

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**PROPUESTA DE VENTILACIÓN PARA MINERA BLANCO III,
COMUNA DE LOS VILOS**

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Técnico Universitario en
MINERÍA Y METALURGIA

Alumno:

Cesar Nicolás Rebolledo Ibarra

Claudio Paolo Reyes Castro

Profesor Guía:

Mg. Carlos Baldi González

Profesor Coreferente:

Ing. Gonzalo Bravo Irrázabal

RESUMEN

KEYWORDS: Minería subterránea - Ventilación - Caudal

En el contexto nacional minero se evidencian grandes adelantos técnicos en el área de ventilación, sistemas eficientes y amigables con el entorno, sin embargo, existe una brecha importante entre la gran y pequeña minería, no solo en los volúmenes generados, mientras los primeros tienen todos los sistemas modernos y eficientes, la pequeña minería está estancada, por una menor cantidad de recursos que impiden el desarrollo y una falta en el conocimiento técnico, generando muchas veces problemas de ventilación, lo cual puede traer consecuencias en los trabajadores exponiéndolos a accidentes y/o enfermedades laborales y a su vez reduciendo la vida útil de los equipos. En este trabajo de título se busca una solución técnica a un problema de ventilación, de esta forma proponer un sistema de ventilación apto para las condiciones de la minera subterránea Blanco III, todo esto en el marco de la importancia de esta suboperación minera.

Los riesgos y peligros al ambiente laboral, creados en el interior de una mina subterránea, por una mala ventilación son muchos, pasan de reducción en la capacidad funcionamiento de los equipos, a graves enfermedades que imposibilitan realizar las actividades laborales a las personas en exposición, para evitar esto, es muy importante tener claro dos datos fundamentales para evaluar las condiciones de ventilación, en primer lugar la cantidad de aire que hace ingreso a la mina, así como también la caída de presión, otro aspecto es establecer las necesidades de caudal que indica la ley, ya que a partir de ese resultado se determina la cantidad segura de aire, esta cifra es respaldada por los cálculos hechos a base de los decretos supremos 594 de Higiene y Seguridad del Ministerio de Salud y el 132 de Seguridad Minera del Ministerio de Minería.

Para llevar a cabo el cálculo del caudal actual de la minera Blanco III, se realiza un experimento, que consistió en medir la velocidad en que pasa la corriente de aire por el túnel de la mina, esto medido con un anemómetro, cuyos resultados fueron promediados y arrojaron una velocidad 1,1(m/s), a esta cifra se le debe multiplicar el área de la sección del túnel, que es de 14,78 m², con el resultado de la multiplicación se determina el caudal que transita por toda la sección, arrojando un resultado de 16,258(m³/s), el cual será el caudal actual. Teniendo en cuenta esta medida, se debe determinar el caudal óptimo que cumpla las necesidades y exigencias de la normativa

chilena. Se calcula los caudales necesarios para los trabajadores (0,35 m³/s), explosivos (6,19 m³/s) y equipos (17,21 m³/s), para luego se realiza una sumatoria de estos, lo que resulta un caudal óptimo de 23,75 (m³/s). Al poner en contraste ambos resultados, ya sea el caudal actual y el caudal óptimo, se aprecia un déficit de 7,49 (m³/s), esto es mejorado con la incorporación de un ventilador del tipo axial (Zitron ZVN 1-12-37/4), el cual suple las necesidades con un 5% (25 m³/s) más que el requerimiento establecido.

ÍNDICE

RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL:	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	3
SIGLAS:	4
SIMBOLOGÍAS:	5
GLOSARIO	6
CAPÍTULO I : ANTECEDENTES GENERALES	12
1.1 MINA SUBTERRÁNEA BLANCO III LOS VILOS	13
1.1.1. Ubicación de la mina	14
1.1.2 Estructura organizacional de la faena	14
1.1.3 Problemas evidenciados en la mina	15
1.2 INFORMACIÓN GENERAL DE LA VENTILACIÓN DE MINAS SUBTERRÁNEAS	16
1.2.1 Ventilación de minas subterráneas	16
1.2.2 Tipos de ventilación de mina subterránea	17
1.2.2.1. Ventilación natural	17
1.2.2.2 Ventilación artificial	18
1.3 SISTEMA DE VENTILACIÓN AUXILIAR	18
1.3.1. Tipos de ventilación auxiliar	18
1.3.1.1 Sistema impelente	18
1.3.1.2 Sistema aspirante	19
1.3.1.3. Sistema combinado	19
1.3.2 Ventiladores	20
1.3.2.1 Clasificación según su tipo	20
1.3.2.2. Clasificación según su función	21
1.3.3. Mangas de ventilación	22

1.3.3.1. Clasificación de los tipos de mangas de ventilación	22
1.4. NORMATIVA MINERA RELACIONADA A LA VENTILACIÓN	24
1.4.1 Decreto Supremo 594/1999 MINSAL:	24
1.4.2. Decreto Supremo N°132/2002 Ministerio de minería:	25
1.5. CLASIFICACIÓN DE LOS GASES PRESENTES EN UNA MINA SUBTERRÁNEA	26
1.5.1. Efectos de los gases contaminantes.	26
CAPÍTULO II: PARAMETROS DE VENTILACION PRESENTE	28
EN BLANCO III	28
2.1 PARÁMETROS FÍSICOS DE LA MINA	29
2.1.1. Clima del sector en donde se encuentra la mina blanco III	29
2.1.2. Dimensiones de la mina Blanco III	29
2.1.3 Tipo de mineralización	30
2.1.4. Método de Explotación	31
2.2 CÁLCULO DE CAUDALES	32
2.2.1. Cálculo del caudal correspondiente al número de personas	32
2.2.2 Cálculos de caudales para la etapa de tronadura	33
2.2.2.1. Características técnicas del ANFO	33
2.2.2.2. Características técnicas de la emulsión	34
2.2.2.4. Cantidad de emulsión utilizada	34
2.2.2.5. Caudal requerido en base a la información	35
2.3. CÁLCULO DEL CAUDAL DE AIRE REQUERIDO PARA LA UTILIZACIÓN DE LOS EQUIPOS DIESEL DE LA MINA	35
2.4. CÁLCULO DEL CAUDAL TOTAL REQUERIDO EN LA MINA BLANCO III	37
2.5. EVALUACIÓN ACTUAL DE LA VENTILACIÓN DE LA MINERA BLANCO III	37
2.5.1 Medición del caudal in situ:	37
2.5.1.1. Procedimiento	38
2.5.2. Valores obtenidos en la medición del área y velocidad del viento presentes en la mina	38

2.5.2.1. Medición con huincha:	38
2.5.2.2 Medición con anemómetro	38
2.6. CAÍDA DE PRESIÓN CONSTATADA	40
2.6.1. Caída de presión constatada en la mina	41
CAPÍTULO III: PROPUESTA DE SISTEMA DE VENTILACIÓN AUXILIAR	45
3.1 VENTILACIÓN QUE PRESENTA LA MINA BLANCO III	45
3.1.1 Información general de la mina:	46
3.1.2. Información de los caudales según los requerimientos de la mina	46
3.2. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN ARTIFICIAL PROPUESTO PARA LA MINA BLANCO III	47
3.2.2.Características y recomendaciones que deben tener los ductos por seleccionar	49
3.3. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS SITUACIONES DE VENTILACIÓN ACTUAL Y PROPUESTA ARTIFICIALMENTE.	53
3.3.1. Representación gráfica del sistema de ventilación propuesto	53
3.3.2. Representación gráfica de la situación sin ventilación auxiliar	55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA	60
ANEXOS	61
Anexo I:	61
ANEXO II	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Vista satelital de la mina Blanco III, Los vilos.....	13
Figura 1.2: Vista en planta del proyecto de explotación	15
Figura1.3 Sistema impelente.....	19
Figura 1.4: Sistema aspirante	19
Figura 1.5: Sistema combinado.....	20
Figura 1.6: Ventilador centrífugo.....	21
Figura 1.7: Ventilador axial	21

Figura 1.8: Ducto rígido utilizado al exterior de la mina.....	22
Figura 1.9: Ducto flexible liso puesto en la entrada de un túnel.....	23
Figura 1.10: Ducto corrugado	23
Figura 2.11: Bocamina, con su contorno marcado.....	30
Figura 3.12: Representación gráfica de la resistencia, en la cual interactúa el caudal vs caída de presión.....	54
Figura 3.13: Gráfica del caudal.....	55
Figura 3.14: Gráfica de Caudal V/S Caída de presión.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Coeficiente de resistencia aerodinamica.....	10
Tabla 1.2 Ubicación Geográfica	14
Tabla 1.3: Efectos de los gases contaminantes	26
Tabla 2.4: Dimensiones del túnel minera Blanco III	30
Tabla 2.5 Minerales (mena y ganga) primarios y secundarios presentes en la mina Blanco III	31
Tabla 2.6: Información sobre las dimensiones y material que se extrae en mina Blanco II	31
Tabla 2.7 Detalle de dotación de personal	32
Tabla 2.8: Equipos empleados en la minera Blanco III	36
Tabla 2.9: Resultado del caudal óptimo según las exigencias de la normativa chilena	37
Tabla 2.10: Mediciones con el anemómetro de la velocidad del aire en el túnel de la mina Blanco III	39
Tabla 2.11: Coeficiente de resistencia aerodinámica.....	42
Tabla 3.12: Parámetros para la selección de la ductería.	50
Tabla 3.13: Ducto de ventilación propuesto con sus especificaciones	51
Tabla 3.14: Ventilador propuesto con sus especificaciones.....	52
Tabla 3.15:Caudal	54
Tabla 3.16: Caudal II.....	55

INTRODUCCIÓN

La minería vista a nivel mundial, es sinónimo de grandes producciones de materias primas, las cuales son trabajadas en distintos rubros. Como se es sabido sus niveles de extracción son de grandes tonelajes constantes a lo largo de todo el año, al tener una productividad con ciclos extensos de trabajo es común encontrar peligros en la faena. Dichos riesgos son evidentes al encontrarse rodeado de maquinaria pesada, sustancias peligrosas; como los explosivos, y también de condiciones ambientales adversas a la que se exponen los mineros. Existen diferentes tipos de minas a lo largo de todo el mundo, siendo los yacimientos subterráneos uno de los tipos más interesantes y que presentan a su vez más riesgos que sus pares a cielo abierto.

Los yacimientos subterráneos poseen un entorno bastante hostil tanto para los trabajadores como para la maquinaria que se implementa, una de las adversidades presente es el aire enrarecido (falta de oxígeno) que generan un ambiente desfavorable para el funcionamiento de los equipos y que es perjudicial para la salud de los trabajadores, si no hay O₂ no se puede trabajar. Es ante esta problemática y como una medida de mitigación que se implementa la ventilación, la cual puede ser natural o artificial, ambas con la finalidad de satisfacer las necesidades de aire en el interior.

Al tener una cultura histórica en minería, Chile cuenta con normas y decretos que resguarda tanto la salud de los trabajadores como el funcionamiento de los sistemas de trabajo, pero muchas veces no son cumplidas principalmente por la pequeña minería, por la falta de recursos y también muchas veces por la falta de conocimientos técnicos básicos del desplazamiento del aire en el interior y las formas para proporcionar dicho aire. De ahí nace la motivación para generar una propuesta simple y técnica, en una mina subterránea de la pequeña minería, como es la mina Blanco III, que posee falencias en su ventilación, esto es evidente a simple vista con la estructura que presenta la faena, la cual no presenta un circuito de ventilación natural, ni tampoco artificial, lo que significa una falta a la normativa minera chilena, esto a la larga puede traer consecuencias en ámbitos de la salud por parte de los trabajadores y también en la perpetuidad de los equipos presentes. Ante este problema, se emplea una experimentación para determinar la calidad actual de ventilación de la mina.

La metodología empleada para desarrollar lo planeado, busca trabajar con sólo los aspectos que se consideran pertinentes, según la forma básica que presenta la mina, en este caso el número de trabajadores, equipos de accionamiento diesel, y el

desprendimiento de gases por la tronadura. Esto porque la mina no presenta un circuito en sí, es básicamente un socavón de acceso de 64 metros de largo.

Las fórmulas utilizadas son las que entrega el Decreto Supremo 132 de Seguridad Minera del Ministerio de Minería. De forma simultánea, se desarrolló un experimento básico para evidenciar el aire presente en la mina, en este, con un medidor de aire se tomó muestra de la velocidad que presenta y con las medidas de la sección de la mina, se pudo registrar el caudal presente. Posteriormente estos dos son comparados para evidenciar el déficit.

Ya para definir una propuesta rentable a la mina, por sus condiciones físicas y económicas, se compararon diferentes equipos y accesorios usados para proporcionar aire fresco a la labor.

Es a causa de esta problemática, que se propone un sistema de ventilación auxiliar según las características físicas y técnicas presentes en el yacimiento, supliendo las necesidades actuales de aire en la mina subterránea “Blanco III” como objetivo general.

La distribución de la información a lo largo del trabajo, consiste en tres capítulos directamente relacionado con los objetivos, en el primer capítulo se encuentra toda información requerida para contextualizar con la problemática, datos de la mina y generalidades sobre la ventilación y las normas que la rigen. Posteriormente en el segundo capítulo se llevan a cabo los cálculos y experimento, se recopila la información para crear un contraste entre la situación actual y la requerida. Para finalmente en el tercer capítulo, sabiendo las necesidades y características de la mina entregada por los capítulos anteriores, se presenta una opción de sistema auxiliar, comparando con otros y discerniendo por la potencia, confiabilidad y caudal que entrega.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Proponer un sistema de ventilación auxiliar según las características físicas y técnicas presentes en el yacimiento, supliendo las necesidades actuales de aire en la mina subterránea “Blanco III”.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Identificar la información técnica referida a las generalidades de la ventilación para el desarrollo de la propuesta, mediante información bibliográfica.
- Calcular los parámetros de ventilación que presenta la mina Blanco III, estableciendo el caudal de aire presente y el necesario según la normativa minera.
- Determinar un sistema de ventilación auxiliar junto con sus respectivos componentes, aptos para la minera subterránea Blanco III, mediante el contraste de datos obtenidos frente a datos teóricos.

