



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA
SEDE VALLENAR

PROPUESTA DE SISTEMA DE VENTILACIÓN MIXTA EN MINA LA CALIZA

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

Profesor guía: Enrique Andrés Veragua Guerra

Sayem Elena Pichilen Vergara
Claudio Brizuela Cortes

Vallenar, Chile 2025.

Dedicatoria

Quiero dedicar este proyecto a mi familia, especialmente a mi mamá, quien siempre ha estado a mi lado brindándome apoyo con amor e incentivando a seguir adelante con mis estudios. También agradezco a mis hermanos, por acompañarme y ser un pilar importante durante todo este proceso. Gracias por todo lo que han hecho por mí.

A mi pareja, Esteban, gracias por estar conmigo en cada momento de estrés, por apoyarme con cariño y por ser parte fundamental de mi futuro. Todo este esfuerzo también es por nosotros y por lo que queremos construir juntos.

Quiero dedicar también unas palabras a mi amiga Ashly, quien ha sido un apoyo constante y una compañía sincera. Aprecio muchísimo y valoro profundamente cada momento que compartimos; su amistad ha significado más de lo que puede expresarse en palabras.

Sayem Pichilen

Dedicatoria

Quiero comenzar agradeciendo a mi entorno familiar por motivarme cada día a cumplir uno de mis objetivos. Además, agradezco a mi compañera de estudios Sayem por el apoyo brindado en estos semestres; fue un apoyo fundamental para culminar este proceso. También me gustaría reconocer a los profesores involucrados en este proceso por su compromiso y dedicación constante

Claudio Brizuela

Índice de contenido

CAPÍTULO 1: MARCO INTRODUCTORIO	14
1.1 Introducción.....	14
1.2: Objetivo General	14
1.3: Objetivos Específicos.....	15
1.4: Planteamiento del problema	15
1.5: Justificación.....	15
1.6: Alcance.....	16
1.7: Antecedentes	16
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	18
2.1: Ventilación en minería	18
2.2: Ventilación Natural	18
2.3: Ventilación Auxiliar.....	19
2.3.1: Sistema impelente.....	19
2.3.2: Sistema aspirante	19
2.3.3: Sistema aspirante-impelente	20
2.4 Circuito de ventilación	21
2.4.1: Circuito en serie.....	21
2.4.2: Circuito en paralelo.....	21
2.5: Ventilador.....	21
2.5.1: Ventilador centrífugo.....	21
2.5.2: Ventilador axial	22
2.5.3: Ventiladores mixtos	22
2.5.3.1: Clasificación	23
2.6: Mangas de ventilación.....	23
2.6.1: Tipos de mangas de ventilación.....	23
2.6.1.1: Mangas de ventilación rígidas	23
2.6.1.2: Mangas de ventilación flexibles lisas.....	24
2.6.1.3: Mangas de ventilación corrugadas.....	24
2.7: Chimeneas	24
2.8: Métodos para fabricar chimeneas.....	24

2.8.1: Método Raise Boring.....	24
2.8.2: Método Blind Hole	25
2.8.3: Método alimak.....	26
2.8.4: Fundamentos de la tronadura controlada.....	26
2.9: Perforación	26
2.10: Tronadura	26
2.11: Clasificación de gases	27
2.11.1: Oxígeno.....	27
2.11.2: Efectos de la baja concentración de oxígeno.....	28
2.12: Aire comprimido	28
2.12.1: Características de aire comprimido	28
2.12.2: Uso de aire comprimido.....	29
2.13: Compresor	30
2.13.1: Tipos de compresores	31
2.14: Aforo de ventilación.....	31
2.15: Caudal.....	32
2.15.1: Fórmula del caudal	33
2.16: Cálculos de los caudales requeridos.....	33
2.16.1: Caudal requerido por el número de personas	33
2.16.2 Caudal requerido por equipo diesel	34
2.16.3: Caudal requerido por consumo de explosivos.....	34
2.16.4: Caudal requerido por desprendimiento de gases	35
2.16.5: Caudal requerido por temperatura	36
2.16.6: Caudal requerido por el polvo en suspensión.....	36
2.16.7: Caudal requerido por la producción	36
2.17: Equipos utilizados para realizar un aforo de ventilación	37
2.17.1: Anemómetro	37
2.17.2: Higrómetro.....	39
2.17.3: Cinta métrica.....	40
2.18: Decreto supremo N° 132/2002 Ministerio de minería	41
2.19: AutoCAD	41

2.20: Ventsim	43
2.21: Civil 3D.....	43
2.22: Google Earth Pro.....	44
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	46
3.1 Tipo de metodología.....	46
3.2 Nivel de abordaje.....	46
3.3 Determinar circuitos y caudales de ventilación presentes en la faena para establecer condiciones iniciales.....	46
3.3.1 Solicitud de permiso	47
3.3.2 Retiro de equipos y preparación para la salida a terreno	47
3.3.3 Llegada a la mina y preparación de terreno	47
3.3.4 Circuito de ventilación.....	48
3.3.5 Pasos en la mina.....	48
3.3.6 Tabla de registros.....	50
3.4 Caracterizar operación minera para determinar las personas y equipos presentes en una jornada de trabajo.	51
3.4.1 Identificación de las personas, maquinarias, y variables de operación	51
3.4.2 Tabulación de información	53
3.5 Calcular caudales necesarios para determinar el tipo de ventilación necesaria.	54
3.5.1 Caudal para las personas.....	54
3.5.2 Caudal para los equipos Diésel.....	54
3.5.3 Caudal según consumo de explosivos	55
3.5.4 Análisis comparativo	55
3.5.5 Determinar el sistema de ventilación apropiado.....	56
3.5.6 Modelado 3D de la mina en AutoCAD y simulación en Ventsim.....	56
3.5.7 Circuito de ventilación apropiado.....	57
3.6 Seleccionar los ventiladores y accesorios de ventilación para la propuesta final. .	58
CAPITULO 4: ANALISIS Y RESULTADOS.....	59
4.1 Determinar circuitos y caudales de ventilación presentes en la faena para establecer condiciones iniciales.....	59
4.1.1 Determinar circuito	59
4.1.2 Mediciones de caudales, secciones de la entrada y galerías	59

4.1.3 Ubicaciones de los puntos medidos	59
4.1.4 Registro de aforo.....	60
4.1.5 Caudales existentes en cada sección.....	61
4.1.6 Caudal existente en la mina	61
4.2 Caracterizar operación minera para determinar las personas y equipos presentes en una jornada de trabajo.	62
4.2.1 Caracterización de la operación minera.....	62
4.2.2 Identificación de personas y equipos presentes en una jornada de trabajo.....	62
4.3 Calcular caudales necesarios para determinar el tipo de ventilación necesaria.	63
4.3.1 Cálculos de caudales necesarios para la mina	63
4.3.2 Q total	64
4.3.3 Caudal necesario para la mina	64
4.3.4 Análisis comparativo	64
4.3.5 Creación de la mina en 3D mediante AutoCAD.....	65
4.3.6 Creación de la mina actual mediante Ventsim.....	66
4.3.7 Circuito de ventilación apropiado.....	67
4.3.8 Creación de la chimenea a proponer mediante Ventsim.....	68
4.3.9 Simulación final a proponer.....	69
4.3.10 Labor estocada	70
4.3.10.1 Propuesta diagrama de disparo estocada	70
4.3.10.2 Cálculo de cantidad de explosivos necesarios para la ejecución de la estocada.....	71
4.3.11 Metros de avance y tiempo estimado de la estocada y chimenea.....	71
4.3.12 Labor chimenea.....	71
4.3.12.2 Cálculo de cantidad de explosivos necesarios para la ejecución de la chimenea	73
4.3.13 Seleccionar los ventiladores y accesorios de ventilación para la propuesta final.	74
4.3.13.1 Comparación y selección de equipo de ventilación.....	74
4.3.13.2 Accesorios seleccionados	75
4.3.13.3 Diagrama de ventilación	76
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES	77

Bibliografía	79
ANEXOS	83
Imágenes	85

Índice de Figuras

Figura 2. 1 Sistema impelente	19
Figura 2. 2 Sistema aspirante	20
Figura 2. 3 Sistema combinado	20
Figura 2. 4 Ventilador centrífugo	22
Figura 2. 5 Ventilador en Chuquicamata	22
Figura 2. 6 Raise Boring	25
Figura 2. 7 Blind Hole	25
Figura 2. 8 Compresor de aire portátil Sullair 185 Tier 4 Final	31
Figura 2. 9 Anemómetro	38
Figura 2. 10 Higrómetro	39
Figura 2. 11 Cinta métrica	40
Figura 2. 12 Interfaz AutoCAD	42
Figura 2. 13 Interfaz Ventsim	43
Figura 2. 14 Interfaz Civil 3D	44
Figura 2. 15 Interfaz Google Earth	45
Figura 3 1 Mapa ubicación de cada punto medido	49
Figura 3 2 Aforo	49
Figura 3 3 Charla informativa en frente de trabajo	52
Figura 3 4 Observación del frente junto a los trabajadores	52
Figura 3 5 Personal presente en las labores subterráneas de la mina La Caliza	53
Figura 3 6 Equipos presentes en la operación minera	53
Figura 4 1 Mapa de las ubicaciones de los puntos	60
Figura 4 2 Representación de las líneas centrales de las calles de la mina en AutoCAD	65
Figura 4 3 Mina 3D	66
Figura 4 4 Mina actual ventsim	66
Figura 4 5 Incorporación de chimenea ventsim	67
Figura 4 6 Simulación ventilación “natural”	68
Figura 4 7 Chimenea propuesta	69
Figura 4 8 Simulación final ventsim	69
Figura 4 9 Diagrama de disparo estocada	70
Figura 4 10 Secuencia de disparo estocada	71
Figura 4 11 Diagrama de disparo chimenea	72
Figura 4 12 Secuencia de disparo chimenea	73
Figura 4 13 Curva de rendimiento	74
Figura 4 14 Diagrama de ventilación	76

Índice de tablas

Tabla 2 1	Tabla de clasificación de gases	27
Tabla 2 2	Consecuencias de la deficiencia de oxígeno	28
Tabla 2 3	Caudal requerido por temperatura.....	36
Tabla 3 1 1	Tabla de registro aforo de ventilación.....	51
Tabla 4 1	Datos aforo de ventilación	61
Tabla 4 2	Caudales existentes mina	61
Tabla 4 3 3	Personal presente en la mina	63
Tabla 4 4	Equipos utilizados en las labores	63
Tabla 4 5	Caudal necesario	64
Tabla 4 6	Tabla comparativa.....	74

Resumen

La Ventilación en minería subterránea representa uno de los aspectos más críticos para garantizar la seguridad de los trabajadores, tanto al interior como exterior de la faena minera, lo que permite la continuidad de las operaciones.

Un sistema deficiente puede resultar en la acumulación de gases tóxicos, condiciones térmicas adversas y presencia de polvo en suspensión, variables que influyen en la seguridad del trabajador y en la eficacia de los procesos. Esta problemática se hace más evidente en la pequeña minería, donde la falta de recursos económicos y tecnológicos suele resultar en sistemas de ventilación precarios, tal es el caso de la mina La Caliza ubicada en la Quebrada de Arena, que depende exclusivamente de una chimenea natural para la circulación del aire, lo que prolonga por alrededor de 24 horas la evacuación de gases posteriores a la tronadura.

Ante esta situación, el presente proyecto tuvo como propósito proponer un diseño alternativo que permita mejorar la seguridad y optimizar los tiempos de liberación de gases, la propuesta consistió en un sistema de ventilación mixto que combina la ventilación natural con un sistema auxiliar compuesto por una chimenea adicional. Para el desarrollo del estudio se recopilieron datos en terreno mediante mediciones de caudales y dimensiones generales de la mina, los cuales fueron utilizados en el modelamiento digital del yacimiento, permitiendo transformar los datos precisos mediante el software AutoCAD. Una vez realizado esto, se aplicó el software Ventsim para simular diferentes escenarios de ventilación verificando así la capacidad del sistema propuesto para garantizar condiciones seguras en el interior de la mina.

Los resultados obtenidos demostraron que la implementación del sistema de ventilación mixto reduce de manera considerable los tiempos de extracción de gases nocivos, asegurando el ambiente libre de contaminantes y acorde a lo establecido en el Reglamento de Seguridad Minera (D.S 132/2002), además, la propuesta se adapta a las limitaciones de capital de la pequeña minería, presentándose como una alternativa técnica y económicamente viable.

Este proyecto ofrece una solución concreta a la problemática detectada en la Mina.

PALABRAS CLAVES: VENTILACIÓN EN MINERÍA - CAUDAL - SISTEMA DE VENTILACIÓN MIXTO - MODELAMIENTO - CHIMENEA

Abstract

Ventilation in underground mining represents one of the most critical aspects to guarantee the safety of workers, both inside and outside the mining site, which allows the continuity of operations.

A deficient system can result in the accumulation of toxic gases, adverse thermal conditions and the presence of suspended dust, variables that influence worker safety and the effectiveness of the processes. This problem becomes more evident in small mining, where the lack of economic and technological resources usually results in precarious ventilation systems, such is the case of the *La Caliza* mine located in Quebrada de Arena, which depends exclusively on a natural chimney for air circulation, which prolongs the evacuation of gases after blasting for around 24 hours.

Given this situation, the purpose of this project was to propose an alternative design that would improve safety and optimize gas release times. The proposal consisted of a mixed ventilation system that combines natural ventilation with an auxiliary system composed of an additional chimney. For the development of the study, data was collected on the ground through measurements of flow rates and general dimensions of the mine, which were used in the digital modeling of the deposit, allowing the precise data to be transformed using AutoCAD software. Once this was done, the Ventsim software was applied to simulate different ventilation scenarios, thus verifying the capacity of the proposed system to guarantee safe conditions inside the mine.

The results obtained demonstrated that the implementation of the mixed ventilation system considerably reduces the extraction times of harmful gases, ensuring the environment free of contaminants and in accordance with the provisions of the Mining Safety Regulation (D.S 132/2002), in addition, the proposal adapts to the capital limitations of small mining, presenting itself as a technically and economically viable alternative.

This project provides a concrete solution to the problem identified in the mine.

KEYWORDS: VENTILATION IN MINING - FLOW - MIXED VENTILATION SYSTEM - MODELING - CHIMNEY

CAPÍTULO 1: MARCO INTRODUCTORIO

1.1 Introducción

El fortalecimiento de la minería en la actualidad es prioridad para alcanzar una producción con altos estándares de seguridad y eficiencia. A medida que las economías internacionales continúan creciendo, la necesidad de minerales indispensables se ha incrementado notablemente, esto permite desarrollar la explotación subterránea para así acceder a depósitos más profundos y complejos.

Este proceso requiere de varias etapas, y uno de los elementos fundamentales en este tipo de faenas es la ventilación, ya que es el encargado de suministrar aire fresco o forzado. Esto no solo representa una gran parte del proceso de extracción de minerales, sino que de igual forma el cuidado tanto del personal que trabaja en las instalaciones como las maquinarias presentes para las distintas labores, contribuyendo además a mantener la temperatura y humedad.

En la actualidad disponemos de diferentes tipos de ventilación por lo que seleccionar y recomendar es de gran relevancia para optimizar el proceso. Para lograrlo, es esencial tener en cuenta el caudal de aire presente junto con las dimensiones generales de la faena. Un factor relevante, también, es el presupuesto con el que se puede contar al realizar dicho proyecto, así mismo se hace posible el cumplimiento de la normativa vigente y convirtiéndolo en un ambiente de trabajo seguro como eficiente.

1.2: Objetivo General

Proponer un sistema de ventilación mixto para mejorar las condiciones ambientales al interior de la mina la Caliza.

1.3: Objetivos Específicos

- Determinar circuitos y caudales de ventilación presentes en la faena para establecer condiciones iniciales.
- Caracterizar operación minera para determinar las personas y equipos presentes en una jornada de trabajo.
- Calcular caudales necesarios para determinar el tipo de ventilación necesaria.
- Seleccionar los ventiladores y accesorios de ventilación para la propuesta final.

