UNIVERSIDAD DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA

SEDE VALLENAR

EVALUACIÓN Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA LA CORRECTA EVACUACIÓN DE GASES LUEGO DE LA TRONADURA EN LA MINA LAS CALIZAS

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Técnico Universitario en Minas

Profesor guía: Enrique Andrés Veragua Guerra

Valentina Alejandra Olivares Velozo

Claudio Alejandro Torres Diaz

Vallenar, Chile 2024.

Dedicatoria

Este proyecto de titulación va dedicado para mi abuela Nilsa Arancibia (Q.E.P.D), dejando un gran vacío en nuestra familia con su repentino fallecimiento, quien fuera mi pilar fundamental para seguir luchando por esta carrera y mis sueños, donde quiera que se encuentre en estos momentos sé que está orgullosa de mí por todo lo que he logrado.

Claudio Torres Diaz

Agradecimientos

Primero que nada agradecer a dios por ponerme en el camino de esta carrera y guiarme en toda esta aventura, también a mis padres por el apoyo constante que me han otorgado en todos estos años de estudio y los valores que he obtenido gracias a ellos, también agradecer a mi pareja Cecilia por estar ahí siempre en mis contantes desveladas de trabajo, estudio y siempre darme el ánimo necesario para seguir, agradecer al profesor Felipe Pizarro por ayudarnos y coordinar la salida a terreno hacia la mina, al profesor Ignacio Tapia gracias por asesorarnos en el software de Ventsim para que nuestra propuesta funcione, y por ultimo dar gracias a los jefes del supermercado Unimarc de la quinta valle por el apoyo brindado en la flexibilidad de mis horarios de trabajo para asistir a clases, presentación de trabajos y salidas a terreno.

Claudio Torres Diaz.

Dedicatoria

Al finalizar este camino y concretar el proyecto de titulación, quiero dedicarlo a mi abuelo, Augusto Olivares (Q.E.P.D), quien desempeño el gran rol de ser mi figura paterna durante la mayor parte de mi vida, y a quien honrare siempre. Finalmente, quiero dedicarlo a mi perro, Gaspar, por ser mi fiel compañero y estar a mi lado en esas largas noches sin dormir mientras trabajaba en este proyecto. Los amo.

Valentina Olivares Velozo.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero expresar mi agradecimiento a mi familia, especialmente a mi madrea, Paola, por su constante apoyo y ánimo, que me impulso a no rendirme en este camino. Además, por enseñarme y reforzar los valores que me definen como persona.

En segundo lugar, agradezco al dueño de la mina La Caliza, don Daniel, por brindarnos el permiso para acceder al yacimiento, recibirnos de manera tan cordial y proporcionarnos información valiosa que fue clave para llevar a cabo nuestro proyecto de titulación.

Finalmente, quiero agradecer a los profesores Felipe Pizarro e Ignacio Tapia, por su orientación y por siempre recibirnos cada vez que necesitábamos resolver dudas relacionadas con nuestro proyecto.

Valentina Olivares Velozo.

Tabla de contenido

CAPÍTULO 1: MARCO INTRODUCTORIO 2
1.1: Introducción 2
1.2 Objetivo general 3
1.3 Objetivos específicos 3
1.4 Planteamiento del problema 3
1.5 Justificación 3
1.7 Antecedentes 4
CAPÍTULO 2: MARCO TEORICO 5
2.1: Ventilación minera 5
2.2 Ventilación principal 5
2.3 Ventilación natural 5
2.4 Ventilación forzada o mecánica 6
2.5 Ventilación auxiliar 7
2.5.1 Sistema aspirante 7
2.5.2 Sistema impelente 7
2.5.3 Sistema combinado 8
2.6 Ventilador 8
2.6.1 Ventiladores centrífugos 9
2.6.2 Ventiladores axiales 10
2.6.3 Ventiladores mixtos 10
2.7 Mangas de ventilación 11
2.7.1 Clasificación de mangas de ventilación según su tipo 11
2.8 Chimenea 13
2.8.1 Tipos de chimeneas 13
2.9 Métodos para hacer chimeneas 13
2.9.1 Raise Boring 13
2.9.2 Blind Hole 14
2.9.3 Alimak 15
2.10 Perforación en minería 15
2.10.1 Perforación en mina subterránea 15
2.11 Tronadura 16

2.12 Clasificación de gases 16
2.12.1 Oxígeno 16
2.12.2 Efectos de la deficiencia por falta de oxígeno 17
2.13.1 Tipos de compresores 18
2.14 Aire comprimido 18
2.14.1 Características del aire comprimido 18
2.14.2 Uso del aire comprimido 19
2.15 Caudal 19
2.15.1 Fórmula del caudal 19
2.16 Cálculos de los caudales requeridos 19
2.16.1 Caudal para personas 20
2.16.2 Caudal para equipos Diesel 20
2.16.3 Caudal requerido por consumo de explosivos 20
2.16.4 Caudal según desprendimiento de gas 21
2.16.5 Caudal requerido por temperatura 22
2.16.6 Caudal requerido por el polvo en suspensión 22
2.16.7 Caudal requerido por la producción 23
2.18 Equipo para medir el caudal 23
2.19 Decreto supremo N° 132/2002 Ministerio de minería 24
2.20 AutoCAD 25
2.21 Ventsim 26
2.22 Civil 3D 26
2.23 Google Earth Pro 28
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA 29
3.1 Tipo de metodología 29
3.2 Nivel de abordaje 29
3.3 Solicitud de permiso 29
3.4 Planos de la mina 30
3.5 Pasos en la mina 30
3.6 Creación de la superficie de la mina 30
3.7 Creación de la mina en AutoCAD e importación Ventsim 34
3.8 Entrevista al dueño de la mina 35
3.9 Funcionamiento de los equipos utilizados en mina 36

3.10 Determinación de caudales necesarios para la mina 37
3.10.1 Caudal 37
3.10.2 Caudal para personas 38
3.10.3 Caudal para los equipos Diesel 38
3.10.4 Caudal según consumo de explosivos 38
3.11 Funcionamiento del método Alimak 39
CAPITULO 4: ANALISIS Y RESULTADOS 40
4.1 Creación de la mina en 3D mediante AutoCAD 40
4.2 Creación de la mina actual mediante Ventsim 42
4.2.1 Creación de la chimenea a proponer mediante Ventsim 42
4.2.2 Simulación final a proponer 44
4.3 Cálculos de caudales necesarios para la mina 45
4.3.1 Caudales por personas: 45
4.3.2 Cálculo de caudales por equipo Diesel 45
4.3.3 Caudal según consumo de explosivos 46
4.3.4 Q total en minutos 46
4.3.4 Caudal en segundos 46
4.4 Mediciones de caudales, secciones de la entrada y galerías 47
4.4.1 Entrada de la mina 47
4.4.2 Mediciones 100 metros después de la entrada 50
4.5 Metros de avance y tiempo estimado de la chimenea 54
4.6 Propuesta de diagrama de disparo 54
4.6 Cálculo de cantidad de explosivos necesarios para la ejecución de la chimenea 56
4.7 Mangas que se usaran 56
4.8 Ventiladores que se usaran 56
4.9 Uso del compresor 57
4.10 Entrevista al dueño de la mina La Caliza 57
Conclusiones 60
Bibliografía 61

RESUMEN

La minería en Chile ha experimentado un crecimiento sostenido gracias a los avances tecnológicos que ha permitido mejorar la eficiencia en el sector. A medida que los yacimientos superficiales se agotan, las grandes empresas mineras han adoptado la minería subterránea como método principal. Esta modalidad presenta desafíos, especialmente en cuanto a la implementación de sistemas adecuados para trabajar en condiciones subterráneas, siendo la ventilación un aspecto crucial para garantizar el ingreso de aire fresco para el personal y equipos. En el presente proyecto de titulación se abordó la problemática del sistema de ventilación de la mina La Caliza, ubicada a 43km al noroeste de la comuna de Vallenar en la Quebrada de la Arena, Provincia del Huasco, Región de Atacama.

Actualmente, la mina cuenta únicamente con un sistema de ventilación natural, basado en una chimenea, lo cual no es adecuado según el Decreto Supremo 132 del Ministerio de Minería, que establece el Reglamento de Seguridad Minera. El objetivo de este proyecto fue proponer un sistema de ventilación mixto, que combine la ventilación natural con un sistema auxiliar que incorpore dos chimeneas adicionales. Este sistema tiene como finalidad asegurar un ambiente seguro y libre de gases, tanto para los trabajadores como para los equipos utilizados antes y después de la tronadura, así como durante las jornadas laborales. Se utilizaron diversos softwares para optimizar el sistema de ventilación propuesto, uno de ellos fue AutoCAD, que se empleó para diseñar la mina y sus diferentes niveles. Además, se utilizó Ventsim para simular el flujo de aire que ingresará a la mina, permitiendo verificar que la cantidad de aire sea suficiente para ventilar todas las operaciones.

Gracias a los análisis y cálculos realizados, se lograron cumplir los objetivos propuestos, desarrollando una propuesta adecuada a las demandas de la mina La Caliza, siempre respetando los recursos limitados de la empresa y aquellos a los que puede acceder económicamente.

PALABRAS CLAVES: YACIMIENTOS SUPERFICIALES, VENTILACIÒN NATURAL, SISTEMA DE VENTILACIÒN MIXTO, SISTEMA AUXILIAR, CHIMENEAS, TRONADURA, FLUJO DE AIRE

ABSTRACT

Mining in Chile has experienced sustained growth thanks to technological advances that have allowed for improved efficiency in the sector. As surface deposits become depleted, large mining companies have adopted underground mining as their primary method. This modality presents challenges, especially in terms of the implementation of adequate systems to work in underground settings, ventilation being a crucial aspect to guarantee the fresh air intake for personnel and equipment. In this titling project, the problem of the ventilation system of the La Caliza mine, located 43km northwest of the Vallenar Commune in the Quebrada de la Arena, Huasco Province, Atacama Region, was addressed.

Currently, the mine only has a system of natural ventilation, based on a chimney, which is not adequate according to Supreme Decree 132 of the Ministry of Mining, which establishes the Mining Safety Regulations. The objective of this project was to propose a mixed ventilation system, which combines natural ventilation with an auxiliary system that incorporates two additional chimneys. The purpose of this system is to ensure a safe and gas-free environment, both for workers and for the equipment used before and after blasting, as well as during workdays. Various software's were used to optimize the proposed ventilation system, one of them was AutoCAD, which was used to design the mine and its different levels. In addition, Ventsim was used to simulate the air flow that will enter the mine, allowing us to verify that the amount of air is sufficient to ventilate all operations carried out underground.

Thanks to the analysis and calculations carried out, the proposed objectives were met, developing a proposal appropriate to the demands of the La Caliza mine, always respecting the limited resources of the company and those to which it can access economically.

KEYWORDS: SURFACE DEPOSITS, NATURAL VENTILATION, MIXED VENTILATION SYSTEM, AUXILIARY SYSTEM, CHIMMEYS, BLASTING, AIR FLOW.

CAPÍTULO 1: MARCO INTRODUCTORIO

1.1: Introducción

La industria minera ha experimentado un crecimiento sostenido tanto a nivel nacional como global. Cada año, se descubren nuevos avances tecnológicos guiados a aumentar la producción y reducir los costos operativos. Uno de los aspectos más importantes que deben considerar las minas, tanto en Chile como en el resto del mundo, es la ventilación, la cual es un factor fundamental en las operaciones de minería subterránea. Una ventilación adecuada no solo es esencial para el bienestar y la comodidad de los trabajadores, sino también para el correcto funcionamiento de los equipos y maquinarias, así como para la efectividad general de las operaciones mineras. En Chile, existen reglamentos y normativas estrictas diseñadas para proteger la salud de los trabajadores y garantizar la eficiencia de los sistemas de ventilación en las minas. Estas regulaciones buscan asegurar un flujo de aire adecuado que minimice la presencia de gases tóxicos, polvo y calor excesivo, lo que colabora a un entorno de trabajo más seguro y productivo.

Sin embargo, uno de los mayores desafíos para cumplir con estas normativas es la falta de recursos y el poco conocimiento técnico sobre cómo debe distribuirse el aire de manera correcta en las distintas áreas de las minas subterráneas, especialmente en operaciones de menor escala. Particularmente, la pequeña minería enfrenta importantes restricciones económicas y limitaciones tecnológicas, lo que dificulta la implementación de sistemas de ventilación adecuados. Por esta razón, surge la necesidad de desarrollar sistemas de ventilación alternativos que sean más accesibles y eficientes para estas operaciones. Estos sistemas están diseñados para optimizar el uso de los recursos disponibles, mejorar la calidad del aire, reducir la exposición a gases tóxicos y garantizar un entorno de trabajo más saludable para los trabajadores, sin comprometer la productividad. Además, la implementación de soluciones de ventilación innovadoras podría mejorar el rendimiento de los equipos y maquinaria, lo que, a largo plazo, podría traducirse en una reducción de costos operativos y un aumento en la sostenibilidad de las operaciones mineras.

1.2 Objetivo general

Proponer mejoras al sistema de ventilación, orientado a la reducción del tiempo de evacuación de gases de tronadura en la mina la caliza.

1.3 Objetivos específicos

- Solicitar permiso, información y planos de la mina a estudiar para el reconocimiento del terreno.
- Evaluar el caudal dentro de la mina mediante equipos para recolectar datos necesitarías sobre su ventilación.
- Diseñar mediante AutoCAD el modelo del yacimiento la caliza para la creación del sistema de ventilación.
- Simular el sistema de ventilación a proponer mediante Ventsim para su correcto funcionamiento.

1.4 Planteamiento del problema

El yacimiento que se estudió no tiene un sistema de ventilación adecuado, ya que, cada vez que se hace una tronadura se demora un día completo en ventilarse, esto conllevando a no ser un trabajo con mucha eficiencia por lo que se retiene más aire viciado de lo que debería dentro de la mina.

1.5 Justificación

Durante una salida a terreno se visitó la Mina La Caliza, donde se dio a conocer su infraestructura subterránea y como era su método de ventilación el cual funciona mediante una chimenea de manera natural. Tiene grandes desventajas este sistema,

debido a que no se tiene un control seguro del flujo de aire que ingresa a la mina y si está ingresando el caudal necesario para todo el yacimiento.

1.6 Alcances

La propuesta de ventilación solo será evaluada y aplicada en la mina Las Calizas ubicada en la Quebrada de la Arena, comuna de Vallenar, Región de Atacama, Provincia del Huasco, su objetivo principal está enfocada en mejorar el sistema de ventilación ya instalada en la mina, poder crear una solución concreta y realista para el manejo de las operación realizada ahí y adecuarse a las necesidades y recurso que cuentas al ser una pequeña minería, también que le pueda ser de utilidad a su dueño para tomar conciencia de lo que puede mejorar en el yacimiento para contar con toda la seguridad de los trabajadores y a la vez cumpliendo con las normativas mineras.

1.7 Antecedentes

La mina a la cual propondremos este sistema está ubicada en la región de atacama, provincia del Huasco, exactamente a 43km al NE de la comuna de Vallenar. Este yacimiento llamado Las Calizas cuenta con 1km de largo y 100 metros de profundidad, extrae solo caliza con una ley del 92.7%. Las secciones de la galería son de 4x4, donde la tronadura se hace con anfo a granel y mecha, cuenta con un solo sistema de ventilación natural que es una chimenea que sirve para todo el flujo de aire con el fin de realizar todas las operaciones dentro de la mina.

CAPÍTULO 2: MARCO TEORICO

2.1: Ventilación minera

La ventilación en una mina subterránea consiste en establecer un suficiente flujo de aire fresco y libre de gases generados por los equipos y la tronadura que está presente dentro de la mina, con el fin de crear y mantener condiciones óptimas y termo ambientales adecuadas para el personal y equipos.

Los objetivos principales de la ventilación son:

- Promover el oxígeno suficiente para los trabajadores.
- Reducir la temperatura en el interior de la mina.
- Proporcionar el volumen de aire para los equipos Diesel o instalaciones de la mina.
- Evitar la formación de mezclas explosivas.
- Diluir los gases tóxicos y polvos en suspensión que puedan ocasionar riesgos fatales.

2.2 Ventilación principal

La ventilación principal de la mina es la que recorre todas las labores mineras y de ese circuito se desprende la ventilación a los frentes de trabajo de la mina. Toda mina subterránea debe disponer de circuitos de ventilación, natural o forzado, para así mantener un suministro permanente de aire fresco y evacuación de aire viciado.