SIGLAS:

ACGIH:	:AmericanConferenceofGovernmental Industrial Hygienists, manual ventilación
ANFO	:AmmoniumNitrate - Fuel Oil
CL2	: Cloro
CO	: Monóxido de carbono
CO2	: Dióxido de carbono
CS2	: Sulfuro de carbono
D.S	: Decreto Supremo
DTH	: Diámetro del tiro hueco
HC	: Hidrocarburos
HP	: HorsePower o Caballo de fuerza
HCN	: Ácido Cianhídrico
HCL	: Ácido Clorhídrico
H2	: Hidrógeno molecular
H2S	: Ácido Sulfhídrico
LHD	: Load HaulDump equipo minero
N2	: Nitrógeno molecular
NH3	: Amoniac
NO2	: Dióxido de Nitrógeno
O2	: Oxígeno molecular
O3	: Ozono
PV	: Presión de Velocidad
PVC	: Policloruro de Vinilo
Q	: Caudal
RC	: Compresión de la roca
RSM	: Reglamento de Seguridad Minera
RT	:Tracción macizo rocoso
SERNAGEOMIN	:Servicio Nacional de Geología y Minería
SO2	: Dióxido de azufre
SP	: Presión Estática
T	: Temperatura

V	: Velocidad
%	: Porcentaje

SIMBOLOGÍAS:

Atm	: Atmósfera
α	: Alfa
Ω	: Omega
θ	: Theta
η	: Eta
cm	: Centímetro
cm ³	: Centímetro cúbico.
°C	: Grado Celsius
Kg/m ²	: Kilogramo por metro cuadrado
Km ²	: Kilómetro cuadrado
Lt/min	: Litros por minuto
m	: Metro
m ²	: Metro cuadrado
m/s	: Metro por segundo
m ³	: Metro cúbico
m ³ /s	: Metro cúbico por segundo
m ³ /min	: Metro cúbico por minuto
mgr/m ³	: Miligramo por metro cúbico
mm	: Milímetro
mm c.a	: Milímetro columna de agua
mm Hg	: Milímetro de Mercurio
μ m	: Micrómetro
s	: Segundo

GLOSARIO

ANFO: Mezcla de nitrato de amonio y combustible (aproximadamente 5,7%), el cual es mezclado normalmente para un trabajo de tronadura.

ANHÍDRIDO: Los anhídridos también llamados óxidos no metálicos u óxidos ácidos son compuestos que están formados en su estructura por un no metal y oxígeno.

AVANCE: Longitud de una labor (frente de trabajo en una mina), elaborada o abierta en un período determinado (jornada, día, semana u otro). El avance mide el rendimiento de la operación minera.

BOCAMINA: La entrada a una mina, generalmente un túnel horizontal.

CARBONÍFERO: Es una división de la escala temporal geológica.

CORONA: Parte superior de un arco que sostiene la bóveda de la galería.

CONTROL DE POLVOS: Conjunto de medidas adecuadas para mantener las emanaciones de polvo respirable, dentro de la norma vigente, tanto dentro del área de trabajo del tajo abierto o cantera, como en el ambiente circundante.

CUELE: Es la fase de la voladura que dispara en primer lugar. Su finalidad es crear una primera abertura en la roca que ofrezca al resto de las fases una superficie libre hacia la que puede escapar la roca con lo cual se posibilita y facilita su arranque.

CHIMENEA: Excavación vertical o inclinada que desemboca directamente en la superficie y está destinada a la extracción del mineral, al descenso y al ascenso del mineral y los materiales. En la chimenea van canalizados los cables eléctricos, las tuberías de conducción de agua y aire comprimido; a través de la chimenea se efectúa la ventilación de todas las labores subterráneas.

DESARROLLO CIEGO: Desarrollo minero de explotación y/o desarrollo cuyo “tope” no tiene comunicación, es decir, no tiene salida.

DESCARGAS: Zona de la voladura ubicada en los contornos de la frente, estas definen la forma perimetral de la excavación.

EMPATADURA: Acción de posicionar el bit en la marca de la malla de perforación para iniciar la operación y evitar desviaciones por mal posicionamiento

ETAPA DE DESARROLLO MINERO: Fase del Ciclo Minero que empieza desde la confirmación de la existencia de los depósitos minerales hasta el comienzo de su explotación.

EXPLOTACIÓN: Proceso de extracción y procesamiento de los minerales, así como la actividad orientada a la preparación y el desarrollo de las áreas que abarca el depósito mineral.

FLUJO AXIAL: Es el flujo de aire que pasa a través de los propulsores es paralelo al eje sobre el cual está montada la hélice.

FLUJO CENTRÍFUGO: Es el aire que entra al centro del rotor y hace un giro en ángulo recto a medida que es forzado a través de las aspas del rotor y hacia el armazón por una fuerza centrífuga.

GASES ESENCIALES: En minería, el aire atmosférico y el oxígeno, los gases indispensables para la vida del hombre.

GASES EXPLOSIVOS: En minería, gases que en altas concentraciones forman mezclas explosivas con el aire: metano (CH_4); monóxido de carbono (CO , explosivo en concentraciones entre 13 y 75%) y C_2H_2 y H_2S .

GASES NITROSOS: Son derivados de diferentes óxidos de nitrógeno. Se encuentra como mezcla en diferentes concentraciones como producto habitual de las voladuras en los frentes.

GASES SOFOCANTES: En minería, gases que producen ahogos y en altas concentraciones pueden producir la muerte: nitrógeno (N_2), dióxido de carbono (CO_2) que cuando es $>15\%$ en volumen es mortal.

GASES TÓXICOS: En minería, gases nocivos al organismo por su acción venenosa: monóxido de carbono (CO); humos nitrosos (olor y sabor ácidos); H_2S sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico).

GRISÚ: Se llama grisú a una mezcla de metano con aire en proporciones variables, la cual puede contener algún que otro gas (etano, anhídrido carbónico, entre otros), y es el metano, que puede alcanzar porcentajes muy altos, el que determina sus características. Sus características son: altamente combustible y arde con llama azulada, incoloro, insípido, asfixiante y pesa menos que el aire. Puede desplazar el oxígeno en la mezcla de aire hasta niveles en los que el porcentaje de oxígeno (O_2) sea lo suficientemente bajo para no permitir la supervivencia humana y tiende a acumularse en los lugares altos de las labores donde la velocidad de ventilación es pequeña.

HUMOS: Mezcla de gases (tóxicos y no tóxicos) que se originan de la detonación de explosivos, compuestos principalmente de bióxido de carbono, nitrógeno y vapor de

agua (gases no son tóxicos) y monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno (gases venenosos).

LABOR: Lugar (cavidad u otro sitio) dentro de una mina subterránea (galería, clavada, entre otros) de donde se extrae el material de mena.

MENA: Roca de base del que es posible extraer otro mineral de mayor pureza e importancia económica.

METALÍFERO: Comprende minerales a partir de los cuales se puede extraer elementos metálicos tales como aluminio, hierro, cobre, entre otros.

POLVO SILICÓGENO: son partículas producidas por fracturamiento de materiales y que contienen 1% o más de sílice cristalina.

VENTILACIÓN: La ventilación captura los contaminantes en la fuente antes que se distribuyan en el lugar de trabajo. Este método previene que el polvo se convierta en aerotransportable.

VENTILACIÓN PRIMARIA: Es la ventilación de las labores con entrada y salida de aire ayudada mecánicamente por un potente ventilador comunicado con el exterior.

VENTILACIÓN SECUNDARIA: Sistemas que, haciendo uso de ductos y ventiladores auxiliares, ventilan áreas restringidas, para la entrada de aire, en las minas subterráneas; para ello se emplean los circuitos de alimentación de aire fresco y de evacuación del aire viciado que le proporcione el sistema de ventilación primaria.

YACIMIENTO: Lugar en el que se encuentra de forma natural minerales, rocas o fósiles. Especialmente cuando puede ser objeto de explotación.

ZAPATERA: La zapatera es la zona de la voladura situada en la base del frente, a ras del suelo.

CAUDAL: El caudal es el volumen de fluido que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. El caudal de un ventilador es la masa de aire que éste puede desplazar en una unidad de tiempo.

$$Q_{básico} = A * V \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Sea:

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

V: Velocidad del flujo de aire (m/seg)

CAUDAL POR PERSONA (Q PERSONA): Volumen necesario por cada persona presente en la faena, considerando la normativa chilena que indica el caudal mínimo per cápita.

$$Q_{\text{persona}} = P * N \quad [m^3/min]$$

Sea:

P: Número de personas presentes en la faena

N: caudal mínimo por persona según Decreto Supremo 132/2002 del Ministerio de minería, artículo 138.

CAUDAL POR EQUIPOS (Q EQUIPOS): Volumen requerido para el correcto funcionamiento y la perpetuidad de los equipos según la suma de los potenciales (Hp) de cada equipo participante en la faena, con las consideraciones de la normativa chilena.

$$Q_{\text{equipos}} = H_p * N \quad [m^3/min]$$

Sea:

H_p: Suma de los potenciales (Hp) de cada equipo de la faena.

N: 2.83 caudal mínimo por equipo según Decreto Supremo 132/2002 del Ministerio de minería, artículo 132.

CAÍDA DE PRESIÓN (H): Es la diferencia de presión presente entre dos puntos de un sistema, la cual resulta en el origen de un flujo de aire. Para lograr la diferencia entre ambas presiones requiere de una energía adicional, esta será consumida con el fin de superar la resistencia que las labores mineras (porosidad de la vía) oponen al paso de una determinada cantidad de aire.

$$H = \frac{\alpha * L_p * P * Q^2}{A^3}$$

Sea:

α : Coeficiente de resistencia aerodinámica

L_p: Largo de la labor (m)

P: Perímetro de la labor (m)

Q: Caudal básico (m^3/min)

A: Área de la labor (m^2)

SERNAGEOMIN: Servicio Nacional de Geología y Minería cumple con las funciones de generar y disponer de información de geología básica y de recursos y peligros geológicos del territorio nacional, además de regular y fiscalizar el cumplimiento de estándares y normativas en materia de seguridad y propiedad minera.

AIRE VICIADO: Aire de un recinto cerrado sin renovar cargado de diferentes elementos contaminantes, sobre todo si existe una fuente de combustión

CFM: Pies cúbicos por minutos, es una unidad de medida anglosajona (no incluida en el Sistema Internacional de Unidades), que mide el caudal o flujo de un gas o líquido, indicando el volumen, en pies cúbicos, que pasa por una sección determinada, en la unidad de tiempo. es utilizada comúnmente en equipos que utilizan aire comprimido.

COEFICIENTE DE RESISTENCIA AERODINÁMICA: Es un número adimensional que hace referencia a la dificultad que presenta cierta superficie al paso de un fluido que viaja a lo largo de esta. En minería subterránea este valor hace referencia a la rugosidad que presentan los túneles y labores, mientras más alto sea el número, más difícil es el paso del aire.

COEFICIENTE DE RESISTENCIA AERODINÁMICA.

(Para $\gamma = 1,2 \text{ Kgr./m}^3$)

Tabla 1.1 Coeficiente de resistencia aerodinamica

Tipo de galería	Irregularidades de la superficie	Valores básicos de $\alpha \cdot 10^{-5}$		
		Limpias	Obstrucción	
			Pequeña	Modera da
Superficie suave (fornada)	Mínimo	19	29	48
	Promedio	29	38	57
	Máximo	38	48	67
Roca sedimentaria (carbón)	Mínimo	57	67	86
	Promedio	105	114	133
	Máximo	133	143	162
GALERÍAS ENMADERADAS	Mínimo	152	162	190
	Promedio	181	190	209

	Máximo	200	209	220
ROCA ÍGNEA	Mínimo	171	181	200
	Promedio	279	285	304
	Máximo	371	380	399

Fuente: Servicio nacional de minas E.E.U.U

L.P.P.: Límite permisible ponderado, el cual está referido a una exposición de 8 horas diarias, con un total de 48 horas semanales.

L.P.A.: Límite permisible absoluto, el cual señala que no podrán excederse en ningún momento. Aquellas sustancias donde no se indican estos LPA éste se calcula multiplicando por 5 el LPP. (Ricardo Troncoso San Martín, Director Nacional SERNAGEOMIN, Ventilación, 2005

CAPÍTULO I : ANTECEDENTES GENERALES

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 MINA SUBTERRÁNEA BLANCO III LOS VILOS



Figura 1.1: Vista satelital de la mina Blanco III, Los vilos

Fuente: Google earth

Se encuentra ubicada en la cuarta región del país, comuna de Los Vilos. Las labores parten en la misma dirección del yacimiento, con un socavón principal que data del año 1978, cuando la mina quiso ser explotada por terceros, quienes detuvieron el avance solo a 40 metros de iniciado el socavón, debido a que las leyes de corte en aquellos años eran más exigentes que las actuales, por lo que no era rentable la explotación del yacimiento de carbonato de calcio (usado para la elaboración de pastas blancas).

La mina pertenece hoy en día a ENAMI, y está arrendada a la compañía minera Grito del Zorro desde el año 2013. La mineralización está constituida principalmente por calcita granoblástica, en algunos casos cristalina, pero mayoritariamente en forma masiva, favorablemente este es el mineral explotado, además pueden encontrarse otros minerales que no son de interés de explotación, como la aragonita, mica, siderita y grafito.

Los primeros trabajos realizados consistieron en ampliar la labor principal para el ingreso de equipos de mayor envergadura. Cabe señalar que la etapa de desarrollo, preparación y explotación transcurren simultáneamente, ya que todas las labores y

trabajos son llevados a cabo extrayendo el mineral de interés, sólo cambian ligeramente las leyes.

1.1.1. Ubicación de la mina

Tabla 1.2 Ubicación Geográfica

Norte	6.441.290
Este	294.680
Cota	1.150mts
Datum	PSAD 56,H19

Fuente: Proyecto de explotación mina Blanco III.

