

	<b>GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS</b>		<b>CÓDIGO</b>	FO-GS-15	
			<b>VERSIÓN</b>	02	
	<b>ESQUEMA HOJA DE RESUMEN</b>			<b>FECHA</b>	03/04/2017
				<b>PÁGINA</b>	1 de 80
<b>ELABORO</b>		<b>REVISÓ</b>		<b>APROBÓ</b>	
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad		Líder de Calidad	

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S): SAIDA MILENA APELLIDOS: VILLAMIZAR VILLAMIZAR

FACULTAD: INGENIERIAS

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA DE MINAS

DIRECTOR: CARLOS HUMBERTO APELLIDOS: ACEVEDO PEÑALOZA

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): EVALUACIÓN Y SIMULACIÓN CON EL SOFTWARE VENTSIM  
DESIGN DEL SISTEMA AUXILIAR DE VENTILACIÓN PARA INDUSTRIA MINERA EL  
SILENCIO LTDA

#### RESUMEN

Industria minera El Silencio LTDA, se ubica en la vereda Valegra, corregimiento de San Bernardo de Bata, municipio de Toledo, en el sur Oriente del departamento Norte De Santander. En esta mina se extrae carbón, mediante explotación y excavación. Se han desarrollado cerca de 4900 m en tunelería, entre niveles y superficie, generando un sistema de ventilación natural y auxiliar. Se ha realizado una evaluación del sistema actual, integrando el uso de herramientas avanzadas de simulación computacional con análisis teórico y experimental, desarrollándolo en tres etapas: diagnóstico, simulación y recomendaciones. En el diagnóstico se determina el estado actual de la ventilación con mediciones en campo de flujo de aire, condiciones ambientales y de operación de los ventiladores auxiliares. Para la simulación se utiliza el software Ventsim™ Design para modelar los circuitos de ventilación y por último se emiten las recomendaciones pertinentes que ayuden a mejorar el actual sistema de ventilación.

PALABRAS CLAVES: Ventilación auxiliar, simulación, minería.

PÁGINAS: 80 PLANOS: 1 ILUSTRACIONES: 26 CD ROOM:

EVALUACIÓN Y SIMULACIÓN CON EL SOFTWARE VENTSIM DESIGN DEL SISTEMA  
AUXILIAR DE VENTILACIÓN PARA INDUSTRIA MINERA EL SILENCIO LTDA

SAIDA MILENA VILLAMIZAR VILLAMIZAR

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE MINAS

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2021

EVALUACIÓN Y SIMULACIÓN CON EL SOFTWARE VENTSIM DESIGN DEL SISTEMA  
AUXILIAR DE VENTILACIÓN PARA INDUSTRIA MINERA EL SILENCIO LTDA

SAIDA MILENA VILLAMIZAR VILLAMIZAR

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero de Minas

Director

Ph.D. CARLOS HUMBERTO ACEVEDO PEÑALOZA  
Ingeniero mecánico

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE MINAS

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2021

**ACTA DE SUSTENTACION DE UN TRABAJO DE GRADO**

FECHA: Cúcuta, 21 de diciembre de 2021 HORA: 11:00 a.m.

LUGAR: TICS ZOOM

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA DE MINAS

TITULO DE LA TESIS: "EVALUACIÓN Y SIMULACIÓN CON EL SOFTWARE VENTSIM DESIGN DEL SISTEMA AUXILIAR DE VENTILACIÓN PARA INDUSTRIA MINERA EL SILENCIO LTDA"

**JURADOS:** Ing. YESID CASTRO DUQUE ENTIDAD: U. F. P. S.  
Ing. EGDY HERNANDO FLOREZ CARRASCAL ENTIDAD: U. F. P. S.  
Lic. ALBERTO SARMIENTO CASTRO ENTIDAD: U. F. P. S.

**DIRECTOR:** Ing. CARLOS HUMBERTO ACEVEDO PEÑALOZA

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTE	CODIGO	CALIFICACIÓN		(A) (M) (L)
		NUMERO	LETRA	
SAIDA MILENA VILLAMIZAR V.	1180827	3.5	TRES, CINCO	APROBADA

OBSERVACIONES:

FIRMA DE LOS JURADOS:



Vº. Bº.

**COORDINADOR COMITÉ CURRIGULAR**

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Introducción	13
1. Problema	14
1.1. Título	14
1.2.Planteamiento del problema	14
1.2.1.Formulación del problema	16
1.3. Justificación	16
1.4. Objetivos	17
1.4.1. Objetivo general	17
1.4.2.Objetivos específicos	17
2. Marco referencial	18
2.1. Antecedentes	18
2.2.Marco Teórico	20
2.2.1. Ventilación en minas	20
2.2.2. Necesidad de la ventilación	21
2.2.3. Métodos de ventilación en minas subterráneas	21
2.2.3.1. Ventilación natural	22
2.2.3.2. Ventilación auxiliar o mecánica	23
2.2.4. Calidad del aire	23
2.2.5. Requerimientos de aire	24
2.2.5.1. Requerimientos por número de personas	25
2.2.5.2. Requerimientos por maquinaria	26

2.2.5.3. Requerimientos por humus de voladuras	26
2.2.5.4. Cantidad de aire total	27
2.2.6. Temperatura	27
2.2.6.1. Temperatura efectiva	27
2.2.6.2. Temperatura bulbo húmedo	28
2.2.6.3. Temperatura bulbo seco	28
2.2.7. Resistencia de la mina	29
2.2.7.1. Resistencia regulada	29
2.2.7.2. Resistencia Singular	30
2.2.7.3. Resistencia equivalente	30
2.2.7.4. Curva característica de la mina	30
2.2.8. Ventiladores	31
2.2.8.1. Clasificación	32
2.2.8.2. Curva característica ventiladores	34
2.2.8.3. Leyes de los ventiladores	35
2.3. Marco conceptual	36
2.4. Marco contextual	36
2.4.1. Generalidades	36
2.4.1.1. Identificación	36
2.4.1.2. Misión	37
2.4.1.3. Visión	37
2.4.1.4. Objetivo principal de la empresa	37
2.4.1.5. Localización	37

2.4.1.6. Vías de acceso	38
2.4.2. Geología local	38
2.4.2.1. Estratigrafía	38
2.4.3. Labores actuales	41
2.4.3.1. Labores de desarrollo	41
2.4.3.2. Labores de preparación	42
2.4.3.3. Labores de explotación	42
2.4.3.4. Labores de exploración	42
2.4.4. Infraestructura	42
2.4.4.1. Mano de obra	44
2.4.4.2. Maquinaria y equipo	45
2.5. Marco Legal	45
3. Diseño metodológico	46
3.1. Tipo de investigación	46
3.2. Universo y Muestra	46
3.3. Instrumentos para la recolección de datos	46
3.4. Etapa y desarrollo de las actividades	46
3.5. Tabulación y análisis de los resultados	47
3.6. Técnicas de análisis y procedimientos de la información	47
4. Aplicación y resultados de la simulación en el software Ventsim el sistema auxiliar de ventilación	48
4.1. Circuito actual de ventilación	48

4.2. Método de ventilación	49
4.3. Características relevantes sistema de ventilación	48
4.3.1. Ductos de ventilación	48
4.3.2. Ventiladores	50
4.4. Equipos de medición	51
4.4.1. Para datos de ventilación	51
4.4.2. Para datos de gas contaminante	52
4.5. Proceso de medición	53
4.6. Aforos	53
4.7. Gases presentes en la mina	55
4.8. Requerimientos de aire	55
4.8.1. Equipos diésel	55
4.8.2. Personal en la mina	56
4.8.3. Consumo de explosivos	57
4.8.4. Caudal total	58
5. Modelamiento por medio de VENTSIM	58
5.1. ¿Qué es?	58
5.2. Método	59
5.3. Modelamiento	59
6. Conclusiones	65
7. Recomendaciones	67
Referencias Bibliográficas	68
Anexos	71

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Valor límite permisible gases	24
Tabla 2. Requerimientos mínimos de aire	25
Tabla 3. Tiempos de permanencia en frentes de trabajo	29
Tabla 4. Leyes de los ventiladores	35
Tabla 5. Coordenadas	38
Tabla 6. Personal industria minera el Silencio	44
Tabla 7. Maquinaria industria mineral el Silencio	45
Tabla 8. Ventilación industria minera el Silencio	50
Tabla 9. Rangos de medición Termohigroanemometro	51
Tabla 10. Multidetectores de gases industria minera el Silencio	52
Tabla 11. Resumen de aforos	54
Tabla 12. Resumen de gases	55
Tabla 13. Requerimientos de aire por maquinaria	56
Tabla 14. Requerimientos según personal	57
Tabla 15. Requerimientos por humus de voladuras	57
Tabla 16. Requerimiento total de aire industria minera el Silencio	58

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Curva característica de la mina	31
Figura 2. Ventiladores de propela, Duct fan y tubular	32
Figura 3. Ventilador Centrifugo	33
Figura 4. Tipos de rodetes ventiladores centrífugos	33
Figura 5. Curva característica de un ventilador	34
Figura 6. Plano localizado mina el Silencio	37
Figura 7. Almacén	43
Figura 8. Oficinas	43
Figura 9. Sala de reuniones	44
Figura 10. Ducto de Ventilación acoplado	49
Figura 11. Ventilador Centrifugo mina el Silencio	50
Figura 12. Termohigroanemometro Dwyer 473 B	51
Figura 13. Multidetector de gases MX4 Ventis	52
Figura 14. Fechas de calibración medidores de gas	53
Figura 15. Bocamina de transporte	54
Figura 16. Personal Mina el Silencio	56
Figura 17. Modelamiento ventilación natural	59
Figura 18. Modelamiento sección inicial ventilación natural	60
Figura 19. Modelamiento sección final ventilación natural	60
Figura 20. Modelado con ventilación auxiliar y natural	61

Figura 21. Modelado sección inicial ventilación auxiliar y natural	61
Figura 22. Modelado sección final ventilación auxiliar y natural	62
Figura 23. Resultado modelamiento ventilación natural	63
Figura 24. Resultados modelado ventilación auxiliar y natural	63
Figura 25. Grafico Resistencia de la mina ventilación natural	64
Figura 26. Grafico Resistencia de la mina ventilación auxiliar y natural	64

**Lista de Anexos**

	<b>Pág.</b>
Anexo 1. Plano isométrico sistema de ventilación mina el Silencio	72
Anexo 2. Planilla de datos motor de ventilación	73
Anexo 3. Multidetector de gases	74
Anexo 4. Tabla de aforos Industria minera el Silencio	76
Anexo 5. Requerimiento de aire por maquinaria	79
Anexo 6. Licencia de funcionamiento VentSim	80

## Introducción

El aire puro contribuye considerablemente a la desintoxicación y relajación del cuerpo, lo cual propicia una mejor calidad de vida. En una mina subterránea, es de vital importancia respirar un aire de calidad, que garantice la seguridad de los trabajadores y el rendimiento de los equipos.

El presente proyecto, está centrado en la necesidad de evaluar el actual sistema auxiliar de ventilación de Industria Minera El Silencio, donde se verificara con la ayuda del software Vetsim™ que el flujo de aire sea el requerido.

El estudio se llevara a cabo en el área del contrato de aporte 193T, se ubica en la vereda Valegra, corregimiento de San Bernardo de Bata, municipio de Toledo, en el sur Oriente del departamento Norte De Santander, donde se determinaran los parámetros técnicos y ambientales que garanticen la seguridad y rendimiento en el trabajo.

El diagnostico comprenderá de diferentes etapas, inicialmente me apoyare en un Plan de Ventilación realizado por industria minera el Silencio, en el año 2020, donde expone las condiciones operativas, generalidades como; localización, geología local, labores actuales y sistema de ventilación.

Seguidamente, tomare mis propios datos de entrada los cuales consisten en el inventario de ventiladores y equipos diésel, plan de producción, personal total en la mina, aforos, planos y cualquier otro dato relevante que aporte a mi estudio.

Los datos obtenidos en el sistema de ventilación, se analizaran en el software. Donde se concluirá si es apto o se deberán hacer mejoras para aumentar su desempeño.

## **1. Problema**

### **1.1. Título**

EVALUACIÓN Y SIMULACIÓN CON EL SOFTWARE VENTSIM™ DESIGN DEL SISTEMA AUXILIAR DE VENTILACIÓN PARA INDUSTRIA MINERA EL SILENCIO LTDA.

### **1.2. Planteamiento del problema**

El sistema de ventilación en minas, es indispensable para garantizar un volumen mínimo de oxígeno en la atmósfera, permitiendo la respiración de las personas que trabajan en su interior y el buen funcionamiento de sus equipos, ya que de ella se desprenden diferentes tipos de gases conforme el tipo de roca y la maquinaria empleada. En su mayoría, estos gases pueden ser tóxicos y/o explosivos por lo cual se hace necesario difuminarlos de forma rápida y efectiva.

La atmósfera de una mina debe tener una composición, temperatura, grado de humedad, entre otros, óptimos para desarrollar una labor con seguridad, salud y que se obtengan altos rendimientos de los trabajadores.

En el Silencio, mina donde se ejecutara la investigación se busca analizar todas las variables que afectan la atmosfera subterránea y determinar los parámetros que intervienen en la contaminación del aire.

La problemática principal que me motivo a realizar este este proyecto, surge de una necesidad, a raíz de un accidente mortal que se produjo el día 10 de mayo del 2019, cuando realizaba mis prácticas profesionales. Debido a este fatal incidente la Agencia Nacional de Minería (ANM), emitió un comunicado donde exigía mejorar el sistema de ventilación en la mina.

Algunos de los problemas encontrados al interior de la mina eran los siguientes:

- Mala ubicación de los ventiladores
- Las labores abandonadas no estaban hermetizadas como el decreto 1886 lo exige.
- El flujo de aire que llegaba a la labores no era el requerido.

La problemática de este yacimiento minero es la informalidad; consecuentemente la explotación es en forma semi mecanizada y artesanalmente, siendo su limitante la profundización de sus galerías, chimeneas y trabajos de explotación debido a que no cuentan con sistemas de ventilación adecuadas.

Para dar cumplimiento al título II, capítulo 1, artículo 35 del decreto 1886 del 21 de septiembre de 2015, correspondiente a la ventilación en labores mineras subterráneas, INDUSTRIA MINERA EL SILENCIO LTDA, realizó el diseño de un Plan de Ventilación Auxiliar, perteneciente al contrato de concesión 193T, teniendo en cuenta las recomendaciones por la ANM, las condiciones operativas de la mina y la ventilación natural, con el fin de proyectar la mejora del circuito de ventilación que logre llevar aire fresco a cada una de las labores activas, y así cumplir con los estándares de ventilación estipulados en el reglamento de seguridad para labores mineras subterráneas.

Gracias a esto se mejora la ventilación, incorporando cinco (5) ventiladores tipo centrífugo soplantes anti explosión de 3,5 hp, conectados a un ducto de 0.40 m de diámetro con una longitud de 50 m empleados para ventilar las labores de los mantos 10, 30 y 50, tomando el aire fresco de la superficie por medio de las guías 11 y 14 sobre el manto 30 que salen a superficie.

Dicho esto, surge la necesidad de evaluar el sistema de ventilación, que permita identificar si existen o no gases nocivos, correcta circulación del aire, tipo de humedad, ubicación y secuencia de la construcción de los sellos propuestos en cada área, entre otras características que estén acorde

a la normatividad vigente establecida por la constitución nacional en dicho decreto, y así presentar las recomendaciones pertinentes que contribuyan al mejoramiento del sistema de ventilación para obtener un mayor desempeño de los trabajadores y equipos.

### **1.2.1. Formulación del problema**

El problema anterior nos genera un interrogante el cual lo mencionamos a continuación:

¿Al el sistema auxiliar de ventilación de la Industria Minera el Silencio, permitiría mejorar el sistema de ventilación a través de un análisis por medio del software Ventsim Design?

