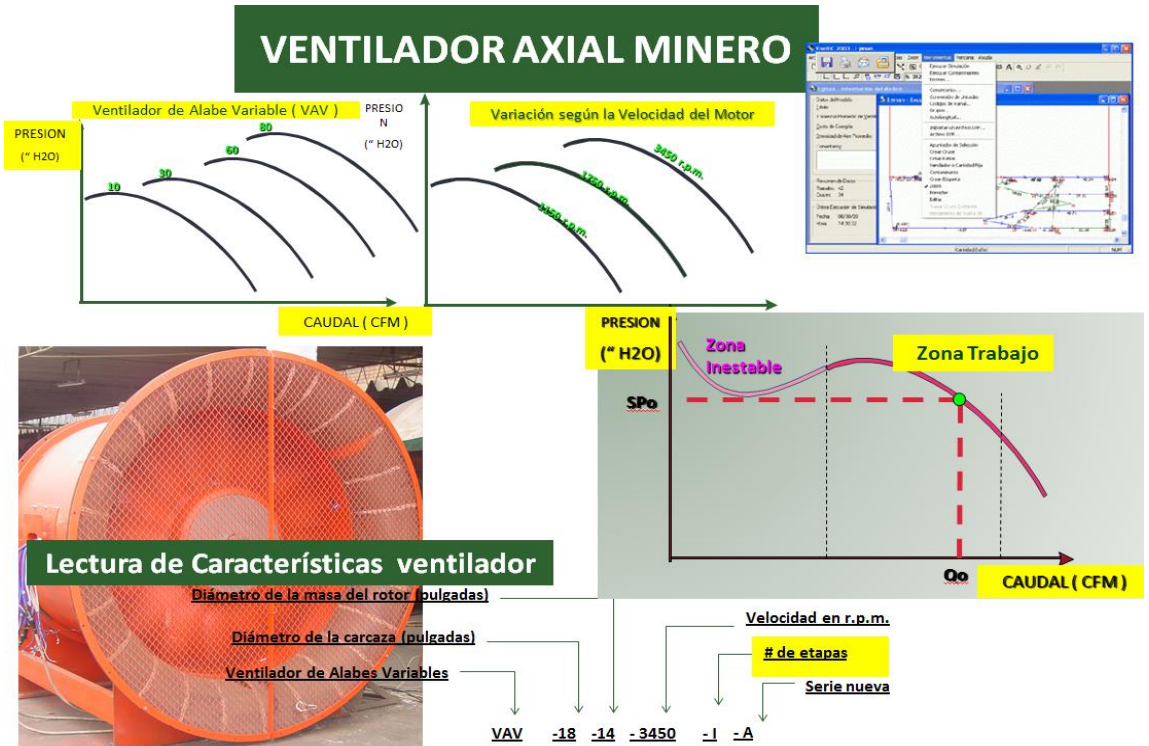
Caudal de Aire	m³/min	CFM
Total de aire requerido		
Ingreso de aire a mina		
Salida de aire		
COBERTURA %		

Instrumento 8: Inventario de equipos de ventilación (Ventiladores)

CÓDIGO	EQUIPO	MARCA	POTENCIA (HP)	CAUDAL (CFM)	CONDICIÓN
---------------	---------------	--------------	--------------------------	-------------------------	------------------