1.1.2 Estructura organizacional de la faena

Blanco III posee una estructura de trabajo con 7 trabajadores que se desempeñan ahí diariamente. En primer lugar, está su capataz, o jefe de mina, que está a cargo de todos los demás trabajadores, 2 perforistas con sus respectivos ayudantes y también los operadores de equipos, quienes deben manejar el minicargador y la retroexcavadora.

Capataz/ jefe de mina: Tiene por propósito dirigir la faena y encargarse de los suministros que se utilizarán para los trabajos de perforación. La participación que se debe hacer, es realizar una inspección de los disparos del día anterior percatándose que no haya colpas, ni tiros quedados, también debe verificar que el material sea suficiente para el carguío, sino esperar hasta la siguiente tronadura. Respecto a los suministros, debe llevarlos a la frente de trabajo para que los perforistas los manipulen.

Perforistas: En primera instancia realiza una inspección del área en que desempeñará la perforación, para luego desarrollar el respectivo diagrama de disparo, con los cálculos determinados, debe realizar el carguío de los tiros junto el ayudante de perforista y dejarlos en posición para finalmente efectuar la acción de tronadura. Cabe mencionar que los dos perforistas trabajan en simultáneo.

Ayudante de perforista: Es el encargado de facilitar y agilizar el cambio de las barrenas de perforación, esto lo cumple sujetando el cargador al momento del carguío de tiros. Además, debe regular el control de la temperatura y presión del compresor.

Operador de equipo: Se encuentran la etapa de carguío y transporte, empleando el minicargador realiza la tarea del carguío del material tronado, el acomodo de la carga y a su vez, mover las colpas sobre dimensionadas. Otra labor que realiza el operador de equipo, son las maniobras con la retroexcavadora, de esta manera desarrollar la acuñadora y tiempos muertos en los que ordena la carga y la deja más expedita para el minicargador.

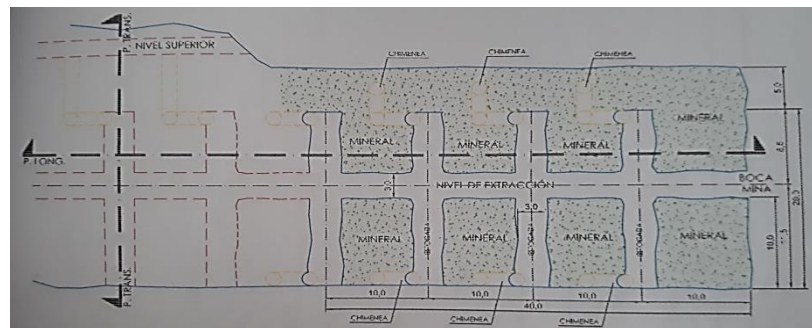


Figura 1.2: Vista en planta del proyecto de explotación

Fuente: Proyecto de explotación mina Blanco III.

1.1.3 Problemas evidenciados en la mina

La ventilación es una de las operaciones auxiliares más importantes que existen en la minería, sobre todo si se trata de una mina subterránea. Es necesaria para brindar un ambiente favorable para los trabajadores que se encuentran trabajando al interior de la mina, con menos oxígeno que en la superficie, mayor humedad, partículas finas de polvo en suspensión y gases generados producto de los explosivos. Todo esto le atribuye a la ventilación una categoría de operación vital.

La ventilación según lo constatado en terreno se aprecia deficiente, existe acumulación prolongada de los gases posterior a una tronadura, lo cual es un exceso, según la normativa debe haber un tiempo de 30 minutos mínimo para la limpieza del aire de la frente posterior a la tronadura, este dato corresponde al utilizado para efectos de cálculos por el Sernageomin, esto pone en riesgo la salud de los trabajadores, así como también el funcionamiento de los equipos y conlleva a una disminución en la producción.

Actualmente no se cuenta con ningún tipo de ventilación por chimenea, o externa (ventilador), también esto resulta preocupante ya que la normativa chilena

específicamente el Decreto Supremo n° 132: Reglamento de seguridad minera , en el artículo 137 exige dos accesos para que se genere un circuito de aire, si no es posible realizar aquello, es fundamental contar con un sistema auxiliar, compuesto por ventiladores y ductos que suministran el aire o extraigan los gases y polvos que generan un ambiente no óptimo para realizar los trabajos.

1.2 INFORMACIÓN GENERAL DE LA VENTILACIÓN DE MINAS SUBTERRÁNEAS

1.2.2 Ventilación de minas subterráneas

La ventilación es catalogada como un proceso anexo a las labores de producción; la acción consiste a grandes rasgos en suministrar aire fresco a los túneles y galerías que componen la minera, con el fin de remover los gases emitidos por los trabajadores, la combustión generada por las máquinas, las tronaduras y/o la descomposición de sustancias o materias minerales que están presentes dentro de la mina. El objetivo primordial que busca satisfacer la ventilación es suministrar permanentemente aire fresco a todos los rincones del circuito y su vez retirar el aire viciado, generando de esta manera una circulación del aire que se encuentra al interior.

Es de vital importancia para una minera subterránea el poseer un circuito de ventilación, ya sea natural o forzado, esta característica será determinada según las condiciones que presente las labores de la minera.

Para que exista la ventilación natural es indispensable que la mina posea dos labores de acceso (dos pozos, dos socavones, un pozo y un socavón, etc.), de modo que permita un flujo de aire por el circuito de la mina subterránea. En contraste a lo mencionado, también existen los casos en que las minas poseen solo un acceso, ante esta situación requiere de una ventilación forzada, cuyo funcionamiento requiere la ayuda de tuberías, para que esta forma suministre aire fresco desde su posición inicial, que es en la entrada de la labor hasta su respectivo final, con este circuito se podrá llevar a cabo el acondicionamiento del aire para la mina.

Los objetivos principales de la ventilación en minería subterránea son los siguientes:

- Proveer el oxígeno suficiente para la respiración óptima de las personas, de forma que se desempeñen en un ambiente seguro.

- Suministrar el volumen de aire para los equipos diesel e instalaciones subterráneas, para así perpetuar la vida útil de ambas herramientas.
- Evitar la formación de mezclas explosivas.
- Diluir y extraer los gases tóxicos y polvo en suspensión que puedan generar enfermedades ocupacionales colocando en riesgo la salud de los trabajadores.
- Reducir la temperatura al interior de la minera, ya que este rasgo, resulta ser un potencial peligro, que afecta el desarrollo de los trabajos por parte del personal como también para el funcionamiento de los equipos al momento de efectuar la combustión.

1.2.2 Tipos de ventilación de mina subterránea

Para saber qué mecanismo utilizar para aplicar la ventilación en una minera, se debe tener en cuenta parámetros como la cantidad de aire que se debe suministrar, los tipos de trabajos que se realizarán, los recursos económicos que se dispongan y las condiciones estructurales que posee la mina.

1.2.2.1. Ventilación natural

La ventilación natural se produce cuando existe una energía natural capaz de lograr la creación de una corriente natural de aire, para que exista un flujo de aire a través de la mina, es necesario que exista alguna fuente de energía que ponga al aire en movimiento, la encargada de suministrar esta necesidad corresponde a la gradiente de térmica , que existe entre distintos puntos del circuito de ventilación, cuya existencia se puede comprobar fácilmente midiendo la temperatura en diferentes lugares de la mina y observando que el aire fluye de las áreas donde la temperatura es mayor (donde hay mayor energía térmica) hacia las áreas de menor temperatura.

El fenómeno es igual al que ocurre en una chimenea, en la que el aire caliente desplaza al aire frío que se encuentra por encima de este. El aire se introduce por la bocamina principal de ingreso, recorriendo el flujo del aire por la totalidad del circuito de ventilación, hasta la salida del aire por la otra bocamina.

La ventilación natural es muy cambiante, depende de la época del año, incluso, en algunos casos, de la noche y el día. Dado que, la ventilación natural es un fenómeno de naturaleza inestable y fluctuante, en ninguna faena subterránea moderna debe

utilizarse como un medio único y confiable para ventilar sus operaciones, dependerá de las dimensiones de la mina.

1.2.2.2 Ventilación artificial

La ventilación mecánica es ocasionada por la presión que ejerce un ventilador sobre una masa de aire que envía o succiona aire, el mecanismo es accionado por un motor eléctrico que le permite una constante presión sobre el aire que transporta y en una cantidad fija.

Esta ventilación requiere energía eléctrica, que puede ser producida a base del petróleo o de hidroeléctricas, este factor es el que puede incrementar el costo de la operación.

En la ventilación secundaria, haciendo uso de ductos y ventiladores auxiliares, se ventilan áreas restringidas de las minas subterráneas, empleando para ello los circuitos de alimentación fresco y de evacuación del aire viciado que le proporcione un ambiente libre de gases y aire viciado.

1.3 SISTEMA DE VENTILACIÓN AUXILIAR

1.3.1. Tipos de ventilación auxiliar

La ventilación auxiliar corresponde a diferentes sistemas que de forma artificial hacen ingreso de aire limpio, o extraen el aire viciado. Estos sistemas están compuesto por equipos ventiladores, tapados, mangas, generadores y uniones, todo esto dependiendo de las condiciones físicas de la mina.

Existen 3 sistemas principales de ventilación auxiliar:

1.3.1.1 Sistema impelente

El aire es impulsado dentro del ducto y sale por la galería en desarrollo ya viciado. Es usado en galerías horizontales de poca longitud y sección (menores a 400 metros y de 3.0 x 3.0 metros de sección), lo conveniente es usar un sistema impelente de mediana o baja capacidad, dependiendo del equipo a utilizar en el desarrollo y de

la localización de la alimentación y evacuación de aire del circuito general de ventilación de la zona. Ver figura 1.3.

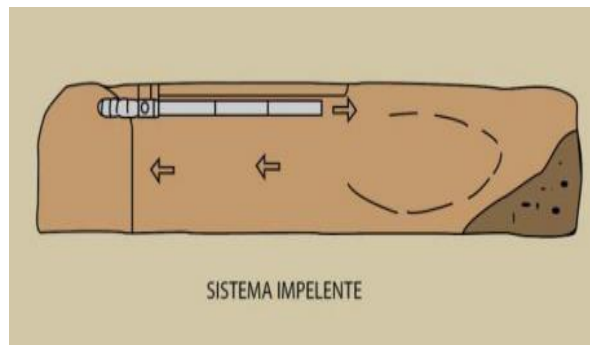


Figura 1.3 Sistema impelente

Fuente: Sitio histórico SERNAGEOMIN

1.3.1.2 Sistema aspirante

El aire fresco ingresa a la frente por la galería y el contaminado es extraído por los ductos. Para ventilar desarrollos de túneles desde la superficie, es el sistema aspirante el preferido para su ventilación, aun cuando se requieren elementos auxiliares para remover el aire de la zona muerta, comprendida entre la frente y el extremo del ducto de aspiración. Ver figura 1.4.



Figura 1.4: Sistema aspirante

Fuente: Sitio histórico SERNAGEOMIN

1.3.1.3. Sistema combinado

En este sistema se combinan los dos anteriores (aspirante e impelente), empleando dos tendidos de ductos, uno 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. Ver figura 1.5.

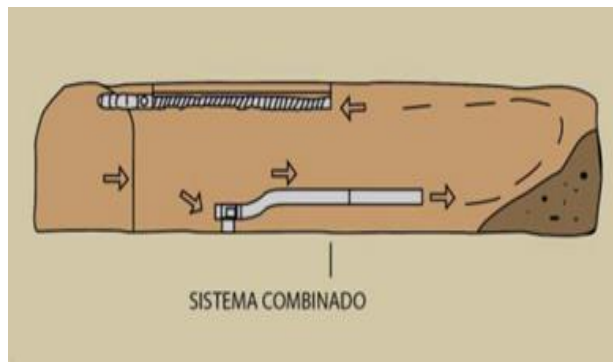


Figura 1.5: Sistema combinado

Fuente: sitio histórico SERNAGEOMIN

1.3.2 Ventiladores

Un ventilador se define simplemente como una máquina rotatoria que expulsa aire en forma continua. Las partes importantes que componen un ventilador y que afectan sus propiedades aerodinámicas son:

- Impulsor (Hélice). Es la parte del ventilador que al rotar imparte movimiento al aire.
- Carcaza. Es estacionaria y guía el aire hacia y desde el impulsor.

Los ventiladores utilizados para suministrar aire fresco a las minas empezaron a aparecer a mediados del siglo XIX, sus dimensiones eran mucho mayores a los actuales, y su rotación mucho más lenta. En general correspondían a ventiladores del tipo centrífugo.

Como en otras áreas industriales, posterior a la segunda guerra mundial hubo importantes avances tecnológicos en aerodinámica, turbinas y eficiencia energética, esto extraído de los sistemas de aviación. Así a mediados del siglo XX aparece el ventilador axial, más compacto que sus predecesores y con mejores prestaciones, aunque este auge tecnológico también hizo más eficiente los antiguos ventiladores centrífugos.

1.3.2.1 Clasificación según su tipo

Ventiladores centrífugos: El aire abandona el impulsor en una dirección en 90° respecto al eje del impulsor. Ver figura 1.6.



Figura 1.6: Ventilador centrífugo

Fuente: AIRTEC

Ventiladores Axiales: El aire hace ingreso en línea recta a través del impulsor, de una manera similar que lo hace una tuerca y un tornillo, en este caso el impulsor es el tornillo y la corriente de aire a la tuerca que es forzada a avanzar. Ver figura 1.7.



Figura 1.7: Ventilador axial

Fuente: AIRTEC

1.3.2.2. Clasificación según su función

Ventilador Principal o de Superficie. Instalado normalmente en la superficie para ventilar toda la mina, vale decir, por el pasa todo el aire del circuito que sirve.

Ventilador Reforzador. Instalado en un paso principal subterráneo para ayudar al ventilador principal a ventilar un circuito de alta resistencia.

Ventilador Auxiliar. Instalado en trabajos subterráneos en conjunto con mangas de ventilación para ventilar una galería de avance o terminal ciego. Para lograr mayor eficiencia en la ventilación de galerías de avance, en este siglo se han introducido el ventilador auxiliar, su uso tuvo origen en una mayor disponibilidad de energía eléctrica y de aire comprimido. Lo compacto del ventilador axial ha hecho que sea preferido para cumplir esta misión.