### **1.3. Justificación**

La minería de nuestra región está viviendo cambios abruptos en la forma de operar y explotar, esto en gran medida a los nuevos y rigurosos códigos de seguridad y salud en el trabajo, que cada día hacen que las empresas tengan que cumplir estándares más altos de seguridad. Por lo tanto, el poder tener una base científica-experimental donde se evalúe el sistema de ventilación auxiliar actual es de suma importancia para Industria Minera el Silencio lo cual permitirá obtener beneficios, que redundan en una filosofía de mejoramiento continuo, una mayor rentabilidad operacional y un menor impacto ambiental proliferando la competitividad de la empresa.

El presente trabajo de investigación ejecutado en la Industria Minera el Silencio S.A.S, surge ante la necesidad de dar un aporte muy importante para el mejoramiento de ventilación y así lograr un ambiente seguro para los trabajadores en interior mina.

Al profundizar las labores se constata la deficiencia de ventilación, puesto que los ventiladores que se está usando no cumplen con lo requerido de acuerdo al número de personas, de equipos diésel, gases de voladura y a las altas temperaturas que existe en el lugar de trabajo.

Hay cuatro razones principales por las que se debe proveer ventilación en las labores en la mina:

- ✓ Proveer oxígeno para propósitos de respiración.
- ✓ Para diluir y remover gases nocivos presentes en mina.
- ✓ Para diluir y remover las concentraciones de polvo suspendido.
- ✓ Reducir las temperaturas en las labores presentes en la empresa.

De acuerdo a la reglamentación vigente Colombiana y el decreto 1886 de 2015 tiene por objeto establecer las normas mínimas para la prevención de los riesgos en las labores mineras subterráneas, así mismo adoptar los procedimientos para efectuar la inspección, vigilancia y control de todas las labores mineras subterráneas y las de superficie que estén relacionadas con estas, para la preservación de las condiciones de seguridad y salud en los lugares de trabajo en que se desarrollan tales labores.

Realizar una evaluación apoyándose por medio de un software como Ventsim, le dará un nivel de sofisticación, en materia de estudio, al sistema auxiliar actual de ventilación; y aún más importante, determinar si los ventiladores cumplen con las exigencias requeridas en la mina, que garantice la seguridad y bienestar de los trabajadores.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Evaluar y simular el sistema Auxiliar de ventilación de Industria Minera el Silencio, a través del software Ventsim Design, para mejorar el sistema de ventilación.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Identificar las condiciones de operación del actual sistema auxiliar de ventilación.

- Evaluar los aciertos y desaciertos del sistema auxiliar de ventilación en la operación de industria minera el Silencio.
- Simular a través del software Ventsim Design y generar las recomendaciones pertinentes para el mejoramiento del sistema de Ventilación.

## 2. Marco referencial

### 2.1. Antecedentes

Rueda, N., Toro, S., Zuleta, R. (2012, Septiembre). Optimización del sistema de ventilación en una mina de gran altura, Compañía Minera Raura. *Simposio de Ventilación Minera*. Universidad de Utah. Lima, Perú. Recuperado de [https://www.isaeng.com/wp-content/uploads/2016/04/Optimizacion\\_del\\_sistema\\_de\\_ventilacion\\_en\\_una\\_mina\\_de\\_gran.pdf](https://www.isaeng.com/wp-content/uploads/2016/04/Optimizacion_del_sistema_de_ventilacion_en_una_mina_de_gran.pdf)

Propusieron un plan de optimización del sistema que incluye: la redistribución por circuitos, desarrollo de chimeneas de hasta 4 m de diámetro por circuito y la redistribución y adquisición de ventiladores capaces de suministrar un caudal total aproximado de 700 m<sup>3</sup>/s. Este proyecto integro el uso de herramientas avanzadas de simulación computacional con análisis teórico y experimental y se desarrolla en tres etapas: diagnóstico, optimización e implementación. En el diagnóstico se determina el estado actual de la ventilación con mediciones en campo de flujo de aire, condiciones ambientales y de operación de los ventiladores.

En la optimización se evalúan las diferentes alternativas de redistribución del flujo y de la ubicación de las nuevas chimeneas y ventiladores. En estas dos etapas se utiliza el software Ventsim Visual Avanzado para la simulación de los circuitos de ventilación y complementando

con ANSYS CFX para la simulación de patrones complejos de flujo. La etapa de implementación se encuentra en desarrollo y se espera que termine a finales de 2012.

Carrascal, Buelvas, AA., Manzur Amel, CA (2014). *Evaluación y propuesta del mejoramiento de la ventilación para la mina “El Maracaibo” municipio de Samacá, departamento de Boyacá*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Calculo e identifico, la cantidad de aire requerido en la mina, perdida de cargas de las vías, producción abertura equivalente y personal dentro de la mina para realizar los cálculos requeridos en las mejoras de la ventilación. Estableciendo una red adecuada para mantener un circuito principal de ventilación definido que cumpla con las necesidades de la mina, proporcionando un ambiente seguro, saludable y en lo posible cómodo para los mineros esto se pudo lograr con un acondicionamiento del aire que circula a través de las diferentes labores subterráneas. Proponiendo a la mina MARACAIBO aumentar el área de las labores por donde circula la corriente de aire; así se disminuirá la resistencia de las vías y aumentará la abertura equivalente de la mina, lo que facilita la posibilidad de ventilar la mina con menor energía a un menor costo.

Viza, T. (2016), Diseño y simulación de red de ventilación con el software Ventsim Visual en la unidad minera San Rafael Minsur S.A. Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú. Recuperado de:  
[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3446/Viza\\_Torres\\_Ronald\\_Willian.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3446/Viza_Torres_Ronald_Willian.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Desarrolló el diseño y simulación red de ventilación efectiva con el software Ventsim visual cumpliendo la cobertura de aire con los equipos ventiladores en el proceso productivo de mina haciendo el uso del Software Ventsim Visual, donde el procedimiento de la metodología realizando toma de datos de campo con instrumento como el anemómetro y datos de gabinete ; luego se hizo un análisis del comportamiento de caudal de aire y se ha hecho una descripción del comportamiento del red de ventilación ; donde diagnostico un ingreso de aire 1 240 309 cfm con un requerimiento de 1 372 935 cfm que llegó a una cobertura de 90 %.

Castillo, D. (2017). Evaluación del sistema de ventilación de la mina el Roble. (Tesis de pregrado). Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. Sogamoso. Recuperado de <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1886/1/TGT-457.pdf>

Realiza una contextualización del proyecto minero El Roble en Carmen de Atrato – Chocó de la empresa Atico Mining Co, que incluye una geo- referenciación, tipo de explotación y características especiales de la misma, hasta llegar a la revisión del sistema de ventilación, conociendo el circuito que tiene la mina y realizando las mediciones y cálculos de caudales actuales de acuerdo con la explotación. Además determina los requerimientos de aire, los problemas de temperatura y contaminación por gases posteriores a los trabajos de voladuras, cargue y transporte de material. Establece así mismo las necesidades que permitan mejorar las condiciones de trabajo que se ve afectada por constantes paradas de un sistema ineficiente de ventilación, las cuales se dan por fallas y/o errores que de alguna manera en la solución generan no gasto sino inversión y proporciona una mejoría evidente en la producción para la compañía dando cumplimiento a los requerimientos legales y la normatividad vigente Colombiana.

## **2.2. Marco Teórico**

### **2.2.1. Ventilación de minas**

Para Positiva (2017), La ventilación de una mina consiste en el proceso de hacer pasar un flujo de aire considerable y necesario para crear las condiciones óptimas para que los trabajadores se encuentren en una atmósfera agradable, limpia y sin gases. La ventilación se realiza estableciendo un circuito para la circulación del aire a través de todas las labores. Para ello es indispensable que la mina tenga dos labores de acceso independientes: dos pozos, dos socavones, un pozo y un socavón.

En las labores que sólo tienen un acceso (por ejemplo, una galería en avance) es necesario ventilar con ayuda de una tubería. La tubería se coloca entre la entrada a la labor y el final de la labor. Esta ventilación se conoce como secundaria, diferente a la que recorre toda la mina que se conoce como principal (Positiva, 2017).

### **2.2.2. Necesidad de la ventilación**

Por recomendación de la guía de seguridad para ventilación de minas subterráneas Positiva (2017), Es necesario establecer una circulación de aire dentro de una mina subterránea:

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

### **2.2.3. Métodos de ventilación en minas subterráneas**

La ventilación en una mina subterránea es el proceso mediante el cual se hace circular por el interior de la misma el aire necesario para asegurar una atmósfera respirable y segura para el desarrollo de los trabajos, la ventilación se realiza estableciendo un circuito para la circulación del aire a través de todas las labores. Para ello es indispensable que la mina tenga dos labores de acceso independientes: dos pozos, dos socavones, un pozo y un socavón, en las labores que solo tienen un acceso por ejemplo (una galería en avance) es necesario ventilar con ayuda de una tubería se coloca entre la entrada a la labor y el final de la labor, esta ventilación se conoce como secundaria, en oposición a la que recorre toda la mina que se conoce como principal, los ventiladores son los responsables del movimiento del aire, tanto en la ventilación principal como en la secundaria. Generalmente los ventiladores principales se colocan en el exterior de la mina, en la superficie. (De la Cuadra, 1974).

### **2.2.3.1. Ventilación Natural**

Sistema de ventilación que tiene dos accesos, uno que funciona como entrada y el otro como salida del aire; se emplea en las labores mineras subterráneas, principalmente las localizadas en montañas, que se consigue por diferencia de cota, sin utilizar ninguna clase de equipo mecánico o eléctrico como ventiladores y extractores. La única fuerza natural que puede crear y mantener un flujo apreciable de aire es la energía térmica, debido a la diferencia de temperatura y presión barométrica que genera una diferencia de peso específico entre el aire saliente y entrante. La ventilación natural depende de la diferencia de elevación entre la superficie y las labores mineras subterráneas; la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la labor (a mayor diferencia, mayor presión y por lo tanto es mayor el flujo) (Positiva, 2017).

La ventilación natural es muy cambiante, depende de la época del año, incluso en algunos casos, de la noche y el día. Se denomina así porque el aire que recorre las labores mineras no es forzado ni se utilizan equipos para que el aire entre a la excavación minera.

Este tipo de ventilación, no es suficiente de acuerdo a lo establecido en el artículo 40 del decreto 1886 de (2015), “toda labor subterránea debe contar con un circuito de ventilación forzada”

### **2.2.3.2. Ventilación Auxiliar o Mecánica**

La ventilación mecánica es ocasionada por la presión que ejerce un ventilador sobre una masa de aire que envía o succiona aire y el cual 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 y en esto que la ventilación minera sea más cara o más económica respectivamente por tonelada de mineral extraído. (Zitron, 2007).

Es la ventilación secundaria y son aquellos sistemas que haciendo uso de ductos y ventiladores auxiliares, ventilan áreas restringidas de las minas subterráneas, empleando para ello los circuitos de alimentación fresco y de evaluación del aire viciado que le proporcione el sistema de ventilación general. El caudal de aire es la cantidad de aire que ingresa a la mina y que sirve para ventilar labores, cuya condición debe ser que el aire fluya de un modo constante y sin interrupciones, el movimiento de aire se produce cuando existe una alteración de equilibrio: diferencia de presiones entre la entrada y salida de un ducto, por causas naturales (gradiente térmica) o inducida por medios mecánicos. (Ramírez, 2005).

### **2.2.4. Calidad del aire**

Por calidad de aire podemos definir como la concentración de gases admisibles en el aire que circulan por la mina, todas las excavaciones subterráneas accesibles al personal deben estar recorridas de manera permanente por un volumen suficiente de aire, capaz de mantener limpia la atmósfera de trabajo para hacerla respirable (Córdoba & Molina, 2011).

En la atmósfera de cualquier sitio de trabajo bajo tierra, para una jornada de ocho horas de trabajo, el valor límite permisible (VLP) para los siguientes gases contaminantes, debe ser el que se reglamenta a continuación:

**Tabla 1**

*Valor límite permisible gases*

Nombre del gas contaminante	Formula química	Porcentaje en volumen (%)	Partes por millón (ppm)
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	0,5	5000
Monóxido de carbono	CO	0,0025	25
Ácido Sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	0,0015	15
Acido sulfuroso	SO <sub>2</sub>	0,001	10
Óxido Nítrico	NO	0,0035	35
Dióxido de nitrógeno	NO <sub>2</sub>	0,0005	5

Nota: Esta tabla muestra los límites permisibles dentro de una mina subterránea.

Fuente: (Protocolo Técnico para Visita de Fiscalización, Seguimiento y Control de Títulos para Explotaciones Subterráneas, 2010). Minminas.

Como lo dicta el decreto 1886 de (2015), Ningún lugar de trabajo, bajo tierra, debe ser considerado apropiado para trabajar o para pasar por él si su atmósfera contiene menos de diez y nueve por ciento (19%), en volumen de oxígeno (medido con oxigenómetro), ya que si se reacciona durante la voladura y no hay una adecuada ventilación puede llegar hacer mortal.

### **2.2.5. Requerimientos de aire**

La cantidad de aire requerido se refiere al caudal de aire limpio necesario para satisfacer las demandas generales de la mina. Los principales factores que afectan la demanda de aire son: personal, equipos diésel, humos de voladuras y temperatura efectiva. Es importante tener en cuenta que no es suficiente garantía ingresar el aire total que la mina necesita, se debe garantizar que este caudal de aire es limpio y llega a los diferentes niveles y frentes de trabajo (Positiva, 2017).

### 2.2.5.1. Requerimientos por número de personas

El volumen mínimo de aire que circule en las labores subterráneas, debe calcularse teniendo en cuenta el turno de mayor personal, la elevación de éstas sobre el nivel del mar, gases o vapores nocivos y gases explosivos e inflamables, cumpliéndose lo siguiente:

**Tabla 2**  
*Requerimientos mínimos de aire*

Excavación minera (msnm)	Caudal mínimo (m <sup>3</sup> /min) por trabajador
1500	3
3000	5
4000	6

Nota: La tabla muestra los requerimientos de aire mínimos al interior de una mina subterránea.

Fuente: Artículo 28 decreto 1335 de 1987. República de Colombia.

$$Q_n = q \times n$$

Ecuación 1

Donde:

$Q_n$ : Cantidad de aire necesario para el personal

$q$ : cantidad de aire mínimo por persona

$n$ : número de personas

### 2.2.5.2. Requerimiento por maquinaria

En las labores subterráneas donde haya tránsito de maquinaria diésel (locomotoras, transcargadores, etc.), debe haber el siguiente volumen de aire por contenido de CO en los gases de exósto. La norma colombiana en el decreto 1886 de 2015 especifica lo siguiente:

- a) Seis metros cúbicos  $6 \text{ m}^3$  por minuto por cada H. P. De la máquina, cuando el contenido de monóxido de carbono (CO) en los gases del exósto no sea superior a 0.12%.
- b) Cuatro  $4 \text{ m}^3$  por minuto por cada H. P. de la máquina cuando el contenido de monóxido de carbono (CO) en los gases del exósto no sea superior de 0.08%.

$$Q_E = KE$$

Ecuación 2

Donde:

$Q_E$ : caudal requerido equipo diésel ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

K: Cantidad de aire por cada hp

E: número de equipos diésel

### 2.2.5.3. Requerimiento por humos de voladuras

Las normas colombianas vigentes no hacen mención sobre la cantidad de aire necesaria para voladuras pero si sobre la velocidad admisible mínima de 0,5 m/s. La norma chilena recomienda la siguiente relación empírica.

$$Q_V = \frac{100Aa}{d t}$$

Ecuación 3

Donde:

$Q_V$ : caudal de aire ( $m^3/min$ )

A: cantidad de explosivo detonado equivalente a dinamita 60% (Kg)

a: Volumen de gases generados por cada kilogramo de explosivos =  $0,04 m^3/Kg$

d: porcentaje de dilución de los gases en la atmosfera varia de 0,008% a 0,01%

t = tiempo de dilución de los gases (min)

El valor de a se toma como norma general de la guía metodológica de proyectos de ventilación 2008, Chile.