2.3 Ventilación natural

Se denomina así porque el aire que recorre las labores mineras no es forzado y tampoco se utilizan equipos para que el aire ingrese a la mina subterránea. Este tipo de ventilación no es muy confiable y viable, debido a que depende mucho de la época del año e incluso de las condiciones climáticas del día y de la noche. (Figura 2.1)

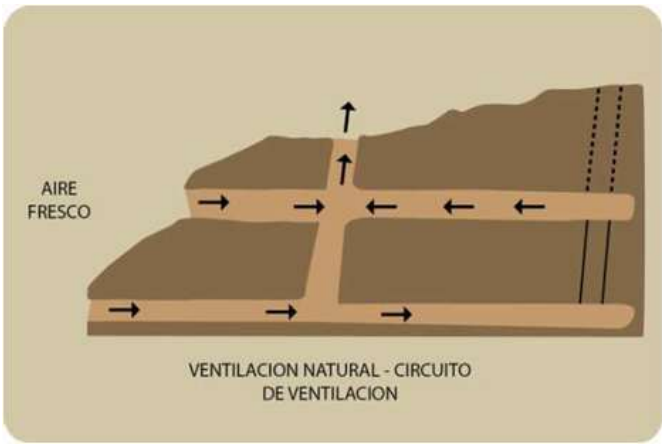


Figura 2.1 Ventilación natural (Ventilación de Minas, 2015)

2.4 Ventilación forzada o mecánica

Es un sistema que necesita ayuda mecánica de un ventilador en contacto con la superficie del proceso en el uso de mangas, máquinas o equipos. Necesita energía eléctrica, que debe ser generada por petróleo o hidroeléctricas llegando hacer algo costoso o barato dependiendo del material extraído de la mina. (Figura 2.2)

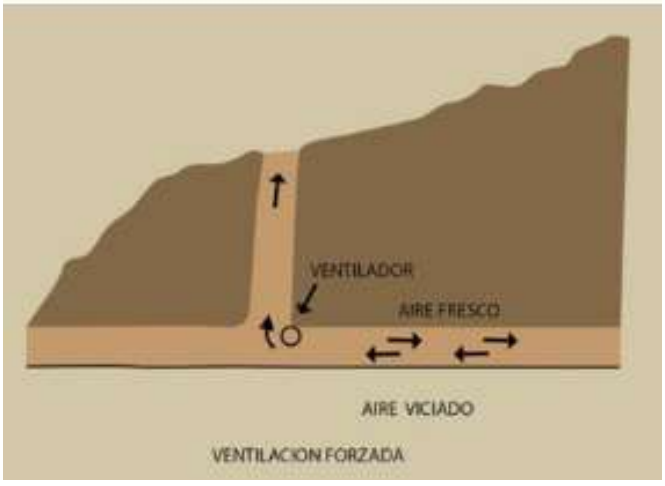


Figura 2.2 Ventilación forzada (Ventilación de Minas, 2015)

2.5 Ventilación auxiliar

Se define como ventilación auxiliar o secundaría a aquellos sistemas que utilizan ductos y ventiladores auxiliares para ventilar las áreas restringidas de las minas subterráneas. Este tipo de sistema opera en conjunto con el sistema de ventilación general, mediante circuitos destinados a la alimentación de aire fresco y la evacuación del aire viciado.

En la ventilación auxiliar podemos encontrar 3 tipos de sistemas:

2.5.1 Sistema aspirante

El aire fresco ingresa por la galería hacia la frente de trabajo y expulsa el aire viciado por los ductos o mangas de ventilación, este sistema es ideal para ventilar desarrollos de túneles desde la superficie. De igual forma se debe considerar que se requiere de elementos auxiliares para ventilar la zona muerta que es el espacio entre el extremo del ducto de ventilación y la frente de trabajo. (Figura 2.3)

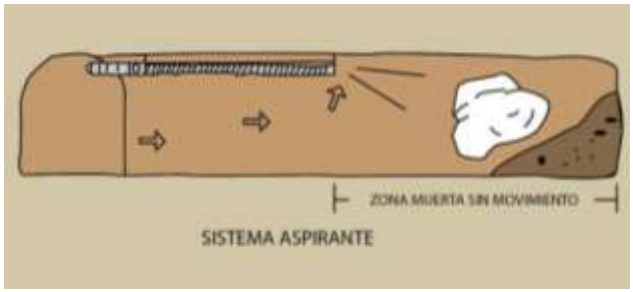


Figura 2.3 Sistema auxiliar Aspirante (Ventilación de Minas, 2015)

2.5.2 Sistema impelente

El aire es impulsado dentro de los ductos y/o mangas de ventilación y el aire viciado es extraído a lo largo de las galerías o frentes de trabajo. Este sistema se recomienda para galerías horizontales de menor longitud, mínimo de 400 metros y secciones más pequeñas de 3X3 metros. (Figura 2.4)

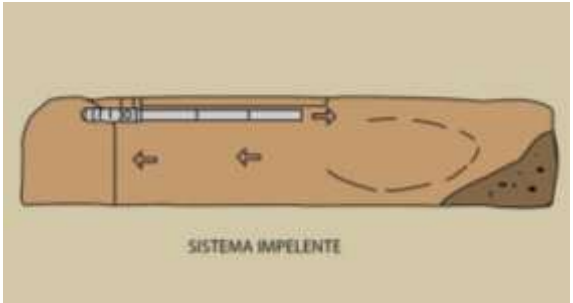


Figura 2.4 Sistema auxiliar Impelente (Ventilación de Minas, 2015)

2.5.3 Sistema combinado

Es una mezcla del sistema aspirante e impelente. Este método utiliza dos tendidos de ductos de ventilación o mangas, uno para extraer el aire viciado y el otro para inyectar el aire fresco. La ventaja principal de este sistema es que combina lo mejor de ambos tipos básicos, ya que proporciona una constante renovación de aire limpio y permite la rápida extracción de gases producto de una tronadura. Por otra parte, su desventaja son sus costos de instalación y mantenimiento. (Figura 2.5)

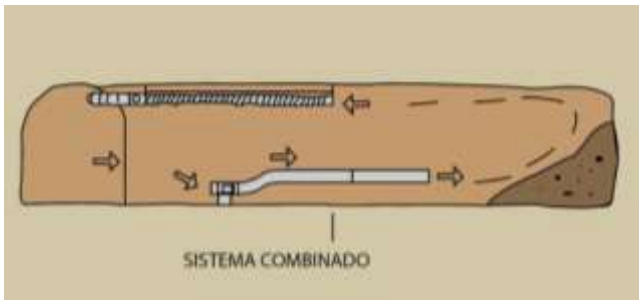


Figura 2.5 Sistema auxiliar Combinado (Ventilación de Minas, 2015)

2.6 Ventilador

Se define como ventilador a un motor eléctrico con arpas o aletas que cuando giran expulsa aire de forma continua. Los ventiladores son esenciales en el movimiento del aire, tanto en la ventilación principal como en la secundaria. Los ventiladores principales

se instalan generalmente en la superficie, fuera de la mina, para así asegurar un flujo constante de aire fresco y limpio hacia las galerías subterráneas.

Para seleccionar el ventilador adecuado, se deben considerar y evaluar factores como el número de trabajadores, la cantidad de equipos, las características del yacimiento, las condiciones termo ambientales del entorno subterráneo y, a su vez tener claros los objetivos operacionales de la empresa.

Se pueden clasificar según su tipo:

2.6.1 Ventiladores centrífugos

El aire ingresa por el canal de aspiración a lo largo del eje, impulsado por la rotación de una rueda con relieves. Tienen una eficiencia del 60 al 80 por ciento, debido a su alta proporción de presión estática y flujo medio. Funcionan a altas velocidades, generan menos ruido que los axiales y son más eficientes, aunque más costosos. (Figura 2.6)



Figura 2.6 Ventilador centrifugo (Ventiladores Centrífugos - Centrales Nucleares y Refinerías, s. f.-b)

2.6.2 Ventiladores axiales

El aire ingresa en línea recta a lo largo del eje impulsor y se descarga en dirección axial. Estos ventiladores también son llamados de hélice, brindan un mayor flujo de aire con una eficiencia del 70 al 80 por ciento y operan a altas velocidades. Son económicos, pero inestables y generan mucho ruido. (Figura 2.7)



Figura 2.7 Ventilador Axial minero (HCA Minería, 2023)

2.6.3 Ventiladores mixtos

Este ventilador combina las características de los dos anteriores. Es muy robusto, con palas reforzadas para controlar los gases con polvos a altas temperaturas. Sin embargo, su eficiencia es menor y su variedad de operación es más limitada. Unas de las ventajas son, que se ve menos dañado por el desgate y oxidación. Además, sus palas pueden soldarse fácilmente en el caso que necesiten reparaciones.

2.6.3.1 Clasificación según su función

- Ventilador principal: Instalados en la superficie o cerca de esta. Estos ventiladores son sumamente importantes, ya que proporcionan la fuerza principal para mover el aire dentro de la mina.

- Ventilador Reforzado: Se instalan en las galerías principales y ayuda al ventilador principal a circular correctamente el aire.
- Ventiladores Axiales: Se instalan en sectores específicos donde no hay caudal, acompañados de mangas para asegurar la correcta distribución del aire.

2.7 Mangas de ventilación

Las mangas de ventilación en minería son uno de los elementos fundamentales para el control del flujo de aire en minas subterráneas, colaborando a garantizar un ambiente seguro para los trabajadores. Estas mangas se utilizan principalmente para distribuir y dirigir el aire en el interior de la mina, permitiendo que se mantenga una circulación adecuada de aire, lo que ayuda a reducir la concentración de gases peligrosos y mejorar la calidad de aire en los espacios de trabajos o áreas específicas de la mina.

2.7.1 Clasificación de mangas de ventilación según su tipo

2.7.1.1 Mangas de ventilación rígidas

Estas mangas están hechas con planchas de fierros de 1 a 4mm de espesor con longitudes de 3 a 10mm y son utilizadas en túneles o galerías de mayor diámetro. Se destacan por ser más resistentes y duraderas, especialmente en condiciones de altas temperaturas o ambientes agresivos, además de tener bajos costos de mantenimiento y permitir un control más preciso del flujo del aire. Sin embargo, peso y rigidez hacen que el transporte, instalación y retiro sean complicados. (Figura 2.8)



Figura 2.8 Manga rígida (Mangas de Ventilación, ACH)

2.7.1.2 Mangas de ventilación flexibles lisas

Estas mangas están hechas con PVC y tejidos sintéticos de alta resistencia, y cuentan con anillos de acero en sus extremos para facilitar la conexión entre ductos. El diámetro varía entre 300 a 1200mm y las longitudes de 5 a 30m, estas mangas se ajustan a las necesidades del comprador. Al ser flexibles y livianas son fáciles de transportar, almacenar e instalar. Se ocupan principalmente en sistemas impelentes. (Figura 2.9)



Figura 2.9 Manga flexible lisa (Ziebtec, 2022)

2.7.1.3 Mangas de ventilación corrugadas

Al igual que las mangas flexibles lisas, son fabricadas con PVC y tejidos de alta resistencia, reforzado con un espiral de anillos de acero, lo que aumenta tu durabilidad. El diámetro varía entre 250mm a 1200mm, y sus longitudes van de 5 a 10m. Para poder unirlas se necesitan collarines de unión. Este tipo de manga se emplea principalmente para la extracción del aire. (Figura 2.10)



Figura 2.10 Manga corrugada (Clima Market, 2023)

2.8 Chimenea

La chimenea es una labor vertical entre dos galerías excavadas en sentido ascendente, tienen diversas utilizades como accesos, extracción de mineral, ventilación de la mina, evacuación de emergencia e ingreso de insumos. Son un elemento clave para la correcta operación de una faena minera.

2.8.1 Tipos de chimeneas

- Circulares
- Rectangulares
- Cuadradas

2.9 Métodos para hacer chimeneas

2.9.1 Raise Boring

Es un sistema mecanizado utilizado para la ejecución de pozos o chimeneas entre dos niveles dentro de una mina o en un proyecto de ingeniería civil. Los niveles pueden ser subterráneos, mientras que el nivel superior se encuentra en la superficie. (Figura 2.11)



Figura 2.11 Raise Boring (Raise Boring – El Blog de Víctor Yepes, 2016)

2.9.2 Blind Hole

Este tipo de metodología consiste en usar una maquina perforadora para excavar chimeneas de forma ascendente. El equipo se coloca en el nivel inferior y perfora el tiro guía o piloto, que va delante del escariador que excava a sección completa. El material excavado cae por gravedad a un buzón receptor y se dirige por un colector para evitar riesgos. Para llegar a la altura de excavación, se añaden barras especiales y estabilizadores en el cuerpo de la máquina, a nivel de suelo, que permiten avanzar con el desarrollo de la chimenea. (Figura 2.12)

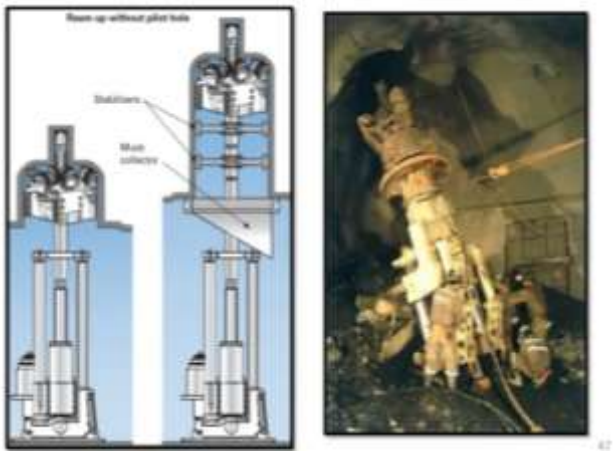


Figura 2.12 Blind Hole (Alcantara, 2017)

2.9.3 Alimak

Este método se utiliza para perforar chimeneas en zonas donde no es posible acceder desde arriba. Se trata de una plataforma trepadora que se eleva a través de un carril guía curvado.

Se introdujo en 1957, transformándose en unos de los más utilizados por su seguridad, bajo costo y velocidad, utilizándose sobre todo en aquellos casos donde no existe ningún tipo de acceso superior. Con este mismo equipo pueden excavarse chimeneas de diversas áreas, inclinaciones y longitudes. (Figura 2.13)

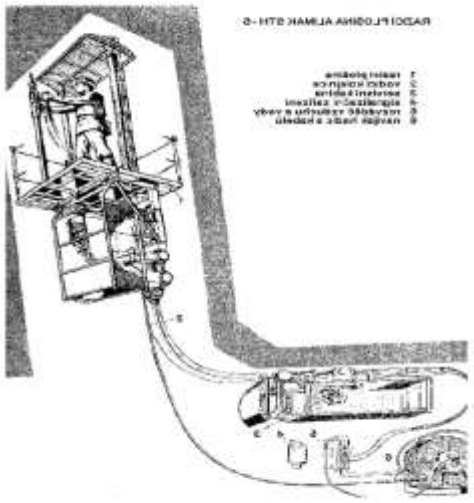


Figura 2.13 Alimak (Tapia, s. f.)

2.10 Perforación en minería

La perforación es la operación que se realiza con la finalidad de abrir agujeros en el macizo rocoso, con una distribución y geometría adecuada, en donde se alojarán cargas explosivas. (Guía Número 4 de Operación Para la Pequeña Minería, 2013)

2.10.1 Perforación en mina subterránea

En minería subterránea, la perforación se utiliza en los avances de los frentes de explotación, así como en la construcción de chimeneas y piques. Esta operación se realiza en húmedo para mantener la calidad del aire, minimizando el riesgo de enfermedades profesionales. (Guía Número 4 de Operación Para la Pequeña Minería, 2013)

2.11 Tronadura

La tronadura es la operación que tiene por finalidad el arranque del mineral desde el macizo rocoso, aprovechando de la mejor manera posible la energía liberada por el explosivo colocado en los tiros realizados en la etapa de perforación. (Guía Número 4 de Operación Para la Pequeña Minería, 2013)

2.12 Clasificación de gases

Gases esenciales	Gases sofocantes	Gases venenosos o tóxicos	Gases explosivos o inflamables
-Aire atmosférico -Oxigeno	-Nitrógeno -Dióxido de carbono -Metano -Acetileno	-Monóxido de carbono -Humos nitrosos -Anhídrido sulfuroso -Hidrógeno sulfurado	-Metano -Monóxido de carbono

2.12.1 Oxígeno

El oxígeno es un gas incoloro, inodoro e insípido, el cual es esencial para la respiración y los procesos de combustión.