1.3.3. Mangas de ventilación

Uno de los elementos indispensables para la ventilación auxiliar en minería subterránea, a parte de los ventiladores, son los ductos de ventilación, quienes tienen la importante tarea de ser el medio entre el ventilador y la frente a ventilar, estos pueden actuar en el sistema impelente con la inyección de aire o en el sistema aspirante con la extracción de gases viciados, con el fin de hacer fluir el aire a través de un circuito de conductos que abarca toda la mina.

En el mercado existe una variedad de ductos aplicables a la minería subterránea, para su elección se debe tener en cuenta algunos parámetros como la aplicación, transporte, instalación, mantenimiento, tipo de unión, accesorios, fugas y resistencia. A partir de estas medidas se muestra a continuación los tipos de ductos de ventilación:

1.3.3.1. Clasificación de los tipos de mangas de ventilación

Mangas de ventilación rígidas:

Son elaborados con planchas de fierro, con un espesor que va entre 1 a 4 mm y longitudes que varían entre los 3 a 10 m. Las características que los destacan son el bajo coeficiente de roce y también el excelente hermetismo que posee en las uniones, además de un bajo costo de mantenimiento. La dificultad se presenta tanto en el transporte, como su posterior instalación y retiro, esto a causa del gran peso y la rigidez que ostenta. Ver figura 1.8.



Figura 1.8: Manga de ventilación rígida utilizada al exterior de la mina

Fuente: ACH

Mangas de ventilación flexibles lisas:

La materia base que se utiliza para su producción, es el PVC con tejidos sintéticos de alta resistencia, en sus extremos posee anillos de acero, que le permiten conectarse con otro ducto. Respecto a las dimensiones, posee un diámetro que varía entre 300 y 1200 mm y longitudes que van desde 5 a 30 m, estas medidas serán determinadas por el solicitante. Al ser flexible y livianos, facilita el almacenamiento, instalación y transporte. El campo que se le aplica es para los sistemas impelentes. Ver figura 1.9.



Figura 1.9: Manga de ventilación flexible lisa puesta en la entrada de un túnel.

Fuente: ZIEBTEC

Mangas de ventilación corrugadas:

De igual forma que los ductos flexibles lisos, este tipo de ducto, están hechos de PVC con tejidos de alta resistencia y se refuerza con un espiral de anillos de acero espaciados entre 75 a 150 mm, esto le otorga más resistencia a la manga. El diámetro va de los 250 mm a 1200 mm y tiras con longitudes de 5 a 10 m. Para poder unirlos entre sí, requiere de collarines de unión. El enfoque que se le emplea principalmente es en la extracción de aire, aunque de igual manera se aplica a sistemas soplantes. Ver figura 1.10.



Figura 1.10: Manga de ventilación corrugada

1.4. NORMATIVA MINERA RELACIONADA A LA VENTILACIÓN

En minería y como en todo lugar de trabajo los peligros que envuelven al rubro son inminente, estos muchas veces no están contemplados por la empresa, ya sea por una desinformación de los riesgos o el simple hecho de no tomar conciencia de ello, es a partir de esto y como una medida de mitigación que existe el Decreto Supremo 594 del Ministerio de Salud y el Decreto Supremo 132 perteneciente al Ministerio de Minería, ambos con la misión primordial de entregar la información necesaria para establecer las condiciones ambientales y sanitarias básicas para que los trabajadores puedan desempeñar las actividades de manera fructífera y segura.

A continuación, se presentarán los decretos y sus respectivos artículos que tienen incidencia en el tema de seguridad laboral y ventilación minera.

1.4.1 Decreto Supremo 594/1999 MINSAL:

“Reglamento sobre las condiciones ambientales y sanitarias básicas en los lugares de trabajo”

El decreto supremo 594, es definido como un reglamento quien tiene por objetivo establecer las condiciones ambientales y sanitarias básicas que deben poseer cualquier lugar de trabajo, a su vez, consta con los distintos límites permisibles de exposición ambiental a agentes químicos, físicos y biológicos.

Dicho decreto, establece las obligaciones de la empresa frente a los riesgos ambientales que están presentes, por ello es que debe de informar a los trabajadores bajo qué condiciones están desarrollando sus funciones, en base a esto proporcionar en forma gratuita a sus trabajadores los elementos de protección personal adecuados a la función que desempeñen.

Las leyes y decretos que se encargan de la seguridad laboral ligada a temas de minería, hacen énfasis en poseer un circuito de ventilación, por ser la forma de mantener las condiciones ambientales óptimas para la realización de trabajos. Por ello es que en el decreto supremo 594, del ministerio de salud, en su artículo 32, hace referencia nuevamente a por medios naturales o artificiales mantener una ventilación que proporcione condiciones confortables y no causen molestias o perjudiquen la salud del trabajador.

1.4.2. Decreto Supremo N°132/2002 Ministerio de minería:

“Reglamento de seguridad minera”

El siguiente reglamento tiene el propósito de establecer un marco regulatorio aplicable para las faenas industriales de extracción minera, con el objetivo de proteger la integridad de las personas que efectúen actividades en dicho trabajo, también, proteger las instalaciones y maquinaria que son parte de la faena. A continuación, se presentan los distintos artículos ligados al proceso de ventilación:

Este decreto supremo, es el más completo a la hora de entregar información y datos fidedignos para determinar los parámetros de seguridad que proporcionan una ventilación adecuada.

Dentro de estos parámetros también está la prohibición de utilizar vehículos que su funcionamiento sea en base a la bencina, esto debido al punto de inflamabilidad, riesgo de incendio que tiene este combustible y la generación de gases nitrosos (NOx), artículo 129 del Decreto Supremo. En consideración de la no utilización de equipos bencineros, el combustible predilecto es el diésel (Pudiendo utilizar también gas natural), este último presenta un punto de inflamación más alto que la bencina, disminuyendo el riesgo de ignición. Ante la emanación de gases producidos por los equipos Diesel, la normativa chilena establece un factor para cuidar la perpetuidad del equipo así también diluir los gases que este genera, el factor es $2,83 \text{ m}^3/\text{min}$, y debe ser multiplicado por los Hp de potencia de cada equipo diesel. (Artículo 132). El caudal obtenido en base a los equipos diesel, deberá ser sumado al requerido también por la cantidad de personas presentes en la faena, el reglamento establece que deben ser $3\text{m}^3/\text{min}$, por cada trabajador. (Artículo 138).

Mencionado anteriormente hace referencia a algunos gases presentes en la mina, los cuales son generados tanto por las máquinas y a su vez por los trabajadores presentes, esto genera una atmósfera de aire viciado, en relación a lo acontecido, es necesario para una minera subterránea disponer de un circuito de ventilación, ya sea natural o artificial, para que de esta manera se inyecte aire limpio por toda mina y también se extraiga los distintos gases emanados. (Artículo 137)

El circuito de ventilación puede ser generado artificialmente, con equipos que proporcionan aire fresco, o bien extraen aire viciado, o también “naturalmente” con chimeneas o puntos de salida que generen una diferencia entre las presiones y produzcan el movimiento de fluidos. En el caso de la ventilación artificial, el extremo de la tubería no puede estar a más de 30 metros de la frente de trabajo. (Artículo 141).

Para asegurarse de mantener constante la cantidad de aire suministrado a través de un sistema artificial, la ley también se encarga en su artículo 150, de exigir un plan de mantención a los equipos y elementos utilizados para esta labor.

1.5. CLASIFICACIÓN DE LOS GASES PRESENTES EN UNA MINA SUBTERRÁNEA

Como se tiene entendido en minería se suele estar en presencia de distintos tipos de gases, estos pueden llegar ser favorables como también dañinos tanto para las personas como la maquinaria que esté en contacto. La procedencia de cada tipo es relativa algunos son producidos por la acción humana y otros emitidos de forma de natural. Ante lo mencionado, sea expone los cuatro tipos de gases que es posible encontrar en faenas mineras:

- Gases esenciales: Indispensables para la vida humana

Ejemplo: Aire atmosférico; Oxígeno.

- Gases sofocantes; Desplazadores, producen ahogo

Ejemplo: Dióxido de carbono; Nitrógeno, Metano

- Gases tóxicos: Nocivos al organismo por su acción venenosa

Ejemplo: Monóxido de carbono; Humos nitrosos; hidrógeno sulfuroso

- Gases explosivos o inflamables

Ejemplo: Metano; Monóxido de Carbono; Hidrógeno sulfuroso

1.5.1. Efectos de los gases contaminantes.

Tabla 1.3: Efectos de los gases contaminantes

GAS	COMO SE GENERA	EFFECTO EN EL ORGANISMO	LPP (ppm)	LPA (ppm)
Nitrógeno	En la atmósfera y emanaciones de rocas	Sofocamiento por falta de O ₂		
Monóxido de Carbono	Detonación, combustión incompleta, incendios	Extremadamente venenoso a 0,2%	40 (46)	458
Anhídrido Carbónico	Detonación, combustión, respiración	Sofocante, peligroso sobre 6%,	4.000 (7.200)	54.000

Anhídrido Sulfuroso	Acción del agua sobre minerales sulfurados	Venenoso a 0,04%	1,6 (4)	13
Hidrógeno Sulfurado	Acción del agua sobre minerales sulfurados	Sumamente venenoso	20 (25)	21
Óxido de Nitrógeno	Detonación, combustión	Tóxico, ataca los tejidos pulmonares	20 (25)	
Metano	Producto natural de yacimientos de carbón	Sofocante, explosivo	1 %	1 %

Fuente: Decreto Supremo 594, artículo 66.

CAPÍTULO II: PARÁMETROS DE VENTILACIÓN PRESENTE
EN BLANCO III

2. CARACTERIZACIÓN DE LA MINA SUBTERRÁNEA BLANCO III

2.1 PARÁMETROS FÍSICOS DE LA MINA

2.1.1. Clima del sector en donde se encuentra la mina Blanco III

El clima dominante en el sector donde queda emplazada la mina, corresponde al Estepario Central. Este clima se desarrolla desde Vallenar hasta el valle del río Aconcagua. Se caracteriza principalmente por ser más seco y con una variación térmica mayor que en la costa. La temperatura media anual es de 15,5° C y las precipitaciones aumentan con la altitud variando desde unos 250 mm hasta 300 mm.

Es un clima con una temperatura media favorable para la colocación de equipos que suministren aire desde el exterior. Sin embargo, da la eventualidad que en invierno se han registrado nevazones, por lo que la mantención a los equipos debe ser constante, además de que el mismo equipo no debe tener complicaciones con el clima frío.

2.1.2. Dimensiones de la mina Blanco III

Las dimensiones y formas de los yacimientos subterráneos se utilizan para el estudio de la circulación de los fluidos a lo largo del sistema. Para desarrollar los cálculos pertinentes a la caída de presión es importante conocer el largo total, para determinar el caudal de aire in situ se requiere conocer el área de la sección por la cual el fluido se desplaza.

En las visitas y recorridos por la mina Blanco III se determinaron las siguientes mediciones:

Tabla 2.4: Dimensiones del túnel minera Blanco III

Sección	Medida
Largo	64m
Ancho	3m
Alto	4,5m
Área (considerando ½ circunferencia en la parte superior)	14,78 m ²

Fuente: Proyecto de explotación mina Blanco III

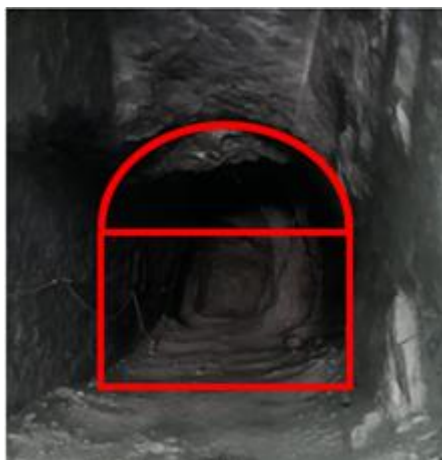


Figura 2.11: Bocamina, con su contorno marcado

Fuente: Proyecto de explotación mina Blanco III

2.1.3 Tipo de mineralización

El yacimiento cerro blanco de carbonatos de calcio blanco y gris (calizas marmóreas) es de origen metamórfico. Está compuesto de extractos de calizas recristalizadas, distribuida en la vertiente oriental de la cordillera de la costa regional. Presenta un sistema de bandas de minerales blancas y grises paralelos a la corrida, siendo las blancas predominantes sobre las grises, por lo menos en la parte conocida y los afloramientos cercanos. Tiene una corrida conocida de 5 km aproximadamente y su desarrollo vertical no está reconocido. Desde el emplazamiento de la bocamina de la minera Blanco III los afloramientos se extienden por 3km al sur y 2km al norte.

Tabla 2.5 Minerales (mena y ganga) primarios y secundarios presentes en la mina Blanco III

Minerales de Mena	
Principales	Calcita (CaCO ₃)
Secundarios	Aragonita (CaCO ₃)
Ley CaCO ₃	80%-90%

Minerales de Ganga	
Principales	Cuarzo (SiO ₂)
Secundarios	Siderita (FeCO ₃)

Fuente: Proyecto de explotación mina Blanco III

2.1.4. Método de Explotación

Para la explotación de yacimientos vetiformes, verticales o subverticales a pequeña escala, se utiliza el método “Realce sobre saca”. Este método consiste en utilizar el mineral quebrado, como piso de trabajo para explotar de manera ascendente. El mineral almacenado provee soporte adicional de las paredes hasta que el arranque del caserón se completa y queda listo para el vaciado. En la actualidad se encuentra en estado de desarrollo, por lo que solamente es visible el socavón de acceso.