#### **2.2.5.4. Cantidad de aire Total**

Se determina de la siguiente forma:

$$Q_T = Q_n + Q_E + Q_V$$

Ecuación 4

#### **2.2.6. Temperatura**

El artículo 33 no solo se limita al tema de ventilación, también se tiene en cuenta el tema de las temperaturas efectivas dentro de la mina que están estipuladas en el Título X del decreto antes mencionado, se seleccionarán puntos críticos de la mina donde se harán constantes seguimiento. Se considerara temperatura de bulbo seco, húmedo y efectiva. Las dos primeras serán medidas con un termohigroanemometro y se calculará la temperatura efectiva (Córdoba & Molina, 2011).

### 2.2.6.1. Temperatura efectiva ( $T_e$ )

Es un criterio que permite medir el nivel de bienestar a que está sometida una persona al momento de desempeñar su trabajo en un ambiente determinado. A su vez la permanencia de una persona en labores subterráneas, está limitada por este indicador (Córdoba & Molina, 2011).

### 2.2.6.2. Temperatura de bulbo húmedo ( $T_{bh}$ )

Es la temperatura que da un termómetro con el bulbo envuelto en algodón húmedo bajo una corriente de aire. La corriente de aire se produce mediante un pequeño ventilador o poniendo el termómetro en un molinete y haciéndolo girar. Al evaporarse el agua, absorbe calor, rebajando la temperatura, efecto que reflejará el termómetro. Cuanto menor sea la humedad relativa del ambiente, más rápidamente se evapora el agua que empapa el paño. Se utiliza para calcular la humedad relativa, esto se hace usando una carta psicométrica (Córdoba & Molina, 2011).

### 2.2.6.3. Temperatura de bulbo seco ( $T_{bs}$ )

Es la verdadera temperatura del aire húmedo y con frecuencia solo se le denomina temperatura del aire (Decreto 1335, 1987).

$$T_E = 0,3T_{bs} + 0,7T_{bh} - V$$

Ecuación 5

Donde:

$T_E$ = Temperatura efectiva en ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{bs}$ = Temperatura bulbo seco ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{bh}$ = Temperatura bulbo húmedo ( $^{\circ}\text{C}$ )

$V$ = velocidad de la corriente de aire (m/s)

Los tiempos de permanencia del personal en los frentes de trabajo, serán los siguientes:

**Tabla 3**

<i>Tiempos de permanencia en frentes de trabajo</i>	
T (°C)	Tiempo de permanencia (horas)
28	Sin limitaciones
29	Seis (6)
30	Cuatro (4)
31	Dos (2)
32	Cero (0)

Nota: La tabla muestra los tiempos de permanencia máximos de una persona dentro de una mina subterránea dependiendo de la temperatura.

Fuente: Decreto 1886 de 2015, Republica de Colombia

## **2.2.7. Resistencia de la mina**

### **2.2.7.1. Resistencia regulada**

La resistencia regulada, representa la oposición que las paredes, pisos y techos ejercen en el movimiento de aire a través de ellas. Esta depende de variables como la sección transversal, longitud y perímetro de la galería, coeficiente de frotamiento, aceleración de la gravedad y densidad del aire (que a su vez es función de la temperatura y presión atmosférica), de la siguiente manera:

$$R = \left(\frac{10^3}{8g}\right)\lambda g B \left(\frac{L}{S^3}\right)$$

Ecuación 6

Donde:

R: resistencia, murges ( $\mu$ )

g: gravedad ( $m/s^s$ )

$\lambda$ : coeficiente de frotación

g: densidad del aire ( $Kg/m^3$ )

B: perímetro de la sección de la galería (m)

L: longitud de la galería (m)

S: sección transversal de la galería ( $m^2$ )

### 2.2.7.2. Resistencia singular

Existe una resistencia adicional al paso de aire debido a puntos singulares tales como estrechamientos o ensanchamientos bruscos, cambios de dirección pronunciados, etc.; la cual se calcula de la siguiente manera:

$$R = 62,487 \frac{E}{S^2}$$

Ecuación 7

Donde:

R: resistencia, murges ( $\mu$ )

E: coeficiente de pérdida de carga singular

S: sección transversal de la galería ( $m^2$ )

### 2.2.7.3. Resistencia equivalente de la mina

La resistencia equivalente de la mina se obtiene luego de hacer la sumatoria total de las resistencias de cada tramo de la explotación. La sumatoria de este circuito debe hacerse de manera similar a los circuitos eléctricos, es decir usando circuitos en serie, paralelo y delta.

#### 2.2.7.4. Curva característica de la mina:

Tras obtener la resistencia equivalente de la mina, se procederá a realizar la curva característica de la mina. Dicha curva graficará caída de presión ( $\Delta x$ ) vs Caudal.

La caída de presión se calcula:

$$\Delta x = RQ^2$$

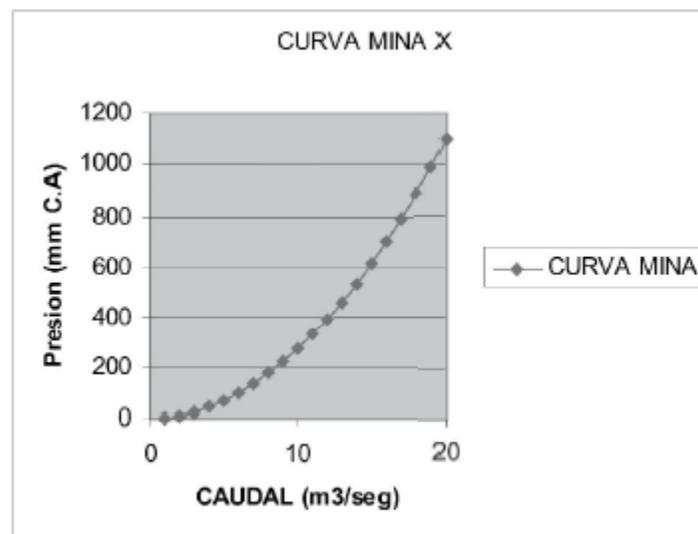
Ecuación 8

Donde:

$\Delta x$ : Caída de presión (mm de columna de Agua)

R: Resistencia equivalente de la mina (Murgues)

Q: Caudal ( $m^3/seg$ )



**Figura 1. Curva característica de una mina**

Fuente: Caracterización de sistemas de ventilación en minería subterránea (Córdoba & Molina) 2011.

#### 2.2.8. Ventiladores

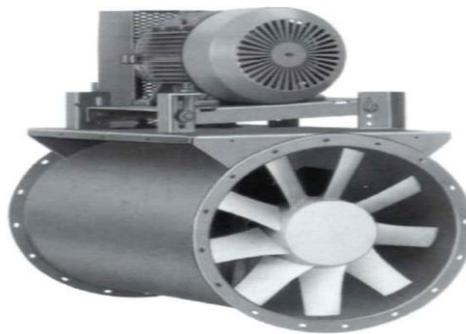
El ventilador es un equipo básico en instalaciones de ventilación y de acondicionamiento del aire, que recibe energía de un motor, y a su vez la suministra al aire. (Granados, 2011).

Los ventiladores son máquinas rotatorias capaces de mover una determinada masa de aire, a la que comunican una cierta presión, suficiente para que pueda vencer las pérdidas de carga que se producirán en la circulación por los conductos. Se componen de un elemento rotativo, un soporte y motor. (Soler & Paul, 2020).

### 2.2.8.1. Clasificación

Los ventiladores se clasifican en dos tipos básicos, atendiendo a la trayectoria que sigue el fluido al pasar por ellos: ventiladores axiales y ventiladores centrífugos. El axial puede ser del tipo propela, tubular, o de vanos y el centrífugo se fabrica con aletas curvadas hacia adelante, aletas curvadas hacia atrás, inclinadas hacia atrás, aletas radiales y aletas aerodinámicas. Estas son máquinas bastante diferentes y no es posible una comparación sistemática entre ellas (Soler & Paul, 2020).

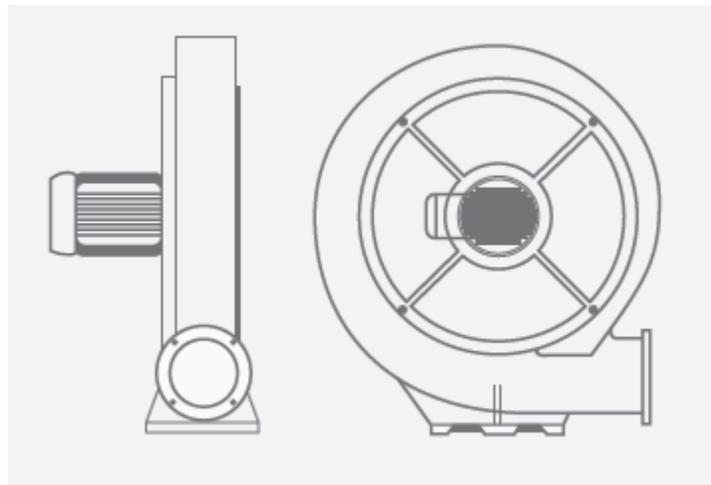
**Ventiladores axiales:** Los ventiladores axiales son muy usados en aplicaciones de ventilación general. En ellos, el aire fluye axialmente a través del impulsor; tienen la ventaja sobre los centrífugos de un mayor rendimiento mecánico (puede llegar a un 95%), y el montaje es más sencillo. Se pueden mencionar los de tipo propela, tubulares y Duct fan (Granados, 2011).



## Figura 2. Ventilador de propela, Duct Fan y tubular

Fuente: Manual de refrigeración y aire acondicionado. Jorge Granados (2011).

**Ventiladores centrífugos:** Son los más usados en sistemas industriales y de aire acondicionado. La figura 2 muestra la forma común de aletas y orientación en ventiladores centrífugos. El aire fluye radialmente a través del impulsor o rotor y es expulsado mediante una trayectoria tangencial o centrífuga (Granados, 2011).



## Figura 3. Ventilador centrifugo

Fuente: Manual de Ventilación. Soler & Paul, 2020 página 6



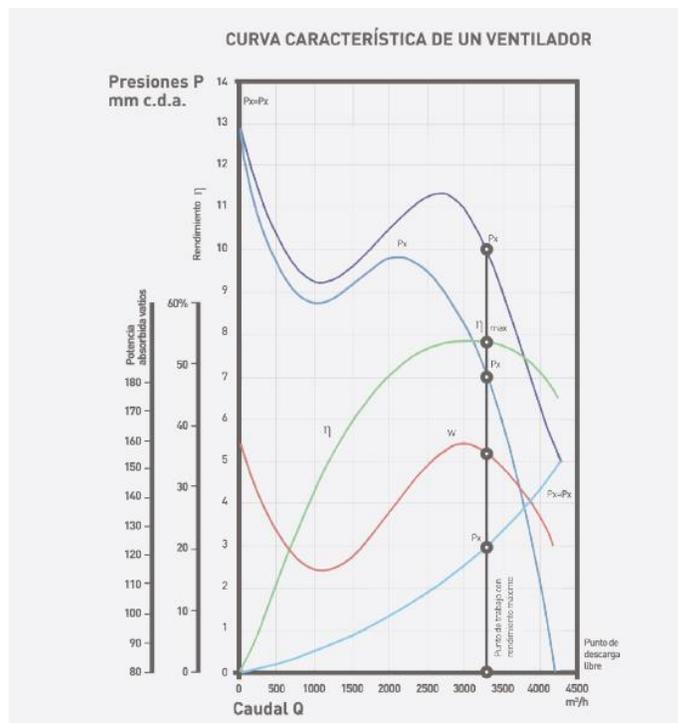
**Figura 4. Tipos de rodets en un ventilador centrífugo**

Fuente: Manual de Ventilación. Soler & Paul, 2020 página 7

#### **2.2.8.2. Curva característica en ventiladores**

El ensayo de ventiladores tiene por objeto determinar la capacidad del aparato para transferir la potencia al aire que mueve. El ventilador se hace funcionar a un régimen de giro constante, tomando valores de diferentes caudales movidos, según sea la pérdida de carga que debe vencerse.

La curva característica de un ventilador se obtiene dibujando en unos ejes de coordenadas los distintos valores caudal-presión, obtenidos mediante ensayo en un laboratorio (Soler & Paul, 2020).



**Figura 5. Curva característica en un ventilador**

Nota: La figura muestra diferentes curvas características de un ventilador centrífugo, al momento de la simulación son de gran ayuda e importancia, solo aplica para ventiladores principales no auxiliares.

Fuente: Manual de Ventilación. Soler & Paul, 2020 página 12

### 2.2.8.3. Leyes de los ventiladores

Las curvas características de los ventiladores siguen ciertas leyes, llamadas «leyes de los ventiladores», que permiten determinar cómo varían caudal, presión y potencia absorbida por el ventilador al variar las condiciones de funcionamiento. Nosotros aplicamos estas leyes en el caso de la variación de velocidad de giro del ventilador (Soler & Paul, 2020).

**Tabla 4**

*Leyes de los ventiladores*

	Si varia	Y permanece constante	Se cumple
--	----------	-----------------------	-----------

Diámetro hélice, d	Velocidad Densidad Punto de funcionamiento	<b>El caudal</b>	es proporcional al cubo de la relación de diámetros
		<b>La presión</b>	es proporcional al cuadrado de la relación de diámetros
		<b>La potencia absorbida</b>	Es proporcional a la quinta potencia de la relación de diámetros.
Velocidad de rotación, n	Diámetro de la hélice Densidad	<b>El caudal</b>	Es proporcional a la relación de velocidades.
		<b>La presión</b>	Es proporcional al cuadrado de la relación de velocidades.
		<b>La potencia absorbida</b>	Es proporcional al cubo de la relación de velocidades.
Densidad del aire, $\rho$	Caudal Velocidad	<b>El caudal</b>	Es proporcional a la relación de densidades.
		<b>La potencia absorbida</b>	Es proporcional a la relación de densidades.

Fuente: Manual de Ventilación. Soler & Paul, 2020 página 19

### 2.3. Marco Conceptual

Ventilación: es un sistema que permite la renovación del aire en un lugar cerrado

Simulación: es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real para comprender el comportamiento del sistema.

Evaluación: valorar un rendimiento de una persona o un sistema.

Manto: es un depósito de carbón de gran extensión

Aforo: son mediciones de ventilación en las diferentes áreas de la mina.

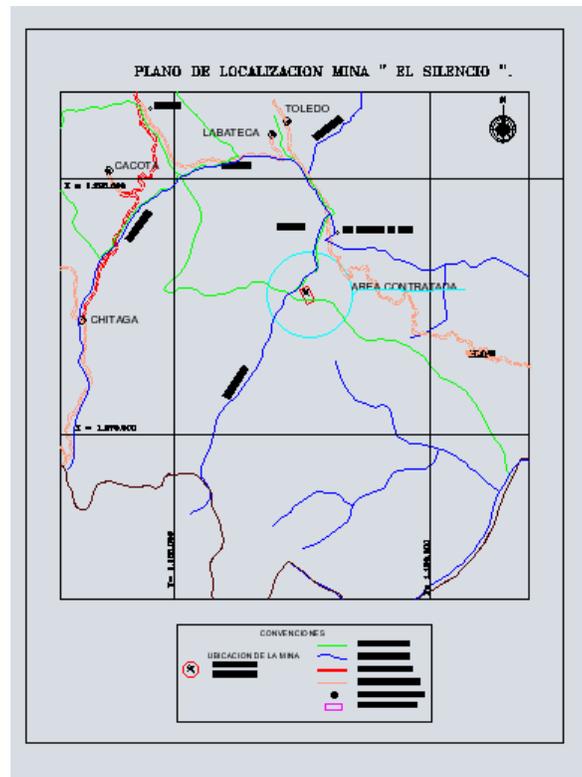
## 2.4. Marco Contextual

### 2.4.1. Generalidades

#### 2.4.1.1. Identificación

Nombre de la mina: Industria Minera El Silencio Ltda

Situación jurídica: Legalizado mediante contrato de concesión 193T



**Figura 6. Plano de Localización Mina el Silencio**

Fuente: Industria Minera el Silencio

#### 2.4.1.2. Misión

Ser la Empresa líder en la producción de carbón mineral en el Departamento de Norte de Santander, aplicando alta tecnología en el desarrollo de sus proyectos integrados y fortaleciendo la parte socioeconómica de sus Asociados y trabajadores, protegiendo el medio ambiente.