1.4: Planteamiento del problema

La mina La Caliza, ubicada en la Quebrada de la Arena, comuna de Vallenar, Región de Atacama, corresponde a un yacimiento de pequeña minería dedicado a la producción de caliza con una ley del 92,7%.

Su sistema de ventilación actual depende únicamente de una chimenea natural, no cuenta con el apoyo de equipos de ventilación forzada, esta condición provoca que cada vez que se ejecuta una tronadura, la evacuación de los gases generados demore aproximadamente 24 hrs es decir un día completo, ese tiempo de espera limita la continuidad de las labores y expone a los trabajadores a un ambiente con concentraciones de gases tóxicos y polvo. Esta condición representa un incumplimiento de Decreto Supremo 132 del Ministerio de Minería, que establece El Reglamento de Seguridad Minera, donde exige contar con un sistema de ventilación seguro y eficaz en toda mina subterránea, sin embargo el sistema actual de la mina La Caliza no cumple con estos parámetros, disminuyendo la calidad del aire y afecta directamente la salud y el rendimiento de los trabajadores, lo que incrementa el riesgo de accidentes laborales, por estas razones, se hace necesario evaluar y proponer un sistema de ventilación mixto que permita reducir el tiempo de evacuación de gases, mejorar las condiciones de seguridad y mejorar el rendimiento de la explotación minera.

1.5: Justificación

La ventilación subterránea es un elemento fundamental para el desarrollo seguro y eficiente de las operaciones mineras, en el caso de la mina La Caliza, se identificó que el sistema actual basado únicamente en una chimenea natural presenta serias limitaciones, como la falta de control en el caudal de aire y la lenta evacuación de gases acumulados

después de cada tronadura. Estas deficiencias afectan directamente la seguridad de los trabajadores, ya que prolongan su exposición a contaminantes y también reducen la productividad de la faena al generar tiempos de espera extensos antes de retomar las labores, por ello se justifica la necesidad de diseñar un sistema de ventilación más eficiente que no solo permite optimizar el flujo de aire y reducir los riesgos para la salud, sino que además se adapte a las condiciones y recursos de la pequeña minería, de esta forma, se busca mejorar la seguridad, la continuidad de las operaciones y la sostenibilidad del yacimiento.

1.6: Alcance

El presente documento se centra exclusivamente en la mina La Caliza ubicada en la Quebrada de Arena, comuna de Vallenar, región de Atacama, donde se evalúa el sistema de ventilación existente y se proponen mejoras orientadas a reducir los tiempos de evacuación de aire viciado después de la tronadura. El trabajo considera el análisis de las condiciones actuales de la faena, el diseño y simulación de un circuito de ventilación mediante un software especializado, y la elaboración de una propuesta viable que se adecue a los recursos y características de la pequeña minería. Es importante destacar que este estudio no implica la implementación física inmediata del sistema, sino que busca entregar una propuesta técnica y realista que sirva de guía para el dueño del yacimiento, contribuyendo a mejorar la seguridad de los trabajadores, optimizar las operaciones y promover una gestión minera más eficiente y sostenible.

1.7: Antecedentes

La faena que se analizará en este informe es una mina llamada La Caliza, situada en la Quebrada de la Arena, comuna de Vallenar, cuyas coordenadas geográficas son: 342233,19m E, 6850707.61m S, región de Atacama. Corresponde a un yacimiento de pequeña minería dedicado a la producción de caliza con una ley del 92,7%. La relevancia de este estudio radica en el mejoramiento del sistema de ventilación. ya que actualmente cuenta sólo con ventilación natural, para resguardar la calidad del ambiente laboral, además de disminuir los tiempos y así aumentar la producción. La tronadura que se ejecuta

es realizada con ANFO a granel y mecha lo que es crucial para la eficiencia del proceso minero.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1: Ventilación en minería

La ventilación de una mina subterránea consiste en el proceso de hacer pasar un flujo de aire considerable y necesario para crear las condiciones óptimas para que los trabajadores se encuentren en una atmósfera agradable, limpia y sin gases.

Es necesario establecer una circulación de aire dentro de una mina subterránea por las siguientes razones:

- Se debe asegurar un contenido mínimo de oxígeno en la atmósfera de la mina para permitir la respiración de las personas que trabajan en su interior
- Se requiere diluir los gases, los cuales pueden ser tóxicos, asfixiantes y/o explosivos por debajo de los valores límites permisibles legales establecidos en el país.
- Se hace necesario ventilar la mina para climatizarla, a medida que aumenta la profundidad de la misma, la temperatura aumenta, adicionalmente, los equipos y máquinas presentes en el interior contribuyen a elevar la temperatura del aire
- Se requiere que los frentes de trabajo tengan un confort térmico, que permita que el trabajador labore en condiciones óptimas de rendimiento y seguridad.

(GUÍA DE SEGURIDAD PARA VENTILACIÓN DE MINAS SUBTERRÁNEAS, n.d.)

2.2: Ventilación Natural

La energía más barata y abundante en la naturaleza es el aire natural, que se utiliza en la ventilación para minas subterráneas. Este aire se introduce por la entrada principal de ingreso, recorriendo el flujo del aire por la totalidad del circuito de ventilación, hasta la salida del aire por la otra bocamina. Para que funcione la ventilación natural tiene que existir una diferencia de alturas entre las bocaminas de entrada y salida. *(GUÍA METODOLÓGICA DE SEGURIDAD PARA PROYECTOS DE VENTILACIÓN DE MINAS, n.d.)*

2.3: Ventilación Auxiliar

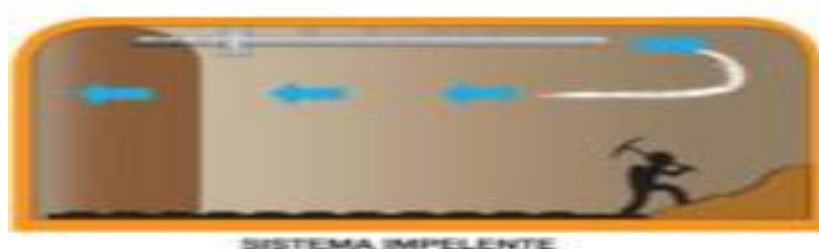
Como ventilación auxiliar o secundaria, definimos aquellos sistemas que, haciendo uso de ductos y ventiladores auxiliares, ventilan áreas restringidas de las minas subterráneas, empleando para ello circuitos de alimentación de aire fresco y de evacuación del aire viciado que les proporciona el sistema de ventilación general.

Los sistemas de ventilación auxiliar que pueden emplearse en el desarrollo de galerías horizontales, utilizando ductos y ventiladores auxiliares son: (*GUÍA METODOLÓGICA DE SEGURIDAD PARA PROYECTOS DE VENTILACIÓN DE MINAS*, n.d.)

2.3.1: Sistema impelente

El aire es impulsado dentro del ducto y sale por la galería en desarrollo ya viciada. (Induambiente, 2010, #)

Figura 2. 1 Sistema impelente



(*Ventilación Bajo Tierra*, 2013)

2.3.2: Sistema aspirante

El aire fresco ingresa a la frente por la galería y el contaminado es extraído por la ductería. (Induambiente, 2010, #)

Figura 2. 2 Sistema aspirante



(Ventilación Bajo Tierra, 2013)

2.3.3: Sistema aspirante-impelente

Es aspirante e impelente. Se emplean dos tendidos de ductería, una para extraer aire y el segundo para impulsar aire limpio a la frente en avance. Este sistema reúne las ventajas de los dos tipos básicos, en cuanto a mantener la galería y la frente en desarrollo con una renovación constante de aire limpio y en la velocidad de la extracción de los gases de disparos, con la desventaja de su mayor costo de instalación y manutención. (Induambiente, 2010, #)

Figura 2. 3 Sistema combinado



(Ventilación Bajo Tierra, 2013)

2.4 Circuito de ventilación

2.4.1: Circuito en serie

Se dice que un circuito está conectado en serie cuando la misma corriente fluye a través de todos los componentes del circuito. En tales circuitos, la corriente tiene un solo camino. (*Diferencia Entre Circuito Serie Y Paralelo - MCI Educación, 2022*)

2.4.2: Circuito en paralelo

Se dice que un circuito es paralelo cuando la corriente eléctrica tiene múltiples caminos para fluir. Los componentes que forman parte de los circuitos paralelos tendrán un voltaje constante en todos los extremos. (*Diferencia Entre Circuito Serie Y Paralelo - MCI Educación, 2022*)

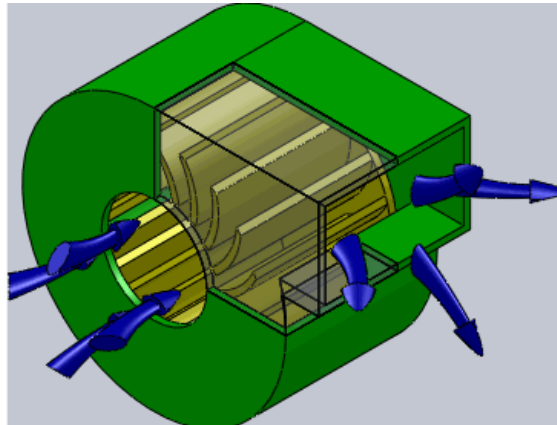
2.5: Ventilador

Un ventilador se define como una máquina propulsora de aire en forma continua por acción aerodinámica. Hay tres tipos básicos de ventiladores: centrífugos, helicoidales y axiales, los dos últimos a menudo se clasifican en un mismo grupo, sin embargo, sus diferencias en cuanto a construcción y características son tales que requieren una clasificación separada. (*Tipos De Ventiladores | Características Y Consideraciones ¿Cuál Es Mejor?, n.d.*)

2.5.1: Ventilador centrífugo

Corresponden a turbo-máquinas en donde el flujo de aire entra paralelamente al eje del rotor por la boca de aspiración del ventilador, cambiando su dirección en 90° al salir por la descarga. Son ampliamente utilizados en la ventilación localizada, donde se requiere manejar caudales volumétricos de aspiración relativamente bajos asociadas a presiones estáticas elevadas. (*RECOMENDACIONES BÁSICAS PARA LA SELECCIÓN DE VENTILADORES, 2021*)

Figura 2. 4 Ventilador centrífugo



(Centrifugal Fan - Wikipedia, n.d.)

2.5.2: Ventilador axial

En este tipo de ventiladores el flujo de aire entra y sale de forma paralela al eje de giro del rotor. Son utilizados principalmente en ventilación general, cuando se necesita manejar grandes caudales volumétricos de aire con bajas pérdidas por carga.

(Zuñiga Moreno, n.d.)

Figura 2. 5 Ventilador en Chuquicamata



(“Ventilación En Chuquicamata Subterránea,” 2025)

2.5.3: Ventiladores mixtos

Los ventiladores de flujo mixto se definen como ventiladores intermedios que combinan características de los tipos centrífugo y axial, caracterizados por un recorrido

de aire a través del impulsor que incluye componentes radiales y axiales, logrando típicamente eficiencias de hasta el 80%. (*Ventilador De Flujo Mixto*, n.d.)

2.5.3.1: Clasificación

- 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 secundario: Se ubican en galerías intermedias o profundas. Complementan el flujo de ventilador principal en zonas más alejadas o ramificadas donde el aire no llega con suficiente fuerza.
- Ventilador auxiliar: De menor tamaño y menudo portátiles, son compactos y de menor potencia. Se utilizan de forma temporal en labores puntuales en frentes de trabajo o labores de desarrollo (perforación, fortificación) o para tareas de emergencia. Conectados mediante conductos flexibles. (Herrera Herbert, 2025)

2.6: Mangas de ventilación

Las mangas de ventilación son conductos flexibles fabricados de materiales ligeros y resistentes, diseñados para canalizar y distribuir aire en sistemas de ventilación, especialmente en entornos industriales, subterráneos o confinados. Se utilizan principalmente en minería, túneles y construcción subterránea, donde es crucial asegurar una adecuada circulación de aire para mantener condiciones de trabajo seguras y saludables. (*Cidelsa*, n.d.)

2.6.1: Tipos de mangas de ventilación

2.6.1.1: Mangas de ventilación rígidas

Estas mangas son ideales para trayectorias largas y rectas, ofreciendo mejor estabilidad y menor resistencia al flujo de aire. (*Mangas Y Ductos De Ventilación Y Costos*, 2025)

2.6.1.2: Mangas de ventilación flexibles lisas

Los ductos flexibles se utilizan para áreas irregulares (*Mangas Y Ductos De Ventilación Y Costos*, 2025)

2.6.1.3: Mangas de ventilación corrugadas

El ducto corrugado es un tipo de ducto de ventilación que se utiliza para extraer el aire contaminado o gases tóxicos que se encuentran generalmente dentro de las faenas mineras, obras subterráneas o piques. (*Ducto Corrugado*, n.d.)

2.7: Chimeneas

Es la excavación ascendente, es decir de arriba hacia abajo, en forma vertical o inclinada entre dos galerías mineras. Las chimeneas cumplen las funciones de transportar los materiales que se van a utilizar para realizar labores mineras y también se construyen con la finalidad de permitir el paso de aire y ventilar los lugares de trabajo de la mina. (*Definición De Chimenea*, n.d.)

2.8: Métodos para fabricar chimeneas

2.8.1: Método Raise Boring

El procedimiento, desarrollado en la década de los 50 en Estados Unidos, consiste básicamente en perforar un barreno piloto y luego ensanchar la perforación hacia arriba mediante una cabeza escariadora. Se trata de un equipo de perforación que se instala por encima del terreno. Se taladra una perforación piloto, con un ángulo que puede ser de hasta 45°. Se perfora hasta llegar al túnel o caverna ya existente. Posteriormente se retira la broca piloto y se fija un escariador a la sarta de perforación, que amplía la perforación hacia arriba. (*Raise Boring – El Blog De Víctor Yepes*, 2015)

Figura 2. 6 Raise Boring

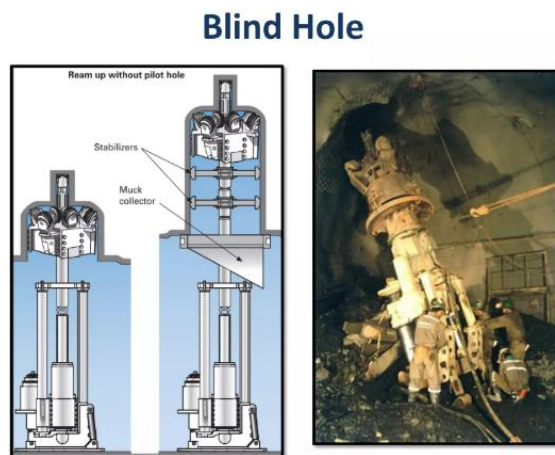


(Raise Boring – El Blog De Víctor Yepes, 2015)

2.8.2: Método Blind Hole

Este tipo de metodología consiste en usar una máquina 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 la 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. (BLiNDHOLE, n.d.)

Figura 2. 7 Blind Hole



(Rojas, n.d.)

2.8.3: Método alimak

Alimak se emplea, desde 1957, en la perforación de chimeneas donde no es posible el acceso superior (frente al Jaula Jora o Raise Boring), necesitando un nivel de trabajo en el subsuelo. Es un método flexible y económico. Consta de los siguientes elementos: jaula, plataforma de trabajo, motores de accionamiento, carril guía y elementos auxiliares. La elevación de la plataforma se realiza a través de un carril guía curvado empleando motores de aire comprimido, eléctricos o diésel. La fijación del carril a la roca se lleva a cabo con pernos de anclaje, y tanto las tuberías de aire como de agua necesaria para la perforación, ventilación y el riego se sitúan en el lado interno del carril guía para su protección. (Yepes Piqueras, 2013)

2.8.4: Fundamentos de la tronadura controlada

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. El mejor aprovechamiento se obtiene al aplicar la energía justa y necesaria para generar una buena fragmentación del mineral, evitando daños en la caja de la labor minera. (“GUÍA N° 4 DE OPERACIÓN PARA LA PEQUEÑA MINERÍA,” n.d.)