Tabla 2.6: Información sobre las dimensiones y material que se extrae en mina Blanco III

Dimensión	Medida
Corrida	200 m
Extensión vertical	60 m
Potencia media	20 m
Densidad de la roca	2,7 (ton/m ³)
Manteo	75-80° Este

Cota	1150 msnm
Recursos	648000 ton
Recursos explotables (Reservas)	453600 ton (arox)

Fuente: Proyecto de explotación mina Blanco III

Según el método de explotación empleado en la mina, se debe considerar que el 70% de los recursos totales se puede explotar, porcentaje restante se distribuye en la estructura de la mina.

2.2 CÁLCULO DE CAUDALES

2.2.1. Cálculo del caudal correspondiente al número de personas

Tal como lo establece el decreto supremo 132 del ministerio de minería en el artículo 138, exige la cantidad aire mínimo requerido por persona trabajando en la faena minera debe ser de 3 (m³). Dentro de los cálculos para obtener el caudal requerido, este destaca por la necesidad de aire limpio para aminorar el clima adverso en el interior de una mina subterránea, que afecta las condiciones biológicas vitales de un trabajador.

Tabla 2.7 Detalle de dotación de personal

Cargo	Nº de trabajadores
Capataz/Jefe de mina	1
Perforista	2
Ayudante de perforista	2
Operador de equipos	1
Canchero realizador	1
Total	7

Fuente: Proyecto de explotación Mina Blanco III

Según la normativa chilena, el caudal óptimo para el número de trabajadores queda determinado por:

$$Q_{\text{persona}} = P * N \quad [m^3/\text{min}]$$

$$Q_{\text{persona}} = 7 * 3 \quad [m^3/\text{min}]$$

$$Q_{\text{persona}} = 21 \quad [m^3/\text{min}]$$

Este cálculo expresado en segundos quedaría de la siguiente forma:

$$Q_{\text{persona}} = 0,35 \quad [m^3/\text{seg}]$$

2.2.2 Cálculos de caudales para la etapa de tronadura

La mina Blanco III utiliza los explosivos típicos para pequeña minería subterránea, ANFO, emulsión, fulminante de azufre -plomo y mecha de combustión lenta. La forma en que es llevada a cabo la tronadura corresponde a un avance horizontal, en el día se hacen dos voladuras y en cada una se realizan 12 tiros, con una perforadora manual que posee un barreno de 1 ” de diámetro.

El agente de voladura utilizado para la tronadura diaria en la mina subterránea Blanco III es el ANFO. Este nitrato viene en formatos de 25 kilogramos y es ingresado por el principio “*venturi*” con un soplador de aire comprimido.

2.2.2.1. Características técnicas del ANFO

- Densidad vaciado (“pour”): $0,77 \pm 3\%$ g/ccaprox a 0,8 para efectos del cálculo
- Velocidad de detonación: 2.600 - 4.100 m/s
- Presión de detonación: 28 Kbar
- Energía: 3.818 KJ/Kg
- Volumen de gases : 1.050 L/Kg
- Diámetro mínimo de confinamiento : 1”
- Resistencia al agua: Nula C

Además del ANFO, el otro alto explosivo utilizado en la mina Blanco III corresponde a una emulsión de la marca Emultex CN, posee un alto poder detonante, y presenta las condiciones adecuadas para el confinamiento en el diámetro de las barrenas de perforación.

2.2.2.2. Características técnicas de la emulsión

- Densidad (g /cc) : 1,15 ± 4%
- Velocidad de detonación* (m/s) 4.600 ± 600
- Presión de detonación (Kbar): 61
- Energía (KJ/Kg) : 3.940
- Resistencia al agua : Excelente
- Volumen de gases (L/Kg:) 930

Una vez teniendo las características técnicas más importantes respecto a los explosivos utilizados y la forma en que se lleva a cabo la etapa de tronadura, se realizaron los cálculos para determinar el caudal requerido para mantener la mina en un ambiente saludable.

2.2.2.3. Cantidad de ANFO utilizado

$$\text{Cantidad de explosivo } \left(\frac{kg}{m}\right) = (\phi^2 * d * f) * L * Nt$$

$$\text{Cantidad de explosivo } \left(\frac{kg}{mt}\right) = (1^2 * 0,8 * 0,507) * 1,9968 * 24$$

$$\text{Cantidad de explosivo } \left(\frac{kg}{mt}\right) = (0,4056) * 1,9968 * 24$$

$$\text{Cantidad de explosivo } \left(\frac{kg}{mt}\right) = 19,4376kg$$

(* El largo total corresponde al largo del tiro menos las 8" de espacio que ocupa la emulsión)

2.2.2.4. Cantidad de emulsión utilizada

$$\text{Cantidad de explosivo } \left(\frac{kg}{m}\right) = (\phi^2 * d * f) * L * Nt$$

$$\text{Cantidad de explosivo } \left(\frac{kg}{mt}\right) = (1^2 * 1,15 * 0,507) * 0,2032 * 24$$

$$\text{Cantidad de explosivo } \left(\frac{kg}{mt}\right) = (0,4056) * 0,2032 * 24$$

$$\text{Cantidad de explosivo } \left(\frac{kg}{mt}\right) = 2,8434kg$$

(*El largo de tiro de la emulsión corresponde al tamaño de esta misma ya que este es el espacio que ocupa en el tiro)

Finalmente, se realiza la suma de ambas cantidades para obtener los kilogramos de explosivos:

$$19,4376+2,8434= 22,281 \text{ Kg explosivos}$$

2.2.2.5. Caudal requerido en base a la información

Para diluir los gases generados por los explosivos se utiliza la siguiente fórmula, en esta el resultado expresa la cantidad de m³ de aire necesario necesarios para evitar la formación de mezclas explosivas.

$$Q = \frac{100 * G * E}{T * f}$$

Donde:

G = formación de gases, en m³, por la detonación de 1 kgr de explosivo.

Como norma general: G = 0,04 m³/Kgs de explosivo.

E = cantidad de explosivo a detonar, Kgrs.

T = tiempo de dilución, en minutos, generalmente este tiempo no es mayor de 30 minutos, cuando se trata de detonaciones corrientes.

f = porcentaje de dilución de los gases en la atmósfera, éstos deben ser diluidos a no menos de 0,008 %.

$$Q = \frac{100 * 0,04 * 22,281}{30 * 0,008}$$

$$Q \text{ explosivos} = 89,124 / 0.24$$

$$Q \text{ explosivos} = 371,351 \text{ m}^3/\text{min}$$

Transformados a segundos queda expresado:

$$Q \text{ explosivos} = 6,19 \text{ m}^3/\text{s}$$

2.3. CÁLCULO DEL CAUDAL DE AIRE REQUERIDO PARA LA UTILIZACIÓN DE LOS EQUIPOS DIESEL DE LA MINA

Según el Reglamento de Seguridad Minera; el caudal que se debe considerar por cada equipo diesel es el que el fabricante de la máquina establece y si no se conoce

este requerimiento, se debe usar 2,83 m³/min. por cada caballo de fuerza, como mínimo y a este resultado se le debe agregar la cantidad de aire necesario para controlar el resto de los contaminantes.

Para determinar el caudal requerido, se mencionan los equipos utilizados en las diferentes operaciones ejecutadas en la mina. En la tarea de perforación se utiliza una perforadora manual tipo YT27, el cargio lo realiza una retro excavadora Caterpillar año 2005 de 140 hp (la cual no es la indicada para esta operación subterránea), el compresor que suministra el aire comprimido es de la marca Atlas Copco Modelo xas 185 cfm, año 2006. Para mover piezas, equipos y trabajadores, la mina cuenta con una camioneta Chevrolet D-max del año 2006, con motor isuzu de 121 hp.

Tabla 2.8: Equipos empleados en la minera Blanco III

Equipo	Cantidad	Potencia	Observaciones
Mini cargador	1	44 HP	Acondicionado para Minería Subterránea.
Retro Excavadora	1	140 HP	Acondicionada para acuñadora
Compresor Portátil	1	60 HP	Equipo portátil de 185 cfm
Perforadora	2	-	-
Generador	1	1,6 Kw	Motor diesel
Camioneta	1	121 HP	-

Fuente: proyecto de explotación mina blanco III

Para realizar el cálculo del caudal requerido para los equipos, primero se debe hacer la suma de los Hp de todos los equipos presentes:

$$Hp\ Total = 44 + 140 + 60 + 121$$

$$Hp\ total = 365\ Hp$$

Con los Hp total obtenido, se procede hacer el cálculo respectivo del caudal por equipo:

$$Q\ equipo = 2,83m^3/min * Hp$$

$$Q\ equipo = 2,83m^3/min * 365Hp$$

$$Q\ equipo = 1032,95\ m^3/min$$

En segundos sería: $Q \text{ equipos} = 17,216 \text{ m}^3/\text{s}$

2.4. CÁLCULO DEL CAUDAL TOTAL REQUERIDO EN LA MINA BLANCO III

Tabla 2.9: Resultado del caudal óptimo según las exigencias de la normativa chilena

Etapa	Caudal (m³/s)
Salud del personal	0,35
Gases de tronadura	6,19
Equipos diesel	17,21
Total	23,75

Fuente: Cálculos recopilados

2.5. EVALUACIÓN ACTUAL DE LA VENTILACIÓN DE LA MINERA BLANCO III

Como ya ha sido mencionado anteriormente, la ventilación que posee en la actualidad la mina Blanco III no es conocida, para resolver esta incógnita se realizarán cálculos de caudal por persona, equipos y explosivos, además de la caída de presión presente en el túnel, para así, tener noción de las condiciones actuales que posee. Con el fin de conocer el caudal presente.

2.5.1 Medición del caudal in situ:

Para determinar el caudal que presenta la mina subterránea Blanco III se llevó a cabo un simple experimento que involucra el dimensionamiento de la sección de la mina, y la velocidad del viento en el interior. El tener este valor del caudal presente,

permite constatar con datos numéricos el déficit que era solo presenciado empíricamente. Los elementos a utilizar para llevar a cabo el cálculo son:

- Anemómetro digital
- Huincha de medir
- Libreta para registrar datos

2.5.1.1. Procedimiento

1. Ubicarse cercano a la frente de la labor
2. Con la huincha de medir, registrar el valor de caja a caja de la mina
3. Extender verticalmente la huincha hasta hacer contacto con el techo, luego tomar la medida entre este último y el piso de la labor.
4. Registrar estos datos
5. Encender el anemómetro digital
6. Calibrar el instrumento de medición.
7. Registrar la velocidad del viento que arroja en la pantalla, así mismo la temperatura.
8. Llevar a cabo esta medición 3 veces en diferentes horarios para determinar el promedio.
9. Determinar el área de la labor con los datos obtenidos en la medición con huincha
10. Establecer el promedio de la velocidad del viento en el interior de la mina
11. Realizar el cálculo del caudal.

2.5.2. Valores obtenidos en la medición del área y velocidad del viento presentes en la mina




2.5.2.1. Medición con huincha:

- Ancho: 3.72m
- Alto: 4,5m

2.5.2.2 Medición con anemómetro

En un rango de tiempo se utilizó en 3 ocasiones el anemómetro para medir la velocidad y establecer un promedio con las mediciones. Los resultados obtenidos quedan registrados en la siguiente tabla:

Tabla 2.10: Mediciones con el anemómetro de la velocidad del aire en el túnel de la mina Blanco III

Medición	Primera	Segunda	Tercera
Resultado	 V1= 1,1 m/s	 V2= 1,0 m/s	 V3= 1,2 m/s

Fuente: Elaboración propia

A pesar de tener mediciones relativamente estables, se realizó el cálculo del promedio de estas mediciones.

$$X = \frac{(Xi)}{n}$$

$$X = \frac{1,1 + 1,0 + 1,2}{3}$$

$$X = 1,1 \text{ m/s}$$

2.4.3. Cálculo de caudal actual de la mina

Para realizar este cálculo primero debe ser calculada el área de la sección de la mina. Para este desarrollo se considera una sección semicircular en la parte superior del túnel, ya que al ser irregular sin fortificación resulta casi imposible establecer de forma geométrica este sector circular.

$$A \text{ semicirculo} = \frac{\pi * r^2}{2}$$

$$A_s = \frac{\pi * 0.78^2}{2}$$

$$A_s = 0.95m^2$$

Luego esta área debe ser sumada con la del sector inferior de la galería la cual corresponde a un sector cuadrado de lado 3,72m

$$A_2 = \text{Largo} * \text{ancho}$$

$$A_2 = 3,72 \text{ m} * 3,72 \text{ m}$$

$$A_2 = 3,83m^2$$

Finalmente:

$$\text{Area galería} = A_s + A_2$$

$$\text{Area galería} = 13,83 \text{ m} + 0,95m$$

$$\text{Area galería} = 14,78m^2$$

Teniendo el valor del área de la labor y la velocidad del aire es posible determinar el caudal del aire que circula en el interior de la mina, según la siguiente fórmula:

$$Q = V * A.$$

$$Q = 14,78m^2 * 1,1m/s$$

$$Q = 16,26 \text{ m}^3/s$$

2.6. CAÍDA DE PRESIÓN CONSTATADA

En ventilación de minas, como en hidráulica y en otros campos donde se aplican los principios de mecánica de fluidos, es de mayor interés determinar la diferencia de presión entre dos puntos que la determinación de la presión en ellos. Sabemos que el flujo de aire se origina porque existe una diferencia de presión entre dos puntos del sistema, para poder lograr esta diferencia es necesario agregar energía al sistema. Esta energía entonces es consumida en superar las resistencias que las labores mineras le ponen al paso de una cantidad determinada de aire. Estas resistencias originan entonces una caída o pérdida de presión que llamaremos "H" y está dada en mm. de columna de agua o Kg/m².

Las pérdidas de presión están formadas por dos componentes: pérdidas por fricción y pérdidas por choque

Las pérdidas por fricción representan las pérdidas de presión en el flujo lineal, lo largo del ducto y es producida por el rozamiento del aire contra las paredes del ducto; en cambio las pérdidas por choque son de origen local producidas por diferentes accidentes como lo son: cambiar el área, bifurcaciones o uniones, obstrucciones, cambios de dirección, etc.