#### 2.4.1.3. Visión

Industria Minera el Silencio procura ser una de las principales productoras de carbón del Departamento de Norte de Santander, con gran participación en el mercado y con altos índices de Competitividad y Productividad; ofreciendo un producto con calidad de exportación, ello implica que nuestros procesos se desarrollen cuidando al máximo la seguridad de nuestros trabajadores.

#### **2.4.1.4. Objetivo principal de la empresa**

Industria Minera el Silencio S.A.S. Tiene como objeto fundamental la organización, planificación y estímulo de la producción de carbón mineral y/o derivados; estas actividades deben cumplirse con fines de interés social, bajo el respeto y cumplimiento de las normas ambientales, mineras y de seguridad; como Empresa Asociativa los asociados son simultáneamente los aportantes y los gestores de la Empresa, mediante la aplicación y prácticas de los principios generalmente aceptados.

#### **2.4.1.5. Localización**

El área del contrato de aporte 193T se ubica en la vereda Valegra, corregimiento de San Bernardo de Bata, municipio de Toledo, en el sur Oriente del departamento Norte De Santander.

El área se encuentra definida por el siguiente polígono establecido en el contrato 193T

Área 135 has + 1.389 m<sup>2</sup>

Plancha cartográfica 3-III D

**Tabla 5**

*Coordenadas*

Puntos	Coordenada Norte	Coordenada Este
PA-1	1'284.143,45	846.447,46
1-2	1'284.340,00	846.600,00
2-3	1'284.000,00	845.800,00

3-4	1282.000,000	846.480,00
4-1	1'282.940,00	847.280,00

---

Fuente: Industria Minera el Silencio

#### **2.4.1.6. Vías de acceso**

Se accede al área del contrato por la vía Toledo – San Bernardo – Chucarima, sobre esta vía, a 8 kilómetros de la población de San Bernardo, se encuentran las instalaciones externas de la empresa Industria Minera El Silencio.

### **2.4.2. Geología local**

#### **2.4.2.1. Estratigrafía**

Prácticamente la totalidad del área del contrato de aporte 193T está constituida por la formación Los Cuervos, información obtenida a partir de los trabajos mineros tanto de las cruzadas como demás excavaciones en el área del contrato concuerda con la descripción de la parte media de la formación de Los Cuervos líneas arriba.

La columna estratigráfica local se caracteriza por presentar estratos de areniscas grises, claras, amarillentas, carbonosas, de grana medio a fino, lodolitas grises a claras con fragmentos carbonosos ligeramente micáceas y ferruginosas con intercalaciones de areniscas grises, amarillentas de grano fino y mantos de carbón bituminoso 0,40 - 1,60 m de espesor.

En la formación Los Cuervos se definieron cuatro (4) manifestaciones de Carbón las cuales a lo largo de los trabajos mineros han presentado continuidad y regularidad en su espesor, ángulo de buzamiento y calidad del carbón, distribuidas en una secuencia estratigráfica que oscila entre 120 y 140 m, fueron relacionados M10 a M70 (véase columna local).

La información obtenida en las labores de explotación en sitios de afloramiento los mantos reflejan una tendencia a mantener el espesor y rumbo Norte-Sur, a pesar del fuerte grado de tectonismo que ha soportado la estructura.

**Manto 10:** Mantiene un espesor de 0,95 m con una intercalación hacia el centro variable de 0,20 – 0,30 m, el manto actualmente no se considera de interés económico debido al elevado porcentaje de cenizas y azufre. Rumbo N5°W y buzamiento 5° SW.

Roca Piso Aparente: Es una arcillolita negra, carbonosa, blanda de 0,4 m de espesor, presenta dureza en estado seco.

Roca piso verdadero: Es una arenisca de grano fino, gris, masivo, duro, tabular, mica 3%, con inclusiones de materia carbonosa.

- Propiedades físico mecánicas: Dura, estable. Es un buen respaldo.

Carbón: Carbón negro, blando, viscoso, fractura irregular, espesor de 0,80 a 0,95 m. Se presenta con rumbo N5°W y buzamiento 45° SW.

Roca Techo: Limolita arenosa, gris, masiva, tabular, de 2.7 m de espesor, 3,0 m que es la distancia que separa a M 10 de M 20.

- Propiedades físico-mecánicas: dura, estable. Es un buen respaldo.

**Manto 20:** En el área de la concesión se encuentra aproximadamente a 3 metros por encima del M10. Este manto no es explotado.

Roca Piso: Limolita gris, de grano fino, dura, cementada con lentes muy delgados de materia carbonosa. Su espesor 3.0 m.

- Propiedades físico-mecánicas: dura, estable. Es un buen respaldo.

Carbón: carbón negro, blando, discos o fractura irregular. Su espesor no varía 0,90 m, presenta una de cinta delgada de shale carbonosa de 5 cm de espesor color café la cual complica la extracción limpia del carbón. Su posición estructural es de N 6° W además de poseer un elevado porcentaje de azufre que hace inviable su venta en estos momentos.

Roca Techo Verdadero: es una arenisca de grano muy fino, gris oscuro, masivo, tabular, dura. Espesor de 3,20 m. Representa un buen respaldo por su consistencia y dureza.

**Manto 30:** Ubicado a 3,20 m por encima del manto 20. Se encuentra actualmente en explotación. El mismo constituye la referencia en el área del contrato para identificar otros mantos, el rumbo del manto es constante y su ángulo de buzamiento varía cerca de la bocamina, el espesor del manto y la calidad de los estratos mejora con la profundidad, en la parte superior, desde el afloramiento, se encuentra definido el nivel de ventilación y en el momento se profundiza un inclinado para la instalación del nivel de transporte.

Roca Piso: es una arenisca gris oscuro, masiva, con lentes de materia carbonosa, dura, tabular, micácea, de 3,2 metros de espesor.

- Propiedades físico-mecánicas: dura estable constituye un buen respaldo.

**Manto Valegra:** Se encuentra actualmente en exploración. Cuenta con un túnel de una longitud de 194m y un espesor del manto 0,90m

- Propiedades físico-mecánicas: dura estable constituye un buen respaldo.

Se cuenta con un tambor de ventilación, el peatonal que sale hacia superficie, está marcado como tambor 3, para tener una salida de aire diferente al de la entrada de aire y así tener un mejor circuito de ventilación y evitar que éste recircule.

Esta ventilación se complementa con un ventilador auxiliar ubicado en el frente de avance de la labor de exploración, para garantizar un ambiente de confort a los trabajadores y la dilución de los gases que puedan generarse en la realización de las actividades mineras.

### **2.4.3. Labores actuales**

#### **2.4.3.1. Labores de desarrollo**

La bocamina principal se encuentra estructurada con un inclinado principal en roca con una longitud de 150 m y una inclinación promedio entre 34° y 35°, se ingresa a manto 30 y desde este a los demás mantos por medio de cruzadas y ventanas.

Esta labor tiene un área libre promedio de 3,30 m<sup>2</sup>, con sostenimiento en puerta alemana y, un segundo inclinado de acceso es utilizada para servicio de acceso al personal y línea de comunicación.

#### **2.4.3.2. Labores de preparación**

Se realiza la preparación por medio de tambores y subguías marcados sobre cada uno de los mantos, inicialmente se marcan trabajos sobre manto 30 y desde este nivel principal en manto 30, localmente llamado guía 11, se trazan cruzadas hacia manto 10, manto 50 y 60 respectivamente.

#### **2.4.3.3. Labores de explotación**

La excavación y extracción de las reservas contenidas requiere, desde luego, un orden descendente de manera que el asentamiento del medio rocoso resulte gradual y paulatina desde el

manto 30 hacia el manto 10 y desde el manto 60 hacia el 50, los trabajos de descuñe del manto 30 están adelantados con respecto a los frentes de descuñe del manto 10 y los del manto 60 adelantados respecto a los del manto 50.

#### **2.4.3.4. Labores de exploración**

El manto denominado “Valegra” cuenta con un ángulo del buzamiento de  $30^{\circ}$  y un espesor 0.90 m. en el que se realizan labores de exploración, contando solo con un nivel que tiene una longitud de 194m.

#### **2.4.4. Infraestructura**

Además de las operaciones de minería subterránea, las instalaciones incluyen edificaciones para operaciones mineras, taller de mantenimiento, oficinas administrativas, un almacén, un departamento de seguridad y salud en el trabajo y una sala de reuniones.



**Figura 7. Almacén**



**Figura 8. Oficinas**



**Figura 9. Sala de Reuniones**

#### **2.4.4.1. Mano de obra**

El personal de producción operacional de la mina el Silencio es de 89 personas y el personal de producción global es de 97 personas. . Los trabajadores (operarios), cuentan con dos turnos de 8 horas cada uno; turno A (4: am- 12 pm), Turbo B (1 pm- 8 pm), se trabaja 22 días al mes. Todos

los trabajadores viven en las veredas cercanas a la mina, se trasladan por su cuenta todos los días al sitio de trabajo.

**Tabla 6**

*Personal Industria Minera el Silencio*

Cargo	Muestra
Gerente	1
Administrador	2
Contador	1
secretaria	1
Seguridad y salud en el trabajo	1
Ingeniera de minas	2
Conductores	7
Trabajadores	82
<b>Total</b>	<b>97</b>

#### 2.4.4.2. Maquinaria y equipos

La mina el Silencio, cuenta con un total de 16 equipos de producción, todos operan en el exterior de la mina.

**Tabla 7**

*Maquinaria industria minera el Silencio*

Tipo de maquinaria	Potencia (hp)	Combustible	Muestra
Volquete	480	ACPM	6
Kaaser	37	ACPM	1
Kaaser	18	ACPM	1
Planta eléctrica de 165 kva	180	ACPM	1

Ventiladores	10	eléctrico	5
Malacate Caterpillar 316	205	ACPM	1
Motobomba	25	Electico	1
<b>Total</b>			<b>16</b>

---

## 2.5. Marco Legal

- Decreto 1072 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo
- Decreto 1886 de 2015. Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas
- Ley 685 del 2001. Código de Minas y otras disposiciones
- Decreto 35 de 1994. Disposiciones en materia de seguridad minera, medidas y procedimiento de aplicación.

## 3. Diseño Metodológico

### 3.1. Tipo de investigación

En este proyecto la investigación será de tipo descriptiva como lo menciona Carlos Sabino al definir la investigación descriptiva en su obra El proceso de investigación (1992) como “el tipo de investigación que tiene como objetivo describir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utiliza criterios sistemáticos que permiten establecer la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio, proporcionando información sistemática y comparable con la de otras fuentes”.

### 3.2. Universo y muestra

El universo está constituida por las labores de desarrollo, número de trabajadores y maquinaria que vienen trabajando, contrato minero 193T

Se realizara un muestreo estratificado por cargos del contrato minero 193T. La muestra será igual a todo el universo.

### **3.3. Instrumentos para la recolección de la información**

Se utilizaran instrumentos de medición como; cinta métrica o flexómetro, detector de gases, Termohigroanemometro digital, software Ventsim, en el anexo 6 se evidencia la licencia para su correcto funcionamiento.

### **3.4. Etapas y desarrollo de las actividades**

#### **Fase I: Diagnostico del estado actual en la mina**

- Medición de área y perímetro del túnel
- Medición de los gases
- Medición de la velocidad del aire
- Medición de la temperatura efectiva y porcentaje de humedad:

#### **Fase II: Tabulación de datos obtenidos**

Luego de realizar la correcta caracterización de la mina, se procede a llevar esta información al software Ventsim™ para ejecutar las debidas simulaciones. En este caso, se evalúa inicialmente el sistema de ventilación sin los ventiladores auxiliares y luego con ellos, así se conocerá la diferencia y efectividad de cada sistema.

#### **Fase III: Resultados Obtenidos**

Con los resultados de la simulación, se podrán realizar las debidas conclusiones y recomendaciones para mejorar el sistema actual de ventilación auxiliar de la mina el Silencio.

### 3.5. Tabulación y análisis de los resultados

El software Ventsim genera automáticamente una tabla de resultados y la respectiva grafica de la resistencia de la mina. Solo se analizar la información para dar las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

### 3.6. Técnicas de Análisis y procedimientos de la información

- Medición de área y perímetro del túnel: ubicado el punto de aforo se procede con el flexómetro a medir el área transversal y el perímetro, teniendo claro la forma del área (rectangular, cuadrada, trapezoidal, etc.).
- Medición de los gases: para la medición de los gases se utiliza el multidetector marca Dwyer 473B; con este equipo se hace un barrido de abajo hacia arriba y de derecha a izquierda del aforo visualizando el display o pantalla que este tiene, de esta manera se puede medir los gases (O<sub>2</sub>% Vol., CO PPM, CH<sub>4</sub> %LEL, entre otros) presentes en este punto.
- Medición de la velocidad del aire: el termohigroanemómetro se compone de dos partes: una es el display donde se observa la lectura en tiempo real y la otra parte son unos álabes las cuales son giradas a medida que el aire pasa a través de ellas; para medir la velocidad del aire los alabes son colocados perpendicularmente al flujo del aire, en donde se hace un barrido lento en zigzag de abajo hacia arriba, y de esta manera se puede obtener la velocidad del aire en el punto de aforo.
- Medición de la temperatura efectiva y porcentaje de humedad: con el equipo antes mencionado (termohigroanemómetro) y visualizando el display, se pueden tomar los datos que este arroja como las medidas de temperatura y porcentaje de humedad en ese punto de aforo, cabe señalar que las unidades de la temperatura efectiva son °C.

## **4. Aplicación y resultados de la simulación en el software Ventsim Design del sistema auxiliar de ventilación**

### **4.1. Circuito actual de ventilación**

El sistema de ventilación se emplea para las labores de los mantos, 10, 30 y 50. Donde toma el aire fresco de la superficie, por medio de las guías 11 y 14 sobre el manto 30, que salen a superficie. Finalizando en manto Valegra, que ayuda a llevar el aire fresco que entra por la bocamina, hasta el frente del nivel, y que por medio del tambor 3 sale a superficie. En el Anexo 1, se puede apreciar el plano isométrico de ventilación. Ver Anexo 1.

### **4.2. Método de ventilación**

En la actualidad industria minera el Silencio, presenta un sistema de ventilación natural y auxiliar. La ventilación natural cuenta con una entrada y salida de aire independiente, por otra parte; el sistema de ventilación auxiliar lo conforman cinco (5) ventiladores centrífugos soplantes anti explosión de 10 hp.

### **4.3. Características relevantes sistema de ventilación**

#### **4.3.1. Ductos de ventilación**

Los ductos son una extensión geométrica definida, cuya finalidad es cubrir y dirigir la trayectoria del flujo, para el caso de ventilación de aire fresco. Permiten ensambles de varios tramos para poder extender su longitud, se utilizan netamente en ventilación auxiliar.

La mina dispone de un ducto de 0,40 m de diámetro y 50 metros de longitud, el material es plástico.



**Figura 10. Ducto de ventilación acoplado**

#### 4.3.2. Ventiladores

La mina cuenta con cinco (5) ventiladores centrífugos soplantes anti explosión de 3,5 hp cada uno que suministran un caudal de 9711,5 CFM. Los cinco ventiladores son auxiliares. En el (anexo 2) se pueden apreciar sus características detalladamente. No existe un manual de cada ventilador y se desconoce su marca, solo existe el manual del motor los cuales son el mismo en cada ventilador.

**Tabla 8**

*Ventiladores Industria Minera el Silencio*

Ítem	Código	Tipo	Ubicación	Potencia	Caudal (cfm)
1	VA-01	Auxiliar	Cruzada M50	3,5 hp	9711,5
2	VA-01	Auxiliar	Guía 14 M30	3,5 hp	9711,5
3	VA.03	Auxiliar	Guía 15 M30	3,5 hp	9711,5
4	VA-04	Auxiliar	Guía 15 M30	3,5 hp	9711,5
5	VA-05	Auxiliar	Nivel M10	3,5 hp	9711,5



**Figura 11. Ventilador Centrífugo mina el Silencio**

#### **4.4. Equipos de medición**

Los equipos de medición se pueden dividir en dos apartados, para datos de ventilación y temperatura y para datos de gas contaminante.