2.9: Perforación

La perforación es la operación que se realiza con la finalidad de abrir huecos en el macizo rocoso, con una distribución y geometría adecuada, en donde se alojarán cargas explosivas. (Enami, 2013)

2.10: 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. El mejor aprovechamiento se obtiene al aplicar la energía justa y necesaria para generar una buena fragmentación del mineral, evitando daños en las cajas y techo de la labor minera. (Enami, 2013)

2.11: Clasificación de gases

Los gases a los que puede estar expuesto un minero se clasifican en:

- Gases tóxicos, que causan una disminución de oxígeno, penetrando al mismo tiempo en los pulmones y luego el resto del cuerpo.
- Gases asfixiantes, los cuales se esparcen rápidamente en un ambiente haciendo que el oxígeno disminuya y ocasione dificultades para respirar.
- Gases explosivos, capaces de intoxicar, envenenar y alterar los órganos de una persona, incluso causar la destrucción de los tejidos, así como la muerte. También, al mezclarse con el oxígeno y un punto de ignición, producen explosiones. *(SISTEMAS DE VENTILACION EN MINERIA, 2025)*

Tabla 2 1 Tabla de clasificación de gases

IRRITANTES ASFIXIANTES	SOFOCANTES	EXPLOSIVOS INFLAMABLES
✓ Monóxido de Carbono	✓ Nitrógeno	✓ Metano
✓ Hidrógeno Sulfurado	✓ Anhídrido Carbónico	✓ Monóxido de Carbono
✓ Dióxido de Nitrógeno (Humos Nitrosos)	✓ Metano	✓ Hidrogeno Sulfurado
✓ Anhídrido Sulfuroso		

(Vargas Alegría 2015)

2.11.1: Oxígeno

El oxígeno es un gas incoloro, inodoro e insípido, esencial para los organismos vivos. (Brasted & Pielke, 2025)

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 atmósfera contenga menos de 19,5% de oxígeno”. Esta normativa resalta la importancia de implementar sistemas de ventilación eficientes que aseguren la renovación y el control permanente de la atmósfera en la mina. *(Decreto 745 APRUEBA REGLAMENTO SOBRE*

2.11.2: Efectos de la baja concentración de oxígeno

Tabla 2 2 Consecuencias de la deficiencia de oxígeno

Contenido de O ₂	Efecto
17%	Respiración rápida y profunda equivalente a 2500 m.s.n.m.
15%	Vértigo, vahído, zumbido en oído, aceleración de latidos.
13%	Pérdida de conocimiento en exposición prolongada.
7%	Peligro de muerte. (equivalente a 8.800 m.s.n.m)
6%	Movimientos conclusivos, muerte.

(Elaboración Propia)

2.12: Aire comprimido

El aire comprimido es un medio fantástico para almacenar y transmitir energía. Es versátil, flexible y relativamente seguro en comparación con otros métodos de almacenamiento de energía, como las baterías o el vapor. Las baterías son voluminosas, tienen ciclos de carga limitados y pierden su eficiencia con el tiempo. El vapor, aunque potente, no es rentable ni fácil de usar (debido al calor extremo que implica). (*Aire Comprimido: Qué Es Y Por Qué Lo Utilizamos*, n.d.)

2.12.1: Características de aire comprimido

El aire comprimido desempeña un papel crucial en nuestra vida diaria. Desde inflar globos en las fiestas de cumpleaños hasta alimentar herramientas industriales; el aire comprimido está en todas partes. Incluso ayuda a fabricar el teléfono, la tablet o el ordenador que esté utilizando ahora mismo para leer esto.

El componente principal del aire comprimido es, por supuesto, aire. Pero ¿qué es el aire? El aire es una mezcla de gases compuesta principalmente por nitrógeno (78 %) y oxígeno (21 %). Estos gases están en movimiento y ese movimiento genera energía cinética.

La temperatura del aire es directamente proporcional a la energía cinética media de sus moléculas. Por decirlo con palabras sencillas: cuando las moléculas se mueven más rápido, la temperatura del aire aumenta. Cuando se ralentizan, la temperatura desciende.

Por lo tanto, ¿cómo funciona el aire comprimido? Cuando se comprime el aire, se fuerza a las moléculas a ocupar un espacio más pequeño. Este aumento de densidad hace que las moléculas se muevan más rápido, aumentando su energía cinética y, por lo tanto, la temperatura. Es lo que se denomina "calor de compresión". Básicamente consiste en almacenar la energía del aire comprimido para un uso futuro, reduciéndose a un volumen menor.

Tomemos el ejemplo de un globo: al inflar un globo, estamos introduciendo aire en un espacio más pequeño. La energía almacenada en el aire comprimido dentro del globo es igual a la energía utilizada para inflarlo. Al soltar el globo, el aire comprimido sale y hace que salga volando. Es el mismo principio que utilizan los compresores de desplazamiento positivo para comprimir el aire. (*Aire Comprimido: Qué Es Y Por Qué Lo Utilizamos*, n.d.)

2.12.2: Uso de aire comprimido

Por su alto costo, en 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.

El uso de sopladores de aire comprimido para ventilar los desarrollos horizontales, se debe limitar a aquellas galerías de pequeña sección que por la falta de espacio físico no hacen posible los tendidos de mangas de ventilación y para acelerar la salida de los gases en los sistemas aspirantes, instalando los sopladores en el extremo de la cañería de aire comprimido cercana a las frentes (zona muerta), siempre que no sea posible el uso de ventiladores eléctricos portátiles con manga lisa que impulse aire a la frente en avance. (Andrade Gallardo 2008)

2.13: Compresor

Un compresor es un dispositivo de flujo mecánico diseñado para aumentar la presión de un gas reduciendo su volumen. El compresor es el componente principal de los sistemas básicos de refrigeración y suele considerarse el «corazón del sistema de refrigeración». Funciona como una bomba para controlar la circulación del refrigerante. El principio básico del funcionamiento del compresor consiste en aspirar un vapor de refrigerante a baja presión y temperatura desde el evaporador y luego comprimirlo a alta presión y temperatura. Por lo tanto, el parámetro teórico característico de los compresores es la relación de compresión, que es la relación entre la presión del gas a la salida del compresor (lado de descarga, p_2) y la presión a la entrada (lado de aspiración, p_1).

$$\xi = \frac{p_2}{p_1}$$

El proceso de compresión varía en función de la tecnología, el tipo y el diseño del compresor. Los compresores generan una cierta cantidad de calor durante su funcionamiento, que debe disiparse para evitar que se sobrecaliente y aumentar así la eficacia de su rendimiento. Los compresores de refrigeración están diseñados para comprimir vapores refrigerantes. Su funcionamiento con el refrigerante en fase líquida puede causar daños en el compresor. (Giménez, 2023)

Figura 2. 8 Compresor de aire portátil Sullair 185 Tier 4 Final



(Minería Y Canteras, 2023)

2.13.1: Tipos de compresores

Los compresores dinámicos: El compresor dinámico es aquel cuyo principio de funcionamiento está basado en la aceleración molecular.

- Compresor axial
- Compresor centrífugo

Compresores de desplazamiento positivo: El compresor de desplazamiento positivo tiene como principal característica la disminución del volumen de aire de la cámara de compresión que está confinado para su funcionamiento.

- Compresor de pistón
- Compresor de paletas
- Compresor de tornillo
- Compresor recíprocante
- Compresor scroll

(Qué Tipos De Compresores Existen Y Para Qué Se Utilizan - Blog Bricovel, 2022)

2.14: Aforo de ventilación

Un aforo de ventilación minera consiste en determinar la cantidad y calidad del aire que debe circular dentro de la mina.

El objetivo principal de un estudio de ventilación de minas, es determinar la cantidad y calidad del aire que debe circular dentro de ella.

Los factores que influyen en la determinación de este caudal, dependen de las condiciones propias de cada operación y del método de explotación utilizado.

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 a 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. (Andrade Gallardo, 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 utilizará.

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.

La normativa a cumplir en Chile, es el Reglamento de Seguridad Minera D.S. N° 72, del Ministerio de Minería, artículos desde el N° 132 al N° 151 y el artículo N° 66 del D.S. N° 594, Reglamento sobre condiciones ambientales básicas en lugares de trabajo, del Ministerio de Salud. El aire, al pasar por una mina sufre cambios en su composición, principalmente de disminución de oxígeno. En minas poco profundas, el clima dentro de las minas, no presenta mayores preocupaciones, pero cuando tienen profundidades superiores a 1.000 metros, éste es un problema que debe ser atendido. La acción de temperaturas elevadas sobre el personal, pueden incluso provocar la muerte. (Andrade Gallardo 2008)

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)

(Andrade Gallardo 2008)

2.16: Cálculos de los caudales requeridos

Las necesidades de aire al interior de la mina, deben ser determinadas en base al personal y el número de equipos que trabajan al interior de las labores en los niveles que componen la mina, además de conocer el método de explotación. El cálculo de las necesidades, permitirá ventilar las labores mineras en forma eficiente, mediante un control de flujos tanto de inyección de aire fresco, como de extracción de aire viciado. Esto permite diluir y extraer el polvo en suspensión, gases producto de la tronadura o de la combustión de los vehículos.

Para determinar el requerimiento de aire total se utilizan los siguientes parámetros operacionales. (Andrade Gallardo 2008)

2.16.1: Caudal requerido por el número de 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 ($3 m^3/min.$) por persona, en cualquier sitio del interior de la mina.

$$Q = F \times N (m^3/min)$$

Donde:

Q = Caudal total para “n” 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.

A pesar que este método es utilizado con frecuencia, se debe considerar “F” sólo como referencia, pues no toma en cuenta otros factores consumidores de oxígeno, como lo son

la putrefacción de la madera, la descomposición de la roca, la combustión de los equipos, etc. (Andrade Gallardo 2008)

2.16.2 Caudal requerido por equipo diesel

El art. N° 132 del “R.S.M.” (D.S. N° 72) recomienda un mínimo de $2.83 \text{ (m}^3/\text{min)}$ por HP al freno del equipo para máquinas en buenas condiciones.

Se debe aclarar que los $2,83 \text{ m}^3/\text{min}$. del art. N° 132 son el mínimo caudal de aire requerido y no acepta factores de corrección.

Para aclarar mejor el punto anterior, se debe calcular el requerimiento de aire de cada equipo diesel, de acuerdo con normativa de suministrar $2.83 \text{ m}^3/\text{min}$. por cada HP motor de todo equipo Diesel en operación (equivalente a $100 \text{ pie}^3/\text{min}$ por cada HP motor) (Art. 132, D.S. N° 72).

$$Q = 2.83 * \text{HP(Motor)} \text{ m}^3/\text{min}$$

Donde:

Q= Volumen de aire necesario para la ventilación requerido por equipos Diesel (m^3/min)

HP= Caballos de fuerza de los equipos

(Andrade Gallardo 2008)

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:

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

Donde:

Q = Caudal de aire requerido por consumo de explosivo detonado (m^3/min)

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

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

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

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

t = tiempo de dilución de los gases (minutos); generalmente, este tiempo no es mayor de 30 minutos, cuando se trata de detonaciones corrientes. Reemplazando en la fórmula tendremos: $Q = (0,04 \times A \times 100) / (30 \times 0,008) \text{ m}^3/\text{min}.$

Entonces, tendríamos finalmente: $Q = 16,67 \times E \text{ (m}^3/\text{min)}$

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 25 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. (Andrade Gallardo 2008)

2.16.4: Caudal requerido por desprendimiento de gases

$$Q = 0.139 \times V \text{ (m}^3/\text{min)}$$

Donde:

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

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

(Andrade Gallardo 2008)

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 ° C, para jornadas de trabajo de 8 horas.

Como norma para el cálculo del aire respecto a la temperatura, se dan los siguientes valores. (Andrade Gallardo 2008)

Tabla 2 3 Caudal requerido por temperatura

HUMEDAD RELATIVA	TEMPERATURA SECA	VELOCIDAD MINIMA	Para una labor de 20 m ² (5 X 4 m.)
< ó = 85 %	24 a 30 ° C	30 m./min.	600 m ³ /min.
> 85 %	> 30 ° C	120 m./min.	2240 m ³ /min.

(Andrade Gallardo 2008)

2.16.6: Caudal requerido por el polvo en suspensión

El criterio más aceptado es hacer pasar una velocidad de aire determinada 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”). (Andrade Gallardo 2008)

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 CO₂ existente 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:

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

Donde:

Q = Caudal requerido por toneladas de producción diaria (m^3/min)

u = norma de aire por tonelada de producción diaria expresada en (m^3/min)

T = Producción diaria en toneladas.

Para minas de carbón, "u" varía generalmente entre 1 a 1,7 (m^3/min).

En minas metálicas, con poco consumo de madera, varía entre 0,6 a 1 (m^3/min). Si el consumo de madera es alto, puede llegar hasta 1,25 (m^3/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 pérdidas. (Andrade Gallardo 2008)

2.17: Equipos utilizados para realizar un aforo de ventilación

2.17.1: Anemómetro

Un anemómetro es un instrumento para medir la velocidad o rapidez de los gases ya sea en un flujo contenido, como el flujo de aire en un conducto, o en flujos no confinados, como un viento atmosférico.

Para determinar la velocidad, un anemómetro detecta el cambio en alguna propiedad física del fluido o el efecto del fluido en un dispositivo mecánico insertado en el flujo. (Anemómetro, n.d.)

Figura 2. 9 Anemómetro



(Elaboración propia)

Funcionamiento de botones:

Interruptor ON/OFF: Enciende y apaga el equipo.

HOLD: Mantiene en pantalla la medida tomada en el momento de presionar el botón.

MULT AVG: Calcula el valor promedio de varias mediciones.

MAX MIN: Muestra en pantalla los valores máximos y mínimos registrados.

RST: Restablece y borra los valores almacenados (máx./mín./promedio).

UNIT: Selecciona la unidad de medida de la velocidad del aire (m/s, km/h, ft/min, mph, nudos).

°C/°F: Permite elegir la unidad de medida de la temperatura entre grados Celsius y Fahrenheit.

2sec / 16sec: Ajusta el tiempo de respuesta para estabilizar la lectura (rápido o lento).

Retroiluminación (símbolo de foco): Enciende o apaga la luz de fondo de la pantalla.

(VETO Y CIA LTDA, n.d.)

2.17.2: Higrómetro


Un higrómetro es un instrumento utilizado para medir la humedad en el aire. La humedad atmosférica es la cantidad de vapor de agua presente en el aire, y se expresa comúnmente en porcentaje relativo. Los higrómetros son útiles en una variedad de aplicaciones, desde el monitoreo del clima hasta el control de condiciones en entornos como laboratorios, almacenes, viviendas y más. (*Higrómetros Claves Para Controlar La Humedad En Cada Industria*, n.d.)

Figura 2. 10 Higrómetro



(Elaboración 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.

(UT333 BT, n.d.)

2.17.3: Cinta métrica

La cinta métrica es una herramienta manual que sirve para la medición de longitudes en superficies rectas o curvas.

Figura 2. 11 Cinta métrica



(Elaboración propia)

Pasos:

- Trabajar el gancho metálico de la cinta métrica en la superficie que se va a medir.
- Llevar el cabezal del mismo hasta el otro extremo de la medición.
- Asegurarse de que la cinta se mantenga derecha.

(Elaboración propia)

2.18: Decreto supremo N° 132/2002 Ministerio de minería

El Decreto Supremo 132 establece un reglamento específico para garantizar la seguridad de las operaciones mineras y la protección del medio ambiente.

En términos generales, este reglamento determina:

- Las normas de seguridad que las empresas deben adoptar para proteger la vida e integridad física y mental de sus trabajadores.
- Las acciones necesarias para proteger las instalaciones mineras.
- Las medidas requeridas para garantizar la protección del medio ambiente y de las comunidades cercanas a los yacimientos.