La fórmula correspondiente para calcular la caída de presión corresponde a la siguiente

$$H_f = \frac{\alpha * L_f * P * Q^2}{A^3} ; (\text{mm. de c.a. o Kg/m}^2)$$

Donde:

Lf: Largo de la labor en m;
A: Área de la labor en m²;
P: Perímetro de la labor en m;
V: Velocidad del aire en m/seg;
α: Coeficiente de resistencias aerodinámica en Kgr*seg²/m⁴;
f * γ / 8g

2.6.1. Caída de presión constatada en la mina

La mina subterránea en cuestión presenta sus labores sin fortificar a lo largo de su túnel principal, por falta de conocimiento técnico así también el costo que

significaba, como se mencionó anteriormente, todo en el interior presenta mineralización comercial para la empresa, minerales en base a carbonato de calcio. Esta característica de la mina es importante a la hora de analizar el comportamiento de los fluidos (aire) en su interior. El concepto físico involucrado es el coeficiente de roce aerodinámico, parte fundamental de la ecuación general de la caída de presión,

El coeficiente de resistencia aerodinámica " α ", varía de acuerdo al número de Reynolds (Re). Esta variación se hace insignificante a medida que crece Re y por lo tanto, si aceptamos que en las labores mineras activas el movimiento será turbulento con un alto Re, se considera este coeficiente constante.

Como se dijo líneas atrás a determinación del coeficiente de resistencia aerodinámica es un paso muy importante en todo proyecto de ventilación; cuando es posible determinarlo en el terreno es recomendable hacerlo si no se debe recurrir a diversas tablas que entregan coeficientes de acuerdo a la experiencia e investigación, una de ellas es la que se adjunta en estos apuntes y corresponde a una tabla obtenida por el Servicio de Minas de los E.E.U.U. en base a numerosas experiencias en minas metálicas. Los valores de " α " que en ella se entrega están referidos al aire normal, por lo tanto, una vez elegido el valor debe ser corregido de acuerdo al peso específico del lugar.

Tabla 2.11: Coeficiente de resistencia aerodinámica

COEFICIENTE DE RESISTENCIA AERODINÁMICA.
(Para $\gamma = 1,2 \text{ Kgr./m}^3$)

Tipo de galería	Irregularidades de la superficie	Valores básicos de $\alpha \cdot 10^{-5}$		
		Limpias	Obstrucción	
			Pequeña	Moderada
Superficie suave (forrada)	Mínimo	19	29	48
	Promedio	29	38	57
	Máximo	38	48	67
Roca sedimentaria (carbón)	Mínimo	57	67	86
	Promedio	105	114	133
	Máximo	133	143	162
GALERÍAS ENMADERADAS	Mínimo	152	162	190
	Promedio	181	190	209
	Máximo	200	209	220

ROCA ÍGNEA	Mínimo	171	181	200
	Promedio	279	285	304
	Máximo	371	380	399

Fuente: Servicio de minas de E.E.U.U.

En base a esta tabla y al recorrido en terreno, la calidad de las paredes y su rugosidad queda caracterizada como una roca ígnea, de gran alteración (ver imágenes de las paredes) y con una baja obstrucción al paso del aire ya que solo cuenta con las mangueras que entran el aire comprimido proveniente del compresor. Obteniéndose un coeficiente de roce aerodinámico de:

$$\alpha = 181 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m}^3$$

2.5.2 Cálculo de caída de presión

Como se expresó anteriormente la fórmula para determinar la caída de presión depende de los factores físicos del perímetro, área, largo y coeficiente de roce. Teniendo todos estos datos ya reunidos el cálculo de la caída de presión presente en la mina blanco III es la siguiente.

$$H_f = \frac{\alpha * L_f * P * Q^2}{A^3} ; (\text{mm. de c.a. o Kg/m}^2)$$

$$H_f = \frac{(181 \cdot 10^{-5}) * 62\text{m} * 18,42 * 264,38}{14,78^3} ; (\text{mm. de c.a. o Kg/m}^2)$$

$$H_f = \frac{17446,69}{14,78^3} ; (\text{mm. de c.a. o Kg/m}^2)$$

$$H_f = 0,69 ; (\text{mm. de c.a. o Kg/m}^2)$$

$$H_f = \frac{0,69 * 9,8 \text{ m/s}}{1,65} = ; (\text{Pa})$$

2.7 COMPARACIÓN ENTRE EL CAUDAL REQUERIDO Y EL SUMINISTRADO ACTUALMENTE

Según el desarrollo de cálculos de los caudales necesarios para los trabajadores, los equipos de la faena y dilución de gases producidos por explosivos, cabe mencionar que estos resultados cuentan con el respaldo y fueron realizados según las exigencias presentes en la normativa. Lo mencionado, debe ser contrastado con el experimento para determinar la caudal in situ que presenta la mina, a partir de esto, se logra apreciar un déficit de aire de 7,49 m³/s, esta falencia puede afectar el funcionamiento de las operaciones diarias, reducir el tiempo de vida útil de los equipos y un mayor riesgo para la salud de los trabajadores.

Ese déficit de aire puede ser originado por una mala ubicación de la bocamina, pero en este caso, principalmente es debido a la ausencia de otra vía para el tránsito de corriente, es decir labor ciega, la cual, posee una sola entrada de aire, que no permite la interacción entre diferentes presiones y gradientes térmicas.

El poder encontrar una evidencia, en base a números del incorrecto funcionamiento de una operación de ventilación, permite tomar medidas correctivas con mayor rapidez evitando generar mayores peligros que afecten tanto las personas presentes como los equipos que participan, además, de posibles efectos en los costos a futuro.

CAPÍTULO III: PROPUESTA DE SISTEMA DE VENTILACIÓN AUXILIAR

3. PROPUESTA DE SISTEMA DE VENTILACIÓN

3.1 VENTILACIÓN QUE PRESENTA LA MINA BLANCO III

Según los resultados de la experimentación y cálculos realizados a las características de ventilación de la mina Blanco III, presenta una falta de aire que ronda los $7,49 \text{ m}^3/\text{s}$, esta cifra entorpece el funcionamiento del sistema de trabajo empleado en la mina y además comete una falta al artículo 137 del Decreto Supremo 132/2002 del Ministerio de Minería que exige que en una minera subterránea cuente con un sistema de ventilación natural o artificial.

La solución más práctica a esta problemática, teniendo en cuenta el caudal y la caída de presión, es proponer un ventilador minero que otorgue dicho caudal y un rango de seguridad, pero, además, es necesaria una manga de ventilación que transporte el flujo de aire, y un generador que proporcione la energía necesaria para el equipo.

En este capítulo se propone un modelo de ventilador para el sistema de ventilación, con el fin, de que este sea adecuado para la mina.

Las características primordiales que debieron ser tomadas en consideración al equipo seleccionado son: eficiencia y que asegure un buen servicio, más allá de las características físicas del equipo

Según lo visto en el capítulo 1, para suministrar aire en galerías horizontales de poca longitud y sección (menores a 400 m. y $4*3 \text{ m}^2$ de área) como es el caso de Blanco III, lo conveniente es usar un sistema impelente de mediana o baja capacidad.

A continuación, se presenta la recopilación de los datos ligados a la ventilación de la mina Blanco III.

3.1.1 Información general de la mina:

- Longitud del túnel: 62 m
- Sección del túnel: $14,78 \text{ m}^2$
- Velocidad: 1,1 m/s
- Caudal actual: $16,258 \text{ m}^3/\text{s}$

3.1.2. Información de los caudales según los requerimientos de la mina

- Dilución de gases: $6,19 \text{ m}^3/\text{s}$
- Caudal de los equipos: $17,21 \text{ m}^3/\text{s}$

- Caudal debido a las personas: 0,35 m³/s
- Caudal total requerido: 23,75 m³/s

3.1.3. Consecuencias de tener la ventilación actual

Es evidente el déficit de ventilación que posee Blanco III, debido a las condiciones estructurales y ventilatorias presentes, no permiten la remoción del aire viciado generado por el personal y los equipos, esto trae riesgos para la salud, riesgos de incendios y explosiones, olores y contaminantes molestos, lo que resulta en un potencial peligro para la faena.

Uno de los objetivos que tiene la ventilación es otorgar un ambiente favorable para que se desarrollen las actividades mineras, en especial el control del ambiente térmico, el cual sino tiene un correcto manejo resulta ser una molestia importante y provoca daños a las personas que trabajan en dicho ambiente, esta carga térmica puede superar la capacidad de defensa del organismo, lo que conlleva en la reducción de la productividad y principalmente en que el ocupante del ambiente puede desarrollar patologías profesionales y accidentes laborales.

Sin duda, el tener una mala ventilación tiene consecuencias notorias, sobre todo para los trabajadores que se encuentran exposición a sustancias tóxicas y condiciones deplorables. Un claro ejemplo es el caso del oxígeno, cuyos efectos de deficiencia son un peligro inminente, si este baja del 19% de concentración contenido en el ambiente tiene repercusiones en el ser humano, si la concentración baja a 17% , tiene efectos en el humano, generando una respiración más rápida y profunda, si este porcentaje sigue a la baja y llega a un 6 % de concentración, resulta en la muerte de la persona que esté expuesta a dicha condición.

Otro factor a tener en cuenta si no hay una dilución de los gases producidos dentro de la mina subterránea, estos vapores en el túnel pueden provocar un incendio o explosión.

3.2. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN ARTIFICIAL PROPUESTO PARA LA MINA BLANCO III

3.2.1 Características que debe tener el ventilador para suplir las necesidades de aire

La falta de aire que posee actualmente la mina junto con la estructura física que presenta el túnel (al ser una labor ciega), se ve en la obligación de buscar una medida de mitigación para suplir las falencias de ventilación. A causa de esta problemática, se propone a continuación un ventilador capaz de entregar el caudal óptimo de aire limpio que permita remover el aire viciado generado por las máquinas y trabajadores de la mina Blanco III, a esto se le debe agregar, el ducto que permita transportar y soportar la presión ejercida del caudal requerido, para que de esta manera se cumpla una correcta ventilación.

Las características predominantes que debe tener el ventilador seleccionado para cumplir con la misión de suministrar el aire para equipos, trabajadores y remoción de gases presentes en la mina, en primer lugar, está asegurar un flujo de aire superior al requerido ($23,75 \text{ m}^3/\text{s}$ es el caudal mínimo que debe inyectar), pero, no en exceso, ya que generaría mayores gastos en el ámbito energético, aunque, debe tener margen de seguridad, ante la eventualidad de algún error o la posibilidad de fugas, que normalmente ocurren en el sistema.

Otro aspecto importante para considerar es el tipo de ventilador, sea centrífugo o axial. Este último presenta grandes ventajas, respecto al centrífugo, en la ventilación auxiliar:

- Su forma cilíndrica lo asemejan a los ductos, facilitando su colocación en los sistemas auxiliares;
- El motor incluido en el interior del cilindro facilita su refrigeración y colocación;
- Su forma cilíndrica también facilita su traslado y manejo.

Las anomalías más comunes que se observa en la instalación de ventiladores axiales y que afectan sus funciones son:

- El no uso de cono de entrada en instalaciones de ventiladores impelentes. Estas piezas, generalmente de aluminio se deforman con los golpes y se pierden con facilidad.
- El no uso de rejilla de protección en el cono de entrada, que deja expuesto el rotor al riesgo de destrucción por el ingreso de cuerpos extraños.
- Conexiones directas de ductos plásticos a los ventiladores producen estrechamientos de sección en la admisión, con la consiguiente pérdida de presión estática, además de las fugas de aire por las juntas.
- La instalación de codos en la descarga de los ventiladores con radios menores a $0.5.f$ produce una alta resistencia al paso de aire.

- El uso de piezas de reducción de f en la descarga directa en los ventiladores tubo-axiales produce altas pérdidas por estrechamiento (40%) si el ángulo de la reducción es mayor a 30.
- El montaje de un ventilador aspirante con descarga sin cono o ducto que reduzca la velocidad de salida es una pérdida importante de energía que fácilmente puede evitarse con la instalación de un ducto de descarga de un largo mínimo de 2 veces el diámetro del ventilador, o de un cono de descarga.

3.2.2. Características y recomendaciones que deben tener los ductos por seleccionar

Cuando se escoge el ventilador junto con los determinados ductos de ventilación, se debe tener en cuenta los factores de instalación y mantención más comunes como lo es el alineamiento y las fallas en las uniones, para prevenir accidentes, fallos en el funcionamiento y deterioro del material.

En primera instancia, al instalar los ductos de ventilación, lo sugerido es tener un correcto alineamiento, es decir, que sea lo más recto posible, esto es con el fin de reducir las pérdidas de caída de presión y los cambios del flujo de aire, los cuales se generan en los quiebres o cambios de dirección que presenta la red de túneles.

Otro factor que se debe tener énfasis es en la unión que existe entre cada ducto, por el hecho de que es en esta sección donde ocurre las fugas de aire si hay una mala instalación o el enlace utilizado no es el adecuado, lo que trae complicaciones y puede generar un déficit en la ventilación que se entrega.

Dentro de la gama de ductos, se encuentran los ductos metálicos y ducto plásticos, ambos poseen parámetros que se deben tener en cuenta:

Los ductos metálicos presentan defectos en el alineamiento, pero donde ocurren fallas frecuentes es en el material de las uniones, esto a causa de un incorrecto e inadecuado uso de bridas, ya que en reemplazo se utiliza otro tipo menos hermético. Esto se puede contrarrestar si se utilizan tiras con flanges apernados.

Por otro lado, en los ductos plásticos se presentan fallas cuando el tendido no está tensado, ni tampoco alineado, ya que es a partir de esos factores que se generan dobleces y estrechamiento de áreas, lo que genera un potencial peligro en la deformación y roturas del ducto. Cabe mencionar, que las dificultades se presentan también en las uniones entre tiras plásticas con bridas ajustables, cuando erróneamente se utilizan amarras de alambre, lo que puede traer fugas de aire.

Los ductos para un correcto funcionamiento requieren primordialmente que las piezas que se utilizaran a la hora de la instalación o mantención de alguno de sus componentes sean a base de un diseño adecuado, para evitar falencias y posibles

peligros, ya que los errores más comunes que presenta la unión entre el ducto y el ventilador, se evidencia cuando el acoplado entre ambas piezas es con una unión defectuosa, quedando un ensamblado poco hermético.