##### **4.4.1. Para datos de ventilación y temperatura**

Se cuenta con un termohigroanemómetro Dwyer 473B, el cual cuenta con pantalla LCD de alto contraste retroiluminada para mejor visibilidad, posee una veleta con un diámetro de 10 cm. Registro hasta de 99 datos en el equipo (No Software). Mide la velocidad del aire, volumen del aire, la temperatura y la humedad en forma simultánea. Sus rangos de medición son los siguientes:

**Tabla 9**

*Rangos de medición Termohigroanemómetro*

Velocidad del aire	(0.2-25) m/s
Caudal	(0-20000) CFM
Temperatura	(0-100) °C
Humedad Relativa	(0-100) %



**Figura 12. Termohigroanemómetro Dwyer 473B**

Fuente: Industria Minera el Silencio

#### **4.4.2. Para datos de gas contaminante**

Industria minera el Silencio cuenta con cinco (5) multidetectores de gases, son detectores portátiles capaces de medir hasta cuatro gases simultáneamente, gases explosivos, O<sub>2</sub>, CO o SO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S o NO<sub>2</sub>, por lo que se trata de detectores adecuados para trabajos en espacios confinados. En el Anexo 3 se pueden observar las especificaciones del multidetector de gases.

**Tabla 10**

*Multidetectores de gases Industria Minera el Silencio*

Equipo	Serial	Cantidad
MX4 VENTIS	1612X1 – 002	1
MX4 VENTIS	18013FW – 006	1
MX6 IBRID	1603369 – 003	1
MX4 VENTIS	17077B2 – 005	1
MX6 IBRID	18123RT – 024	1



**Figura 13. Multidetector de gases MX4 VENTIS**

Fuente: Industria Minera el Silencio

Estos detectores son usados por el personal en seguridad y salud en el trabajo, los cuales tienen que realizar las mediciones en los frentes de explotación y así mismo proporcionar y mantener una atmosfera segura en el lugar de trabajo. Igualmente ellos son los encargados de marcar los tableros con la concentración de gases en las labores de acceso a cada frente de trabajo y mantenerlos calibrados.

PROXIMA FECHA DE CALIBRACION MEDIDORES DE GAS.				
MX6	MX6	MX4	MX4	MX4
19-Mayo 2021	16-Mayo 2021	20/Abril/2021	16-Marzo 2021	20-Abril-2021
8123RT-001	1603369-003	16121X1-002	17077B2-005	18013FW-006

**Figura 14. Fechas de calibración medidores de gases**

#### 4.5. Proceso de medición

El proceso de medición para los datos de velocidad, temperatura y humedad fue realizado con el termohigroanemometro, el cual promedia de acuerdo a un tiempo dado la velocidad del aire en el punto medido, se toma por labor la velocidad del flujo no menor a 3 puntos y no mayor a 9 puntos en el sitio de toma de medición. Se toman diferentes puntos a fin de tener un dato promedio representativo, puesto que la velocidad en la sonda varia conforme se aleja de las paredes del mismo, se dese realizar un barrido por lugar de la sección del túnel.

#### 4.6. Aforos

A continuación se muestra un promedio de los aforos de ventilación del mes de abril del presente año. En el Anexo se pueden observar los diferentes puntos donde se tomaron velocidades, temperaturas y humedades. El Anexo 4 muestra la tabla completa de aforos.



**Figura 15. Bocamina de transporte**

**Tabla 11***Resumen de Aforos*

Aforo	Ubicación	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /min	CFM
V1	Guía 1 Sur M30	0,49	2,9	1,41	84,6	2987,62
V2	Guía 11 M10	0,41	4,5	1,85	111	3919,93
V3	Guía 11 Norte M30	0,40	4,8	1,92	115,2	4068,25
V4	Guía 11 Sur M30	0,44	4,8	2,11	126,6	4470,84
V5	Inclinado	0,58	4,1	5,40	324	11441,95
V6	Cruzada M50-Guía 11	0,32	3,36	1,06	63,6	7119,44
V7	Inclinado M30	0,44	4,8	2,11	126,6	4470,84

Nota: La tabla muestra un resumen de los aforos de un mes en la mina el Silencio

**4.7. Gases presentes en la mina**

Mina el Silencio tiene gases contaminantes como el CO, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> presentados por maquinaria diésel y las voladuras. La siguiente tabla muestra un resumen con los promedios de cada aforo. Aforo completo en el Anexo 4.

**Tabla 12***Resumen gases*

Aforo	O <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>
V1	20,53	6,87	0	0
V2	20,57	5,9	0	0
V3	20,63	9,55	0	0
V4	20,7	8,2	0	0
V5	20,58	8	0	0
V6	20,68	7,5	0	0
V7	20,03	5,2	0	0

Nota: La tabla muestra un resumen de los gases presentes en la mina, tomados el mes de agosto de 2020.

## 4.8. Requerimientos de aire

### 4.8.1. Equipos diésel

Para equipo diésel la normativa colombiana especifica  $6 \text{ m}^3/\text{min}$  de aire por cada hp, debido a que los gases del exòsto superan el 0,12%. La mina cuenta con 14 equipos diésel, los cuales suman un total de 3340 hp (2475,72 KW). Con el fin de optimizar los requerimientos de aire, se aplicaran factores de simultaneidad extraídos de las horas de operación registradas por el área de producción y mantenimiento de la mina. En el Anexo 5 se puede evidenciar.

**Tabla 13**

*Requerimiento de aire por maquinaria*

Requerimiento $\text{m}^3/\text{s}$	Requerimiento CFM
25,67	217323,98

### 4.8.2. Personal en la mina

La altura máxima de la mina es de 1336 msnm, mínimo se necesitan  $3 \text{ m}^3/\text{min}$  de aire por persona, como lo indica el artículo 28 decreto 1335 de 1987 (ver Tabla 2). Para la mina se tomaran  $4 \text{ m}^3/\text{min}$ .



**Figura 16. Personal mina el Silencio**

El número total de trabajadores al interior de la mina es de 85 personas, por lo tanto:

$$Q_n = q \times n$$

$$Q_n = 4 \frac{m^3}{min} persona \times 85 personas$$

$$Q_n = 340 \frac{m^3}{min}$$

**Tabla 14**

*Requerimiento según personal*

Requerimiento (m <sup>3</sup> /s)	Requerimiento (CFM)
5,67	12007

#### 4.8.3. Consumo de explosivos

En las voladuras subterráneas se generan gases venenosos y asfixiantes que deben diluirse inmediatamente se produzca la voladura, por lo que se requiere un flujo de aire para disiparlo. En la mina el Silencio el explosivo utilizado es el indugel.

Para determinar el caudal requerido se usara la ecuación 3.

$$Q_v = \frac{100Aa}{d t}$$

A= 8 Kg

a = 0,04 m<sup>3</sup>/Kg

d = 0,01 %

t = 40 min

$$Q_v = 80 \text{ m}^3/\text{min}$$

**Tabla 15**

*Requerimiento por humus de voladuras*

Requerimiento (m <sup>3</sup> /s)	Requerimiento (CFM)
1,33	2825,17

#### 4.8.4. Caudal total

El requerimiento de aire total en la mina, será la sumatoria de los caudales por personal, y explosivos. En la siguiente tabla se puede apreciar.

**Tabla 16**

*Requerimiento total de aire Industria Minera el Silencio*

Descripción	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Caudal (CFM)
Requerimiento según personal	5,67	12007
Requerimiento por explosivos	1,33	2825,17
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>14832,17</b>

## **5. Modelamiento por medio de Ventsim™**

### **5.1. ¿Qué es?**

Ventsim™ es un software para sistemas de ventilación de minas subterráneas diseñado para modelar y simular la ventilación, flujos de aire, presión, calor, gases, finanzas, fuego y muchos otros tipos de datos de ventilación desde un modelo de túneles y pozos (Bustamante & Daza, 2017, p. 6).

Las características principales de Ventsim™ Visual, incluyen: Modelamiento 3D completo con rotación suave, zoom y paneo; animación en tiempo real de los conductos de ventilación y ventiladores; simulación de conductos de ventilación y ventiladores; propagación básica de contaminantes básicos, suministros y simulaciones de emergencia; importación de las líneas centrales y sólidos de paquetes CAD (DFX) para construcción rápida de redes Ventsim™ (Bustamante & Daza, 2017, p. 6). En el (Anexo 6), se puede observar la licencia de funcionamiento.

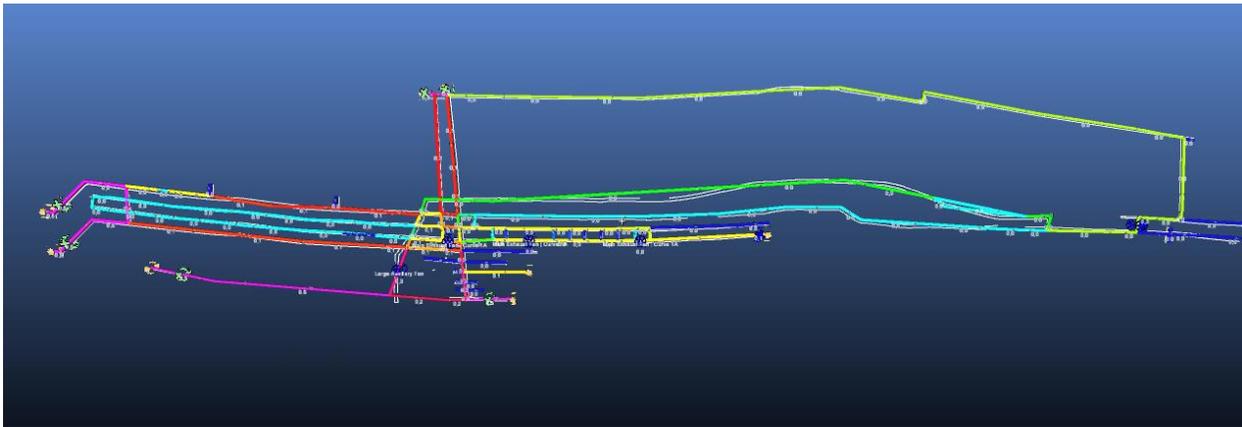
### **5.2. Método**

Para evaluar el efecto de la pérdida de presión, caudal y cambios de temperatura en la mina, se utilizó el software Ventsim™, el cual tiene fundamentos de termodinámica y mecánica de fluidos aplicados a la ventilación de minas. De esta manera, se busca a partir de diferentes simulaciones determinar cómo es el comportamiento de la mina y bajo qué condiciones se aprovecha mejor la ventilación, evitando pérdidas de aire, las cuales se ven reflejadas a su vez en pérdidas económicas.

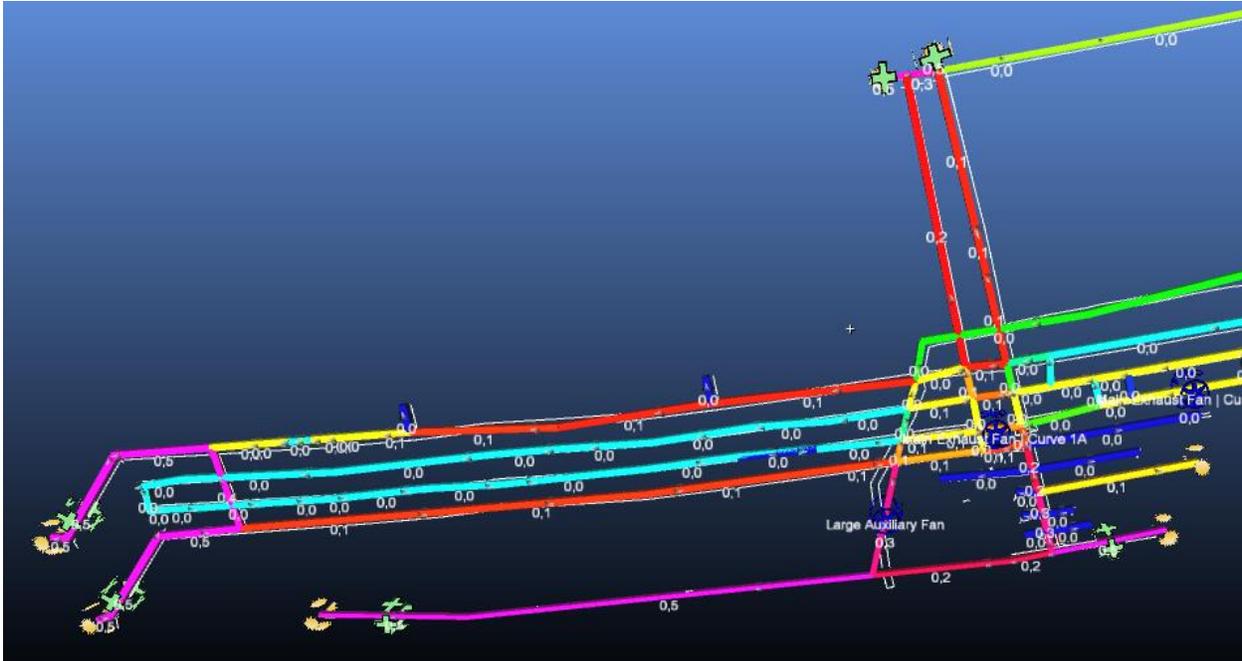
### **5.3. Modelamiento**

De acuerdo a la configuración actual de la mina y a los resultados de las mediciones, se ajustan los modelos de simulación para poder caracterizar la mina y finalizar su diagnóstico. El proceso de simulación incluye:

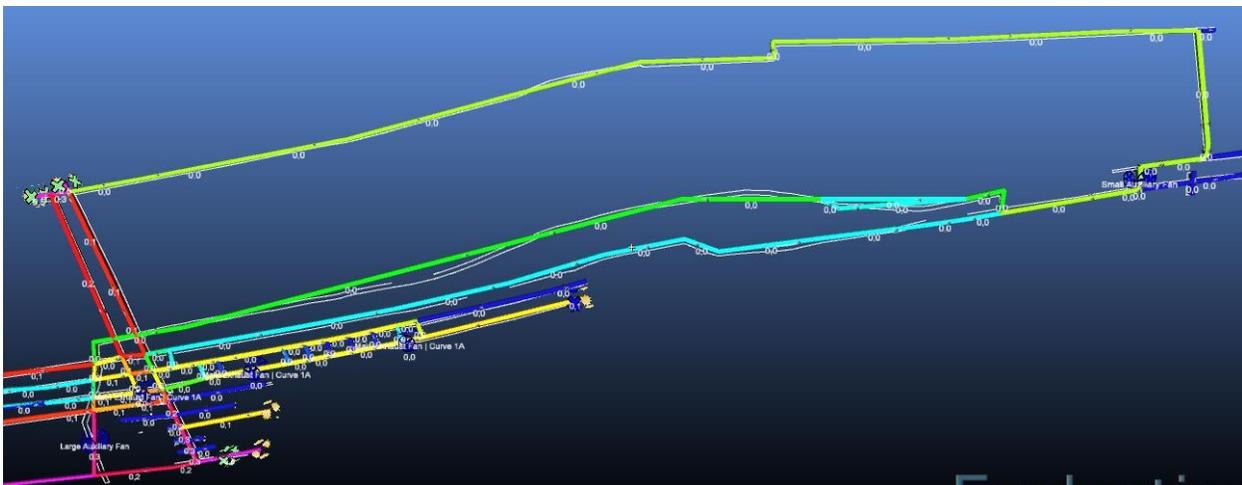
- a) Condiciones de simulación: Altura de nivel de referencia en superficie; 1333 m.s.n.m, densidad del aire;  $1.17 \text{ Kg/m}^3$ , Temperatura de bulbo húmedo  $19.80^\circ\text{C}$ , Temperatura de bulbo seco  $19.70^\circ\text{C}$ , flujo de aire compresible, rugosidad en pared correspondiente a; voladura muy rugosa.
- b) Modelamiento con ventilación natural