Para cumplir sus objetivos estratégicos, el decreto fija las siguientes disposiciones:

- Establece requisitos y procedimientos para evaluar y aprobar proyectos mineros, considerando aspectos como ubicación, diseño, operación y cierre de faenas, entre otros.
- Promueve la participación ciudadana en evaluación de proyectos mineros, para que las comunidades y organizaciones expresen sus opiniones y preocupaciones.
- Establece medidas de mitigación y compensación para minimizar los impactos ambientales y sociales de las actividades mineras.
- Establece los estándares de SST que deben cumplir las empresas para proteger a trabajadores y prevenir accidentes y enfermedades laborales.

(Gonzalez 2024)

2.19: AutoCAD

AutoCAD es un software de diseño asistido por computadora (CAD) que se utiliza para dibujar, diseñar y modelar en 2D y 3D de forma precisa con sólidos, superficies, objetos de malla, características de documentación, etc. Incluye características para automatizar tareas y aumentar la productividad, como la comparación de dibujos, el recuento, la adición de objetos y la creación de tablas. También incluye siete conjuntos de herramientas específicas de la industria para el diseño eléctrico, el diseño de plantas, los dibujos de diseño arquitectónico, el diseño mecánico, la cartografía 3D, la adición de

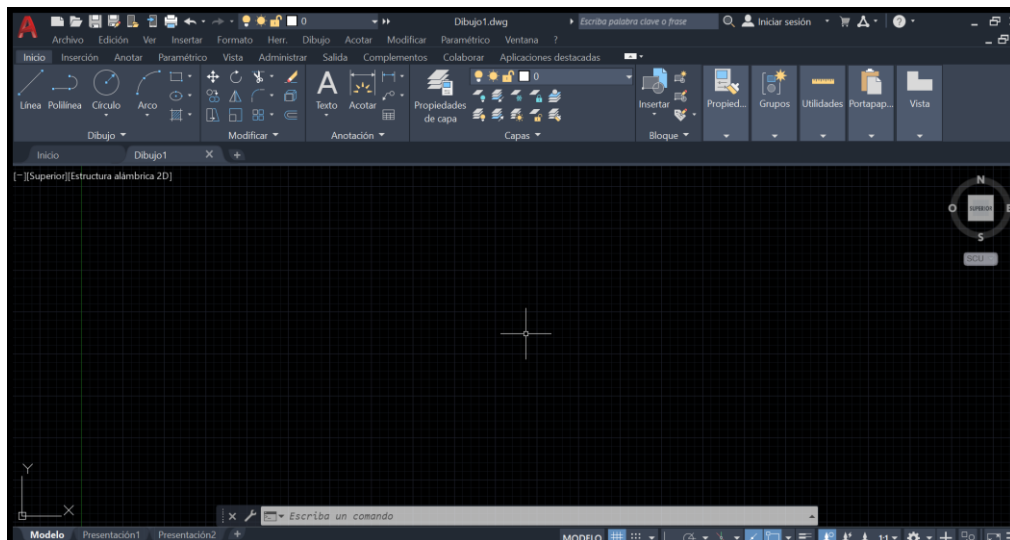
imágenes escaneadas y la conversión de imágenes ráster. AutoCAD permite a los usuarios crear, editar y anotar dibujos mediante computadoras de escritorio, la web y dispositivos móviles.

Autodesk AutoCAD proporciona a arquitectos, ingenieros y profesionales de la construcción herramientas precisas para realizar las siguientes tareas:

- **Dibuja y anota** geometría 2D y modelos 3D con sólidos, superficies y objetos de malla.
- **Automatiza tareas de dibujo** para colocar objetos mediante inteligencia artificial, comparar dibujos, crear planificaciones, publicar presentaciones y mucho más.
- **Maximiza la productividad** con espacios de trabajo personalizados, AutoLISP, API y aplicaciones.

(Autodesk, n.d.)

Figura 2. 12 Interfaz AutoCAD



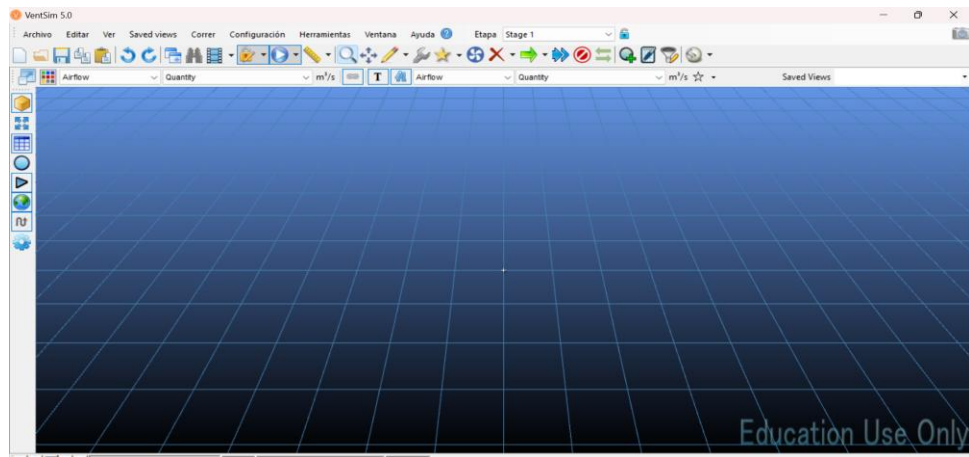
AutoCAD

2.20: Ventsim

Ventsim DISEÑO es el software de ventilación de minas más vendido del mundo, utilizado y en el que confían más de 2500 minas, universidades, consultores, organizaciones gubernamentales y de investigación. Ventsim DESIGN es un paquete de software completo e integrado de ventilación de túneles y minas para el diseño y prueba de circuitos de ventilación que incluyen flujo de aire, presión, calor, gases, energía, radón, fuego y muchos otros tipos de información de ventilación.

(*Ventsim*, n.d.)

Figura 2. 13 Interfaz Ventsim



Ventsim

2.21: Civil 3D

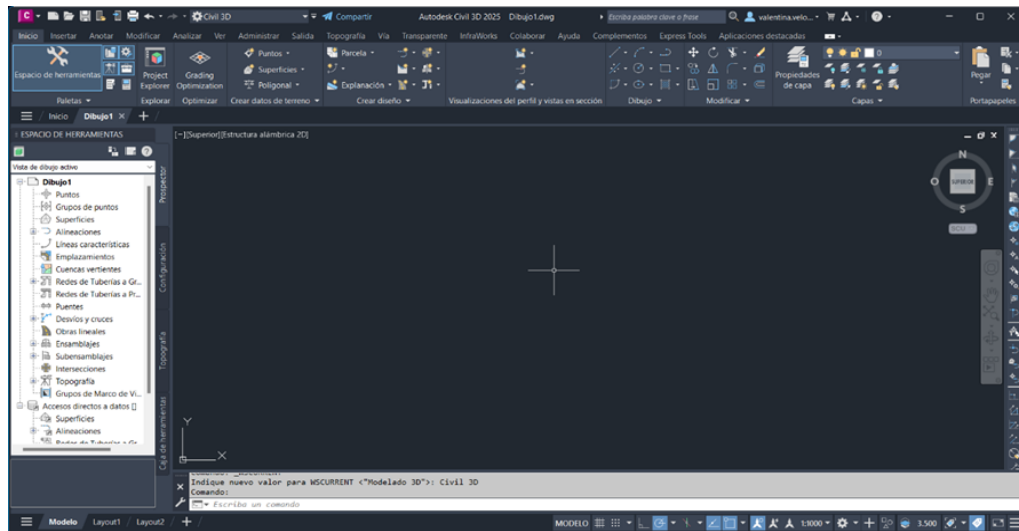
El software de diseño Autodesk Civil 3D permite a los ingenieros civiles afrontar complejos retos de infraestructura en un entorno basado en modelos 3D.

- Agiliza el diseño y la documentación.
- Disfruta de la automatización avanzada del diseño.
- Mejora la colaboración y la coordinación.

Civil 3D incluye herramientas específicas para disciplinas de ingeniería civil esenciales. Comprueba cómo Civil 3D te ayuda a diseñar y crear mejores proyectos de carreteras y autopistas, emplazamientos y rieles.

(Autodesk Civil 3D 2025 | *Obtener Precios Y Comprar El Software Civil 3D*, n.d.)

Figura 2. 14 Interfaz Civil 3D



Civil 3D

2.22: Google Earth Pro

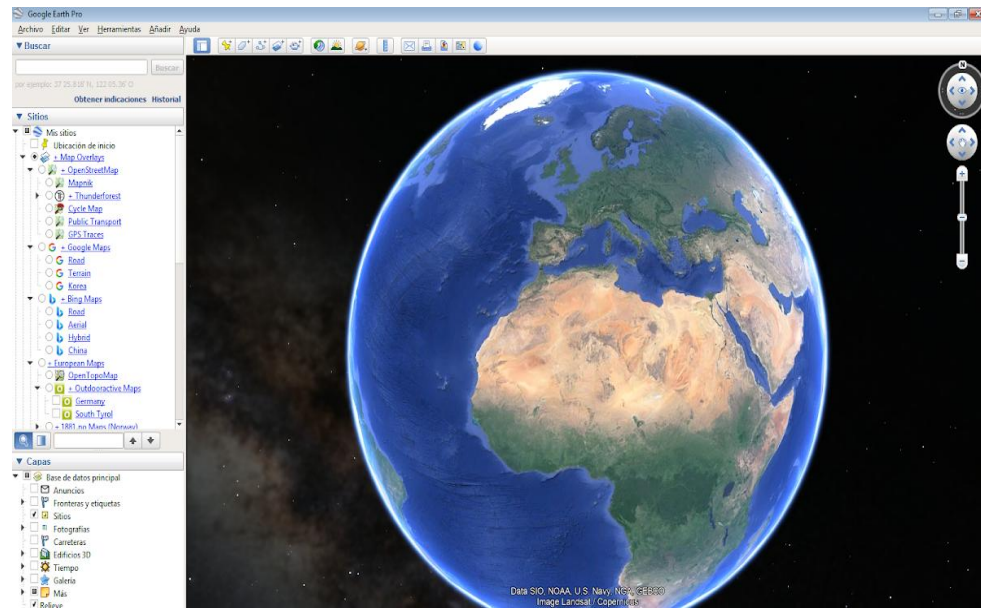
Google Earth Pro ofrece el conjunto más completo de datos geospaciales disponibles de manera pública e incluye imágenes de alta resolución, escapadas en 3D por ciudades, mapas detallados de carreteras, imágenes panorámicas desde calles, imágenes históricas y puntos de interés importantes, como accidentes naturales, patrones climáticos y ubicaciones de empresas.

Google Earth Pro amplía el poder de Google Earth con funciones adicionales diseñadas específicamente para los usuarios comerciales. Imprima imágenes en alta resolución para usarlas en sus presentaciones, afiches e informes. Importa los datos del sistema de información geográfica (GIS) y crea mapas de calor. Filma visitas personalizadas con la función Movie Maker de Google Earth Pro, que le permite mostrar información

importante de un lugar a los clientes y compañeros de trabajo sin necesidad de salir de la oficina.

(*Google Earth Pro*, n.d.)

Figura 2. 15 Interfaz Google Earth



Google Earth

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1 Tipo de metodología

El estudio posee un enfoque cuantitativo, basado principalmente en la recopilación de datos obtenidos a partir de las mediciones realizadas en la faena. Estos valores permitieron efectuar cálculos necesarios para determinar y seleccionar el método de ventilación más adecuado para la mina. Asimismo, se consideraron las condiciones de ventilación posteriores a la tronadura, lo que hizo posible fundamentar los resultados y asegurar que las soluciones propuestas se ajusten a los requerimientos operacionales del yacimiento.

3.2 Nivel de abordaje

La investigación se presenta con un enfoque explicativo, detallando meticulosamente los procedimientos realizados en la mina La Caliza para la recopilación de datos.

Su propósito va más allá de la simple documentación del proceso, buscando ofrecer un marco comprensible que permita entender cómo se llevan a cabo las simulaciones de ventilación subterránea mediante los softwares mineros AutoCAD y Ventsim. Estas herramientas facilitan la modelación del flujo de aire y la evaluación de la eficacia de los sistemas de ventilación aplicados, de igual manera, se incluyen análisis de los resultados obtenidos, lo que permite identificar oportunidades de mejora y optimización en el sistema de ventilación de la mina.

3.3 Determinar circuitos y caudales de ventilación presentes en la faena para establecer condiciones iniciales.

Para determinar el circuito y los caudales de ventilación presentes en la faena, fue necesario realizar una visita al lugar para obtener dichos datos directamente en terreno.

3.3.1 Solicitud de permiso

Los tesistas fueron los encargados de gestionar el contacto con el propietario del yacimiento “La Caliza”, obteniendo previamente el contacto para coordinar la solicitud de permiso y así poder visitarla, una vez comunicados con el dueño, se obtuvo la autorización necesaria para llevar a cabo las mediciones de velocidades de aire y de las secciones, permitiendo así la recolección de datos relevantes para el proyecto de titulación, asimismo se coordinó el transporte, el cual se realizó en automóvil personal de uno de los tesistas. Todo el proceso se desarrolló cumpliendo con las medidas de seguridad correspondientes, garantizando en todo momento la protección de las personas involucradas.

3.3.2 Retiro de equipos y preparación para la salida a terreno

Tras la aprobación de la solicitud para la salida a terreno, el equipo se dirigió a la Universidad de Atacama, específicamente al laboratorio de Geominería, donde el profesor Enrique Veragua realizó la entrega de todos los equipos necesarios: anemómetro, higrómetro y cinta métrica, junto con los EPP correspondientes, como cascos, chalecos y linternas. Posteriormente, se verificó el estado y funcionamiento de los equipos para asegurar que estuvieran en óptimas condiciones antes de la salida a terreno.

3.3.3 Llegada a la mina y preparación de terreno

Al llegar a la mina, los tesistas fueron recibidos por el administrador, quien realizó un recorrido introductorio por los alrededores, permitiendo el reconocimiento del terreno y entregando una charla de seguridad. Durante la visita, se expusieron los antecedentes generales del yacimiento, incluyendo la descripción de los distintos frentes de trabajo, para luego trasladarse a la frente más reciente, la cual aún se encuentra en proceso de desarrollo. Una vez en el lugar, se realizó un breve recorrido en el que se detalló la chimenea existente, señalando su diámetro y principales características. Tras concluir con la charla, se procedió a la ejecución del aforo de ventilación.

3.3.4 Circuito de ventilación

La información sobre el sistema de ventilación de la mina La Caliza se obtuvo mediante observación directa en terreno, posterior a la charla con el administrador. Durante el recorrido, se inspeccionó la entrada principal de la mina, donde a pocos metros hacia el costado derecho se identificó una chimenea. Se observó el comportamiento del flujo de aire en el sector, verificando visualmente la dirección y cercanía entre los puntos de entrada y salida, lo que permitió reconocer la forma en que el aire circula dentro de la faena.

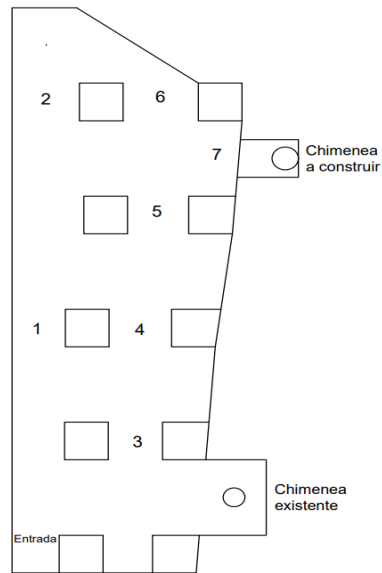
3.3.5 Pasos en la mina

Una vez reconocido el lugar, se procedió a ubicarse en la entrada de la mina, la cual se estableció como el primer punto de medición.

Se inició el proceso midiendo las dimensiones de la entrada (ancho y altura) para registrar la sección inicial del aforo. Posteriormente, se realizaron mediciones de velocidad del aire en distintas ubicaciones dentro de la mina, las cuales fueron numeradas del 1 al 7, sin contar la entrada.