3.2.3. Parámetros que tiene la ductería apropiada para el proyecto.

En la tabla que se muestra a continuación, se han colocado los ductos más usados en la actualidad y se ha hecho un análisis de los principales parámetros que se debieron tener en cuenta para la selección más adecuada:

Tabla 3.12: Parámetros para la selección de la ductería.

ITEM	METÁLICOS	FLEXIBLE REFORZADO	FLEXIBLE LISO
APLICACIÓN	Aspirante	Aspirante	Solo Impelente
	Impelente	Impelente	
TRANSPORTE	Alto costo	Mediano costo	Bajo costo
	(Voluminoso)	(paquetes)	(plegados)
INSTALACIÓN	Difícil lenta y riesgosa	Regular rápida	Fácil y rápida
MANTENCIÓN	Reducida	Regular y permanente	Requiere buena mantención
TIPO DE UNIÓN	Collarín, flange apernado	Collarín de unión tipo rápida	Collarín por tensión entre tiras
ACCESORIOS	Cáncamos y alambres	Cáncamo, cable guía y gancho suspensión	Cáncamo, cable guía y gancho suspensión
FUGAS	Bajísima	Regular a alta en uniones y por rotura	
RESISTENCIA	Baja	Alta	Baja
α	0,002	0,0055	0,003
MÁXIMA "H" RECOMENDADO	1.200mm.c.a.	250mm.c.a.	650 mm. c. a.

Fuente: YANES, Exequiel. Ventilación de minas. vol.1. serie: Formación de expertos en seguridad minera. SERNAGEOMIN.

Según esta tabla, junto con lo visto en terreno y el ventilador requerido, el modelo flexible reforzado cumple con las características, su precio es regular, su instalación no es muy compleja, asegura ser óptimo para un sistema impelente y a pesar de contar con un coeficiente de roce superior a sus pares presenta una mayor resistencia al pasar del tiempo.

3.2.4 Ducto de ventilación propuesto para suplir las necesidades de aire de la mina

Tabla 3.13: Ducto de ventilación propuesto con sus especificaciones

Equipo	Ubicación	Longitud	Diámetro	Resistencia
Ducto Flexible reforzado	Bocamina – zona de barrido (0 a 50 m)	50 m	1200 mm	0.00055

Fuente: Elaboración propia

El ducto seleccionado corresponde a uno del tipo flexible reforzado, por la mejora en el desplazamiento del fluido en su interior, menor cantidad de roce cinético significa también un consumo más efectivo de energía. Además al escoger un ducto de 50 metros nos otorga una zona de barrido de 12 metros del extremo de la manga de ventilación a la frente de trabajo, entregando 18 metros de utilidad para cumplir con la normativa que señala una distancia no mayor a 30 metros desde la frente al ducto de ventilación.

Para llevar a cabo una gráfica que represente el comportamiento de los fluidos es necesario determinar la caída de presión que existirá a lo largo del ducto de ventilación propuesto, este corresponde a un ventilador que proporciona 25 m³/s, el diámetro de la ducteria de salida del aire es de 1200 mm, según lo visto previamente una ducteria rugosa presenta un coeficiente de resistencia aerodinámica de 0.00055, dicho número será considerado para efectos de este cálculo.

Primero se debe determinar el perímetro en metros de la sección ducto, esto se obtiene multiplicando el diámetro por π , previamente posteriormente llevar este número a metros.

$$P = \pi * 1200$$

$$P = 3769,0 \text{ mm} / 1000 \text{ mm}$$

$$P = 3,76 \text{ m}$$

$$H_f = \frac{\alpha * L_f * P * Q^2}{A^3} ; (\text{mm. de c.a. o Kg/m}^2)$$

$$H_f = \frac{(0,00055) * 50 \text{ m} * 3,76 \text{ m} * 625}{1,13^3} ; (\text{mm. de c.a. o Kg/m}^2)$$

$$H_f = \frac{64,62}{1,13^3} ; (\text{mm. de c.a. o Kg/m}^2)$$

$$H_f = 44,87 ; (\text{mm. de c.a. o Kg/m}^2)$$

$$H_f = 44,81 * 9,8 \text{ m/s} = 439.7 ; (\text{Pa})$$

A medida que aumenta el diámetro del ducto, bajará en forma considerable, la caída de presión del sistema es por eso que la caída de presión calculado en el segundo capítulo de este trabajo, 1.6 (Pa), es muy inferior a los 439.7 (Pa) calculados recientemente.


La diferencia de superficie es más de 10 veces superior en el caso de la galería, y se traduce en un aumento aún más exponencial en el caso de la caída de presión.

3.2.5 Equipo de ventilación propuesto para suplir las necesidades de aire

El modelo del ventilador que se propone para suplir las necesidades ventilatorias que requiere la mina, a base de los cálculos obtenidos anteriormente consta de las siguientes características:

Tabla 3.14: Ventilador propuesto con sus especificaciones

Equipo	Ubicación	Caudal	Diámetro	Presión	Potencia	Certificación	Instalación

 Zitron ZVN 1- 12-37/4	Bocamina , mina Blanco III	25 m ³ /s	1200 mm	439,7 Pa	37 W	ISO 9001	Impelente
--	----------------------------------	-------------------------	---------	----------	------	-------------	-----------

Fuente: elaboración propia

El sistema señalado permite suministrar un flujo superior en un 5% app al necesario para todas las especificaciones de la mina, dicho margen de seguridad permite dar más tiempo en caso de fugas o pérdidas en el ducto.

3.3. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS SITUACIONES DE VENTILACIÓN ACTUAL Y PROPUESTA ARTIFICIALMENTE.

3.3.1. Representación gráfica del sistema de ventilación propuesto

Con la caída de presión del ducto, además de los caudales calculados previamente se puede generar una serie de gráficos donde se ve el comportamiento de ambos parámetros en un sistema cartesiano. La ecuación que rige este comportamiento parabólico es la siguiente

$$H = R * Q^2$$

A lo largo del trabajo se ha dejado ya estipulado que H representa la caída de presión del sistema y Q el caudal, R vendría siendo la resistencia total que presenta la galería o el ducto al paso del aire, este valor varía según las condiciones propias del sistema.

Esta ecuación, en el sistema definido nos representa a una parábola que pasa por el origen. En general, cuanto mayor es la resistencia R, más vertical será la parábola y, por consecuencia, para un mismo caudal Q, mayor será la caída de presión H, como puede apreciarse en la siguiente figura 3.12.

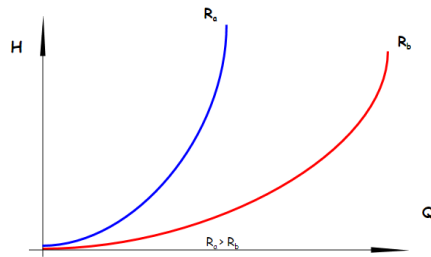


Figura 3.12: Representación gráfica de la resistencia, en la cual interactúa el caudal vs caída de presión.

Fuente: YANES, Exequiel. Ventilación de minas. vol.1. serie: Formación de expertos en seguridad minera. SERNAGEOMIN.

La siguiente tabla contiene los datos de caudal y caída de presión en función a la ecuación general de la ventilación. En primer lugar se muestra la tabla correspondiente al caudal y caída de presión que transitan el ducto de ventilación artificial.

Antes debió ser calculada R, para ello se aplica un despeje simple al tener los datos ya señalados.

$$H = R * Q^2$$

$$439,7 \text{ (Pa)} = R * 25^2 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$R = 439,7 \text{ Pa} / 25^2 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$R = 0,7 \text{ Pa/ (m}^3\text{/s)}$$

Con este valor de R se obtuvieron los siguientes puntos reemplazando los valores de Q.

Tabla 3.15:Caudal

Caudal (m ³ /s)	0	10	15	20	25	35	40	45	50
Caída de Presión (Pa)	0	72	162	288	450	882	1152	1458	1800

Fuente: Elaboración propia

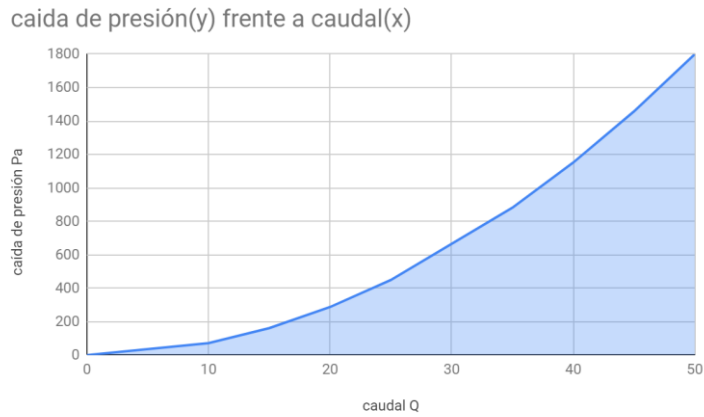


Figura 3.13: Gráfica del caudal

Fuente: elaboración propia

En esta situación planteada con el ventilador Zvn 1-12-37-4 se observa una curva no tan inclinada, debido a la baja resistencia que presenta el sistema, el diseño simple de un ciego sin cambios en la dirección del flujo permiten tener este tipo de comportamientos del fluido.

3.3.2. Representación gráfica de la situación sin ventilación auxiliar

Para obtener los datos de la tabla y posterior representación gráfica, también se debió llevar a cabo el despeje de la resistencia total, en este caso los valores de caudal son muy diferentes a los que presentó el circuito artificial, principalmente debido al área de mayor dimensión.

$$H = R * Q^2$$

$$1,65 \text{ (Pa)} = R * 16,26^2 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$R = 1,65 \text{ (Pa)} / (16,26^2 \text{ (m}^3\text{/s)})$$

$$R = 0,006 \text{ Pa/(m}^3\text{/s)}$$

Tabla 3.16: Caudal II

Caudal (m³/s)	0	4	8	10	16,26	20	30	45	50
C. de presión (Pa)	0	0,096	0,33	0,6	1,65	2,4	5,4	12,15	15

Fuente: Elaboración propia

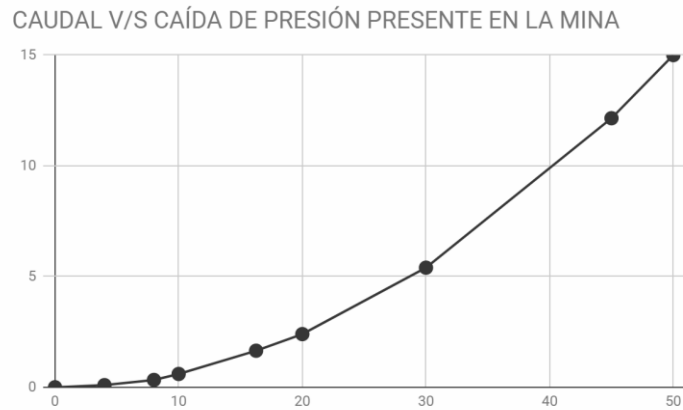


Figura 3.14: Gráfica de Caudal V/S Caída de presión

Fuente: Elaboración propia

Al analizar la gráfica del comportamiento del fluido en la mina sin ventilación artificial inmediatamente se aprecia una inclinación baja, que tiende a la recta, resultado de la baja resistencia que presenta la labor principal de la mina, sin bifurcaciones ni obstáculos que impidan el suministro constante del aire. La situación resultaría ideal si el aire entrante tuviera una mayor velocidad, pero por la orientación de la bocamina principalmente es que no logra entrar una corriente superior a $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$, eso sumado a las faltas a la normativa minera, hacen obligatorio el uso de ventilación artificial.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La ventilación como sub-operación minera destaca del resto por su carácter vital, en cada minuto tiene una interacción con el organismo de los trabajadores que desarrollan sus funciones en el interior de una mina subterránea, tiene incidencia en la vida útil de los equipos y a su vez controla los aspectos ambientales que dan un entorno óptimo para desarrollar las funciones específicas de trabajadores y equipos. Bajo este concepto de “sub-operación vital” es que se desarrolló este proyecto en busca de entregar una solución práctica a un problema específico, que surge en una falange de esta industria como lo es la pequeña minería.

Los objetivos e hipótesis generados en un inicio fueron cumplidos, ya que, en primer lugar se entregó información a rasgos generales sobre la ventilación para de esta forma el lector pueda entender los conceptos básicos que abarca el tema, ya con la información captada, se procedió a la experimentación y cálculo de los parámetros ventilatorios que posee actualmente la mina, se determinó el caudal presente $16,74 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual circula en la mina Blanco III de manera natural. Posterior a esto, se calcula según las exigencias del Decreto Supremo 132/2002 del Ministerio de Minería, las necesidades y requerimientos que debe poseer el caudal necesario para efectuar la correcta ventilación de la faena, este caudal corresponde a $23,75 \text{ m}^3/\text{s}$. Es a partir de esta cifra que queda claramente el déficit de aire que posee la mina y por ende la mina Blanco III, situada en la comuna de Los Vilos, requiere de un sistema de ventilación auxiliar.

Se concluyó y se recomienda que para la mina Blanco III agregar un ventilador de flujo axial, en este caso el modelo Zitron ZVN 1-12-37/4, el cual puede suministrar el caudal de $25 \text{ m}^3/\text{s}$, esto resulta óptimo al tener un porcentaje más alto que el requerido $23,75 \text{ m}^3/\text{s}$, además al tener el resguardo de un margen de seguridad del 4% ($0,95 \text{ m}^3/\text{s}$) en la eventualidad de alguna falla, con esto resulta un caudal requerido por la mina de $24,7 \text{ m}^3/\text{s}$, ante esta necesidad el ventilador propuesto cumple, también, se debe agregar a la recomendación un ducto flexible reforzado el cual es apto para aplicar el sistema impelente, además debe tener 1200 mm de diámetro y 50 m de largo y debe soportar la caída de presión de 439,7 (Pa). Otro aspecto importante comprobado fue el análisis del desplazamiento de un caudal de aire a través del ducto propuesto y por las paredes de la mina, el efecto producido por el cambio de área de contacto afecta de una forma exponencial a la caída de presión y la resistencia correspondiente, esto se evidenció al desarrollar las gráficas correspondientes. Cabe mencionar que este

sistema de ventilación auxiliar propuesto es más práctico frente a un sistema natural, por la complejidad técnica de diseñar una chimenea de ventilación.