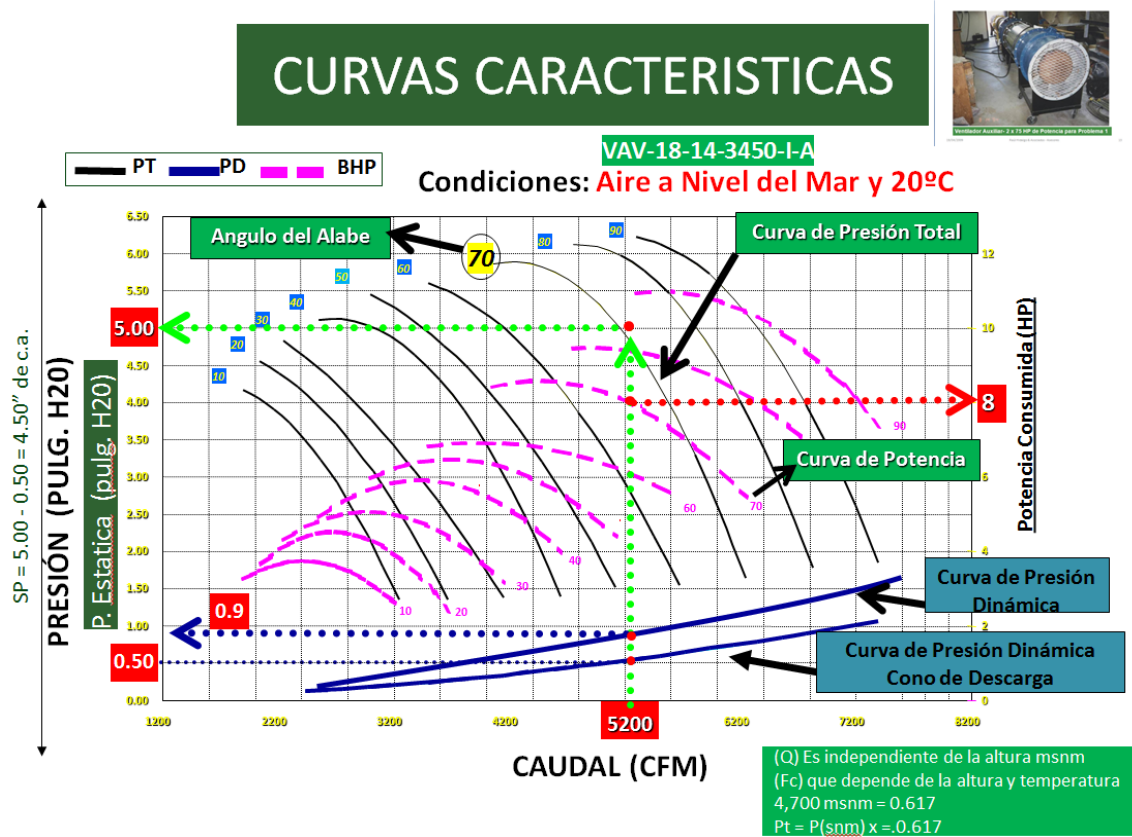
Anexo N° 02

: Selección de Ventilador Axial Minero



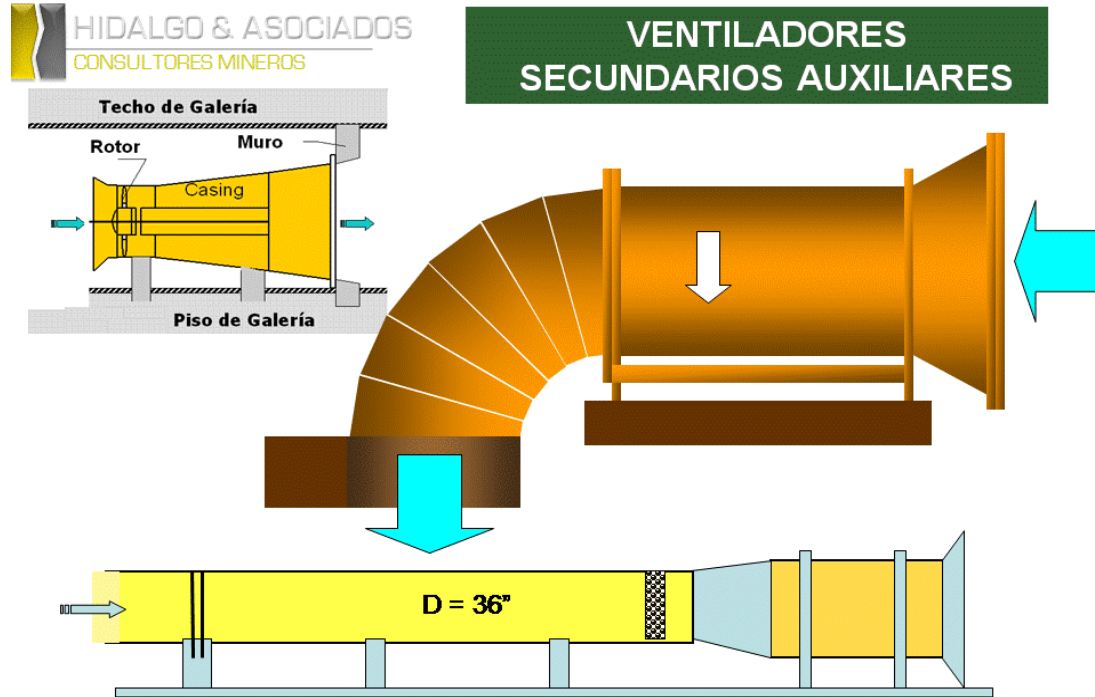
Fuente: Área de Planeamiento.

Anexo N° 02: Curvas Características del nivel de aire.



Fuente: Área de Planeamiento.

Anexo N° 03: Ventiladores Secundarios Auxiliares.



Fuente: Área de Planeamiento.