**Figura 17. Modelamiento con ventilación natural**

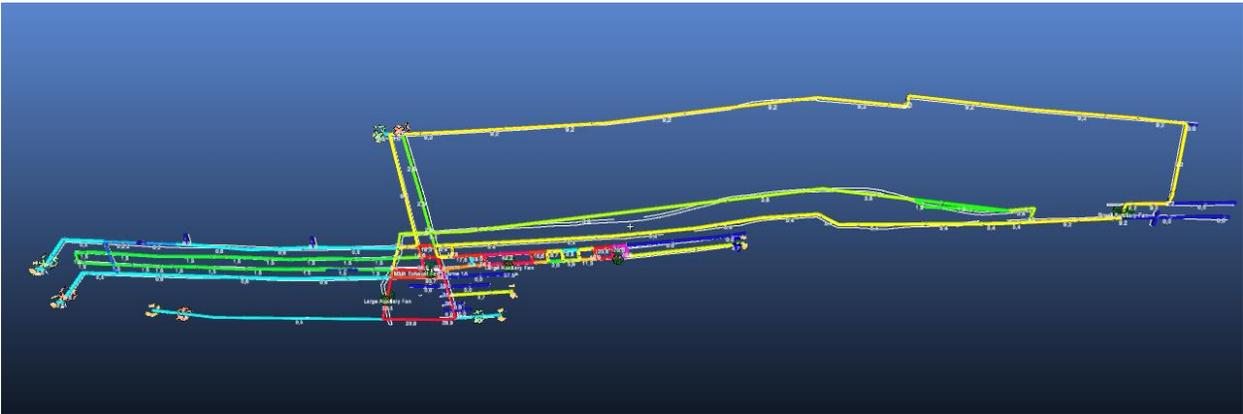
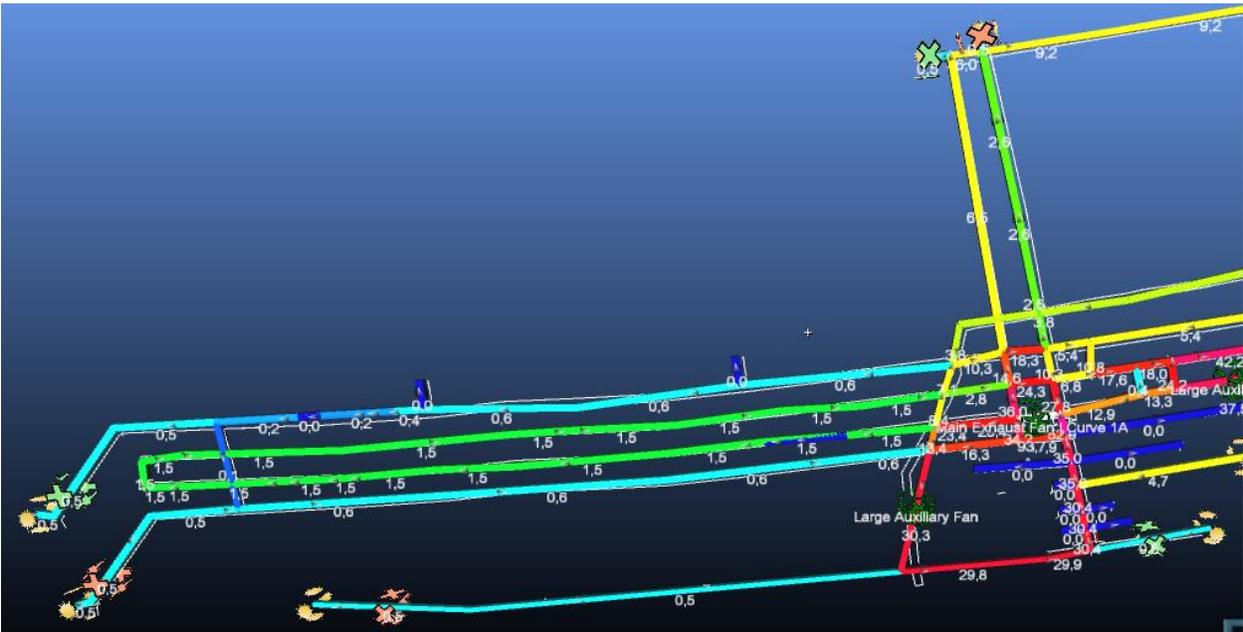


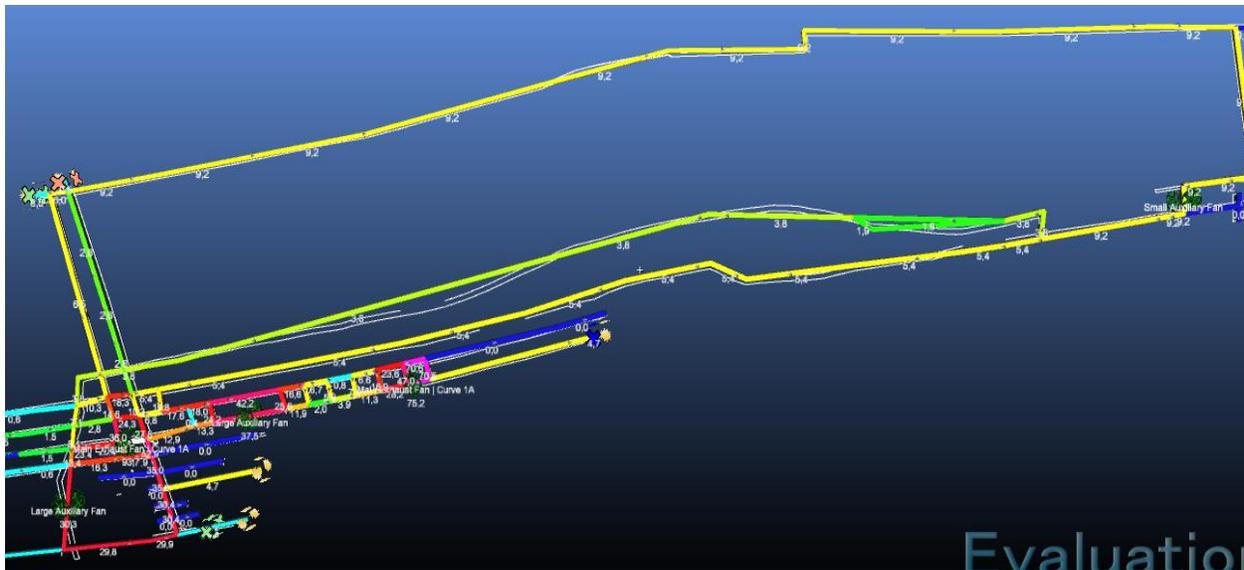
**Figura 18. Modelado sección inicial ventilación natural**



**Figura 19. Modelado sección final ventilación natural**

## c) Modelamiento con ventilación auxiliar y natural

**Figura 20. Modelado con ventilación auxiliar y natural****Figura 21. Modelado sección inicial ventilación auxiliar y natural**



**Figura 22. Modelado sección final ventilación auxiliar y natural**

d) Resultados numéricos

El programa Ventsim permite mostrar los resultados en forma de tablas y esquemas de ventilación. Los datos generales de la mina incluyendo la longitud total de las labores, el caudal total, la resistencia de la mina, etc. son generalmente presentados en forma de tablas. Las Figuras 19 y 20, muestran un resumen de los datos del sistema de ventilación de la mina generado por el programa Ventsim.

The screenshot shows a software window titled "Network Summary" with a menu bar (File, Edit) and a toolbar. Below the menu bar are tabs: Main, Fans, Heat Summary, Heat Tracks, Energy, Graphs, R Curve, Full. The main content area is titled "NETWORK SYSTEM SUMMARY" and contains a table of simulation results.

NETWORK SYSTEM SUMMARY	
Compressible Airflows	Yes
Natural Ventilation Pressure	Yes
Fan Pressure Simulation Type	Total Pressure M...
Stage	-1: Stage 1
Airways	165
Total length	4.898,3 m
Total airflow intake	1,6 m³/s
Total airflow exhaust	1,6 m³/s
Total massflow	1,81 kg/s
Mine resistance (excluding duct)	0,02353 Ns²/m8
Mine resistance (Including duct)	0,02353 Ns²/m8
POWER SUMMARY	
AIR (friction loss) Power	0,0 kW Total
	0,0 kW Shaft
	0,0 kW Drive
	0,0 kW Vent Duct
Refrigeration Power Input	0,0 kW
<b>INPUT Power Electrical</b>	<b>0,0 kW</b>

Figura 23. Resultados modelamiento ventilación natural

The screenshot shows the same "Network Summary" window as in Figure 23, but with different results. A red rectangle highlights the "Total airflow intake" and "Total airflow exhaust" rows, which both show a value of 6,2 m³/s.

NETWORK SYSTEM SUMMARY	
Compressible Airflows	Yes
Natural Ventilation Pressure	Yes
Fan Pressure Simulation Type	Total Pressure M...
Stage	-1: Stage 1
Airways	165
Total length	4.898,3 m
Total airflow intake	6,2 m³/s
Total airflow exhaust	6,2 m³/s
Total massflow	7,14 kg/s
Mine resistance (excluding duct)	161,51610 Ns²/m8
Mine resistance (Including duct)	161,51610 Ns²/m8
POWER SUMMARY	
AIR (friction loss) Power	37,9 kW Total
	0,0 kW Shaft
	37,9 kW Drive
	0,0 kW Vent Duct
Refrigeration Power Input	0,0 kW
<b>INPUT Power Electrical</b>	<b>54,8 kW</b>

Figura 24. Resultados modelamiento ventilación auxiliar y natural

## e) Gráficos

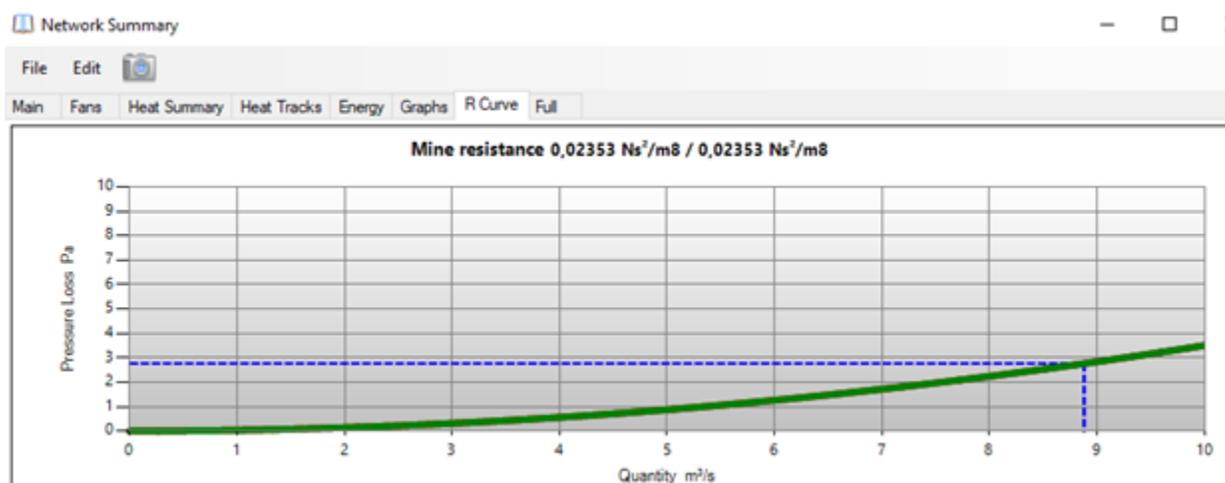


Figura 25. Grafica Resistencia de la mina ventilación natural

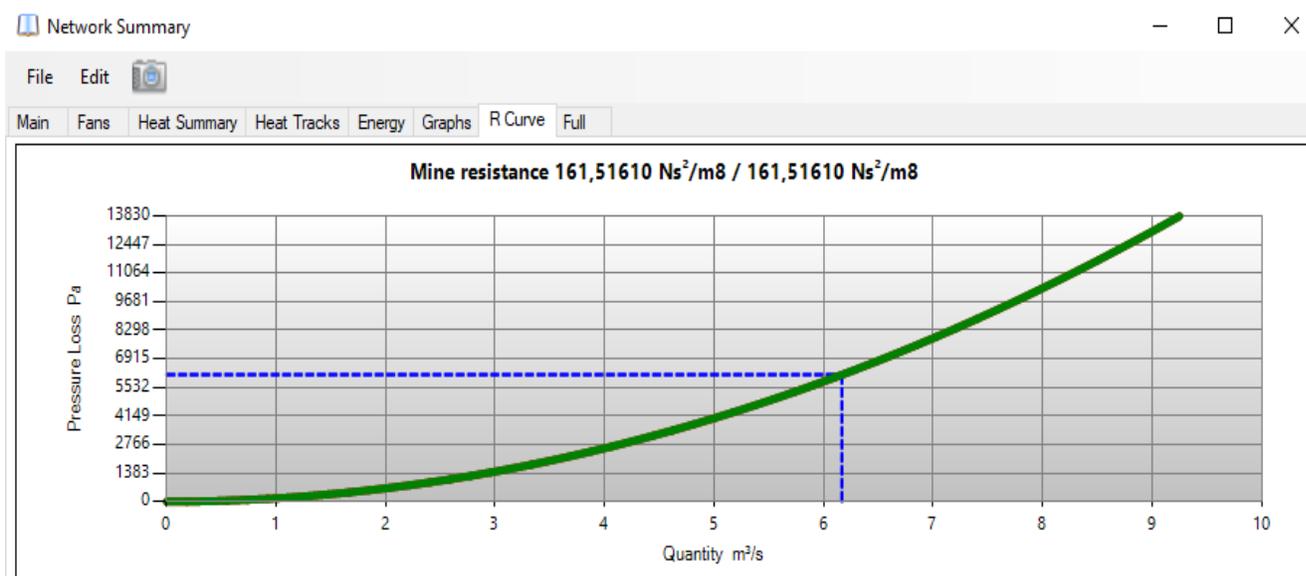


Figura 26. Grafico Resistencia de la mina ventilación auxiliar y natural

## 6. Conclusiones

Se describieron y conocieron las condiciones de operación de la mina el Silencio además de su sistema de ventilación actual.

Se identificaron y analizaron los inconvenientes y fallas de la ventilación en la operación minera, mediante trabajo de campo como aforos y mediciones, además de emplear el Software Ventsim para modelar el sistema y proponer una solución óptima.

A partir de las simulaciones realizadas, se encontró que los caudales que llegan a los frentes de trabajo cuando solo se emplean ventilación natural, en los mantos 30, 50, la cruzada y el inclinado varia de  $(0,1 \text{ a } 0,3) \text{ m}^3/\text{seg}$ , mientras que al utilizar la ventilación auxiliar mejora significativamente pero no supe la cobertura total de aire requerido en la mina que es de  $7,0 \text{ m}^3/\text{seg}$ , cubriendo el 89% en la mina con  $6,2 \text{ m}^3/\text{seg}$  como se evidencia en la figura 24.

En las sub guías 14 y 11 del manto 30, el caudal llega a un máximo de  $1,1 \text{ m}^3/\text{seg}$ . En la guía de ventilación del manto 30, el caudal llega a  $9,2 \text{ m}^3/\text{seg}$ , el peatonal, la cruzada y el inclinado del manto 30 maneja caudales de  $3,0 \text{ a } 3,8 \text{ m}^3/\text{seg}$ . Por otro lado, se debe resaltar que la mina sufre un aumento significativo en la resistencia equivalente, ya que esta se encuentra en el orden de  $161,52 \text{ Ns}^2/\text{m}^8$ .

Como se puede evidenciar, según los resultados arrojados por el software Ventsim™, el aire que aporta el tiro natural es muy pequeño, y por tanto no es suficiente de acuerdo a los requerimientos que tiene la mina por su personal de trabajo, en el cual laboran alrededor de 85 personas. Por esta razón, se hace necesaria la implementación de ventilación auxiliar, la cual posibilite suplir estas necesidades. Además, según lo estipulado en la normatividad, toda mina

debe contar con ventilación mecanizada para mayor seguridad, puesto que la ventilación por tiro natural es muy cambiante y depende de las condiciones climáticas que se tengan en el momento.

Con la realización de este proyecto haciendo uso de este software se dio un gran avance en términos de innovación, en el estudio del sistema de ventilación de la mina el Silencio ya que en estudios anteriores se realizó manualmente.

El aporte que deja este proyecto a la Universidad Francisco de Paula Santander, es que será un instrumento de guía, para que otros proyectos con características similares y utilicen los parámetros aquí expuesto y se mejore el ambiente de trabajo en toda labor subterránea.