BIBLIOGRAFÍA

YANES, Exequiel. Ventilación de minas. vol.1. serie: Formación de expertos en seguridad minera. SERNAGEOMIN.

MINISTERIO DE MINERÍA, Reglamento de seguridad minera. Decreto supremo, N°132. Publicado en el diario oficial el 07 de febrero de 2004.

MINISTERIO DE SALUD, Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo, Decreto supremo, N°594. Publicado en el diario oficial el 29 de abril de 2000

Iñigo Medrano. 2014. características físicas y técnicas de la mina. En Proyecto de explotación mina blanco 3(6-15). los vilos: servicio nacional de minería y geología.

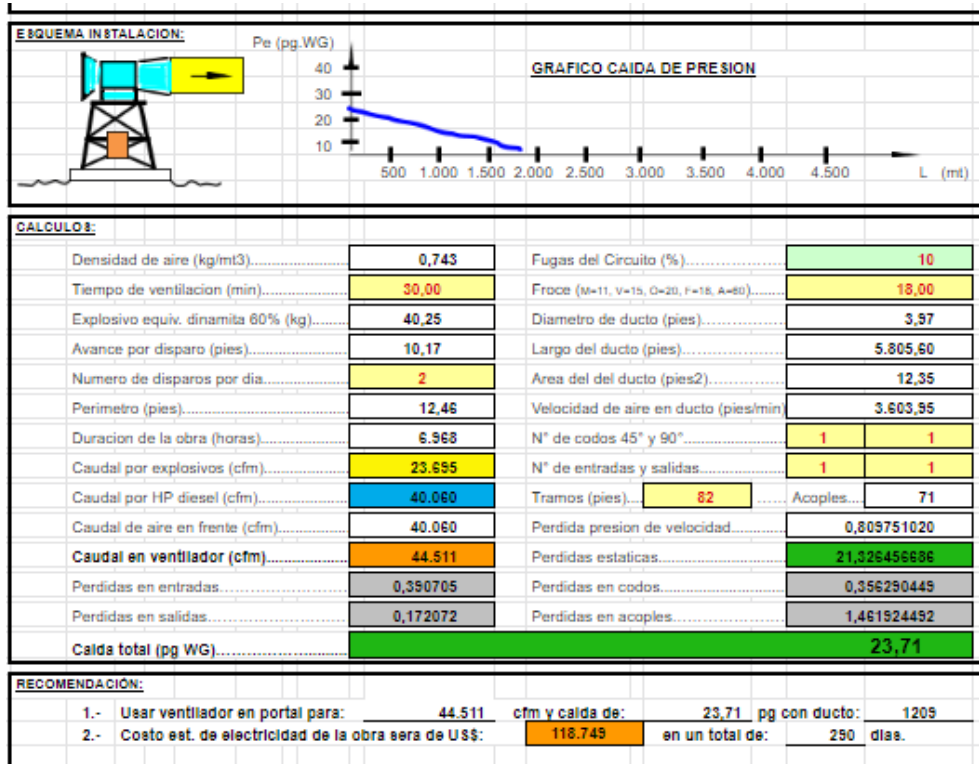
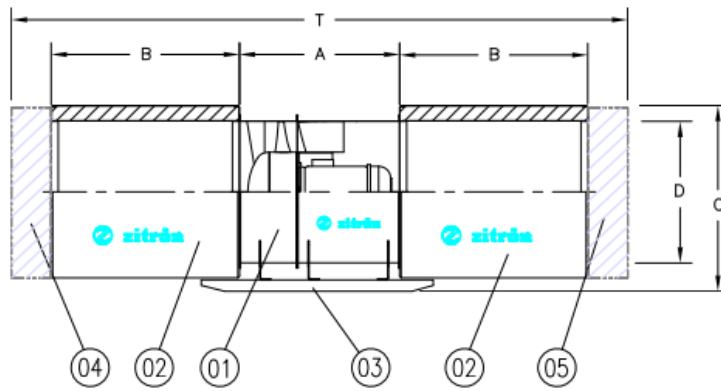
Carlos López Jimeno. 2011. Ventilación. Manual de túneles y obras subterráneas . Barcelona: ingeniería de tuneles.

Mirko Corvalán y Diego Lopez. (2016). metodología de un proyecto para ser presentado ante sernageomin. En metodología de Ventilación Auxiliar para Desarrollos Ciegos. Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.

ANEXOS

ANEXO I:

Detalles de un ventilador y ejemplo de ficha de selección.



ANEXO II

Normativas mineras:

En minería y como en todo lugar de trabajo los peligros que envuelven a rubro son inminente, estos muchas veces no están contemplados por la empresa, ya sea por una desinformación de los riesgos o el simple hecho de no tomar conciencia de ello, es a partir de ello y como una medida de mitigación, existe el Decreto Supremo 594 y el Decreto Supremo 132, ambos con la misión primordial de entregar la información necesaria para establecer las condiciones ambientales y sanitarias básicas para que los trabajadores puedan desempeñar las actividades de manera fructífera y segura. A continuación, se presentarán los decretos y sus respectivos artículos que tienen incidencia en el tema de seguridad laboral y ventilación minera:

- a) Decreto Supremo N°132/2002 Ministerio de Minería: Reglamento de seguridad minera

El siguiente reglamento tiene el propósito de establecer un marco regulatorio aplicable para las faenas industriales de extracción minera, con el objetivo de proteger la integridad de las personas que efectúen actividades en dicho trabajo, también, proteger las instalaciones y maquinaria que son parte de la faena. A continuación, se presentan los distintos artículos ligados al proceso de ventilación:

TITULO I

Capítulo I: De las obligaciones de las empresas.

Artículo 32: Será deber de la Empresa Minera, proporcionar en forma gratuita a sus trabajadores los elementos de protección personal adecuados a la función que desempeñen, debidamente certificados por un organismo competente. Las empresas mineras deberán efectuar estudios de las reales necesidades de elementos de protección personal para cada ocupación y puesto de trabajo, en relación a los riesgos efectivos a que estén expuestos los trabajadores. Además, deberán disponer de normas relativas a la adquisición, entrega, uso, mantención, reposición y motivación de tales elementos. Las líneas de mando de las empresas deberán incorporar en sus programas la revisión periódica del estado de los elementos de protección personal y verificar su uso por parte de los trabajadores, quienes están obligados a cumplir las exigencias establecidas en el reglamento interno de la empresa, en lo concerniente al uso de dichos elementos.

TITULO III:

Explotación de minas subterráneas

Capítulo III: Maquinaria accionada mediante combustible

Artículo 129: Se prohíbe usar en minas subterráneas, vehículos o equipos accionados por motores bencineros. Se permitirá el uso de vehículos o equipos automotores accionados por gas licuado o natural, siempre que cuenten con la aprobación de las autoridades nacionales competentes, debiendo contar con un sistema de seguridad que detecte fugas de combustible y un sistema incorporado contra incendio.

Los vehículos o equipos accionados por gas licuado o natural solo podrán estacionarse en lugares especialmente ventilados que faciliten la no-acumulación de gas por fugas de combustible.

También se permite, en general, el uso de máquinas y equipos automotrices diesel. Para que ellos trabajen en interior mina, deberán ser diseñados y acondicionados específicamente para este propósito. Los gases de escape de estos equipos deberán ser purificados y/o reducidos antes de ser descargados al ambiente.

Artículo 131: El combustible diesel usado por las máquinas debe tener un punto de inflamación mayor de cincuenta y cinco grados (55°) centígrados y no debe contener más de uno por ciento (1%) de azufre en peso. La temperatura de los gases de escape no debe ser mayor de ochenta y cinco grados (85°) centígrados.

Artículo 132: En los frentes de trabajo donde se utilice maquinaria diesel deberá proveerse un incremento de la ventilación necesaria para una óptima operación del equipo y mantener una buena dilución de gases. El caudal de aire necesario por máquina debe ser el especificado por el fabricante. Si no existiese tal especificación, el aire mínimo será de dos coma ochenta y tres metros cúbicos por minuto (2,83 m³/min.), por caballo de fuerza efectivo al freno, para máquinas en buenas condiciones de mantención.

El caudal de aire necesario para la ventilación de las máquinas diesel debe ser confrontado con el aire requerido para el control de otros contaminantes y decidir su aporte al total del aire de inyección de la mina. De todas maneras, siempre al caudal requerido por equipos diesel, debe ser agregado el caudal de aire calculado según el número de personas trabajando.

Artículo 133: En el interior de la mina donde trabajan máquinas diesel se deberá evaluar y registrar lo siguiente:

Las concentraciones en el ambiente de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno (NO+NO₂), dióxido de nitrógeno y aldehídos.

La calidad del aire estará dada por los efectos sumados de todos los gases presentes. Se recomienda efectuar estas mediciones, a lo menos una vez por semana o cuando las condiciones ambientales lo aconsejen. En áreas o labores que se consideran críticas, se deberá disponer de sensores y alarmas que alerten a los trabajadores cuando las concentraciones excedan los valores permitidos.

Periódicamente a intervalos que no excedan de un mes, en el tubo de escape de la maquinaria diesel, las emisiones de monóxido de carbono, y óxido de nitrógeno.

Capítulo IV: Ventilación

Artículo 137: En toda mina subterránea se deberá disponer de circuitos de ventilación, ya sea natural o forzado a objeto de mantener un suministro permanente de aire fresco y retorno del aire viciado.

Artículo 138: En todos los lugares de la mina, donde acceda personal, el ambiente deberá ventilarse por medio de una corriente de aire fresco, de no menos de tres metros cúbicos por minuto (3 m³/min) por persona, en cualquier sitio del interior de la mina.

Dicho caudal será regulado tomando en consideración el número de trabajadores, la extensión de las labores, el tipo de maquinaria de combustión interna, las emanaciones naturales de las minas y las secciones de las galerías.

Las velocidades, como promedio, no podrán ser mayores de ciento cincuenta metros por minuto (150 m/min.), ni inferiores a quince metros por minuto (15 m/min.).

Artículo 141: En las galerías en desarrollo donde se use ventilación auxiliar, el extremo de la tubería no deberá estar a más de treinta metros (30m) de la frente.

Para distancias mayores se deberá usar sopladores, venturi o ventiladores adicionales, tanto para hacer llegar el aire del ducto a la frente (sistema impelente) como para hacer llegar los gases y polvo al ducto (sistema aspirante).

Artículo 142: La ventilación se hará por medios que aseguren en todo momento la cantidad y calidad necesaria de aire para el personal.

Artículo 146: En las frentes de reconocimiento o desarrollo en donde, por encontrarse a una distancia tal de la corriente ventiladora principal, la aireación de dichos sitios se haga lenta, deberán emplearse tubos ventiladores u otros medios auxiliares adecuados a fin de que se produzca la renovación continua del ambiente.

Artículo 147: Toda corriente de aire viciado que pudiera perjudicar la salud o la seguridad de los trabajadores, será cuidadosamente desviada de las faenas o de las vías destinadas al tránsito normal de las personas.

No se permitirá el uso de aire viciado para ventilar frentes en explotación.

Artículo 149: Todo ventilador principal debe estar provisto de un sistema de alarma que alerte de una detención imprevista.

Artículo 150: Los ventiladores, puertas de regulación de caudales, medidores, sistemas de control y otros, deberán estar sujeto a un riguroso plan de mantención, llevándose los respectivos registros.

Artículo 151: Todos los colectores de polvo, sistemas de ductos y captaciones en general, deberán ser sometidos, a lo menos cada tres meses, a un riguroso plan de mantención y control de eficiencia de los sistemas.

b) Decreto Supremo 594/1999/MINSAL: Reglamento sobre las condiciones ambientales y sanitarias básicas en los lugares de trabajo

El decreto supremo 594, es definido como un reglamento quien tiene por objetivo establecer las condiciones ambientales y sanitarias básicas que deben poseer cualquier lugar de trabajo, a su vez, consta con los distintos límites permisibles de exposición ambiental a agentes químicos, físicos y biológicos. A continuación, se encuentran los artículos ligados a temas de ventilación:

Título III:

De las condiciones Ambientales

Párrafo I: De la ventilación

Artículo 32 Todo lugar de trabajo deberá mantener, por medios naturales o artificiales, una ventilación que contribuya a proporcionar condiciones ambientales confortables y que no causen molestias o perjudiquen la salud del trabajador.

Artículo 33: Cuando existan agentes definidos de contaminación ambiental que pudieran ser perjudiciales para la salud del trabajador, tales como aerosoles, humos, gases, vapores u otras emanaciones nocivas, se deberá captar los contaminantes

desprendidos en su origen e impedir su dispersión por el local de trabajo. Con todo, cualquiera sea el procedimiento de ventilación empleado se deberá evitar que la concentración ambiental de tales contaminantes dentro del recinto de trabajo exceda los límites permisibles vigentes.

Artículo 34: Los locales de trabajo se diseñarán de forma que por cada trabajador se provea un volumen de 10 metros cúbicos, como mínimo, salvo que se justifique una renovación adecuada del aire por medios mecánicos. En este caso deberán recibir aire fresco y limpio a razón de 20 metros cúbicos por hora y por persona o una cantidad tal que provean 6 cambios por hora, como mínimo, pudiéndose alcanzar hasta los 60 cambios por hora, según sean las condiciones ambientales existentes, o en razón de la magnitud de la concentración de los contaminantes.

Artículo 35: Los sistemas de ventilación empleados deberán proveer aberturas convenientemente distribuidas que permitan la entrada de aire fresco en reemplazo del extraído. La circulación del aire estará condicionada de tal modo que en las áreas ocupadas por los trabajadores la velocidad no exceda de un metro por segundo.