Art..53 del D.S. 745 Ministerio de salud expresa que “Se prohíbe la realización de trabajos, sin la protección personal correspondiente, en ambientes en que la atmosfera contenga menos de 19,5% de oxígeno”.

2.12.2 Efectos de la deficiencia por falta de oxígeno

Contenido de O2	Efecto
17%	Respiración rápida y profunda equivalente a 2500 m.s.n.m.
15%	Vértigo, vahído, zumbido en oídos, aceleración de latidos.
13%	Pérdida de conocimiento en exposición prolongada.
7%	Peligro de muerte. (equivalente a 8.800 m.s.n.m)
6%	Movimientos convulsivos, muerte.

2.13 Compresor

Un compresor de aire es un dispositivo neumático que convierte energía proporcionada por un motor eléctrico, Diesel, de gasolina, entre otros, en energía potencial, almacenada en forma de aire presurizado. A través de diversos métodos, el compresor fuerza progresivamente el aire hacia un tanque de almacenamiento, aumentando su presión. Cuando el tanque alcanza el límite máximo de presión para el que ha sido diseñado, el compresor se detiene automáticamente. El aire comprimido se mantiene en el tanque hasta que se requiere su uso. (Figura 2.14)



Figura 2.14 (Compresor de Aire Kaeser M100 375 CFM, s. f.)

2.13.1 Tipos de compresores

- Compresores de desplazamiento positivo
- Compresor de pistón
- Compresor de tornillo
- Compresor de paletas
- Compresor de lóbulos o émbolos rotativos
- Compresores scroll
- Bombas de vacío
- Compresores dinámicos
- Compresores centrífugos radiales
- Compresores centrífugos axiales

2.14 Aire comprimido

Al aire comprimido se refiere a cuando el aire ha sido almacenado a alta presión, lo que aumenta su densidad y permite almacenar energía en forma de presión. Cuenta con gran facilidad de transporte y capacidad para generar energía o realizar trabajo mecánico.

2.14.1 Características del aire comprimido

- Alta presión: El aire se comprime para aumentar su presión, lo que reduce el volumen del gas, facilitando su almacenamiento en cilindros, depósitos o sistemas de distribución.
- Energía almacenada: El aire comprimido contiene energía potencial debido a su presión. Cuando se libera, esa energía se convierte en energía cinética (movimiento).
- Sin residuos: A diferencia de otras fuentes de energía, el aire comprimido no genera residuos contaminantes, lo que lo convierte en una opción limpia, especialmente en sistemas de control y automatización.

2.14.2 Uso del aire comprimido

Por su alto costo, con relación a la ventilación mecanizada, el uso del aire comprimido para atender la aireación de desarrollos debe limitarse exclusivamente a aquellas aplicaciones donde no es posible por razones prácticas el utilizar sistemas auxiliares de ventilación como es el caso particular del desarrollo manual de chimeneas o piques inclinados. (Guía Metodológica de Seguridad Para Proyectos de Ventilación de Minas, 2008)

2.15 Caudal

El caudal es la cantidad de aire que debemos inyectar a la mina. Los factores que influyen en la medición de este caudal dependen de las condiciones propias y óptimas de cada operación y del método que se utilizara.

El caudal necesario, para satisfacer las necesidades tanto del personal como de los equipos que en conjunto laboran al interior de la mina, se establecen de acuerdo con los requerimientos legales, normas de confort y eficiencia del trabajo. Este caudal debe garantizar la dilución de los gases generados tanto por los equipos y maquinarias de combustión interna (Diesel), como los gases provenientes de la tronadura y los polvos asociados a las distintas operaciones.

2.15.1 Fórmula del caudal

$Q = A(m^2) * V\ (m^3/min)$

Donde:

A= Área por donde transita el flujo (m^2)

V= Velocidad del flujo de aire (m^3/min)

2.16 Cálculos de los caudales requeridos

2.16.1 Caudal para personas

El Art. N° 138 del D.S. N° 72., exige 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= F x N (m³/ min.)

Donde:

Q = Caudal total para N° de personas que trabajen en interior mina (m³/ min.)

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

N = Número de personas en el lugar.

2.16.2 Caudal para equipos Diesel

El caudal parcial para cada operación se deberá calcular, de acuerdo con normativa de suministrar 2.83 m3/min. por cada HP motor de todo equipo Diesel en operación (equivalente a 100 pie3/min. por cada HP motor) (Art. 132, D.S. Nº 72).

Q= 2.83*HP(Motor) m3/min

Donde:

Q= Volumen de aire necesario para la ventilación requerido por equipos Diesel (m3/min)

HP= Caballos de fuerza de los equipos

2.16.3 Caudal requerido por consumo de explosivos

La fórmula que se conoce para este cálculo puede ser criticada, ya que no toma en cuenta varios factores que se expondrán después de presentarla. 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, según normas de seguridad, de gases en la atmósfera. Para el cálculo de este caudal, se emplea la siguiente relación empírica:

Q = 100 x A x a (m3 /min.) d x t

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 (m^3/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 x A x100) / (30 x 0,008) m3 /min.

Entonces, tendríamos finalmente: Q = 16,67 x E (m^3/min)

La fórmula trata este caso como si fuera a diluir los gases dentro de un espacio cerrado, lo que no es el caso de una mina donde parte de los gases se eliminan continuamente de la frente por el volumen de aire que entra. Además, los gases tóxicos se diluyen continuamente con la nube de gases en movimiento con el aire limpio. Por último, cada gas tóxico que se produce tiene propiedades distintas a las demás, luego necesitan diferentes porcentajes de dilución, entonces "d" dependerá del explosivo que se esté usando.

2.16.4 Caudal según desprendimiento de gas

Q= 0.23 x q (m^3/ min.)

Donde:

Q = Caudal de aire requerido por desprendimiento de gases durante 24 horas

q = Volumen de gas que se desprende en la mina durante las 24 horas

2.16.5 Caudal requerido por temperatura

La legislación chilena señala que la temperatura húmeda máxima en el interior de la mina no podrá exceder de 30 º C, para jornadas de trabajo de 8 horas.

Como norma para el cálculo del aire respecto a la temperatura, se dan los siguientes valores:

HUMEDAD RELATIVA	TEMPERATURA SECA	VELOCIDAD MINIMA	Para una labor de 20 m² (5 X 4 m.)
< ó = 85 %	24 a 30 º C	30 m./min.	600 m³/min.
> 85 %	> 30 º C	120 m./min.	2240 m³/min.

Figura 2.15 Caudal requerido por temperatura (GUÍA METODOLÓGICA DE SEGURIDAD PARA PROYECTOS DE VENTILACIÓN DE MINAS, 2007)

2.16.6 Caudal requerido por el polvo en suspensión

El criterio más aceptado es hacer pasar una velocidad de aire determinado por las áreas contaminadas y arrastrar el polvo, a zonas donde no cause problemas.

Según el Art. N° 138 D.S. N° 72 la velocidad promedio en los lugares de trabajo no debe ser inferior a los quince metros por minuto (15 m./min.). Para lugares con alta generación de polvo, este valor puede ser considerado hasta un 100% mayor. Hasta ahora, no hay método de cálculo aceptado por todos, que tome en cuenta el polvo en suspensión. Pero, velocidades entre 30 a 45 m./min. son suficientes para mantener las áreas despejadas.

En Chile, la velocidad máxima permitida en galerías con circulación de personal es de 150 m/min. Reglamento de Seguridad Minera (“RSM”).

2.16.7 Caudal requerido por la producción

Este método es usado generalmente en minas de carbón. Para minas metálicas, se debe tomar en cuenta el consumo de madera, ya que ésta fijará el porcentaje de CO2existente en la atmósfera.

El cálculo se basa sobre la suposición de que la cantidad de gas (CH4 y CO2) que se desprende es proporcional a la producción, expresado en forma matemática:

Q = T x u (m3/min.)

Donde:

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

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

T = Producción diaria en toneladas.

Para minas de carbón, "u" varía generalmente entre 1 a 1,7 (m3/min.).

En minas metálicas, con poco consumo de madera, varía entre 0,6 a 1 (m3/min.). Si el consumo de madera es alto, puede llegar hasta 1,25 (m3/min.)

Lo ideal es sumar el caudal necesario según el número del personal que trabaja al interior de la mina con el caudal necesario calculado según los equipos Diesel que se operaran y aumentar ese resultado en un 20% o más por posibles cortocircuitos y/o perdidas.

2.18 Equipo para medir el caudal

El Anemómetro es un instrumento para medir la velocidad o rapidez del viento el cual presenta los datos de forma digital así facilitando la lectura y los análisis. En el ámbito minero su uso es crucial para así monitorear de manera óptima y eficiente la calidad del aire y la correcta ventilación en minas subterráneas. (Figura 2.16)

Funciones que cumple en minería:

- Control de ventilación
- Correcto monitoreo de gases
- Evaluación de condiciones ambientales
- Planificación de trabajo



Figura 2.16 Fuente Propia

2.19 Decreto supremo N° 132/2002 Ministerio de minería

El reglamento de seguridad minera tiene el propósito de establecer un marco regulatorio para la extracción minera, priorizando como objetivo principal el resguardo de las personas que ejercen actividad dentro de ella y al igual de proteger las instalaciones que son parte de la faena minera.

- Artículo 136: Todo proyecto de ventilación general de una mina subterránea, previo a su aplicación, deberá ser enviado al Servicio para su aprobación. El Servicio tendrá un plazo de treinta (30) días para responder la solicitud, desde la fecha de presentación de ella en la Oficina de Parte.
- Artículo 137: En toda mina subterránea se deberá disponer de circuitos de ventilación, ya sea natural o forzado al objeto de mantener un suministro permanente de aire fresco y retorno del aire viciado.
- Artículo 145: En toda labor minera que no ha sido ventilada, esté abandonada o se hayan detectado concentraciones de gases nocivos por sobre los límites permisibles, debe ser bloqueado el acceso de personas por medio de tapados de malla o similar, colocando las señales de advertencia correspondientes. En caso

de ser necesario acceder a ella, se deberá realizar previamente un análisis exhaustivo tanto de los niveles de oxígeno como de gases nocivos, usándose, si es necesario, equipos autónomos de respirar.

- Artículo 156: Después de realizada la tronadura, será obligatorio el uso de instrumentos detectores de gases nocivos, los que deberán ser utilizados por personal instruido y capacitado para evaluar las condiciones ambientales.

2.20 AutoCAD

AutoCAD es un software de diseño asistido por computadora utilizado para dibujo 2D y modelado 3D, es reconocido internacionalmente por su gran variedad de posibilidades de edición y es utilizado por arquitectos, ingenieros, diseñadores, entre otros.

Entre sus beneficios esta:

- Agilidad en los diseños 2D y 3D
- Colaboración entre equipos
- Dispositivos y garantía en la compatibilidad

El enfoque principal se centra en el diseño en 2D, donde la industria ofrece alternativas para crear representaciones a través de vistas planas, permitiendo transformar las ideas en conceptos visuales de manera fácil, rápida y eficaz.

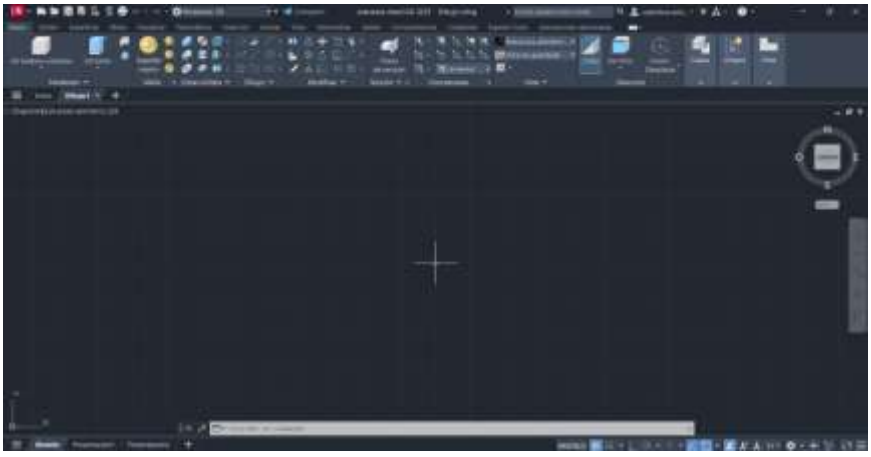


Figura 2.17 AutoCAD

2.21 Ventsim

Es un software de ventilación de túneles y minas integrado para el diseño y la prueba de circuitos de ventilación, incluidos el flujo de aire, la presión, el calor, los gases, la energía, el radón, el fuego y muchos otros tipos de información de ventilación. El software permite a los ingenieros modelar, diseñar, evaluar y optimizar con precisión los sistemas de ventilación subterránea de minas y túneles mediante la creación de una simulación precisa del entorno de ventilación. Los gráficos tridimensionales animados en tiempo real representan las dimensiones y formas reales de las vías de ventilación, con flujos de aire animados. (Soluciones Digitales de Ventsim, s. f.)

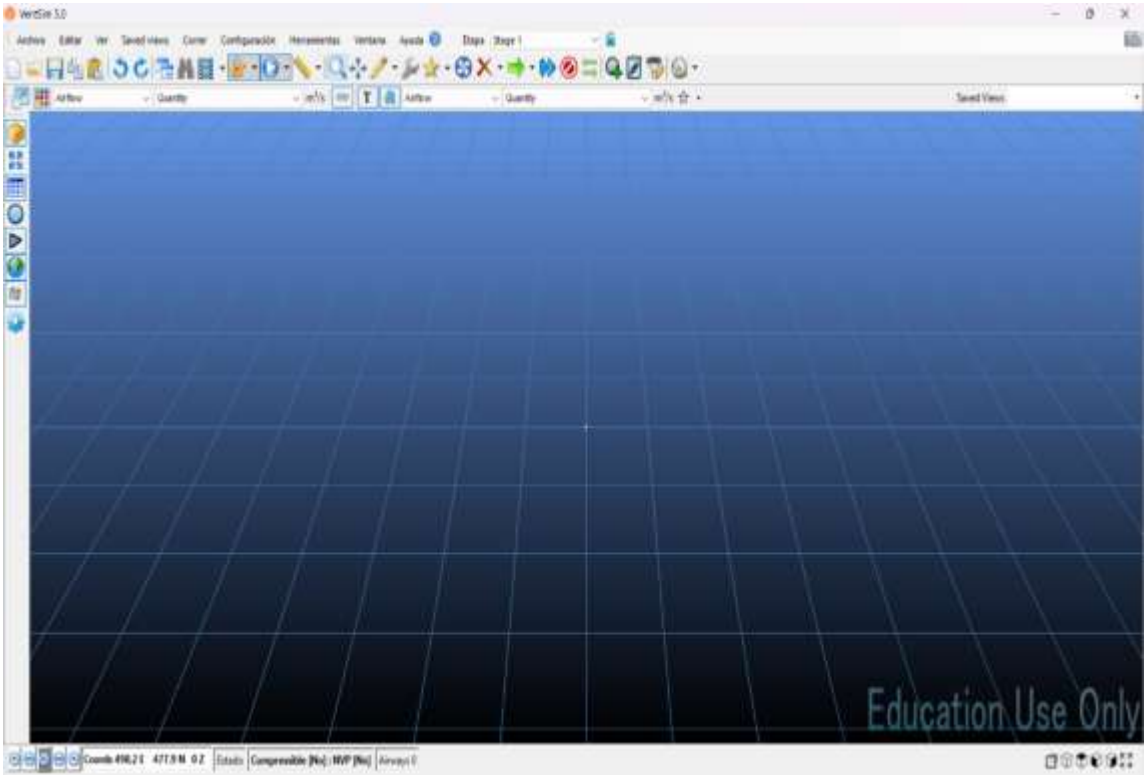


Figura 2.18 Ventsim

2.22 Civil 3D

Civil 3D es un software de diseño y modelado tridimensional desarrollado por Autodesk. Se utiliza principalmente en proyectos de ingeniería civil y está diseñado para ayudar a los ingenieros civiles y a los profesionales de construcción en la planificación, diseño, documentación y mantenimientos de infraestructuras como carreteras, drenaje, terrenos, topografía, entre otros.

Características principales:

- Automatización: Automatiza tareas, como la generación de perfiles con secciones y además permite el cálculo de volúmenes de excavación.
- Modelado 3D: Permite crear modelos 3D realistas de proyectos para una visualización realista.
- Interoperabilidad: Es compatible con otros programas de Autodesk, como AutoCAD que facilita el traspaso de datos y la integración con otros softwares de diseños.