La selección de estas ubicaciones se realizó de forma aleatoria, considerando la accesibilidad de las galerías y las condiciones del terreno. Dado que se trata de una mina de pequeña escala, el número de mediciones efectuadas fue suficiente para obtener resultados representativos del flujo de aire.

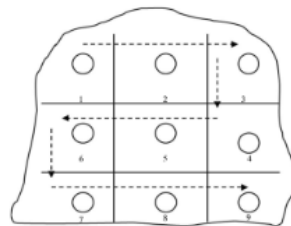
Figura 3 1 Mapa ubicación de cada punto medido



(Elaboración propia)

En cada ubicación, se efectuaron nueve mediciones puntuales de velocidad (S1 a S9) distribuidas en forma de “Z”, con el fin de abarcar toda la sección del túnel (parte superior, media e inferior). Además, en cada una se registraron las dimensiones de ancho y altura, permitiendo calcular el caudal de aire correspondiente a cada sección.

Figura 3 2 Aforo



(Tabla De Aforo Mina Domeyko, 2025)

3.3.6 Tabla de registros

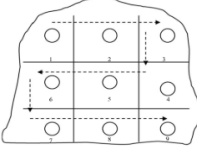
Para realizar el aforo de ventilación en la mina se utilizó un formato diseñado para registrar las condiciones ambientales y de circulación de aire en la faena, de Sernageomin.

En este formato se registró el equipo utilizado, los responsables de la medición, además de la fecha y la hora. En la tabla se distribuyeron nueve puntos de medición (S1 a S9) en la sección transversal de la galería. En cada punto se midió la velocidad del aire con el anemómetro, posteriormente se calculó un promedio general.

También se registraron datos como el área transversal de la labor, la temperatura ambiente y la humedad relativa, lo que permite evaluar las condiciones del aire en el interior de la mina. Finalmente, se incluyó una escala de percepción en la que los trabajadores calificaron sensaciones como aire pesado, calor o dificultad para respirar, con valores de 1 a 10.

De esta manera, el aforo combinó información técnica de la ventilación con la experiencia directa de quienes trabajan en la faena.

Tabla 3 1 1 Tabla de registro aforo de ventilación

AFORO EN MINA LA CALIZA (Vallenar - Región de Atacama- Chile)										
Equipo (Modelo -Marca)			Responsable (s) del Aforo (Nombre - GN)				Fecha Aforo	Hora Medición		
Punto de Medición	Área Transversal [m2]	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]	Bulbo Humedo [°C]	Presión [milibares]	Barrido S	Velocidad de aire promedio [m/s]	Figura		
						S1				
						S2				
						S3				
						S4				
						S5				
						S6				
						S7				
						S8				
						S9				
Marque la casilla lo que represente su sensación (Siendo 1 la menor sensación y 10 la mayor)						Velocidad Promedio Punto	PAG 1- V01-VENT-DIMINUDA			
Picor en la Garganta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aire Pesado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dificultad para respirar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Calor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ahogo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
OBSERVACIONES										

(Tabla De Aforo Mina Domeyko, 2025)

3.4 Caracterizar operación minera para determinar las personas y equipos presentes en una jornada de trabajo.

3.4.1 Identificación de las personas, maquinarias, y variables de operación

La información se obtuvo mediante la charla realizada por el administrador durante el recorrido por la faena, instancia en la que se explicó el desarrollo de las actividades, la cantidad de trabajadores, los equipos utilizados, el método de explotación aplicado, el horario laboral del personal, la hora en que se realizan las tronaduras, el tipo de yacimiento y las condiciones generales del lugar.

Durante el recorrido en el exterior de la mina se observaron y fotografiaron los equipos utilizados en el interior. Con estas imágenes se investigaron sus características técnicas, como la potencia en HP y el tipo de maquinaria empleada, entre ellas el camión y el cargador frontal. En cuanto a la perforadora, su modelo fue identificado gracias a la

información entregada directamente por los perforistas y el administrador durante la visita a la frente en desarrollo.

Figura 3 3 Charla informativa en frente de trabajo



(Elaboración propia)

Figura 3 4 Observación del frente junto a los trabajadores



(Elaboración propia)

3.4.2 Tabulación de información

Con base a la información anteriormente mencionada, permitió reconocer al personal que desarrolla actividades dentro de la mina, lo que sirvió para dimensionar la cantidad de personas expuestas a las condiciones de ventilación durante la operación, para mayor claridad, la información del personal se resume en la siguiente tabla:

Figura 3 5 Personal presente en las labores subterráneas de la mina La Caliza

Personal	Cantidad de personas

(Elaboración propia)

Asimismo, se elaboró la tabla de equipos presentes dentro de la mina, que considera aquellos que generan carga de trabajo y el HP de los equipos, datos que influyen directamente en los requerimientos de ventilación:

Figura 3 6 Equipos presentes en la operación minera

Equipos	Cantidad	HP

(Elaboración propia)

Estas tablas presentan el personal presente en la mina y los equipos utilizados junto a su potencia (HP), información que sirve como base para estimar los caudales requeridos y diseñar el sistema de ventilación.

3.5 Calcular caudales necesarios para determinar el tipo de ventilación necesaria.

En esta etapa del estudio se buscó determinar el tipo de ventilación más adecuada para la faena minera mediante un análisis comparativo entre el caudal existente y el caudal necesario. Por esta razón, primero se recopilieron los datos en terreno, organizados en las tablas presentadas en la sección anterior, donde se registraron las mediciones del flujo de aire en diferentes sectores de la mina. Posteriormente, se calcularon los caudales requeridos aplicando las fórmulas correspondientes al caudal por personas, al caudal para equipos diésel y al caudal derivado del consumo de explosivos.

3.5.1 Caudal para las personas

Como se menciona en el marco teórico, para poder determinar el caudal para las personas es fundamental aplicar fielmente la exigencia mencionada en el Art. N° 138 del D.S. N° 72. La relación se expresa de la siguiente manera:

$$Q = F \times N \text{ (} m^3 / \text{min)}:$$

Donde:

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

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

N: Número de personas en el lugar

3.5.2 Caudal para los equipos Diésel

Como menciona el marco teórico y en el art. N° 132 del “R.S.M.” (D.S. N° 72) se debe calcular el requerimiento de aire de cada equipo diesel, de acuerdo con normativa de suministrar $2.83 m^3 / \text{min}$. por cada HP motor de todo equipo Diesel en operación. La relación se expresa de la siguiente manera:

$$Q = 2.83 * \text{HP (Motor)} \text{ } m^3 / \text{min}$$

Donde:

Q= Volumen de aire necesario para la ventilación requerido por equipos Diesel
(m^3/min)

HP= Caballos de fuerza de los equipos

3.5.3 Caudal según consumo de explosivos

Como se menciona en el marco teórico, para poder determinar este caudal se debe multiplicar la constante establecida en el Decreto Supremo N.º 132/2002 del Ministerio de Minería por la cantidad de explosivos utilizados, expresada en kilogramos. La relación se expresa de la siguiente manera:

$$Q: 16,67 * E \text{ m}^3/min$$

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 aportada por los trabajadores de la mina.

3.5.4 Análisis comparativo

Para evaluar si era necesario implementar mejoras en la ventilación, se compararon los valores de caudal existente con el caudal requerido, calculado en las secciones anteriores. Esta comparación permitió determinar si la ventilación actual era suficiente o si se debían considerar alternativas para optimizar el flujo de aire, esto de acuerdo a lo establecido por el Reglamento de Seguridad Minera D.S. 132/2002, Artículo 138.

A partir de esta revisión, se analizaron distintas opciones que pudieran ajustarse al estado de la mina y a su futura expansión, con el fin de identificar medidas que contribuyen a mejorar la circulación del aire.

3.5.5 Determinar el sistema de ventilación apropiado

Una vez finalizado el análisis comparativo, es necesario modelar la infraestructura de la mina en AutoCAD e importarla a Ventsim para realizar simulaciones que permitan determinar el sistema de ventilación apropiado.

3.5.6 Modelado 3D de la mina en AutoCAD y simulación en Ventsim

Se procedió a digitalizar en AutoCAD la información obtenida en terreno correspondiente a las dimensiones de la mina, considerando el ancho y alto de los pilares, junto con las dimensiones de las calles y demás sectores que conforman la estructura subterránea. En esta etapa inicial se dibujaron las patas de la mina en vista de planta utilizando sus medidas reales y, como guía, se trazaron también las formas de los pilares; posteriormente se trazó una línea central en cada pata para representar el eje de circulación y se eliminaron las líneas auxiliares y las formas guía de los pilares, quedando únicamente la geometría simplificada que define las calles de la mina. Luego se incorporó la chimenea existente, lo que requirió cambiar momentáneamente el modo de dibujo desde “Dibujo y anotación” a “Modelado 3D” (opción ubicada en la parte superior central de la interfaz), para extender la línea en sentido vertical. Durante todo el proceso se utilizaron comandos básicos como Línea, asegurando una representación precisa de la configuración del yacimiento.

Una vez completado el dibujo en AutoCAD, el archivo fue importado a Ventsim. Es importante señalar que Ventsim no permite importar modelos con elementos dibujados en 3D (por ejemplo, cubos o cilindros), pero como la chimenea corresponde únicamente a una línea extendida en sentido vertical, no interfiere en el proceso. Para importarlo, se abrió Ventsim y, desde el menú superior izquierdo, se seleccionó “Archivo”, luego “Importar”, escogiendo el archivo CAD correspondiente. Con el diseño cargado en Ventsim, se inició el modelado del flujo de aire para visualizar su distribución dentro de las labores.

En cuanto al modelado 3D de la mina en AutoCAD, este se realizó únicamente para obtener una visualización tridimensional del yacimiento, no para su uso en Ventsim. Con el dibujo listo, se cambió el modo de trabajo de “Dibujo y anotación” a “Modelado 3D”,

tal como se mencionó anteriormente. Esta vista nos permitió observar el diseño desde distintas perspectivas. Luego, las líneas que conformaban cada pilar se unieron con el comando “Unir”, y posteriormente cada pilar fue extruido mediante el comando “Extrusión”, asignándole la altura de los pilares según los datos obtenidos, repitiendo este procedimiento para todos los pilares del modelo y la chimenea existente.

3.5.7 Circuito de ventilación apropiado

Para determinar el circuito de ventilación se realizaron simulaciones en Ventsim conforme a lo establecido por el Decreto Supremo N.º 132/2002, Artículo 142, el cual exige garantizar condiciones adecuadas de ventilación en labores subterráneas. En esta etapa se busca identificar cómo se comporta el flujo de aire en condiciones naturales y cómo se distribuye dentro de la mina según su infraestructura.

El primer paso consistió en representar el flujo sin incorporar ventilación mecánica, con el fin de analizar el desplazamiento del aire generado únicamente por la geometría de la mina. Para esta simulación se utilizaron los datos de caudal obtenidos en terreno, ya que corresponden a las condiciones reales que posee la faena. Dicho caudal ingresó al modelo para activar el flujo y observar su comportamiento.

Si bien Ventsim requiere ingresar manualmente un caudal para iniciar el movimiento del aire, utilizar el valor medido en terreno permite visualizar de manera coherente cómo se distribuye el caudal existente dentro de las labores. Esta revisión permite posteriormente determinar si la ventilación natural es suficiente o si será necesario implementar ventilación forzada.

Una vez representado el comportamiento inicial del aire, se evaluó cómo el flujo se distribuye dentro de la mina según su infraestructura. Para esto se analizó si el recorrido que sigue el aire se comporta como un circuito en serie o como uno en paralelo, observando de qué manera avanza y se reparte dentro de las labores. Con esta revisión es posible determinar qué tipo de recorrido se ajusta mejor a la infraestructura de la mina.

3.6 Seleccionar los ventiladores y accesorios de ventilación para la propuesta final.

La metodología para la selección del equipo de ventilación se basó en los caudales obtenidos en los cálculos previos, la presión y las curvas de rendimiento entregadas por la simulación en Ventsim. Con estos parámetros se evaluaron distintas alternativas, considerando su capacidad para entregar el caudal requerido, ajustarse a la presión estimada y operar dentro de una curva de rendimiento adecuada, incorporando además el precio del equipo como criterio de comparación.

Para definir las zonas incluidas en la evaluación se tomó como referencia el Reglamento de Seguridad Minera D.S. 132/2002, Artículo 138, que exige ventilación solo en los lugares donde accede personal. Bajo este criterio metodológico, se consideró que existen sectores que pueden presentar ausencia de circulación de aire al no ser transitados por trabajadores. Esto permitió concentrar la selección del equipo únicamente en las áreas donde la normativa obliga a asegurar condiciones adecuadas de ventilación.

De este modo, la comparación se enfocó exclusivamente en equipos que cumplieran con el caudal calculado, la presión definida por la simulación, su curva de rendimiento y un costo compatible con las necesidades reales de la faena. Una vez seleccionado el ventilador más adecuado, se determina si es necesario incorporar accesorios adicionales (como ductos, codos, pernos, cables u otros elementos). La selección de estos accesorios depende directamente del ventilador elegido, asegurando que sean compatibles con sus características de operación y su geometría para lograr un funcionamiento eficiente del sistema de ventilación.

CAPITULO 4: ANALISIS Y RESULTADOS

4.1 Determinar circuitos y caudales de ventilación presentes en la faena para establecer condiciones iniciales.

4.1.1 Determinar circuito

De acuerdo con los antecedentes expuestos en el marco teórico, se determinó que el sistema de ventilación de la mina corresponde a un circuito paralelo. Esto se debe a que el caudal se distribuye por toda la mina sin presentar una disminución significativa, lo que descarta la posibilidad de un circuito en serie. Si bien la entrada de aire se encuentra muy próxima a la chimenea (lo que evidencia una mala ubicación entre ambos puntos) el flujo continúa repartiéndose a lo largo de todas las labores. Cabe destacar que la chimenea ubicada a la derecha posee un largo de 5 metros, rompe la superficie y cuenta con un diámetro de 2,5 metros, permitiendo que el aire se disperse hacia distintos sectores en forma simultánea, característica propia de un sistema paralelo.

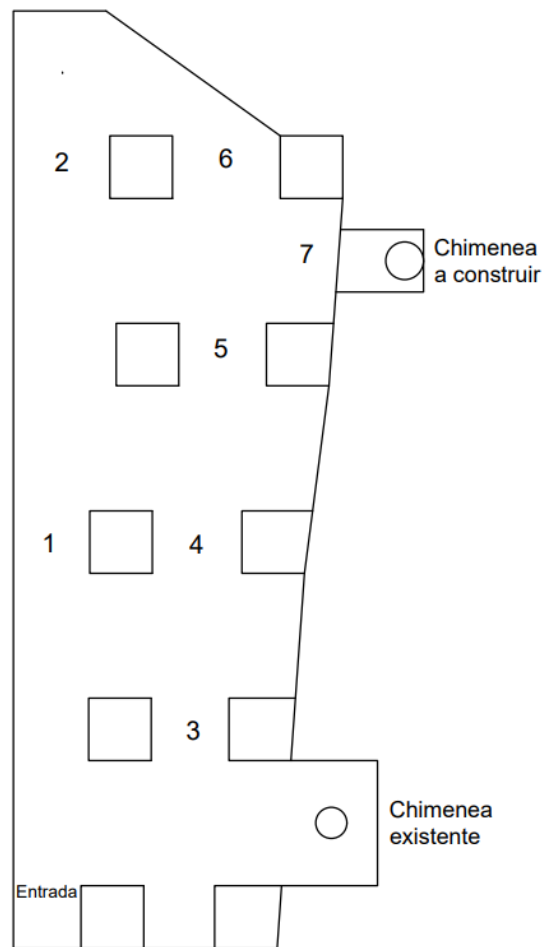
4.1.2 Mediciones de caudales, secciones de la entrada y galerías

A partir de los datos obtenidos en terreno y organizados en la tabla presentada anteriormente, se realizó el cálculo del área y del caudal correspondiente a cada una de las secciones medidas (numeradas del 1 al 7, sin incluir la entrada).