## 7. Recomendaciones

- 1) En el corto plazo se debe ubicar de otra manera los ventiladores, con el fin de obtener un flujo de aire más equitativo en cada frente de la mina.
- 2) A mediano plazo se debe mejorar la hermeticidad de los muros de aislamiento de la mina. Esto se refiere al cierre de labores antiguas o que ya no se explotan. Otra manera de aumentar el caudal de aire en los frentes es reduciendo las fugas en el sistema de ventilación auxiliar que en la práctica implica reparar las mangas de ventilación, utilizar acoples y conexiones especiales para unir estas entre sí y con el ventilador.
- 3) A largo plazo se recomienda diseñar e implementar un sistema de ventilación principal. Se busca garantizar un flujo adecuado de aire para cada circuito según sus necesidades. Para lograrlo se deben adquirir ventiladores de mayor potencia, construyendo mejores instalaciones, para minimizar las pérdidas de choque. Con esto se evita el uso de ventiladores secundarios, minimizando costos asociados de instalación, mantenimiento y las recirculaciones que usualmente generan.

### Referencias Bibliográficas

- ASHRAE. 2000. 2000 ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment, Chapter 18, Fans. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and AirConditioning Engineers, Inc.
- Bustamante-Rúa, M.O., Daza-Aragón, A.J. and Bustamante-Baena, P., (2018, Enero). Simulación en el software VENTSIM™ de la influencia de la implementación de sellamientos en labores abandonadas en la ventilación de una mina subterránea de carbón. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 43, pp. 5-13.
- Carrascal Buelvas, AA y Manzur Amel, CA (2014). *Evaluación y propuesta del mejoramiento de la ventilación para la mina “El Maracaibo” municipio de Samacá, departamento de Boyacá*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Castillo, D. (2017). Evaluación del sistema de ventilación de la mina el Roble. (Tesis de pregrado). Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. Sogamoso. Recuperado de <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1886/1/TGT-457.pdf>
- COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Decreto 1886 del 21 de Septiembre de 2015. Por el cual se establece el Reglamento de seguridad en las labores Mineras Subterráneas. Bogotá D.C, 2015. 82p.
- Córdoba, Cristian., Molina Jorge. (2011, Mayo). Caracterización de Ventilación Minera Subterránea. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/bcdt/n29/n29a06.pdf>
- Granados, J. (2011, Mayo). Manual de ventilación refrigeración y aire acondicionado. Universidad Francisco de Paula Santander.

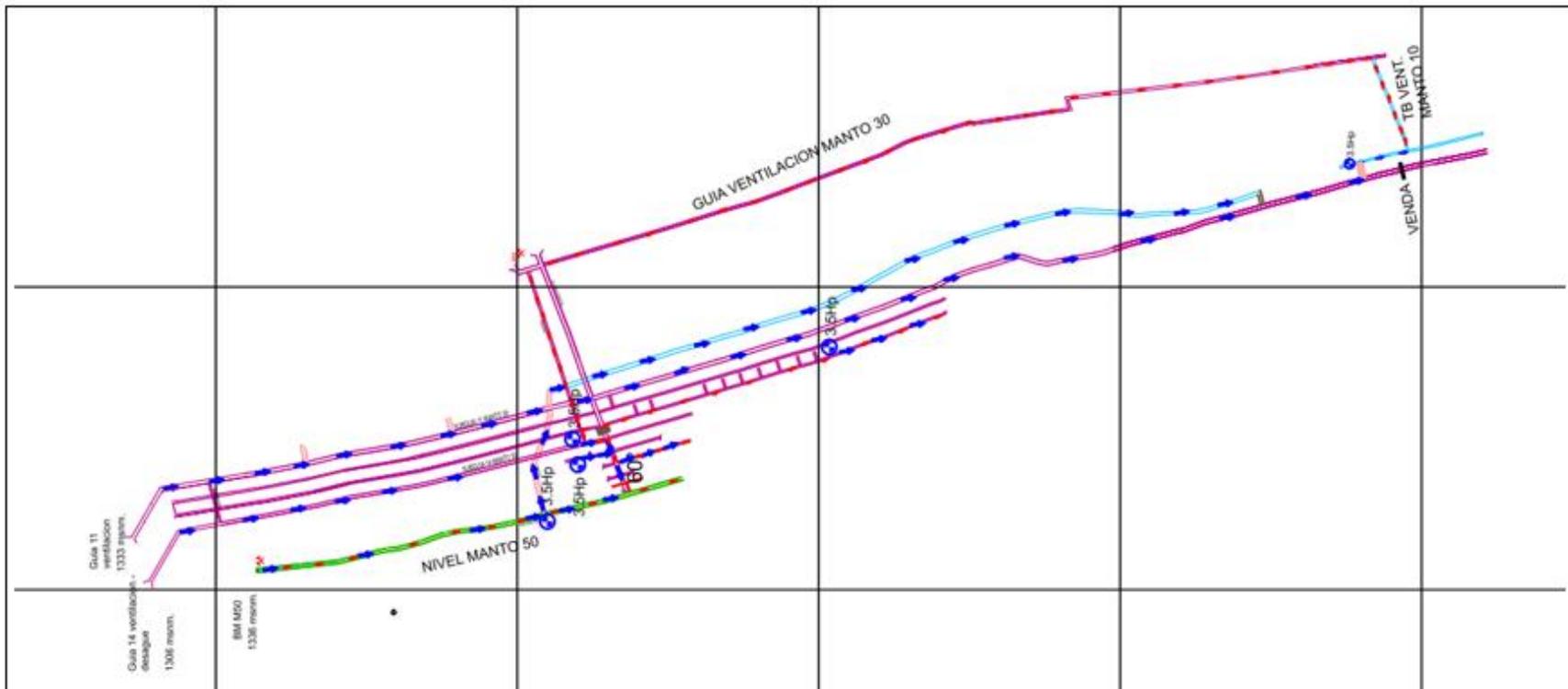
- Millán, A. (2017, Diciembre). Guía de seguridad para ventilación de minas subterráneas. *Positiva*. Recuperado de [https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/23980938/010318\\_guia\\_seg\\_ventilacion\\_minas\\_subterraneas.pdf/52d1871d-37c0-45fe-9951-1b2adff92289](https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/23980938/010318_guia_seg_ventilacion_minas_subterraneas.pdf/52d1871d-37c0-45fe-9951-1b2adff92289)
- Ministerio de minería, Decreto supremo N° 132 de 2004, Reglamento de seguridad minera, Ministerio de minería, Santiago de Chile. Recuperado de <http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/mineria/seguridad/Normativa%20de%20Seguridad%20Minera.pdf>
- Presidencia de la república de Colombia, Decreto 1335 de 1987, Reglamento de seguridad en las labores subterráneas. Recuperado de [https://www.redjurista.com/Documents/decreto\\_1335\\_de\\_1987\\_ministerio\\_de\\_minas\\_y\\_energia.aspx#/](https://www.redjurista.com/Documents/decreto_1335_de_1987_ministerio_de_minas_y_energia.aspx#/)
- Rueda, N., Toro, S., Zuleta, R. (2012, Septiembre). Optimización del sistema de ventilación en una mina de gran altura, Compañía Minera Raura. *Simposio de Ventilación Minera*. Universidad de Utah. Recuperado de [https://www.isaeng.com/wp-content/uploads/2016/04/Optimizacion\\_del\\_sistema\\_de\\_ventilacion\\_en\\_una\\_mina\\_de\\_gran.pdf](https://www.isaeng.com/wp-content/uploads/2016/04/Optimizacion_del_sistema_de_ventilacion_en_una_mina_de_gran.pdf)
- Ramírez H.J. (2005). Ventilación de minas. *Módulo de Capacitación Técnico Ambiental*. Chaparra Perú. Recuperado de <http://www.solerpalau.co/home/wp-content/uploads/2020/02/Manual-de-Ventilacion-SP.pdf>
- Ventsim Visual Advance. Versión 2.6.1.6. Software de simulación de sistemas de ventilación de minas subterráneas, 2012. Recuperado de [www.ventsim.com](http://www.ventsim.com)

Viza, T. (2016), Diseño y simulación de red de ventilación con el software Ventsim Visual en la unidad minera San Rafael Minsur S.A. Universidad Nacional del Altiplano, Puno- Perú.

Recuperado de:

[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3446/Viza\\_Torres\\_Ronald\\_Willian.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3446/Viza_Torres_Ronald_Willian.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

## **ANEXOS**

**Anexo 1. Plano Isométrico Sistema de Ventilación Industria Minera el Silencio**

## Anexo 2. Planilla de datos motor de ventilador

<b>Weg</b> INDUSTRIA MINERA EL SILENCIO LTDA		Nr.: SERIAL 1011108279													
		Fecha: 19/05/2011													
<b>PLANILLA DE DATOS</b> <b>Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula</b>															
Cliente : INDUSTRIA MINERA EL SILENCIO LTDA		Linea del producto : Motores Industriales Trifásicos - 60HZ - A prueba de explosión - Eficiencia Estándar													
Carcaza : 100L	Potencia : 5 HP (cv)	Factor de servicio : 1,00	Régimen de servicio : S1												
Frecuencia : 60 Hz	Polos : 2	Temperatura ambiente : 40	Altitud : 1000 m												
Rotación nominal : 3500	Resbalamiento : 2,78	Protección : IP55	Masa aproximada : 41,8 kg												
Tensión nominal : 220/380/440 V	Corriente nominal : 13,4/7,76/6,70 A	Momento de inercia : 0,00561 kgm <sup>2</sup>	Nivel de Presión Sonora : 71 db(A)												
Corriente de arranque : 111/64,4/55,6 A	Ip/In : 8,3	<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Delantero</td> <td>Trasero</td> </tr> <tr> <td>Rodamiento</td> <td>6206 ZZ</td> <td>6205 ZZ</td> </tr> <tr> <td>Interv. lubrif.</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>Cant. de grasa</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>			Delantero	Trasero	Rodamiento	6206 ZZ	6205 ZZ	Interv. lubrif.	---	---	Cant. de grasa	---	---
	Delantero	Trasero													
Rodamiento	6206 ZZ	6205 ZZ													
Interv. lubrif.	---	---													
Cant. de grasa	---	---													
Corriente en vacío : 5,80/3,36/2,90 A	Par nominal : 10,10 Nm	<b>DESEMPEÑO EN CONDICIONES DE CARGA</b>													
Par de arranque : 270 %	Par máximo : 260 %	Carga	Fact. potencia												
Categoría : N	Clase de aislamiento : F	100%	0,87												
Elevación de temperatura : 80 K	Tiempo de rotor bloqueado : 7 s (caliente)	75%	0,82												
		50%	0,72												
			Eficiencia (%)												
			83,2												
			82,0												
			78,5												
Notas:															
<b>DIBUJOS Y DIMENSIONES</b>															
Motores en las carcazas 63 hasta 100 no són proveidos con cáncamos.															
A 160	AA 44	AB 188	AC 199												
C 63	CA 128	D 28j6	E 60												
DA 22j6	EA 50	TS 36	FA 6												
HC 200	HD ---	K 12	L 384												
			AD 183												
			ES 45												
			GB 18.5												
			LC 431												
			B 140												
			GF 6												
			S1 NPT 3/4												
			BA 50												
			G 24												
			H 100												
			d1 A4												
			BB 173												
			GD 7												
			HA 15												
			d2 A4												
Ejecutado: GAICO DE COLOMBIA S.A.S		Verificado: GAICO DE COLOMBIA S.A.S													
*Todos los valores mostrados estan sujetos a cambios sin previo aviso. Nivel de ruido com tolerancia de +3 dB(A).															
Versión 6.0.8															

### Anexo 3. Especificaciones Multidetector de gases



**INDUSTRIAL  
SCIENTIFIC**

#### RECOMENDACIÓN PARA CARGADORES INDUSTRIAL SCIENTIFIC

El departamento de soporte de SAFETY INSTRUMENTS LTDA informa a nuestros clientes la importancia de que los equipos multidetectores de gases marca INDUSTRIAL SCIENTIFIC sean conectados a estabilizadores –UPS o reguladores de voltajes, esto con el fin de evitar problemas en los cargadores, ya que se han presentado varios casos especialmente en equipos IBRID MX6.

##### Recomendación de fabrica:

Para proteger la unidad frente a picos o caídas abruptas y transitorias de energía eléctrica, use un supresor de sobretensiones, un acondicionador de línea o un suministro de energía ininterrumpida (UPS).

Para reducir el riesgo de descarga eléctrica o incendio:

- No use la unidad durante una tormenta eléctrica sin la protección adecuada.
- No conecte ni desconecte cables en la unidad durante una tormenta eléctrica.
- No exponga la unidad a la lluvia o a la humedad.
- No introduzca objetos en las aberturas de la unidad



# MONITOR MULTIGÁS VENTIS™ MX4

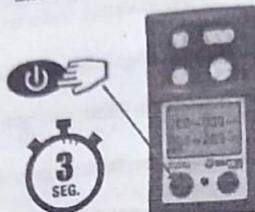
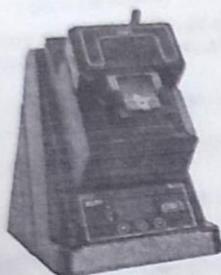
**VENTIS™  
MX4**

Antes de usar el equipo incluido, lea el manual del producto disponible en [www.indsci.com/ventis](http://www.indsci.com/ventis).

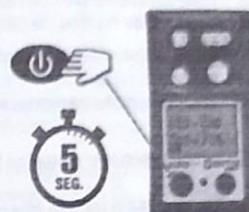
## PARA EMPEZAR

Antes de usar por primera vez, acople el instrumento para efectuar un ajuste a cero de aire fresco, realice una prueba funcional y una calibración. Si no se dispone de una estación de acoplamiento DSX™, consulte en el manual del producto los pasos requeridos para efectuar manualmente estas tareas.

**Encienda el instrumento**

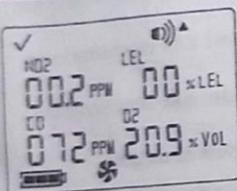


**Apague el instrumento**



Cargue completamente el instrumento antes de usar.