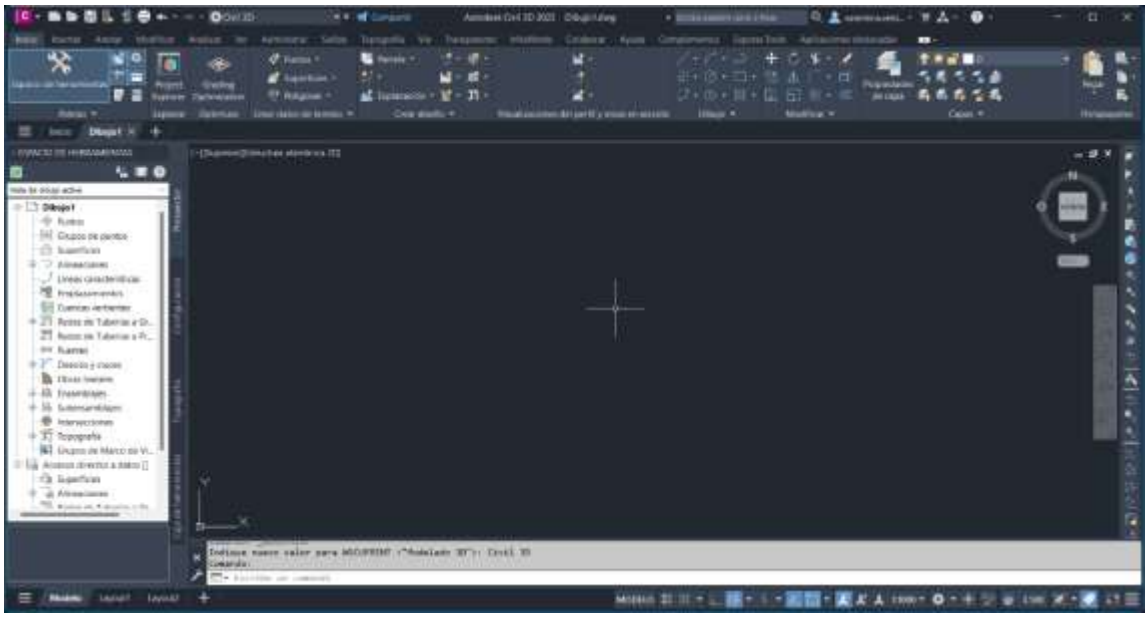


Figura 2.19 Civil 3D

2.23 Google Earth Pro

Google Earth es un sistema de información geográfica que muestra un globo terráqueo de forma virtual, el cual permite visualizar múltiples cartografías basadas en imagines 3D y 2D. Además, importa y exporta datos GIS, usar imágenes históricas para hacer retrospectivas y crear mapas con elementos geoespaciales avanzados en PC, Mac o Linux.

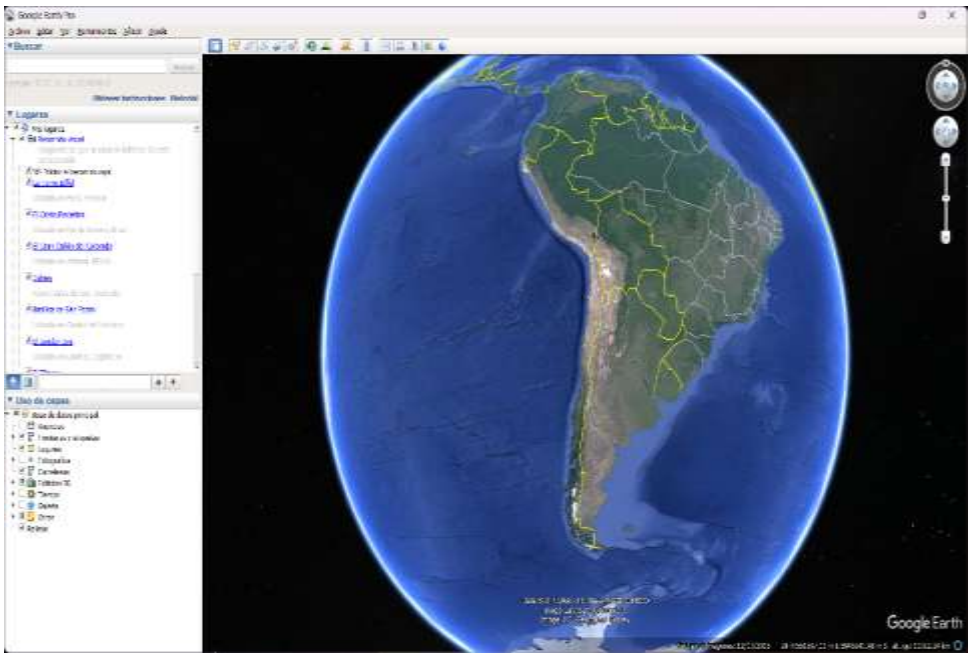


Figura 2.20 Google Earth

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1 Tipo de metodología

Este estudio será de enfoque tipo mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos. La mayor parte de los datos se obtuvieron a partir de las mediciones realizadas en la mina para posteriormente desarrollar los cálculos y así elegir el método de ventilación más adecuado. Además, se llevarán a cabo entrevistas con el dueño de minas para recopilar antecedente sobre el yacimiento y así obtener información complementaria que detalle las dificultades que han experimentado en la ventilación después de la tronadura.

3.2 Nivel de abordaje

Esta investigación se presenta de manera explicativa, detallando paso a paso los procedimientos llevados a cabo en la mina La Caliza para la recopilación de datos. Su objetivo no es solo registrar el proceso, sino también entregar un marco claro que permita comprender el cómo se generan las simulaciones de ventilación subterránea mediante los softwares mineros AutoCAD y Ventsim. Estas herramientas se emplean para modelar el flujo de aire y evaluar la eficacia de los sistemas de ventilación implementados, asegurando así un ambiente de trabajo seguro y eficiente, libre de cualquier tipo de gas dañino para la salud del trabajador y las maquinarias utilizadas. Asimismo, se incluirán análisis sobre los resultados obtenidos, lo que permitirá identificar posibles áreas de mejora y optimización de la ventilación de la mina.

3.3 Solicitud de permiso

El profesor Felipe Pizarro fue el encargado de coordinar la salida a terreno hacia la mina, donde presentó una solicitud al propietario del yacimiento para realizar mediciones de caudales y de las secciones. La solicitud fue bien recibida, lo que permito obtener el visto bueno para llevar a cabo todas las acciones necesarias para la recolección de datos relevantes para el proyecto de titulación. Todo el proceso se desarrolló bajo las medidas

de seguridad correspondientes, asegurando en todo momento la protección a las personas involucradas.

3.4 Planos de la mina

Un día antes de la salida a terreno hacia el yacimiento, el propietario de La Caliza se comunicó a través de WhatsApp para entregar los planos correspondientes de la mina. Esta información facilito el reconocimiento del interior mina, lo que permitió evitar desorientaciones, y fue fundamental para la planificación del yacimiento en AutoCAD.

3.5 Pasos en la mina

- Se inicio con la medición de la entrada de la mina, registrando las secciones, así como el ancho y altura en tres puntos: abajo, al medio y arriba. A demás, se midieron los caudales en cinco puntos: dos en la parte superior, dos en la parte inferior y uno en el medio.
- A continuación, se avanzaron 100 metros desde la entrada y se repitieron las mismas mediciones: ancho, altura y caudales. Además, se registró la estocada ya realizada para la ejecución de una chimenea, siguiendo el mismo procedimiento de medición de ancho por altura
- Posteriormente, después de medir la posible ubicación de la chimenea, se avanzaron 100 metros con un desvió a la izquierda y allí se realizaron las mediciones de caudales para evaluar la posible ubicación de un ventilador auxiliar.

3.6 Creación de la superficie de la mina

- Se obtuvieron mediante Google Earth los puntos geográficos de la mina y se pasaron a formato (TXT).

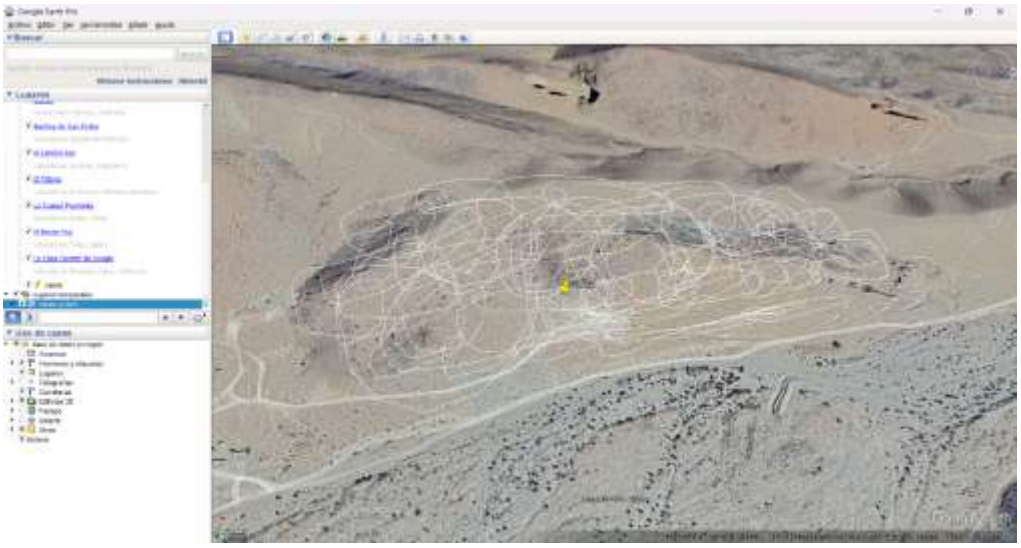
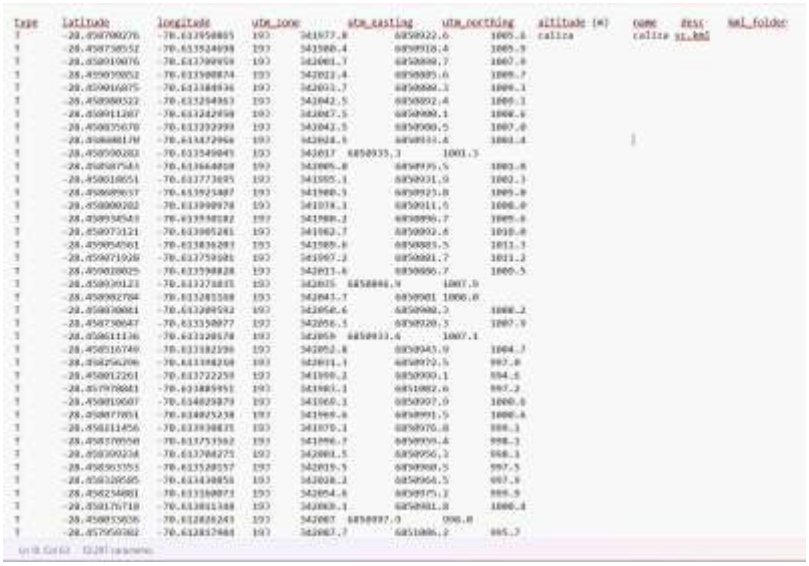


Figura 3.1 Google Earth

Formato TXT (Figura 3.2)



type	latitude	longitude	utm_zone	utm_easting	utm_northing	altitude (m)	name	desc	kml_folder
1	-28.0507002276	-70.6113958865	19J	541677.8	6850922.6	1005.6	caliza	caliza	st.kml
1	-28.0507385552	-70.6113524038	19J	541680.4	6850918.4	1005.9			
1	-28.0508010076	-70.6113709958	19J	541681.7	6850860.7	1007.8			
1	-28.0509398852	-70.6113508874	19J	542021.4	6850885.6	1009.7			
1	-28.0509016875	-70.6113384936	19J	542031.7	6850884.1	1009.1			
1	-28.0508805323	-70.6113264963	19J	542042.5	6850892.4	1009.3			
1	-28.0508911207	-70.6113242958	19J	542047.5	6850900.1	1008.6			
1	-28.0508755478	-70.6113232999	19J	542042.5	6850900.5	1007.8			
1	-28.0508608170	-70.6113472966	19J	542028.9	6850910.4	1003.4			
1	-28.0507500283	-70.6113549045	19J	542017 6850935.3	1001.3				
1	-28.0507587583	-70.6113664010	19J	542005.8	6850935.5	1003.6			
1	-28.0506310651	-70.6113773695	19J	541995.1	6850931.9	1002.3			
1	-28.0506898657	-70.6113921487	19J	541980.5	6850925.8	1005.8			
1	-28.0508000202	-70.6113990978	19J	541978.1	6850911.5	1006.0			
1	-28.0508934543	-70.6113938182	19J	541988.2	6850896.7	1005.6			
1	-28.0509773121	-70.6113865281	19J	541982.7	6850892.6	1010.8			
1	-28.0509954561	-70.6113836203	19J	541989.6	6850883.5	1011.3			
1	-28.0509771928	-70.6113754101	19J	541997.2	6850881.7	1011.2			
1	-28.0509328025	-70.6113598828	19J	542013.6	6850896.7	1009.5			
1	-28.0508301121	-70.6113771615	19J	542035 6850884.9	1007.0				
1	-28.0508982784	-70.6113481568	19J	542043.7	6850901 1006.0				
1	-28.0508360061	-70.6113209592	19J	542058.6	6850908.2	1008.2			
1	-28.0507308647	-70.6113150977	19J	542058.5	6850920.5	1007.9			
1	-28.0506111136	-70.6113210178	19J	542059 6850933.6	1007.1				
1	-28.0505167490	-70.6113382196	19J	542052.8	6850943.9	1004.7			
1	-28.0502562096	-70.6113948210	19J	542031.1	6850972.5	997.8			
1	-28.0500122261	-70.6113722259	19J	541990.2	6850990.1	994.6			
1	-28.0497978843	-70.6113885951	19J	541981.1	6851002.6	997.2			
1	-28.0500195687	-70.6114029879	19J	541960.1	6850997.9	1000.8			
1	-28.0500777851	-70.6114025238	19J	541969.6	6850991.5	1000.6			
1	-28.0501114456	-70.6113938835	19J	541979.1	6850976.8	998.1			
1	-28.0501709550	-70.6113753562	19J	541996.7	6850959.4	998.3			
1	-28.0500300238	-70.6113706275	19J	542001.5	6850956.1	998.1			
1	-28.0500363353	-70.6113520157	19J	542019.5	6850960.5	997.5			
1	-28.0501205505	-70.6113430856	19J	542028.2	6850964.5	997.9			
1	-28.0502546001	-70.6113360873	19J	542054.6	6850975.3	999.9			
1	-28.0501767718	-70.6113011348	19J	542068.1	6850981.8	1000.4			
1	-28.0500153536	-70.6112838243	19J	542087 6850997.9	998.8				
1	-28.0579503882	-70.6112837484	19J	542087.7	6851006.2	995.7			

Figura 3.2 Fuente propia

- Se importaron los puntos geográficos al Civil 3D.
- Le damos clic derecho en donde dice puntos y le damos en la opción que dice crear. (Figura 3.3)

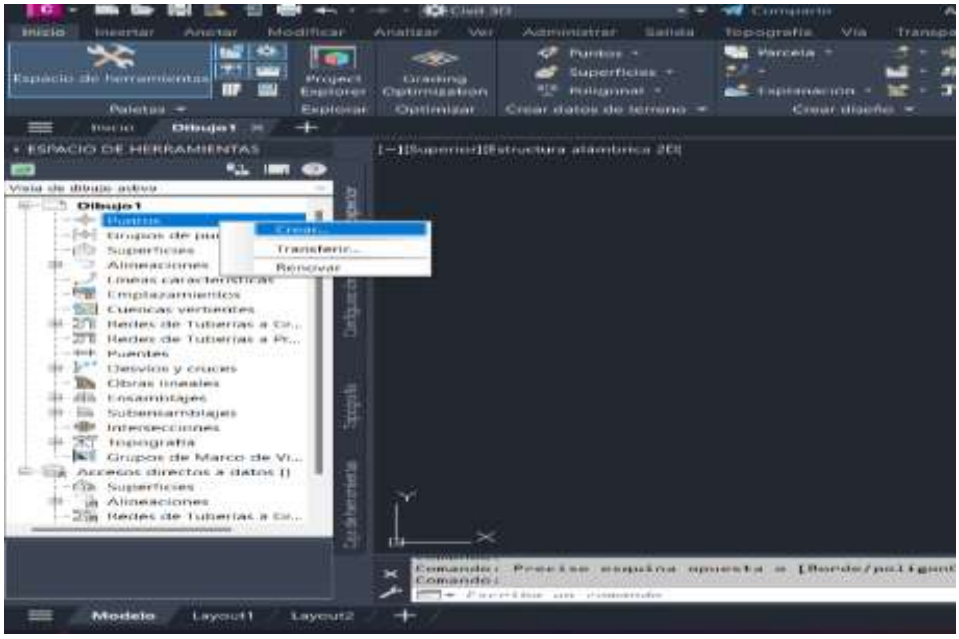


Figura 3.3 Civil 3D

- Aparecerá un cuadro llamado “Crear puntos” y seleccionamos donde dice importar puntos como en la imagen. (Figura 3.4)