4.1.3 Ubicaciones de los puntos medidos

El siguiente mapa muestra la ubicación de cada uno de los puntos medidos, permitiendo visualizar de manera ordenada la distribución de las secciones evaluadas en terreno.

Figura 4 1 Mapa de las ubicaciones de los puntos



(Elaboración propia)

4.1.4 Registro de aforo

En la siguiente tabla se puede observar un resumen del registro de aforo de ventilación obtenido en terreno de los diferentes puntos medidos.

Tabla 4 1 Datos aforo de ventilación

Punto de Medición	Área Transversal [m ²]	Temperatura [°C]	Humedad Relativa [%]	Caudal promedio
Entrada	21.6	19.4	0.56	0.35 m/s
Punto 1	24.8	19.2	56.4	0.23 m/s
Punto 2	30.8	19.5	55.9	0.24 m/s
Punto 3	22.4	19.8	57.8	0.23 m/s
Punto 4	24.8	19.0	58.6	0.30 m/s
Punto 5	28.6	22.9	51.8	0.08 m/s
Punto 6	28	22.3	53	0.18 m/s
Punto 7	43	22.3	52.9	0.13 m/s

(Elaboración propia)

4.1.5 Caudales existentes en cada sección

Tabla 4 2 Caudales existentes mina

Sección	Caudal existente m ³ /min
Entrada	453.6
Punto 1	342.24
Punto 2	443.52
Punto 3	309.12
Punto 4	446.4
Punto 5	137.28
Punto 6	302.4
Punto 7	335.4

(Elaboración propia)

4.1.6 Caudal existente en la mina

Posteriormente, se promedian los valores para determinar el caudal total existente en la mina, el cual corresponde a $346.245 \text{ m}^3/\text{min}$. Este resultado representa la cantidad total del aire que circula a través de las diferentes secciones medidas, sirviendo como base para el análisis comparativo con el caudal necesario.

4.2 Caracterizar operación minera para determinar las personas y equipos presentes en una jornada de trabajo.

4.2.1 Caracterización de la operación minera

Durante la charla realizada por el administrador se dieron a conocer los siguientes resultados: el método de explotación aplicado corresponde al método Room and Pillar. La jornada laboral comienza entre las 8:00 y 9:00 horas, con una pausa para almuerzo y descanso entre las 12:00 y 13:00 horas, finalizando alrededor de las 18:00 horas. El sistema de turnos es de 7x2. Las tronaduras se ejecutan generalmente en horario de la tarde, entre las 16:00 y 17:00 horas, realizándose de manera variable pero frecuente. El yacimiento es de tipo mantiforme y contiene caliza, calcita, dolomita y otros minerales de interés económico. Además, la faena cuenta con varias frentes de trabajo activas y se indicó que existe una rotación constante de trabajadores debido a la poca estabilidad y compromiso del personal.

4.2.2 Identificación de personas y equipos presentes en una jornada de trabajo

Se logró identificar y cuantificar al personal que se encontraba presente en las labores dentro de la mina, junto con los equipos operativos utilizados durante las distintas etapas del proceso.

Estos resultados se presentan a continuación mediante tablas anteriormente expuestas, estas permiten visualizar de forma clara y ordenada la distribución tanto del recurso humano como del equipamiento existente.

Tabla 4 3 3 Personal presente en la mina

Personal	Cantidad de personas
Perforista	1
Ayudante de perforo	1
Operador de maquinaria pesada	1
Operador camión	1
Supervisor	1
Jefe de operaciones	1

(Elaboración propia)

Tabla 4 4 Equipos utilizados en las labores

Equipos	Cantidad	HP
Perforadora manual modelo YT27	1	4
Cargador frontal	1	173
Compresor Kaeser Mobilair M50	1	48
Camión de transporte 4x2	1	280

(Elaboración propia)

4.3 Calcular caudales necesarios para determinar el tipo de ventilación necesaria.

4.3.1 Cálculos de caudales necesarios para la mina

A continuación, se procede al cálculo del caudal necesario, en cuanto al cálculo del caudal por consumo de explosivos, la información sobre la cantidad utilizada fue aportada por los trabajadores de la mina, indicando que se emplean aproximadamente 20 kg de explosivos por tronadura, con un avance de 3 metros.

Tabla 4 5 Caudal necesario

Caudal por personas	18 m ³ /min
Caudal por equipos	
Cargador frontal	489,59 m ³ / min
Camion 4x2	792,4 m ³ /min
Compresor	135,84 m ³ /min
Perforadora Manual	11,32 m ³ /min
Caudal por explosivos	
Creacion de estocada	333.4 m ³ /min
Creacion chimenea	333.4 m ³ /min

(Elaboración propia)

4.3.2 Q total

Al realizar la sumatoria de los caudales obtenidos, se determinó un valor total de 2,113.95 m³/min, equivalente a 35.23 m³/s.

4.3.3 Caudal necesario para la mina

El caudal total obtenido es de 2,113.95 m³/min, valor que representa el caudal necesario que debe ingresar a la mina para mantener condiciones adecuadas de ventilación. Este cálculo considera todos los factores previamente mencionados, los cuales son el aire requerido por las personas, los equipos y por consumo de explosivos, asegurando así que la circulación de aire cumpla con los estándares de seguridad y eficiencia establecidos.

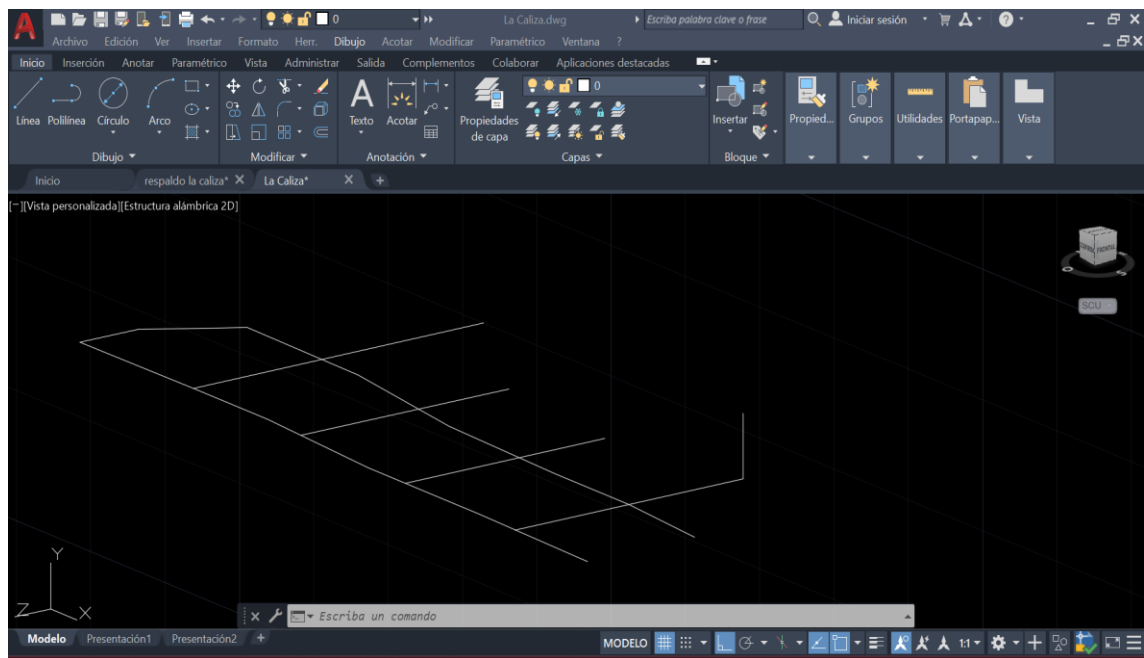
4.3.4 Análisis comparativo

Al comparar el caudal existente con el caudal requerido, se observó una diferencia considerable entre ambos valores. El caudal existente es de 346.245 m³/min, mientras que el caudal requerido corresponde a 2,113.95 m³/min. Esta diferencia muestra que el caudal actual es mucho menor al necesario para una ventilación adecuada.

4.3.5 Creación de la mina en 3D mediante AutoCAD

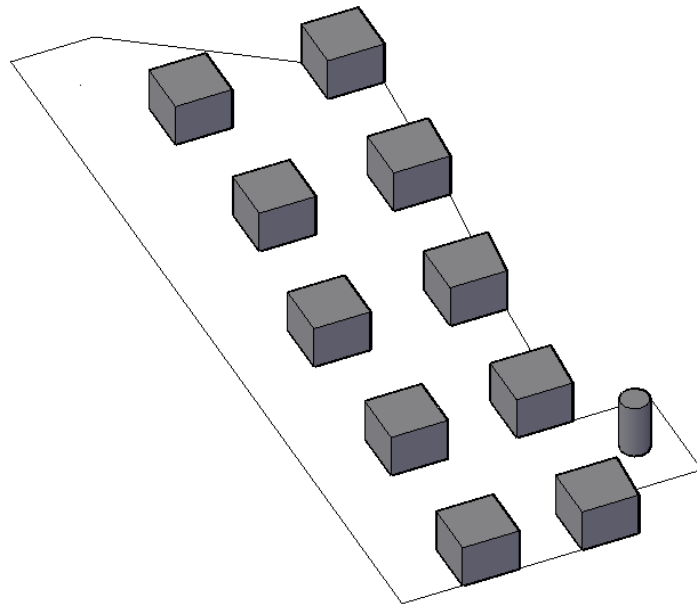
- El método de explotación que utiliza La Caliza es “Room and pillar”, con un espaciamiento entre pilares de 10 metros y una luz de 5 metros.
- La mina está conformada con un total de 10 pilares.

Figura 4 2 Representación de las líneas centrales de las calles de la mina en AutoCAD



(Elaboración propia)

Figura 4 3 Mina 3D

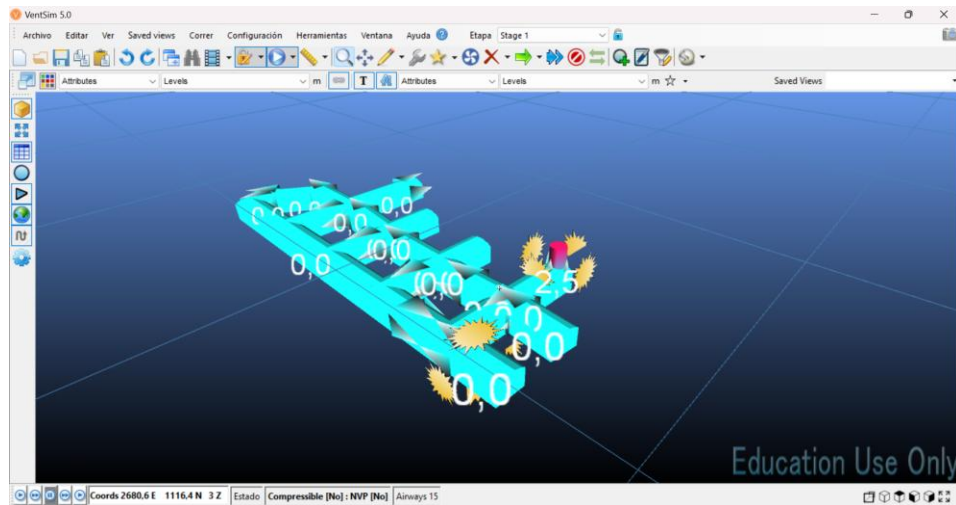


(Elaboración propia)

4.3.6 Creación de la mina actual mediante Ventsim

- Las galerías de la mina son de 5X4
- posee únicamente una entrada

Figura 4 4 Mina actual ventsim

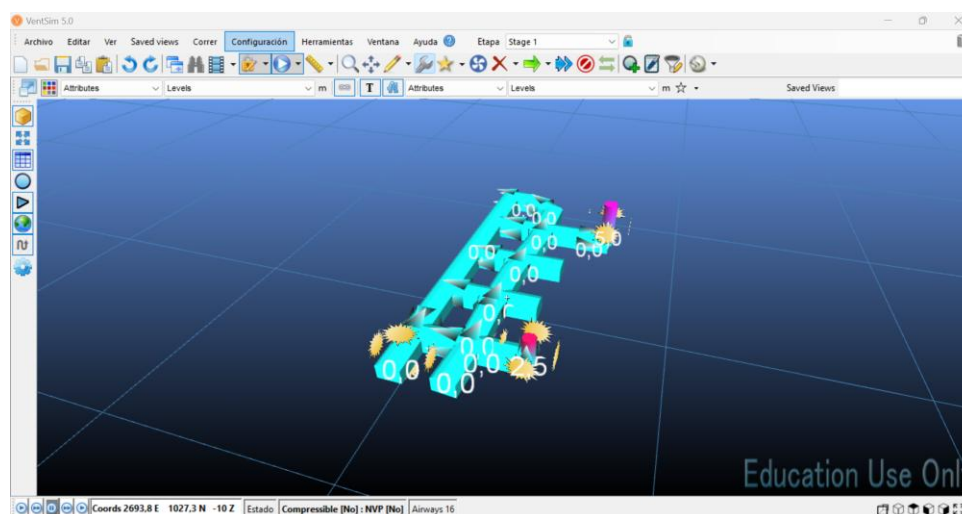


(Ventsim)

4.3.7 Circuito de ventilación apropiado

Gracias a la valiosa información aportada por el administrador y de acuerdo con lo establecido en el Decreto Supremo N° 132/2002, artículo 142, que indica que la ventilación debe garantizar en todo momento la cantidad y calidad necesaria de aire para el personal, los resultados del modelo muestran que la incorporación de la nueva chimenea de ventilación ubicada en el fondo de la mina mejora significativamente la circulación del aire. Además, la simulación revela que esta estructura permite que el flujo llegue a los sectores más profundos de la mina, algo que anteriormente no ocurría.

Figura 4 5 Incorporación de chimenea ventsim



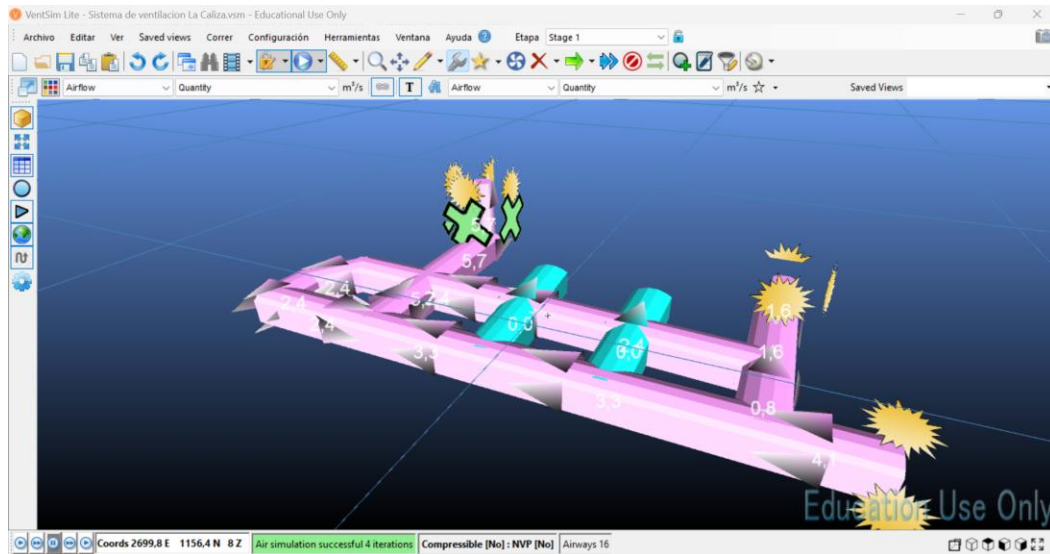
(Elaboración propia)

En cuanto al circuito, el método utilizado, room and pillar impide el funcionamiento de un circuito en serie, ya que los pilares interrumpen un flujo lineal de aire. En cambio, esta infraestructura favorece un circuito en paralelo, permitiendo que el aire se distribuya por varias rutas y ventile más sectores a la vez.