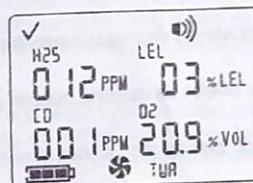
## ALARMAS Y ADVERTENCIAS



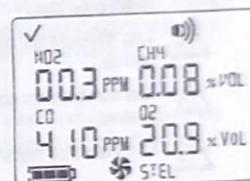
Alarma de gas alto



Alarma de gas bajo



Alarma de TWA



Alarma de STEL



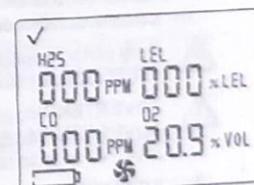
Alarma de exceso de gama



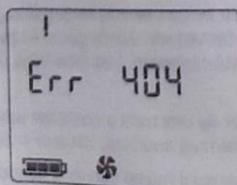
Fecha de calibración



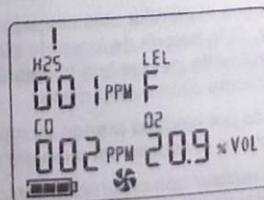
Fecha de prueba funcional



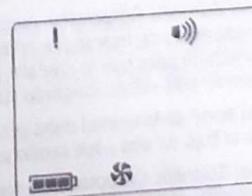
Advertencia de batería baja



Error crítico



Falla de datos del sensor



Falla de la bomba

**INDUSTRIAL  
SCIENTIFIC**

**AMERICAS**  
Teléfono: +1-412-788-4353 | Fax: +1-412-788-8353  
1222, 32871 North America

**ASIA PACIFIC**  
Teléfono: +65-6561-7377  
Fax: +65-6561-7787  
info@ap.indsci.com

**EMEA**  
Teléfono: +33 (0)1 57 32 92 61  
Fax: +33 (0)1 57 32 92 67  
info@eu.indsci.com

17157399-3

## Anexo 4. Tabla de Aforos Industria Minera el Silencio

	<b>SISTEMA DE GESTION DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO</b>					<b>CODIGO: IMES-SST-AF-01</b>				
	<b>AFOROS DE VENTILACION</b>					<b>FECHA</b>		<b>VERSION 1.0</b>		
						<b>05/04/2021</b>				

## AFORO DE VENTILACION GUIA 1 SUR MANTO 30

Fecha	Hora	Estación (m)	T <sub>h</sub> (°C)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>e</sub> (°C)	HR %	O <sub>2</sub> %	CO %	H <sub>2</sub> S %	CH <sub>4</sub> %	V <sub>prom</sub> (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal		
													m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /min	CFM
05/Abril/2021	6:00	25	19,5	19,5	18,9	99,9	20,9	0	0	0	0,6	2,9	1,7	102	3602,1
05/Abril/2021	6:15	50	19,7	19,5	19,0	99,8	20,4	10	0	0	0,6	2,9	1,7	102	3602,1
05/Abril/2021	6:20	100	19,0	19,3	18,6	99,9	20,6	12	0	0	0,5	2,9	1,5	90	3178,32
05/Abril/2021	6:25	125	19,8	20,1	19,5	97,9	20,5	12	0	0	0,4	2,9	1,2	72	2542,66
05/Abril/2021	6:30	150	20,0	20,0	19,5	99,9	20,3	9	0	0	0,5	2,9	1,5	90	3178,32
05/Abril/2021	6:35	200	19,0	19,8	18,7	99,9	20,6	3	0	0	0,5	2,9	1,5	90	3178,32
05/Abril/2021	6:45	225	20,3	20,0	19,7	98,9	20,5	4	0	0	0,5	2,9	1,5	90	3178,32
05/Abril/2021	6:45	250	20,1	20,1	19,8	99,9	20,5	5	0	0	0,5	2,9	0,9	54	1906,99
<b>PROMEDIO</b>			<b>19,79</b>	<b>19,68</b>	<b>19,72</b>	<b>99,51</b>	<b>20,53</b>	<b>6,87</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,49</b>	<b>2,9</b>	<b>1,41</b>	<b>69</b>	<b>1788,71</b>

## AFORO DE VENTILACION GUIA 11 NORTE MANTO 30

Fecha	Hora	Estación (m)	T <sub>h</sub> (°C)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>e</sub> (°C)	HR %	O <sub>2</sub> %	CO %	H <sub>2</sub> S %	CH <sub>4</sub> %	V <sub>prom</sub> (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal		
													m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /min	CFM
05/Abril/2021	8:45	G11N, INCLI	21,2	20,6	20,5	90,1	20,9	0	0	0	0,5	4,8	2,4	144	5085,31
05/Abril/2021	8:50	25	19,2	18,2	18,6	99,3	20,4	19	0	0	0,3	4,8	1,4	84	2966,43
05/Abril/2021	9:00	50	20,6	18,0	19,8	89,9	20,6	12	0	0	0,3	4,8	1,4	84	2966,43
05/Abril/2021	9:15	100	18,8	17,9	18,2	90,8	20,5	8	0	0	0,3	4,8	1,4	84	2966,43
05/Abril/2021	9:25	150	18,9	17,9	18,3	90,1	20,7	3	0	0	0,3	4,8	1,4	84	2966,43
05/Abril/2021	9:30	200	19,6	17,8	18,8	94,6	20,9	0	0	0	0,3	4,8	1,4	84	2966,43
05/Abril/2021	9:35	250	18,4	17,2	17,8	93,7	20,6	25	0	0	0,3	4,8	1,4	84	2966,43
05/Abril/2021	9:42	300	18,0	17,2	17,2	92,3	20,5	4	0	0	0,6	4,8	2,9	174	6144,75
05/Abril/2021	10:00	G11M30N	18,3	17,0	17,2	93,5	20,6	15	0	0	0,7	4,8	3,4	204	7204,19
<b>PROMEDIO</b>			<b>19,22</b>	<b>18,03</b>	<b>18,43</b>	<b>92,89</b>	<b>20,63</b>	<b>9,55</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,4</b>	<b>4,8</b>	<b>1,92</b>	<b>115,2</b>	<b>4068,25</b>

AFORO DE VENTILACION GUIA 11-5 MANTO 10															
Fecha	Hora	Estación (m)	T <sub>h</sub> (°C)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>e</sub> (°C)	HR %	O <sub>2</sub> %	CO %	H <sub>2</sub> S %	CH <sub>4</sub> %	V <sub>prom</sub> (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal		
													m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /min	CFM
05/Abril/2021	7:10	CZ M30-M10	18	17,8	17,4	98,7	20,9	0	0	0	0,5	4,5	2,3	138	4873,42
05/Abril/2021	7:15	25	18,2	18,6	17,7	99,9	20,4	5	0	0	0,6	4,5	2,7	162	5720,98
05/Abril/2021	7:25	50	19,3	19,1	18,8	96,8	20,5	12	0	0	0,4	4,5	1,8	108	3813,98
05/Abril/2021	7:35	75	19,4	19,1	18,8	97,3	20,7	8	0	0	0,5	4,5	2,3	138	4873,42
05/Abril/2021	7:45	100	19,9	19,3	19,2	99,6	20,6	8	0	0	0,5	4,5	2,3	138	4873,42
05/Abril/2021	7:50	125	19,5	19,5	19,0	99,9	20,4	3	0	0	0,5	4,5	2,3	138	4873,42
05/Abril/2021	8:00	150	20	19,9	19,6	98,9	20,5	6	0	0	0,4	4,5	1,8	108	3813,98
05/Abril/2021	8:15	175	20,2	19,3	19,6	99,9	20,7	10	0	0	0,3	4,5	1,4	84	2966,43
05/Abril/2021	8:20	200	20,2	20,4	20,1	99,9	20,6	4	0	0	0,2	4,5	0,9	54	1906,99
05/Abril/2021	8:30	250	22,0	22,2	21,9	99,7	20,4	3	0	0	0,2	4,5	0,9	54	1906,99
<b>PROMEDIO</b>			<b>19,67</b>	<b>19,52</b>	<b>19,22</b>	<b>99,06</b>	<b>20,57</b>	<b>5,9</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,41</b>	<b>4,5</b>	<b>1,85</b>	<b>122,2</b>	<b>3695,30</b>

AFORO DE VENTILACION GUIA 11 SUR MANTO 30															
Fecha	Hora	Estación (m)	T <sub>h</sub> (°C)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>e</sub> (°C)	HR %	O <sub>2</sub> %	CO %	H <sub>2</sub> S %	CH <sub>4</sub> %	V <sub>prom</sub> (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal		
													m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /min	CFM
05/Abril/2021	10:10	50	19,7	19,6	19,3	99,3	20,9	0	0	0	0,4	4,8	1,9	114	4025,87
05/Abril/2021	10:12	100	19,7	19,7	19,1	89,6	20,7	15	0	0	0,6	4,8	2,9	174	6144,75
05/Abril/2021	10:18	150	19,8	19,8	19,4	99,9	20,6	8	0	0	0,4	4,8	1,9	114	4025,87
05/Abril/2021	10:28	200	20,4	20,4	19,8	99,9	20,7	5	0	0	0,6	4,8	2,9	174	6144,75
05/Abril/2021	10:30	250	20,7	20,7	20,2	98,9	20,9	2	0	0	0,5	4,8	2,4	144	5085,31
05/Abril/2021	10:42	300	21,3	21,9	20,8	99,9	20,6	0	0	0	0,5	4,8	1,4	84	2966,43
05/Abril/2021	10:46	350	21,9	21,9	21,4	98,9	20,6	15	0	0	0,5	4,8	2,4	144	5085,31
05/Abril/2021	10:52	400	22,5	22,3	22,2	98,9	20,7	13	0	0	0,3	4,8	1,4	84	2966,43
05/Abril/2021	10:55	450	23,2	23,5	22,9	99,9	20,7	12	0	0	0,3	4,8	1,4	84	2966,43
05/Abril/2021	11:00	500	24,4	24,4	24,1	97,7	20,6	12	0	0	0,3	4,8	1,4	84	2966,43
<b>PROMEDIO</b>			<b>21,36</b>	<b>21,14</b>	<b>20,91</b>	<b>99,21</b>	<b>20,7</b>	<b>8,2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,44</b>	<b>4,8</b>	<b>2,11</b>	<b>120</b>	<b>4470,84</b>

AFORO DE VENTILACION SOBRE INCLINADO															
Fecha	Hora	Estación (m)	T <sub>h</sub> (°C)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>e</sub> (°C)	HR %	O <sub>2</sub> %	CO %	H <sub>2</sub> S %	CH <sub>4</sub> %	Vprom (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal		
													m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /min	CFM
05/Abril/2021	11:10	INCL,G11	19,5	19	18,75	96,4	20,9	0	0	0	0,6	4,1	2,46	147,6	5212,44
05/Abril/2021	11:17	INCL,G9	20,3	20,3	19,8	99,9	20,5	8	0	0	0,5	4,1	2,01	120,6	4258,95
05/Abril/2021	11:26	INCL,G7	20,2	20,3	19,63	99,9	20,6	13	0	0	0,6	4,1	2,46	147,6	5212,44
05/Abril/2021	11:36	INCL,G5	20,2	20,2	19,7	99,9	20,4	13	0	0	0,5	4,1	2,05	123	4343,70
05/Abril/2021	11:45	INCL,G3	20,0	20,0	19,3	99,9	20,3	10	0	0	0,7	4,1	2,87	172,2	6081,19
05/Abril/2021	11:50	INCL,8M	20,0	20,3	19,49	99,9	20,8	4	0	0	0,6	4,1	2,46	147,6	5212,44
<b>PROMEDIO</b>			<b>20,03</b>	<b>20,02</b>	<b>19,45</b>	<b>99,32</b>	<b>20,58</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,58</b>	<b>4,1</b>	<b>5,40</b>	<b>143,10</b>	<b>5053,53</b>

AFORO DE VENTILACION CRUZADA A M50-GUIA11															
Fecha	Hora	Estación (m)	T <sub>h</sub> (°C)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>e</sub> (°C)	HR %	O <sub>2</sub> %	CO %	H <sub>2</sub> S %	CH <sub>4</sub> %	Vprom (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal		
													m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /min	CFM
05/Abril/2021	8:00	FTE	19,0	19,0	18,5	99,9	20,9	0	0	0	0,5	3,36	1,7	102	3602,10
05/Abril/2021	8:15	P1 CZ M50	19,0	19,0	18,7	99,9	20,6	25	0	0	0,3	3,36	1,0	60	2118,88
05/Abril/2021	8:25	P2 CZ M50	19,2	19,2	18,7	99,9	20,8	10	0	0	0,5	3,36	1,7	102	3602,10
05/Abril/2021	8:34	P3 CZ M50	19,4	19,4	19,1	99,9	20,9	8	0	0	0,3	3,36	1,0	60	2118,88
05/Abril/2021	8:40	P4 CZ M50	19,5	19,5	19,2	99,9	20,5	2	0	0	0,3	3,36	1,0	60	2118,88
05/Abril/2021	8:50	P5 CZ M50	19,5	19,4	19,5	99,9	20,4	0	0	0	0	3,36	0,0	0	0
<b>PROMEDIO</b>			<b>19,27</b>	<b>19,25</b>	<b>18,95</b>	<b>99,9</b>	<b>20,68</b>	<b>7,5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,32</b>	<b>3,36</b>	<b>1,06</b>	<b>64</b>	<b>2260,14</b>

AFORO DE VENTILACION INCLINADO INTERNO M30															
Fecha	Hora	Estación (m)	T <sub>h</sub> (°C)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>e</sub> (°C)	HR %	O <sub>2</sub> %	CO %	H <sub>2</sub> S %	CH <sub>4</sub> %	Vprom (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal		
													m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /min	CFM
05/Abril/2021	8:00	SUB 14	19,0	19,0	18,5	99,8	20,9	0	0	0	0,5	4,8	2,4	144	5085,31
05/Abril/2021	8:15	SUB 15	19,0	19,0	18,6	99,9	20,8	15	0	0	0,4	4,8	1,9	114	4025,87
05/Abril/2021	8:25	SUB 16	19,2	19,2	19,0	98,9	20,7	8	0	0	0,6	4,8	2,9	174	6144,75
05/Abril/2021	8:34	SUB 17	19,4	19,4	19,1	99,6	20,9	3	0	0	0,3	4,8	1,4	84	2966,43
05/Abril/2021	8:40	SUB 18	19,5	19,3	19,0	99,9	20,9	0	0	0	0,4	4,8	1,9	114	4025,87
<b>PROMEDIO</b>			<b>19,22</b>	<b>19,30</b>	<b>18,64</b>	<b>99,62</b>	<b>20,84</b>	<b>5,2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,44</b>	<b>4,8</b>	<b>2,11</b>	<b>126,6</b>	<b>4470,84</b>

### Anexo 5. Requerimiento de aire por maquinaria

Requerimiento de aire por Maquinaria										
Equipo	Código	hp	Norma (m <sup>3</sup> /min)	Requerimiento (m <sup>3</sup> /min)	Requerimiento (CFM)	Horas mes	Horas día	Operación día (%)	Requerimiento corregido (m <sup>3</sup> /min)	Requerimiento corregido (CFM)
Volquete	VQ-01	480	6	2880	80517,44	220	7,3	38,6	111,17	31079,73
Volquete	VQ-02	480	6	2880	80517,44	220	7,3	38,6	111,17	31079,73
Volquete	VQ-03	480	6	2880	80517,44	220	7,3	38,6	111,17	31079,73
Volquete	VQ-04	480	6	2880	80517,44	220	7,3	38,6	111,17	31079,73
Volquete	VQ-05	480	6	2880	80517,44	220	7,3	38,6	111,17	31079,73
Volquete	VQ-06	480	6	2880	80517,44	220	7,3	38,6	111,17	31079,73
Keaser SFC 37	KS-01	50	6	222	7839,86	176	5,9	30,9	68,60	2422,52
Keaser SFC18	KS-02	25	6	108	3813,98	176	5,9	30,9	33,37	1178,52
Planta eléctrica	PE-01	180	6	1080	38139,84	6	0,2	1,05	11,34	400,47
Malacate	MC-01	205	6	1230	43437,04	352	11,7	61,8	760,14	26844,09
<b>TOTAL</b>				<b>19920</b>	<b>576335,36</b>				<b>1540,47</b>	<b>217323,98</b>

## Anexo 6. Licencia de funcionamiento Ventsim



Thank you for registering your interest in Ventsim™ Mine Ventilation Software.

Ventsim™ is an underground mine ventilation simulation software package designed to model and simulate ventilation, airflows, pressures, heat, gases, financials, radon, fire, and many other types of ventilation data from a model of tunnels and shafts.

Evaluation versions feature all Ventsim™ functions, however the save and print functions have been disabled, and the evaluation time is limited to 14 days. Ventsim™ will revert to a VIEW only version after this time.

### Instructions:

Ventsim™ may be downloaded here: <https://ventsim.com/files/vvsetup5.exe>

After you have installed Ventsim™, select the LICENSE MANAGER from the FILE menu and enter the details exactly as shown below:

### Ventsim™ Evaluation License Details:

Company: Evaluation Advanced  
 Site: Demonstration  
 License Code: 42BD418FB6B6B564  
 License Number: 6401  
 Email: Your email address

Click the ACTIVATE button to enable your trial.

Example network files can be loaded under the FILE menu, or from the "Examples" folder in the "C:\Program Files\Ventsim Visual" directory.

Hardware Requirements for Ventsim Design™		
Specification	Minimum	Recommended
OS:	Windows 10	
CPU:	Intel Core i3-6k series or equivalent	Intel Core i7-7k series or better Higher spec allows for larger models
GPU:	Integrated Intel HD Graphics 515 or equivalent	GPU Nvidia 960 or newer Higher spec allows for larger models
RAM:	4GB RAM	8GB RAM More RAM allows for larger models
Storage:	500MB – Installed size is about 200MB and .VSM file sizes are typically around 5-30MB	
Screen Resolution:	1280 x 768	1920 x 1080

Once again, thank you for your interest in Ventsim™. Any further enquires can be directed to [ventsim@howden.com](mailto:ventsim@howden.com).