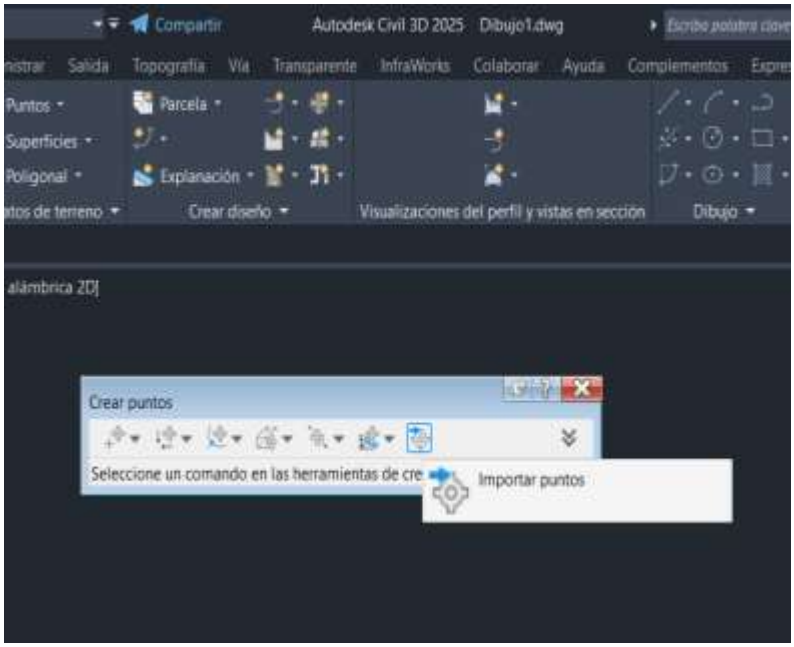


Figura 3.4 Civil 3D

- Se importaron los puntos en formato ENZ delimitado por espacios. (Figura 3.5)

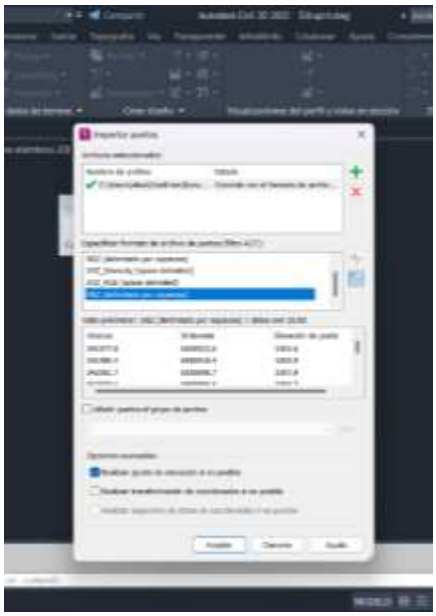


Figura 3.5 Civil 3D

- Se identifico la mina. (Figura 3.6)

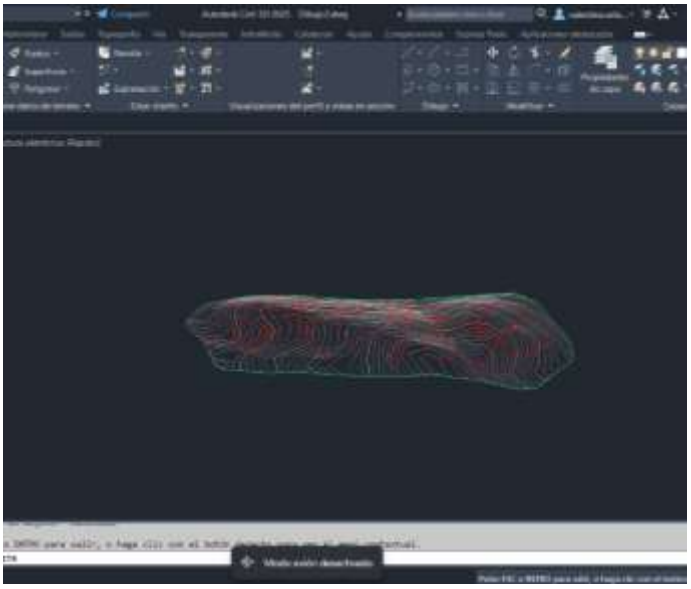


Figura 3.6 Civil 3D

- Forma del yacimiento por la superficie.

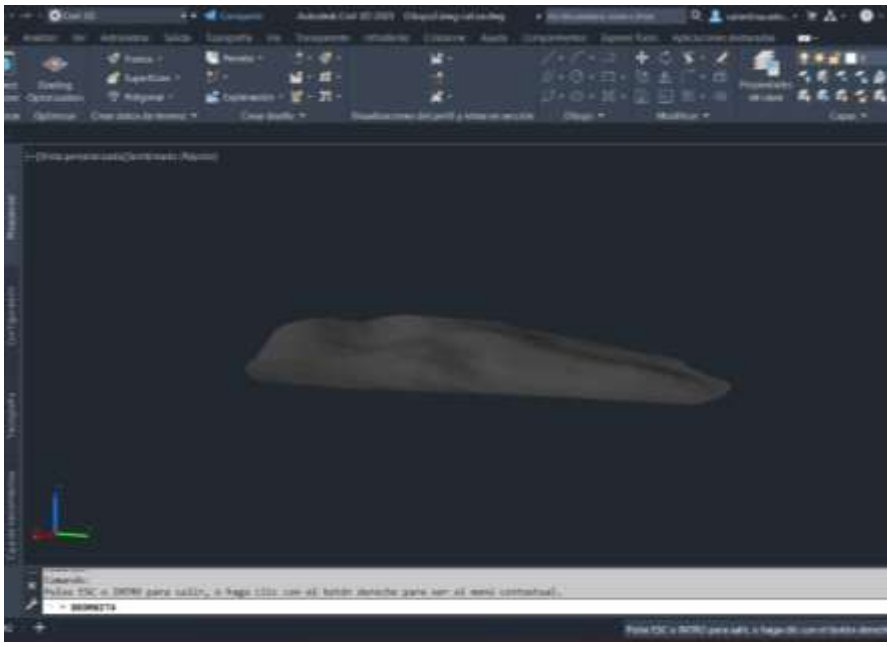


Figura 3.7 Civil 3D

3.7 Creación de la mina en AutoCAD e importación Ventsim

La mina fue diseñada utilizando el software AutoCAD, basándose en los planos del yacimiento. Todo el diseño se realizó en vista de planta, lo que significa que las coordenadas se visualizan en modo superior. (Figura 3.7)

Las galerías en Ventsim fueron trazadas con dimensiones de 5X4 metros, siguiendo las mediciones recolectadas en la mina. Por otro lado, la chimenea existente en el yacimiento se dibujó en vista frontal, con una altura de 100 metros hasta la superficie. (Figura 3.7.1)

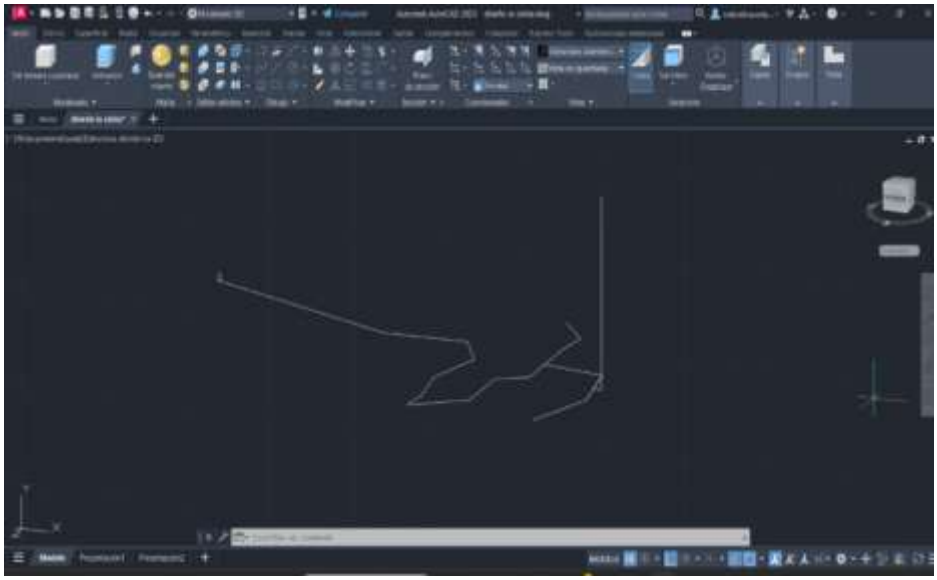


Figura 3.8 AutoCAD

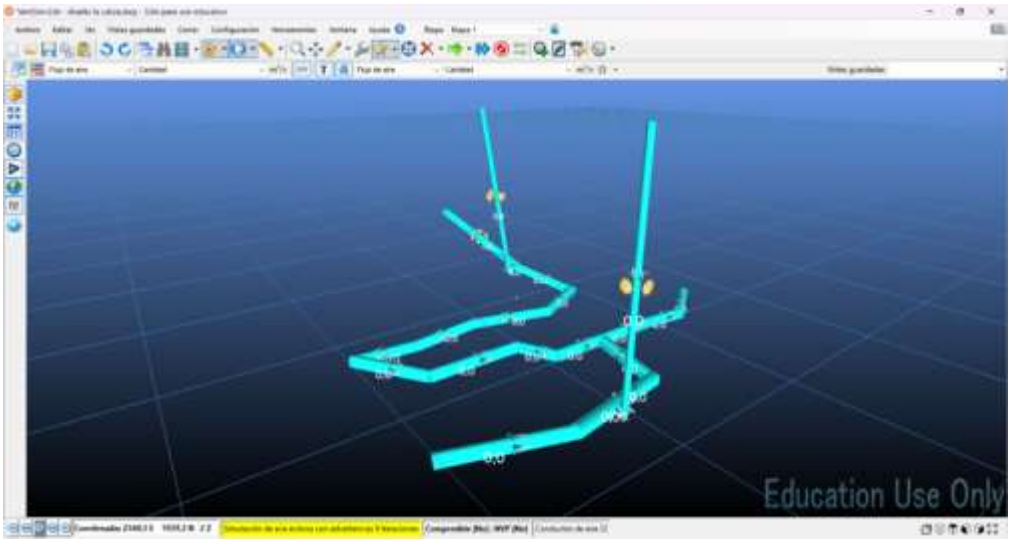


Figura 3.9 Ventsim

3.8 Entrevista al dueño de la mina

Se realizo una entrevista de seis preguntas al dueño de mina, con el objetivo de recopilar información valiosa para nuestro proyecto. A demás, se buscó entender las principales problemáticas que enfrenta la empresa en relación con el sistema de ventilación actual.

3.9 Funcionamiento de los equipos utilizados en mina

- Anemómetro. (Figura 3.10)



Figura 3.10 Fuente propia

Funcionamiento de botones:

⏻ **:** botón de encendido y apagado.

UNIT: Selección de unidades para medir el caudal.

MAX AVG: Calcular el caudal máximo y el promedio.

HOLD BL: Para fijar el caudal que se tomó.

La temperatura en pantalla siempre estará en grados Celsius.

- Flexómetro. (Figura 3.11)



Figura 3.11 Fuente propia

Pasos:

- Trabar el gancho metálico del flexómetro en la superficie que se va a medir.
- Llevar el cabezal del flexómetro hasta el otro extremo de la medición.
- Asegurarse de que la cinta se mantenga derecha.
- Apretar el botón para guardar el dato de medición.

3.10 Determinación de caudales necesarios para la mina

Para poder determinar cuánto aire debemos inyectar a la mina para que el trabajo sea seguro se utiliza la formula del caudal, caudal para personas, caudal para los equipos Diesel y el caudal según el consumo de explosivos.

3.10.1 Caudal

A (m2) x V (M/ Min)

Donde:

A: Área

V: Velocidad del Aire

3.10.2 Caudal para personas

Q= F x N (m^3/ min.)

Donde:

Q: Caudal total para número de personas que trabajan en interior mina (m^3/ min.)

F: Caudal mínimo por persona (3 m^3/ min.)

N: Número de personas en el lugar

3.10.3 Caudal para los equipos Diesel

Q= 2.83*HP(Motor) m3/min

Donde:

Q= Volumen de aire necesario para la ventilación requerido por equipos Diesel (m3/min)

HP= Caballos de fuerza de los equipos

3.10.4 Caudal según consumo de explosivos

Q: 16, 67*E m3/min

Donde:

Q: Cantidad de caudal por consumo de explosivo

E: Cantidad de explosivos (Kg)

La información de los kilogramos de explosivos que se utilizan fue dada por los trabajadores de la mina, lo que son 50 kg de explosivos por tronadura.

3.11 Funcionamiento del método Alimak

El operador sube en una jaula propulsada por un compresor, la cual esta guiada a través de un carril fijado al macizo rocoso mediante pernos. Para el descenso del operador, se utiliza la gravedad, ya que el carril está equipado con un sistema de frenos que controla la velocidad de la jaula, evitando que esta aumente durante el descenso.

Los elementos que componen el método Alimak son:

- Jaula
- Plataforma de trabajo
- Motores de accionamiento
- Carril guía
- Elementos auxiliares.

La plataforma se eleva a través de un carril guía curvado, utilizando motores de aire comprimido, eléctricos o diésel.

CAPITULO 4: ANALISIS Y RESULTADOS

4.1 Creación de la mina en 3D mediante AutoCAD

- El método de explotación utilizado en la mina es “Room and pillar”, con un espaciamiento entre pilares de 10 metros y una luz de 5 metros.
- La mina está conformada con un total de 60 pilares.