Posteriormente se simuló un flujo obtenido en terreno para representar la ventilación natural.

El modelo mostró que, aunque el aire logra moverse dentro de la mina, el flujo natural no es suficiente para cumplir con el caudal requerido, esto según lo establecido en el Decreto Supremo N° 132/2002, artículo 138.

Figura 4 6 Simulación ventilación “natural”



(Elaboración propia)

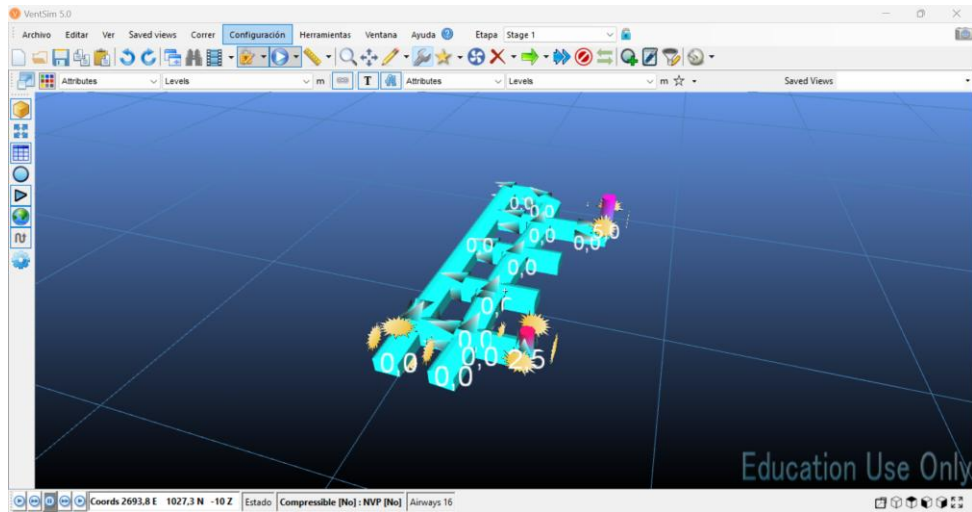
Por esta razón, los resultados indican que es necesario usar ventilación forzada mediante un ventilador en la entrada.

Finalmente el sistema de ventilación corresponde a uno mixto ya que emplea tanto ventilación natural como forzada.

4.3.8 Creación de la chimenea a proponer mediante Ventsim

- Se construyó una chimenea a 83,65 metros de la entrada, con un ángulo de inclinación de 90° , acorde al método que se utilizaría para su construcción. Su altura hasta la superficie es de 10 metros.
- La estocada para realizar la chimenea tiene una sección de 5x4, con un largo de 7 metros.
- 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 7 Chimenea propuesta

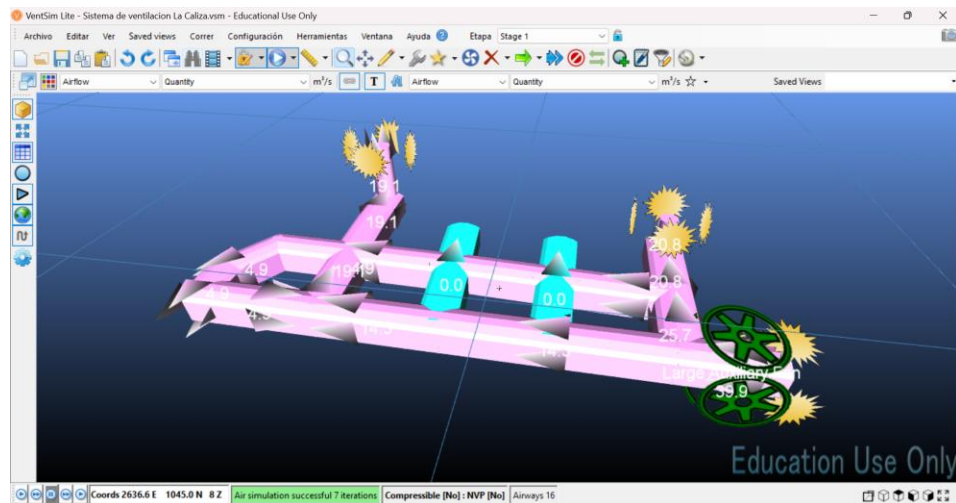


(Elaboración propia)

- El caudal necesario para la ventilación adecuada es de $35.23 \text{ m}^3/\text{s}$, valor que se utilizará como el flujo de aire que ingresa a la mina.

4.3.9 Simulación final a proponer

Figura 4 8 Simulación final ventsim



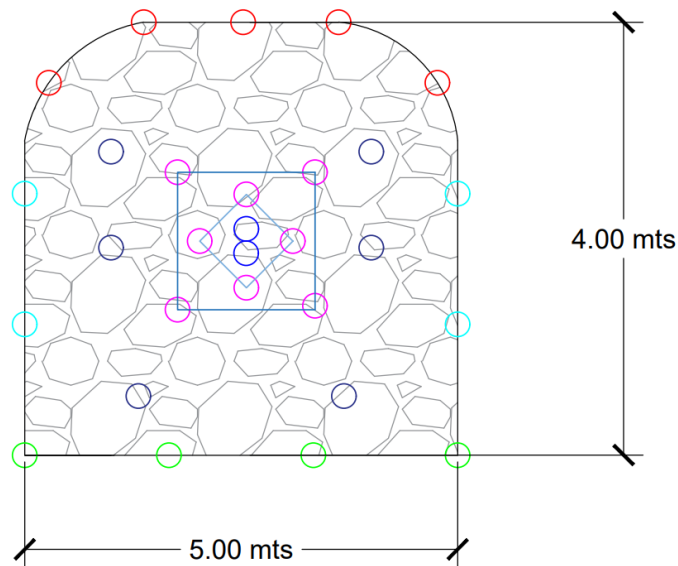
(Elaboración propia)

4.3.10 Labor estocada

4.3.10.1 Propuesta diagrama de disparo estocada

La propuesta de diagrama de disparo presentada correspondió a la construcción de la estocada, la cual sirvió como preparación para la posterior ejecución de la chimenea. La estocada cuenta con una profundidad de 7 m, una altura de 4 m y un ancho de 5 m, considerando un total de 27 pozos. Adicionalmente, se incluyeron 2 tiros vacíos con el propósito de generar la 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.

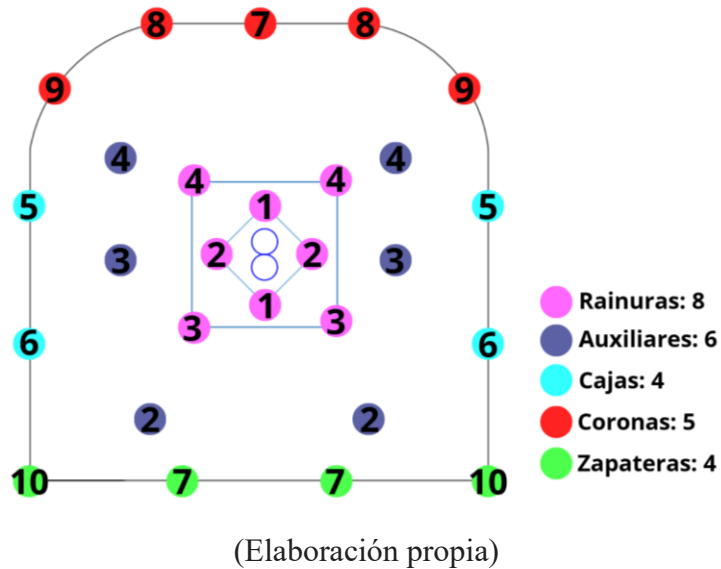
Figura 4 9 Diagrama de disparo estocada



(Elaboración propia)

Secuencia de disparo:

Figura 4 10 Secuencia de disparo estocada



4.3.10.2 Cálculo de cantidad de explosivos necesarios para la ejecución de la estocada

Se emplearon 20 kg de ANFO por tronadura, logrando un avance de 3 metros y una extracción aproximada del 70 % del material

$$\frac{20 \rightarrow 3}{0 \leftarrow 7} = \frac{20 \times 7}{3} = 46.6 \text{ kg}$$

Se emplearán 46,6 kg de ANFO a granel para completar las labores de la estocada.

4.3.11 Metros de avance y tiempo estimado de la estocada y chimenea

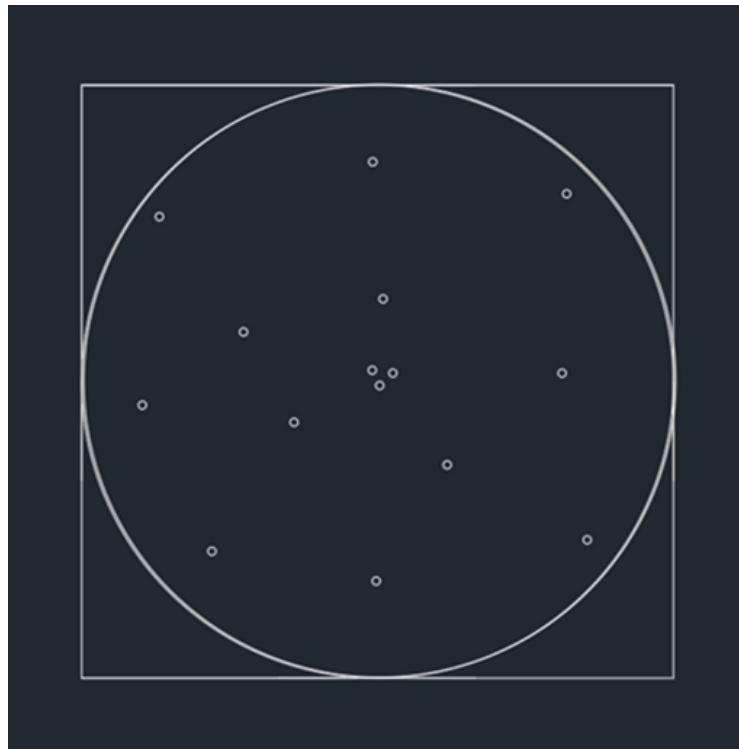
El progreso diario de perforación permitirá avanzar 3 metros en la construcción de la chimenea y la estocada. Sin embargo, debido a la limitada ventilación en la mina, será necesario destinar un día completo a la disipación de gases después de cada tronadura. Bajo esta situación, se calcula que la estocada finalizará en 2 días y la chimenea en 3 días, por lo que ambos trabajos concluirán en un plazo estimado de 5 días.

4.3.12 Labot chimenea

4.3.12.1 Propuesta de diagrama de disparo para la chimenea

Se elaboró una propuesta para el diagrama de disparo destinado a la construcción de la chimenea, que estará ubicada a 83,65 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 tiros vacíos para generar la cara libre. El explosivo y el equipo empleados fueron los mismos que se utilizaron en la estocada, conforme a lo descrito anteriormente.

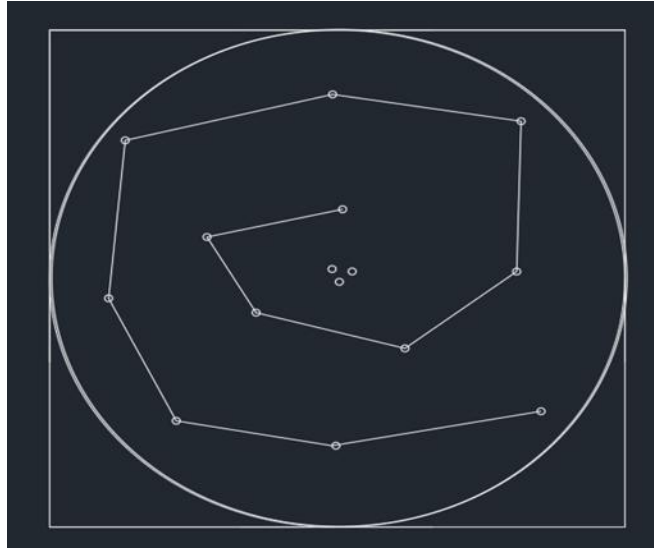
Figura 4 11 Diagrama de disparo chimenea



(Elaboración propia)

La secuencia de disparo en la siguiente:

Figura 4 12 Secuencia de disparo chimenea



(Elaboración propia)

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

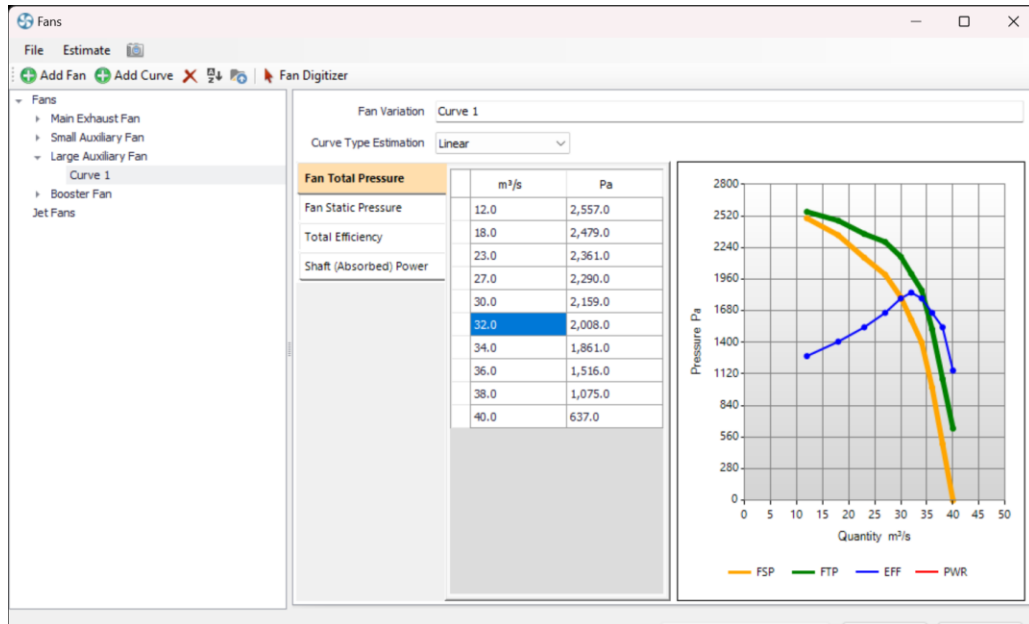
Al igual que la estocada se emplearon 20 kg de ANFO por tronadura, logrando un avance de 3 metros y una extracción aproximada del 70 % del material.

$$\frac{20 \rightarrow 3}{0 \leftarrow 10} = \frac{20 \times 10}{3} = 66.6 \text{ kg}$$

Para completar las labores de la chimenea se emplearán 66,6 kg de ANFO a granel.

4.3.13 Seleccionar los ventiladores y accesorios de ventilación para la propuesta final.

Figura 4 13 Curva de rendimiento



(Elaboración propia)

4.3.13.1 Comparación y selección de equipo de ventilación

Tabla 4 6 Tabla comparativa

Empresa/ Modelo	Caudal (m3/s)	Presion (Pa)	Curva de Rendimiento (pequeño resumen)	Precio estimado (CLP)
Howden- Jetstream AX 900	40	1.200	Curva no llega a 2.000	12-20 Millones
VEMIN- Auxiliary Mining Fan	35,23	2.008	Ajusta al punto operativo requerido, curva estable	6-12 Millones
Reimaq- VAT 800	28	350	No alcanza la presion necesaria, curva cae antes del punto	5-9 Millones
INAV- Axial Industrial 1000	30	900	Caudal y presion Insuficiente	7-11 Millones
Extractor Industrial 30° (Generico)	18	300	No cumple con caudal ni presion necesaria	2-4 Millones

(Elaboración propia)

Tras analizar los distintos equipos presentados, se observa que ninguno de ellos cumple con los requerimientos operativos establecidos, ya sea por insuficiencia de caudal, presión o por no mantener una curva de rendimiento compatible con el punto de operación necesario. Sin embargo, el ventilador perteneciente a la línea Auxiliary Mining Fan de VEMIN es el único que se ajusta correctamente a los parámetros exigidos de caudal, presión, curva de rendimiento y costo económico, considerando un precio estimado entre 6 a 12 millones de pesos chilenos, por lo que se determina que este es el ventilador más adecuado para el proyecto.