Toda la mina se puede apreciar en las figuras (4.1, 4.2, 4.3,4.4)

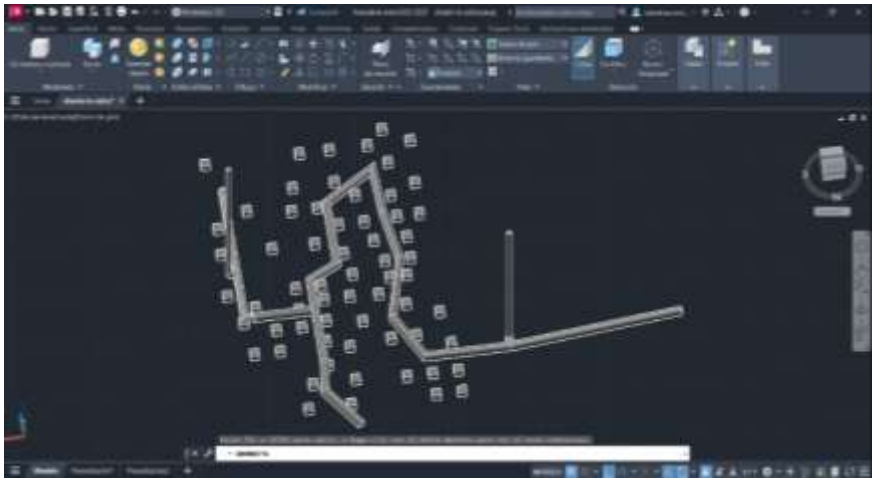


Figura 4.1 AutoCAD

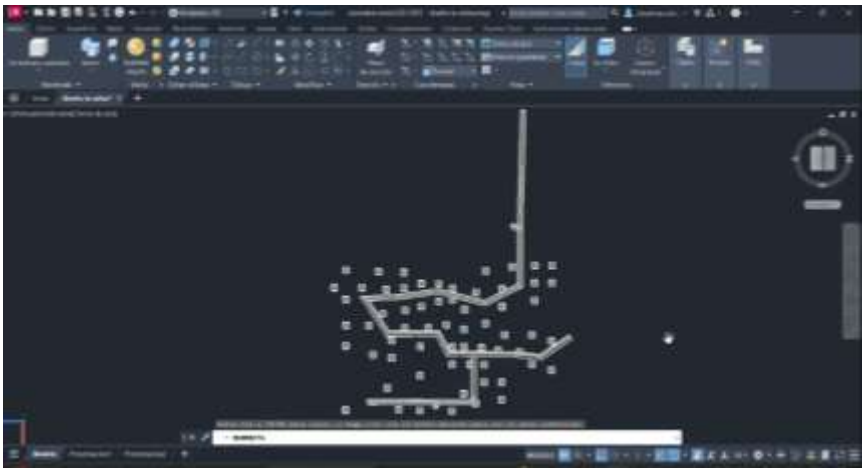


Figura 4.2 AutoCAD

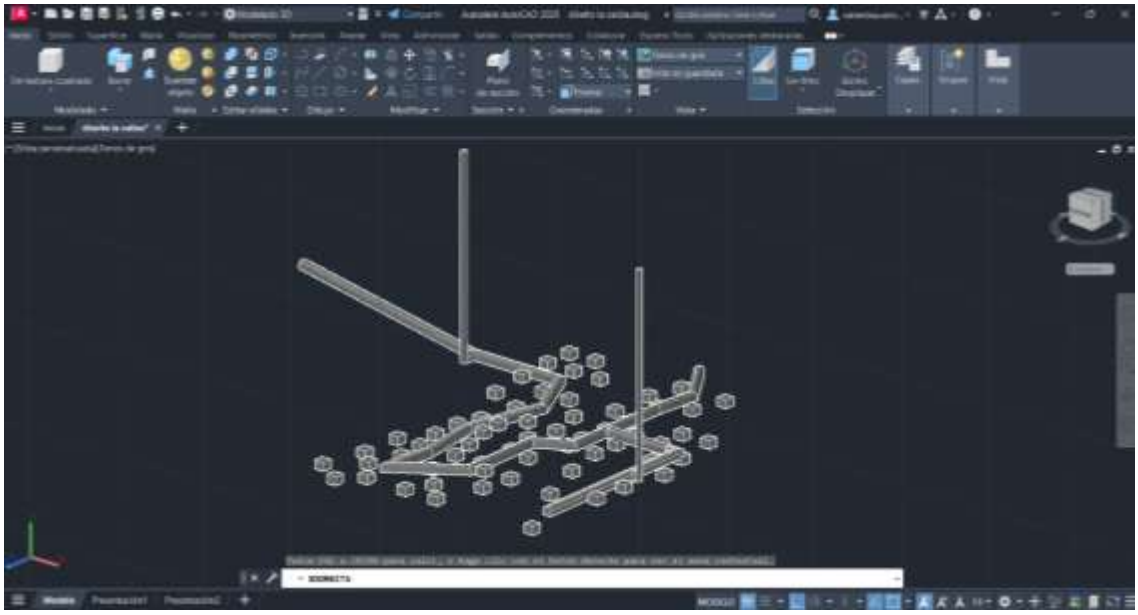


Figura 4.3 AutoCAD

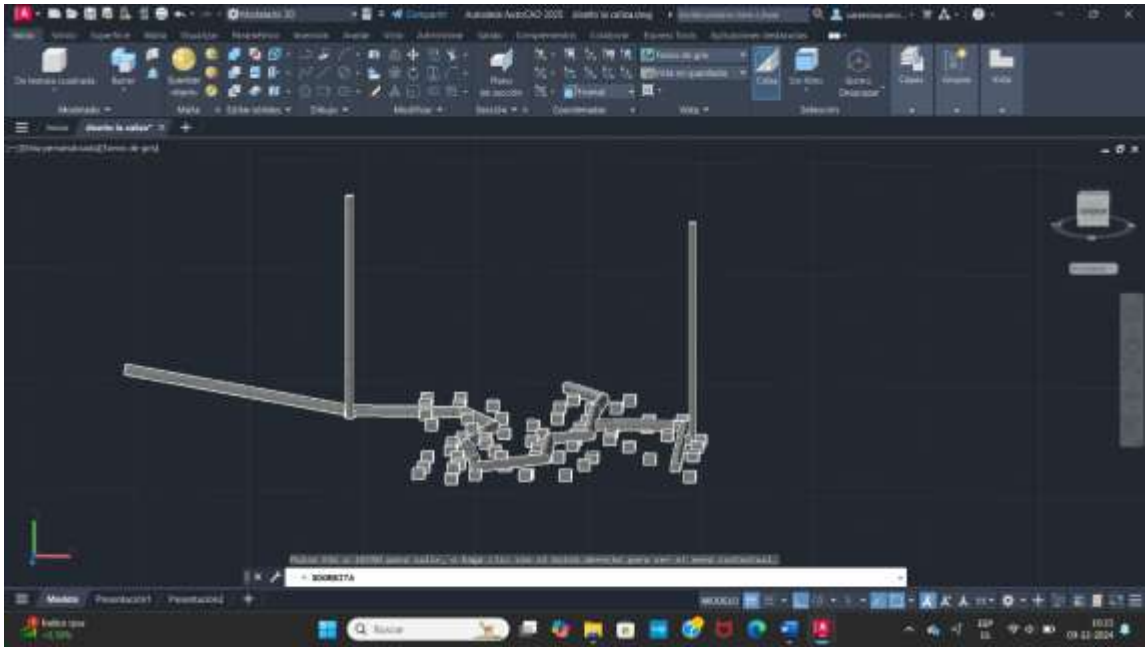


Figura 4.4 AutoCAD

4.2 Creación de la mina actual mediante Ventsim

- Las galerías de la mina son de 5x4.
- Posee solamente una entrada.
- La estocada de la chimenea de la mina tiene una sección de 4x4.

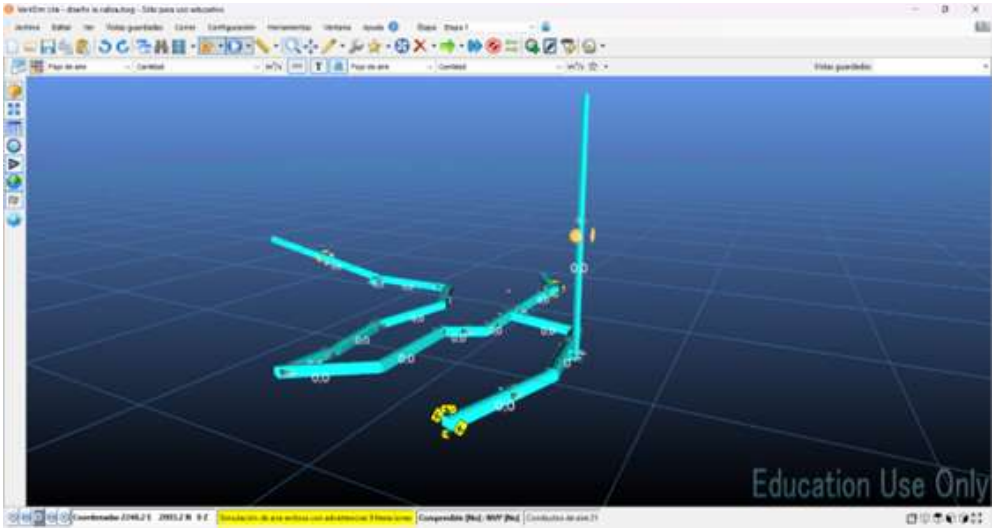


Figura 4.5 Ventsim

4.2.1 Creación de la chimenea a proponer mediante Ventsim

- Se construyo una chimenea a 100 metros de la entrada, con un ángulo de inclinación de 80°, acorde al método que se utilizaría para su construcción. Su altura hasta la superficie es de 100 metros.
- La estocada para realizar la chimenea tiene una sección de 4x4.
- La chimenea que contenía La Caliza fue utilizada para la extracción del aire viciado y tenía un diámetro de 2.5 metros, mientras que la chimenea propuesta, se destinó a la inyección de aire fresco con un diámetro de 3 metros.

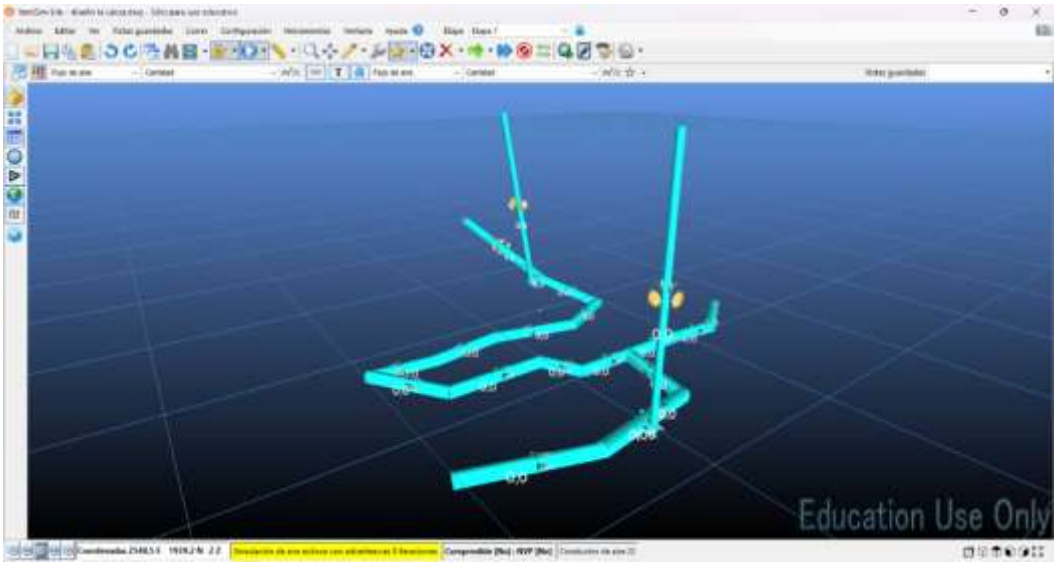


Figura 4.6 Ventsim

- Se simulo el flujo de aire que ingresará a la mina mediante la chimenea, el cual será de 100 m^3/s.

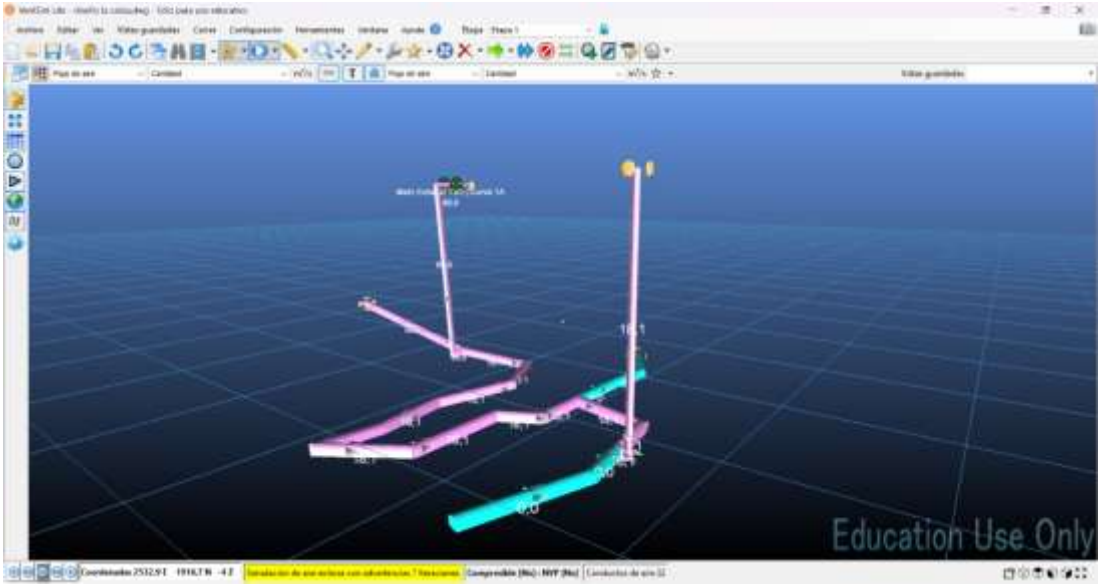


Figura 4.7 Ventsim

- Simulación del flujo de aire con los dos ventiladores tipo auxiliares pequeños que servirán de apoyo para las galerías que llega poco caudal.

- Se utilizaron mangas para los ventiladores auxiliares.

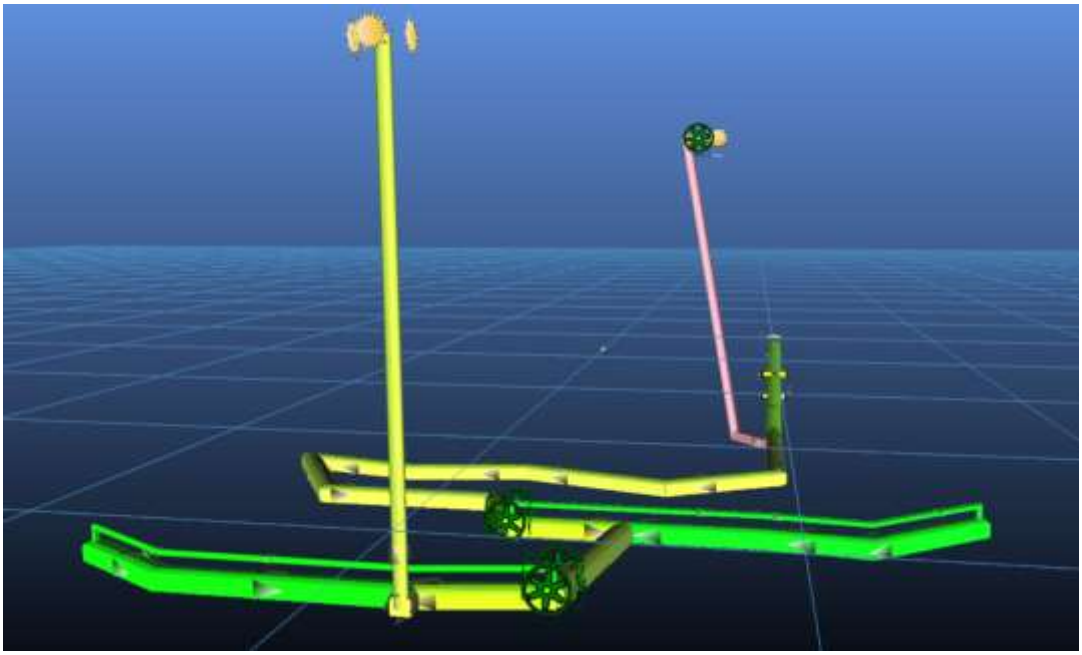


Figura 4.8 Ventsim

4.2.2 Simulación final a proponer

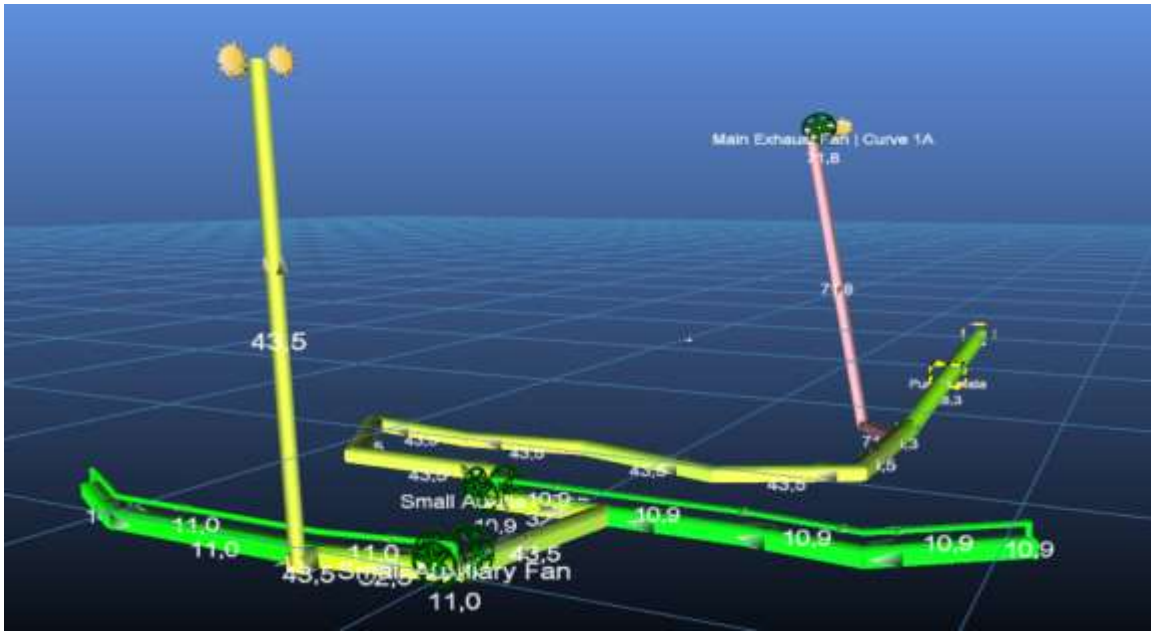


Figura 4.9 Ventsim

4.3 Cálculos de caudales necesarios para la mina

Para realizar los cálculos de manera precisa, es necesario considerar a todas las personas, equipos y explosivos que se utilizaran en el funcionamiento de la mina.

4.3.1 Caudales por personas:

Q: F x N

Q: 3 m3/min x 7 personas

Q: 21 m3/min

4.3.2 Cálculo de caudales por equipo Diesel

4.3.2.1 Cargador frontal

Q: 2.83 x Hp (motor) m3/ min

Q: 2.83 x 173 hp

Q: 489,59 m3/ min

4.3.2.2 Camión 4x2

Q: 2.83 x Hp (motor) m3/min

Q: 2.83 x 280

Q: 792,4 m3/min

Para realizar la chimenea a proponer con el método Alimak, necesitamos un compresor que este inyectando aire comprimido para que suba la jaula y también para ayudar a operar de manera eficiente la perforadora. Este compresor tiene una potencia de motor de 122 KW que pasados a HP serian 163.6.

Q=2.83 x Hp (motor) m^3/min

Q= 2.83 x 163.6

Q= 462.98 m^3/min

4.3.3 Caudal según consumo de explosivos

4.3.3.1 Anfo a granel para creación de galerías

Q= 16,67 X E m^3/min

Q= 16,67 x 50 kg

Q=833.5 m^3/min

4.3.4 Q total en minutos

21 m3/min + 489, 59 m3/min+ 792,4 m3/min +462.98 m^3/min+ 833.5 m3/min= 2599.47 m^3/min.

4.3.4 Caudal en segundos

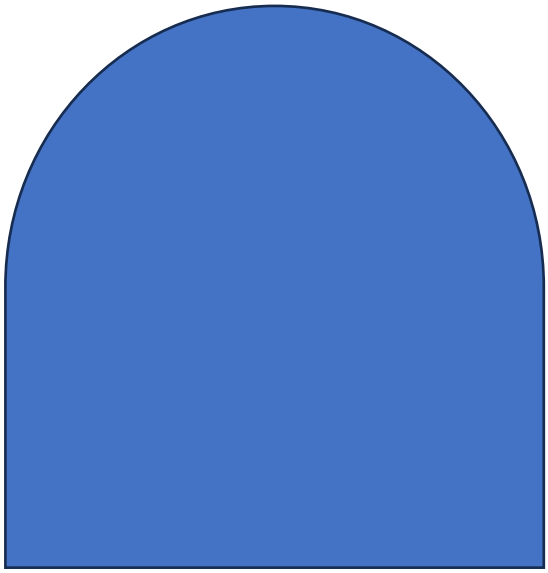
- 2599.47/60= 43.32 m/s

4.4 Mediciones de caudales, secciones de la entrada y galerías

Para realizar estos cálculos, es necesario medir los caudales en cinco puntos utilizando un anemómetro. En cuanto a las mediciones de las secciones se llevan a cabo con un flexómetro, realizando tres mediciones a lo largo y tres a lo ancho.

4.4.1 Entrada de la mina

4.4.1.1 Caudal



P1: 0.4 m/s

P2: 0.8 m/s

P3: 0.8 m/s

P4: 1.0 m/s

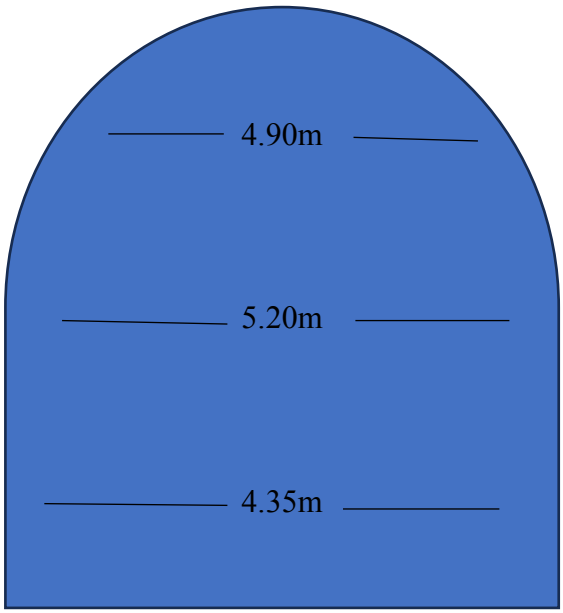
P5: 0.8 m/s

Promedio de caudales:

0.4+0.8+0.8+1.0+0.8 = 3.8/5 = 0.76 m/s

4.4.1.2 Mediciones ancho, largo y área

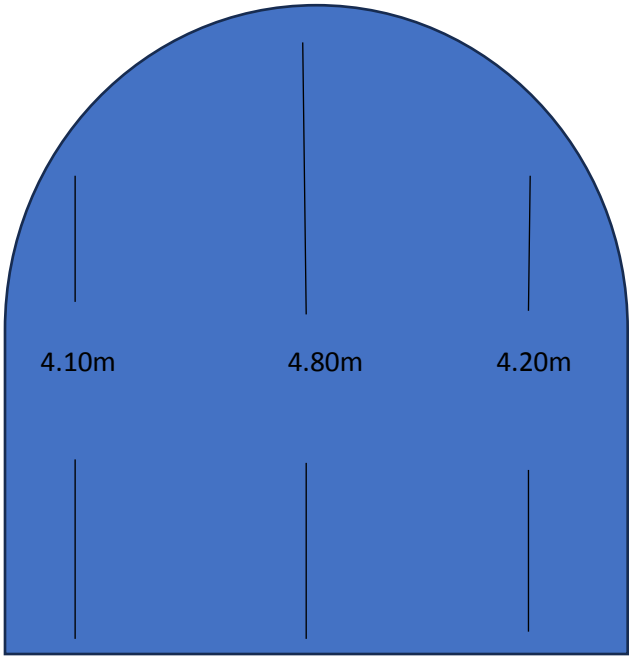
Ancho



Promedio:

4.90m+5.20m+4.35m = 14.45/3 = 4.81m

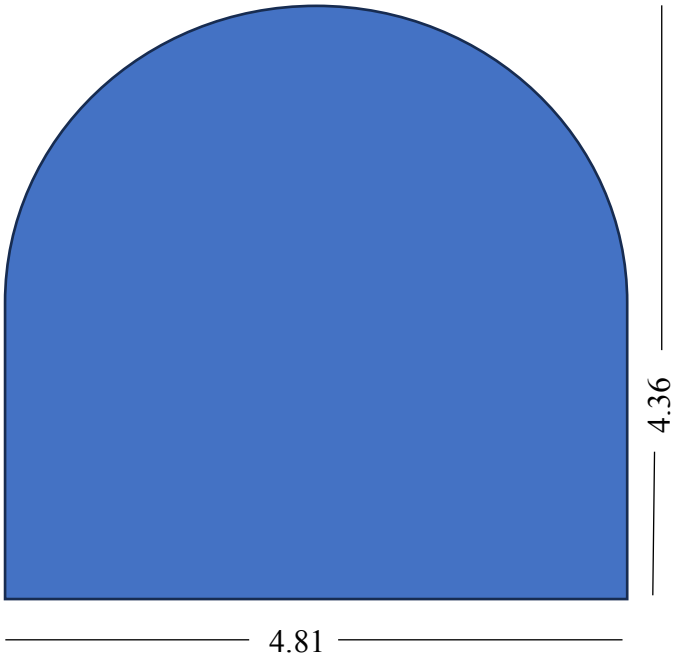
Alto



Promedio:

4.10m+4.80m+4.2 m= 13.1/3 = 4.36m

Área de la galería



4.4.1.3 Cálculo del área

A= Ancho * altura

A= 4.81*4.36

A= 20.97m^2

4.4.1.4 Cálculo caudal entrada mina

Q= Am^2 * V m/min

20.97 m^2 * 0.76 m/s

0.76 m/s * 60 seg/1 min

0.76 * 60

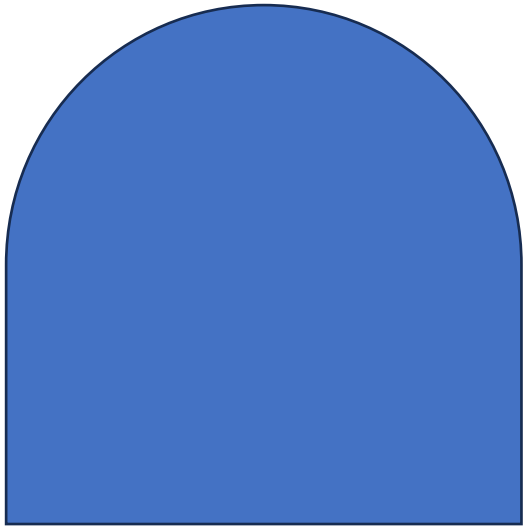
20.97 m^2 * 45.6 m/min

Q= 956.2 m^3/min

4.4.2 Mediciones 100 metros después de la entrada

- Temperatura: 25.9°c

4.4.2.1 Caudal



P1=0.0 m/s

P2=0.0 m/s

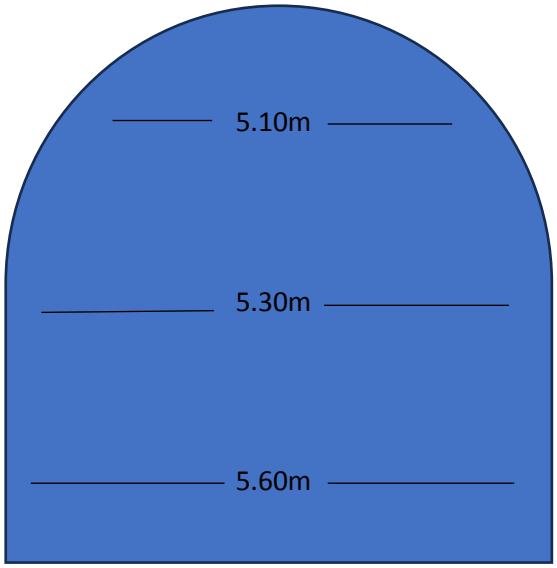
P3=0.0 m/s

P4=0.0 m/s

P5=0.0 m/s

Promedio= 0.0 m/s

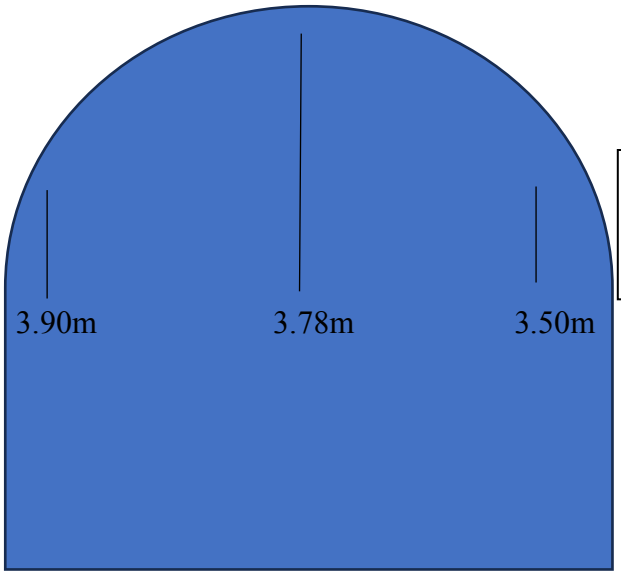
Ancho



Promedio:

5.10m+5.30+5.60= 16/3=5.33m

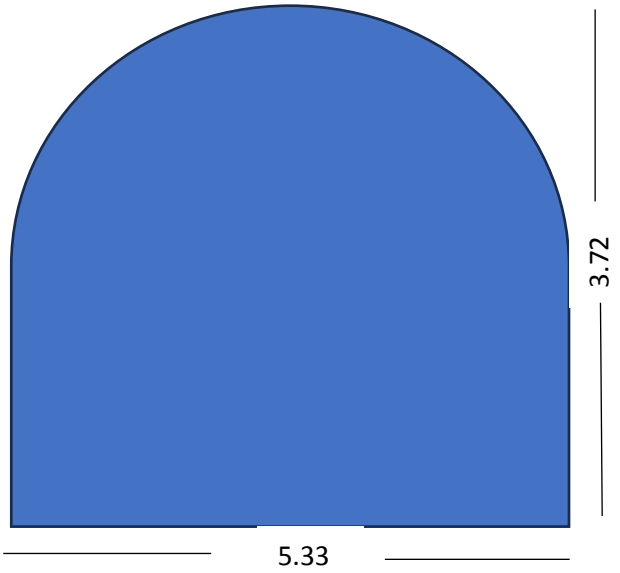
Alto



Promedio:

3.90m+3.78m+3.50m= 11.18/3 = 3.72m

Área galería



4.4.2.2 Cálculo del área

Área = Ancho * Altura

A = 5.33 * 3.72

A = 19.82 m^2

4.4.2.3 Fórmula del caudal

Q= Am^2 * V m3/min

Q= 19.82 m^2 * 0.0 m/s

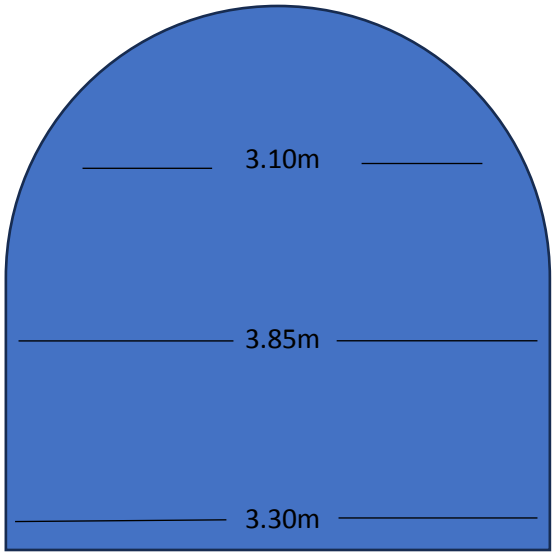
0.0m/seg * 60seg/1min = 0.0m*60

19.82 m^2 * 0 m/min

Q= 0 m^3/min

4.4.2.2 Medición de estocada para realizar la chimenea

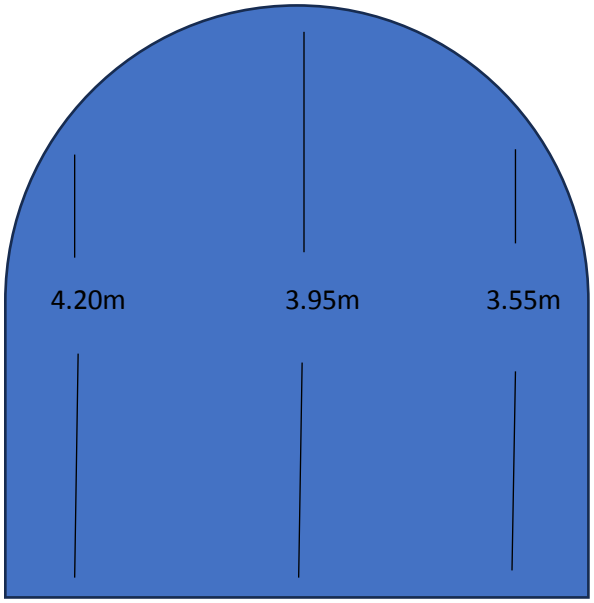
Ancho



Promedio:

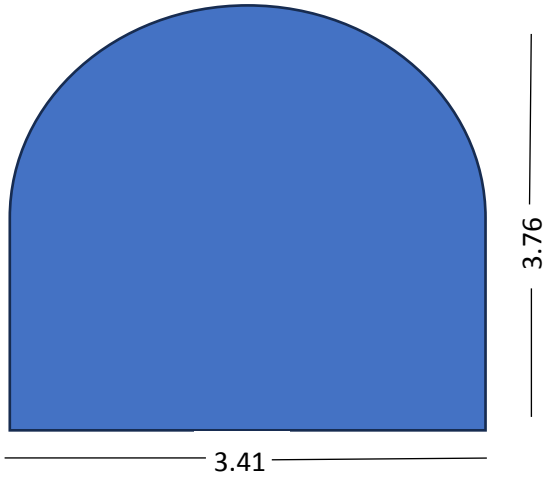
3.10m+3.85m+3.30 m= 10.25/3 = 3.41m

Alto



Promedio:

4.20m + 3.95m + 3.55m = 11.7/3 = 3.76m



4.4.2.3 Cálculo del área

A = Ancho * Altura

A = 3.41 * 3.76

A = 12.82 m^2

4.4.2.4 Fórmula caudal

Q= Am^2 * V m^3/min

12.82m^2 * 0.0m/seg

0.0m/seg * 60seg/1min

0.0 m * 60

12.82m^2 * 0.0m/min

Q = 0m$^{3/}$min

4.5 Metros de avance y tiempo estimado de la chimenea

Cada día de perforación se logrará un avance de 3 metros en la construcción de la chimenea. Debido a que la mina presenta una ventilación deficiente, se deberá permitir que se ventile completamente durante un día tras cada tronadura. Con base a esta planificación, se estima que las labores se completaran aproximadamente en un mes y una semana.