Al ser un equipo auxiliar impelente (ya que inyecta aire a la mina), será necesaria la implementación de accesorios de ventilación, para asegurar su correcto funcionamiento dentro de la mina.

4.3.13.2 Accesorios seleccionados

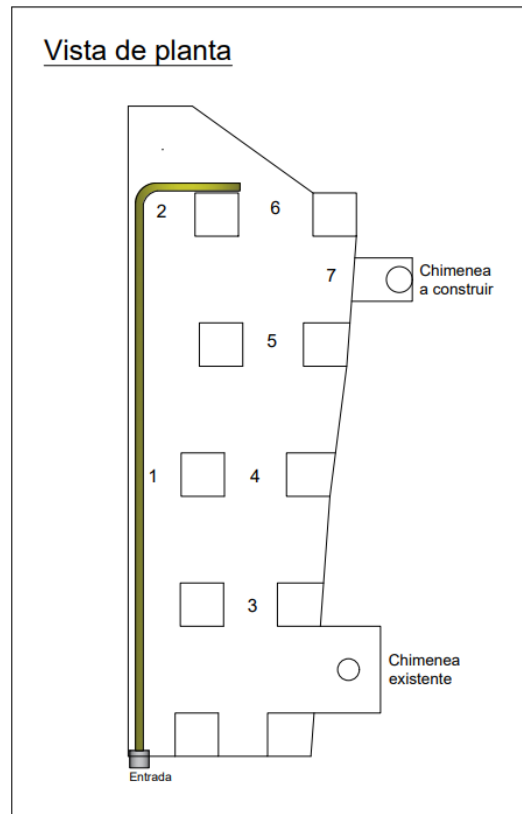
Los accesorios seleccionados (todos de la empresa VEMIN):

- Manga lisa de ventilación de PVC: diámetro aproximado entre 22" y 66", según el ventilador seleccionado.
Costo estimado por 80 m: \$560.000 a \$1.600.000.
- Pernos de anclaje con cabeza de expansión: se utilizarán 80 unidades, instalados cada 1 metro.
Costo unitario: \$500 a \$6.000.
- Cable mensajero para sostenimiento: 80 metros.
Costo estimado: \$31.500 a \$63.000.

Se emplearán 80 metros, ya que la distancia desde el equipo hasta la frente de operación es de 77 metros, y se redondea para asegurar la cobertura completa. Hay que destacar que no se utilizaron codos en el sistema, ya que la empresa proveedora confecciona la manga de ventilación con los codos incluidos. Esto asegura una instalación más sencilla y simplificada.

4.3.13.3 Diagrama de ventilación

Figura 4 14 Diagrama de ventilación



(Elaboración propia)

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

Cumpliendo con la solicitud de permisos y tras una charla previa con el administrador, donde se recibió valiosa información, se observaron claramente las características de un sistema de ventilación natural en paralelo. Se logró tomar mediciones del aforo de ventilación utilizando herramientas adecuadas, como anemómetro, lo que permitió evaluar el flujo de aire en el interior de la mina, promediando un caudal existente de 346.245 m³/min.

Después de revisar la información proporcionada por el administrador y tras observar la operación en el lugar, se ha determinado que se utiliza el sistema de explotación Room and Pillar. La jornada laboral se extiende desde las 8 a 18 hrs, considerando 1 hr destinada para almorzar. Además de las maquinarias presentes como el compresor, el camión de transporte, la perforadora manual y el cargador frontal, juegan un papel crucial en las operaciones de la mina.

Con los datos recogidos, se elaboraron tablas que documentan tanto las maquinarias como el personal involucrado en las operaciones. Esta información fue fundamental para evaluar las necesidades de ventilación requeridas, determinando, entre otros, el caudal por equipos diésel, el caudal por persona y el caudal según el consumo de explosivos.

A partir de esta información, se puede analizar que el aire que circula a través de diferentes secciones corresponde a 346.245 m³/min, mientras que el caudal necesario que debe ingresar es de 2,113.95 m³/min. Gracias a los software de modelado y simulación, se realizó un diseño utilizando AutoCAD, y una vez terminado, fue importado a Ventsim para simular la ventilación. En consecuencia, es crucial implementar un sistema de ventilación forzada, donde el circuito sea paralelo, asegurando así un flujo adecuado de aire en la mina.

Finalmente, este análisis consideró características clave como caudal, presión y curvas de rendimiento. Estos factores permitieron identificar que un ventilador de la línea Auxiliary Mining Fan de VEMIN se adapta a las necesidades específicas de la mina. Al ser un equipo auxiliar impelente, es necesario utilizar además accesorios como 80 m de manga lisa de

ventilación, 80 m de cable mensajero y 80 pernos de anclaje con cabeza de expansión. Un factor importante es que el bajo costo de adquisición de este sistema lo convierte en una opción viable y favorable para mejorar la eficiencia de la ventilación en la mina, garantizando un ambiente de trabajo seguro y productivo.

Bibliografía

- Aire comprimido: qué es y por qué lo utilizamos.* (s.f.). Recuperado el 2 de October de 2025, de Atlas Copco: <https://www.atlascopco.com/es-cl/compressors/wiki/compressed-air-articles/what-is-compressed-air>
- Andrade Gallardo, S. (2008). GUÍA METODOLÓGICA DE SEGURIDAD PARA PROYECTOS DE VENTILACIÓN DE MINAS.
- Anemómetro.* (s.f.). Recuperado el 3 de October de 2025, de Omega Engineering: <https://es.omega.com/prodinfo/anemometros.html>
- Autodesk.* (s.f.). Recuperado el 28 de September de 2025, de Autodesk AutoCAD 2026 | Obtener precios y comprar el software AutoCAD oficial: <https://www.autodesk.com/latam/products/autocad/overview>
- Autodesk Civil 3D 2025 | Obtener precios y comprar el software Civil 3D.* (s.f.). Recuperado el 28 de September de 2025, de Autodesk: <https://www.autodesk.com/mx/products/civil-3d/overview>
- BLINDHOLE.* (s.f.). Obtenido de vertexmining: <https://www.vertexmining.com/blindhole/>
- Brasted, R. C., & Pielke, R. A. (29 de September de 2025). *Oxygen | Discovery, Symbol, Properties, Uses, & Facts.* Recuperado el 26 de October de 2025, de Britannica: <https://www.britannica.com/science/oxygen>
- Centrifugal fan - Wikipedia.* (s.f.). Recuperado el 30 de September de 2025, de Wikipedia, the free encyclopedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Centrifugal_fan
- Cidelsa.* (s.f.). Obtenido de Cidelsa.
- Circuitos de ventilacion | PPT.* (s.f.). Recuperado el 13 de November de 2025, de Slideshare: <https://es.slideshare.net/slideshow/circuitos-de-ventilacion/43462274>
- Decreto 745 APRUEBA REGLAMENTO SOBRE CONDICIONES SANITARIAS Y AMBIENTALES BASICAS EN LOS LUGARES DE TRABAJO.* (29 de Abril de 2000). Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile / BCN: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=15384>
- Definición de chimenea.* (s.f.). Obtenido de Arliplus: <https://www.arkiplus.com/definicion-de-chimenea-en-mineria>
- Diferencia entre circuito serie y paralelo - MCI Educación.* (9 de August de 2022). Recuperado el 14 de November de 2025, de cursos MCI Electronics: <https://cursos.mcielectronics.cl/2022/08/09/diferencia-entre-circuito-serie-y-paralelo/>

Ducto corrugado. (s.f.). Obtenido de Arcotex: <https://arcotex.cl/product/ducto-para-aspiracion-tipo-s-corrugado/#:~:text=El%20ducto%20corrugado%20es%20un,una%20mayor%20firmeza%20y%20resistencia.>

Enami. (2013). Guía Operación para la pequeña minería. Obtenido de <https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/03/6.perforacion-y-tronadura.pdf>

Giménez, A. (10 de January de 2023). *Compresores: Definición, clasificación y tipos - Area Academy.* Recuperado el 2 de October de 2025, de Area Cooling Solutions: https://areacooling.com/areacademy/es/compresores-definicion-clasificacion-y-tipos/#%C2%BFQue_es_un_compresor_y_como_funciona

Gonzalez, F. (2024). ¿Por qué implementar el Decreto 132 si trabajas en minería?

Google Earth Pro. (s.f.). Obtenido de https://static.googleusercontent.com/media/www.google.com/es//intl/es_ar/enterprise/earthmaps/pdf/earth_pro_ds.pdf

GUÍA DE SEGURIDAD PARA VENTILACIÓN DE MINAS SUBTERRÁNEAS. (s.f.). Recuperado el 2 de October de 2025, de Agencia Nacional de Minería: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/folleto_mineria_ventilacion.pdf

GUÍA METODOLÓGICA DE SEGURIDAD PARA PROYECTOS DE VENTILACIÓN DE MINAS. (s.f.). Recuperado el 2 de October de 2025, de Sernageomin: <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/12/200812GuiaVentilacionMinas.pdf>

GUÍA N° 4 DE OPERACIÓN PARA LA PEQUEÑA MINERÍA. (s.f.). Recuperado el 2018, de sernageomin.cl: <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/10/G4PerforacionTronaduras.pdf>

Herrera Herbert, J. (2025). Ventiladores para minería subterránea. Obtenido de https://oa.upm.es/88126/1/TVSB4T1_Ventiladores_R0-20250304.pdf

Higrómetros claves para controlar la humedad en cada industria. (s.f.). Obtenido de disglobal: <https://www.disglobal.com.co/higrometros#ancla1>

Induambiente. (Marzo - Abril de Marzo - Abril de 2010). Climatización / ventilación subterránea. *Induambiente*, 103(103), 88 - 91. Obtenido de <https://www.induambiente.com/informe-tecnico/climatizacion/ventilacion-subterra>

Mangas y ductos de ventilación y costos. (Febrero de 2025). Obtenido de Prezi:
<https://prezi.com/p/gjzdnvdb1lw/mangas-y-ductos-de-ventilacion/>

Minería y canteras. (2023). Obtenido de Los mejores compresores de aire industrial para minería: <https://blog.madisa.com/mejores-compresores-de-aire-industrial-para-mineria>

Qué tipos de compresores existen y para qué se utilizan - Blog Bricovel. (8 de March de 2022). Recuperado el 2 de October de 2025, de Bricovel:
<https://bricovel.com/blog/tipos-de-compresores/>

Raise Boring – El blog de Víctor Yepes. (4 de December de 2015). Recuperado el 28 de September de 2025, de El blog de Víctor Yepes:
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2015/12/04/raise-boring/>

RECOMENDACIONES BÁSICAS PARA LA SELECCIÓN DE VENTILADORES. (6 de March de 2021). Recuperado el 2 de October de 2025, de ISP:
<https://www.ispch.cl/sites/default/files/Nota%20T%C3%A9cnica%20N71%20Recomendaciones%20basicas%20para%20la%20selecci%C3%B3n%20de%20Ventiladoresv2.pdf>

Rojas, E. (s.f.). *Máquinas perforación.* Obtenido de
<https://es.slideshare.net/slideshow/ppt-perfoyvoladura120412201246phpapp01/73288762>

Tabla de aforo Mina Domeyko. (2025).

Tipos de Ventiladores | Características y Consideraciones ¿Cuál es mejor? (s.f.). Recuperado el 2 de October de 2025, de Aire Limpio Global:
<https://airelimpioglobal.com/tipos-de-ventiladores/>

UT333 BT. (s.f.). Obtenido de https://cdn-reichert.de/documents/datenblatt/D100/UT333BT_BDA_ES.pdf

Vargas Alegría, E. (2015). VENTILACION DE MINAS.

Ventilación bajo tierra. (Diciembre de 2013). Obtenido de Mundohvacr.

Ventilación en Chuquicamata subterránea. (Abril de 2025). *Nueva minería y energía.* Obtenido de <https://www.nuevamineria.com/revista/ventilacion-en-chuquicamata-subterranea-referente-para-la-industria/>

Ventilador de flujo mixto. (s.f.). Obtenido de sciencedirect:
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/mixed-flow-fan#:~:text=Los%20ventiladores%20de%20flujo%20mixto%20se%20encuentra>

n%20en%20un%20punto,una%20caracter%20de%20no%20sobrecarga.

Ventsim. (s.f.). Recuperado el 28 de September de 2025, de Ventsim | Diseño de ventilación de minas en 3D: <https://ventsim.com/es/>

VETO Y CIA LTDA. (s.f.). TERMOANEMÓMETRO D8058000 Manual del usuario. Santiago, Chile.

Yepes Piqueras, V. (Noviembre de 2013). Construcción de chimeneas mediante plataforma trepadora Alimak.

Zuñiga Moreno, P. (s.f.). Recomendaciones básica para la selección de ventiladores. Recuperado el 2021, de <https://www.ispch.cl/sites/default/files/Nota%20T%C3%A9cnica%20N71%20Recomendaciones%20basicas%20para%20la%20selecci%C3%B3n%20de%20Ventiladoresv2.pdf>

Zúñiga, P., & Moreno, F. (2017). INSTRUMENTACIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN EN AMBIENTES LABORALES.

ANEXOS

Glosario

1. **Aforo:** consiste en determinar la cantidad y calidad del aire que debe circular dentro de la mina.
2. **Aireación:** Proceso de intercambio de aire para mejorar las condiciones ambientales.
3. **Anemómetro:** Instrumento para medir la velocidad del aire.
4. **Autocad:** Software de diseño asistido por computadora (CAD) que se utiliza para dibujar, diseñar y modelar en 2D y 3D.
5. **Caudal:** Volumen de aire que circula por un sistema de ventilación.
6. **Compresor:** Equipo que aumenta la presión del aire para su uso en maquinaria o ventilación.
7. **Explosivos:** Materiales utilizados para realizar tronaduras en minería.
8. **Frente de trabajo:** Área activa en la mina donde se realizan las labores de extracción.
9. **Galera:** Túnel o paso dentro de una mina.
10. **Gases tóxicos:** Sustancias peligrosas para la salud que se liberan durante las operaciones mineras.
12. **Inyección de aire:** Acción de introducir aire fresco en una zona de la mina mediante un ventilador.
13. **Instalación de ventilación:** Conjunto de equipos y estructuras que facilitan el flujo de aire en una mina.
14. **Mangas de ventilación:** Conductos flexibles para transportar aire en minas.
15. **Minería subterránea:** es aquella que se dedica a la explotación de recursos debajo de la superficie de la tierra.
16. **Polvo en suspensión:** Partículas finas de material que permanecen en el aire.
17. **Reglamento de seguridad minera:** Conjunto de normas para garantizar la seguridad en las faenas mineras.
18. **Simulación de ventilación:** Uso de software para modelar el comportamiento del flujo de aire.
19. **Room and Pillar:** es una técnica de explotación subterránea que utiliza pilares de soporte en rocas competentes.

20. **Recirculación de aire:** Proceso mediante el cual el aire viciado o contaminado es tratado y devuelto al sistema de ventilación para ser reutilizado.
21. **Suministro de aire fresco:** Proceso de proporcionar aire limpio y adecuado en las minas.
22. **Túnel de ventilación:** Pasaje diseñado específicamente para permitir el flujo de aire dentro de una mina y mejorar las condiciones de trabajo.
23. **Ventsim:** Software especializado para simular y optimizar sistemas de ventilación en minas.
24. **Ventilador:** Equipo utilizado para generar el flujo de aire en un sistema de ventilación.
25. **Ventilación auxiliar:** Sistema de apoyo a la ventilación principal, dirigido a zonas específicas.
26. **Ventilación impelente:** Sistema que empuja aire fresco hacia el interior de la mina.
27. **Ventilación principal:** Red principal de ventilación de una mina.
28. **Ventilación natural:** Movimiento de aire causado por diferencias de temperatura y presión sin intervención de maquinaria.

Imágenes