4.6 Propuesta de diagrama de disparo

Se elaboro una propuesta para el diagrama de disparo destinado a la construcción de la chimenea, que estará ubicada a 100 metros de la entrada de la mina. La chimenea tendrá un diámetro de 3 metros y contará con un total de 12 pozos, excluyendo los 3 de cara libre. Se utilizará explosivo tipo ANFO a granel que serán detonados mediante mechas. Para la perforación, se empleará una perforadora manual neumática modelo YT27, cuya barra tiene una longitud de 90 centímetros y un diámetro de 40 milímetros. (Figura 4.10)

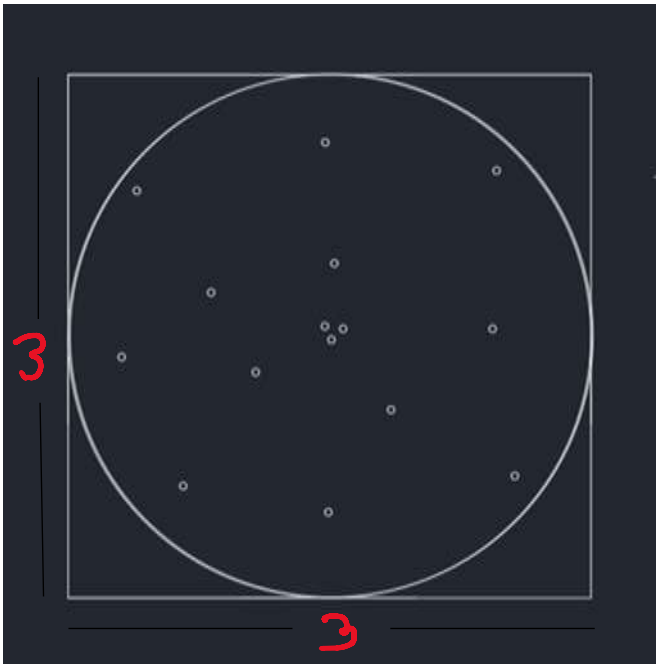


Figura 4.10 AutoCAD

La secuencia de disparo será la siguiente:

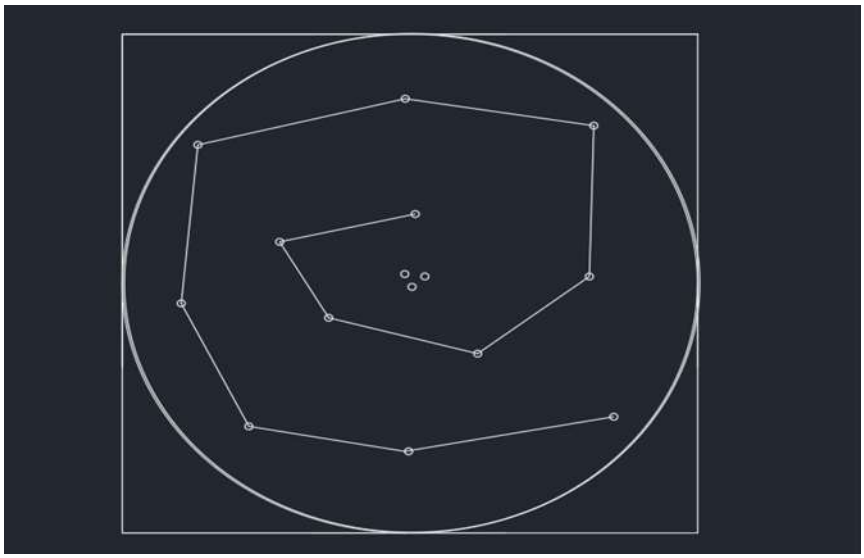


Figura 4.11 AutoCAD

4.6 Cálculo de cantidad de explosivos necesarios para la ejecución de la chimenea

Se utilizarán 20 kg de ANFO por tronadura, con un avance de 3 metros, lo que permitirá extraer aproximadamente el 70% del material.

$$\frac{20=3}{\times=100} = \frac{20\times100}{3} = 666.7 \text{ kg}$$

Para completar las labores de chimenea, se utilizarán un total de 666,7 kg de ANFO a granel.

4.7 Mangas que se usaran

La manga destinada para la ventilación auxiliar será del tipo flexible lisa. El principal factor que guio a su elección fue su bajo costo de adquisición, ya que está fabricada con tubos de PVC, poliéster y tela. Además, destaca por su resistencia a altas temperaturas, su larga vida útil y su ligereza, lo que facilita tanto su transporte como su adaptación a las condiciones de las galerías de la mina La Caliza.

4.8 Ventiladores que se usaran

- En la superficie, se utilizará un ventilador principal que inyectará un caudal de 100 m^3/min.
- En interior mina usaremos dos ventiladores auxiliares tipos axiales en zonas específicas para inyectar el caudal necesario. Dichos ventiladores inyectarán un caudal de 30 m^3/min y estarán complementados con las mangas de ventilación tipos flexibles lisas.

Los modelos de ventiladores serán seleccionados en función de la rentabilidad de la explotación de La Caliza. La elección de los ventiladores dependerá de un análisis detallado de las necesidades operativas y la eficiencia energética, considerando las características específicas del yacimiento y los métodos de extracción empleados. Se evaluarán diversos factores, tales como el volumen de aire necesario para garantizar la seguridad y el bienestar de los trabajadores, las condiciones geológicas del yacimiento y la variabilidad de la demanda de ventilación a lo largo del tiempo. Este enfoque

permitirá la implementación de sistemas de ventilación óptimos, que aseguren un equilibrio entre los costos operativos y el cumplimiento de los estándares de seguridad, sin afectar le eficiencia y el rendimiento en las operaciones mineras.

4.9 Uso del compresor

El compresor modelo Kaeser 135, de tipo tornillo, desempeñará un papel fundamental en la construcción de la chimenea, suministrando aire comprimido a la perforadora que se utilizará para la excavación del pique y para el método Alimak. Este compresor genera un caudal de 10.5 a 12 m^3/min y una presión de 12 a 14 bar, características que lo hace adecuado para el método Alimak, que requiere un caudal de entre 2 a 5 m^3/min. Por otro lado, la perforadora modelo YT27 necesita una inyección de aire de 5 a 6 m^3/min y una presión de 6 a 7 bar para su correcto funcionamiento.

4.10 Entrevista al dueño de la mina La Caliza

1- ¿Qué medidas cree usted que se deben hacer para mantener la continuidad de la explotación del yacimiento?

•Realizar constante exploración, si el negocio lo permite y para mantener la calidad del producto extraído, se debe considerar un % para concepto de exploración y muestreo periódico.

•Trabajar con medidas de seguridad, ya que es la única forma que sea sostenible en el tiempo es que no ocurran incidentes.

•Chequeo documental de los proyectos vigentes de explotación y cierre.

•Mantenimiento preventivo.

2. ¿Qué problemas o desafíos a detectado usted en las operaciones de producción en el yacimiento?

•El desafío de Sernageomin, muchas veces Sernageomin con el afán de dar fiel cumplimiento a la normativa vigente, puede llegar a ser poco laxo con los pequeños productores, éstos muchas veces trabajando en función a dar cumplimiento a las actas de

fiscalizaciones (seguridad principalmente) y no verse reflejado un margen positivo según el negocio.

•Geología: Este concepto es muy relevante en las explotaciones de mina, ya que generalmente no hay una regularidad de lo que se extrae, por ende, se debe mantener al mínimo posible las brechas o márgenes de error, ya que éstos últimos pueden significar panteoneo y pérdida de la inversión en explotación, es por eso que se debe trabajar de cerca con este punto según lo señalado en (1).

•Capital humano: el trato con trabajadores debe ser bien delicado, ya que cualquier discrepancia entre las partes, puede significar la detención de faena, es decir, se deben respetar todas las leyes sociales, comodidades y condiciones idóneas para su lugar de trabajo.

•Tarifa de clientes: ustedes se preguntarán por qué este punto, pero la verdad es que un buen o mal precio que se le da al mineral extraído repercute directamente en nuestra explotación, viéndose reflejado en el trabajo de los mineros (perforos y operadores), dónde necesitan disminuir al mínimo los costos por tronar o mover estéril, generando un método más pobre desde el punto de vista de la seguridad.

3. ¿Cómo dueño de la mina la caliza haría cambios en el sistema de ventilación ya existente?

•No, con nuestra producción mensual y teniendo otros accesos a la mina, hemos tenido buena aceptación desde las entidades fiscalizadoras, más que cambiar el sistema, se podría mejorar la estabilidad de chimeneas.

4. ¿Qué cree usted que hoy en día las minas que son catalogadas pequeña minería se enfrentan a pocos recursos para mejorar sus sistemas de ventilación? (ya se por falta económica, poco apoyo del gobierno, no sea un yacimiento a largo plazo)

En general, no sólo para los sistemas de ventilación, la pequeña minería no ha tenido buen apoyo en los últimos años, poca confianza en ENAMI, junto a un estancamiento

tecnológico e improductividad de este último, los otros pequeños productores están destinados a vender a poderes de compra privados, dónde los precios son unilaterales y no hay arbitraje.

Los principales apoyos a la pequeña minería actualmente vienen de la Seremi de minería, lo cual son por periodos acotados dado el gobierno de turno, generando irregularidad en la profesionalización de los proyectos.

5. ¿Cuál cree que sean los grandes desafíos que se enfrenta la pequeña minería a la aplicación de un sistema de ventilación?

Créditos para aplicación de estos sistemas, o bien, asignación de capitales de riesgo, muchas veces a pesar de ser créditos blandos (tasa real 0%), los pequeños mineros no son capaces de devolver el dinero, generando la quiebra, falta apoyo profesional, no sólo desde el punto de vista minero o de ejecución, sino que, desde el punto de vista de educación financiera, teniendo los apoyos anteriores, se pueden hacer laborar semejantes a las que piden las entidades fiscalizadoras.

En resumen, se requieren recursos, de varios tipos, maquinaria, capital de trabajo, capital humano, insumos, costos indirectos a las ejecuciones, que se ven reflejados en recursos.

El desafío es sobrellevar estos proyectos de mejora en paralelo a las ejecuciones de explotación de las faenas, ya que lo más seguro que si lo incorporan como una inversión adicional para sus flujos por concepto de venta de mineral, no da desde el punto de vista de economía.

6. ¿Qué piensa de nuestra propuesta de ventilación para la mina la caliza?

Toda mejora es bienvenida desde el punto de vista proyecto, eso luego se ser un proyecto se debe estudiar la ejecución y analizar si junto a los otros comentarios de fiscalizaciones es viable desde el punto de vista económico. La mina como es subterránea lógicamente, entre mayores vías de ventilación es mejor.

Conclusiones

La ventilación, como sub-operación minera, se distingue por su carácter vital. Cada minuto de funcionamiento debe asegurar la interacción constante con el organismo de los trabajadores que desarrollan sus funciones en el interior de la mina subterránea. Además, influye directamente en la vida útil de los equipos y controla los aspectos ambientales que proporcionan un entorno óptimo para el desempeño de los trabajadores y equipos. Las decisiones sobre la cantidad y disposición de la ventilación afectan directamente el caudal de aire dentro de la mina, así como los datos recopilados en su interior.

Los objetivos e hipótesis planteados al inicio fueron cumplidos. En primer lugar, se presentó información general sobre la ventilación para que el lector comprendiera los conceptos básicos relacionados con esta propuesta. Con los datos obtenidos, se procedió al estudio y análisis de la cantidad de trabajadores y equipos utilizados para la extracción del mineral de la mina La Caliza. Posteriormente, según las exigencias del Decreto Supremo 132/2002 del Ministerio de Minería, se calcularon las necesidades y requisitos para asegurar el caudal necesario que garantice una correcta ventilación en el yacimiento. Los resultados obtenidos en la mina indicaron un caudal de 0 m^3/s, lo que evidencia un claro déficit de aire. Esto demuestra que la mina La Caliza requiere un sistema de ventilación adecuado.

Se concluyó y se propuso que, para la ventilación auxiliar en el interior de la mina, se utilizarían ventiladores de la marca INAV, los cuales son capaces de suministrar un caudal de hasta 37 m^3/s. Estos ventiladores se instalarían en las dos secciones donde no se alcanza el caudal necesario. Para la ventilación principal de la chimenea, se emplearía un ventilador que aprovecharía los recursos disponibles en la mina La Caliza, debido a los elevados costos asociados. El sistema sería de tipo impelente, lo que garantizaría una renovación constante del aire en el frente de las operaciones. Es importante destacar que un sistema de ventilación natural no es recomendable para este tipo de desarrollo.

Bibliografía

- Redacción, Redacción, & Redacción. (2016, 11 octubre). Ventilación bajo tierra. Mundo HVAC&R - Calefacción, Ventilación, Aire Acondicionado y Refrigeración. https://www.mundohvacr.com/2013/12/ventilacion-bajo-tierra/
- Ventiladores centrífugos - Centrales nucleares y refinerías. (s. f.). Llorvesa. https://www.llorvesa.com/es/ventiladores-centrifugos_c182242/
- Ziebtec. (2022, 21 septiembre). Ventilador axial minero auxiliar | ZieBTec - Mining & Process. https://ziebtec.cl/ventilador-axial-minero-auxiliar/
- Sernageomin. (2018). En https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/10/G4PerforacionTronaduras.pdf.
- Fernández, V. (s. f.). Sistema de excavación. Departamento Técnico Pedraplus. En

  https://victoryepes.blogs.upv.es/files/2015/06/RAISE-BORING-pedraplus.pdf.

- Del Congreso Nacional, B. (s. f.). Biblioteca del Congreso Nacional. www.bcn.cl/leychile. https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1202464&idParte=10496340
- Alcantara, P. J. (2017, 18 marzo). PPT perfoyvoladura-120412201246-phpapp01 [Diapositivas]. SlideShare. https://es.slideshare.net/slideshow/ppt-perfoyvoladura120412201246phpapp01/73288762
- Guía Metodológica de Seguridad para proyectos de ventilación de minas. (2008). Servicio Nacional de Geología y Minería. https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/12/200812GuiaVentilacionMinas.pdf
- Guía número 4 de operación para la pequeña Minería. (2013). https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/10/G4PerforacionTronaduras.pdf
- Clima Market. (2023, 28 noviembre). Ducto flexible D.300mm (12") 5m para turbina - Clima Market. https://climamarket.cl/producto/ducto-flexible-d-300mm-12-5m-para-turbina/
- Tapia, D. (s. f.). Alimak. Scribd. https://es.scribd.com/document/288549228/Alimak
- Ventilación de minas. (2015, octubre). Sernageomin Zona Sur. https://repositorio.sernageomin.cl/server/api/core/bitstreams/6889778f-9a3f-4954-9966-4228b380c468/content
- Ventiladores centrífugos - Centrales nucleares y refinerías. (s. f.-b). Llorvesa. https://www.llorvesa.com/es/ventiladores-centrifugos_c182242/
- Ziebtec. (2022, 21 septiembre). Mangas o ductos de ventilación | Ziebtec - Mining & Process. https://ziebtec.cl/mangas-ductos-ventilacion/

- Soluciones digitales de Ventsim. (s. f.). Chart Industries, Inc. https://es.chartindustries.com/Products/Ventsim
- Compresor de Aire Kaeser M100 375 cfm. (s. f.). https://www.motorman.cl/compresores_de_aire/compresor-aire-kasere-m100