

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



TESIS

“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE GESTIÓN PARA  
INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD Y SEGURIDAD DEL  
SISTEMA DE VENTILACIÓN EN UNA MINA SUBTERRANEA-COLOMBIA”

PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN  
GESTIÓN MINERA

ELABORADO POR:  
MILTON CÉSAR ROZAN BRAVO

ASESOR:  
M.Sc. Ing. JOSÉ ANTONIO CORIMANYA MAURICIO

LIMA - PERÚ  
2023

**DEDICATORIA**

*Este trabajo está dedicado a mi amada madre Martha Bravo  
quien me ha dado todo en la vida,  
gracias por todo tu amor y comprensión.  
Gracias a mi querido padre Pedro Rozan  
por tu ejemplo de esfuerzo y superación en la vida.  
A mis hermosos hijos Sebastian, Estefanía y Anthonella,  
a mi esposa Marla por inspirarme a ser cada día mejor,  
por su soporte emocional y apoyo incondicional.  
A mi hermanita Eliana que me guía desde el cielo.*

**AGRADECIMIENTO**

*Gracias a la Universidad Nacional de Ingeniería  
por darme la oportunidad de ser parte de su alma mater,  
en especial a todos los docentes con quienes tuvimos  
la oportunidad de compartir aulas  
en esta prestigiosa cuna del saber.  
Gracias por sus valiosos conocimientos.*

*Lo disfrute mucho.*

*Un agradecimiento especial al  
Ingeniero José Corimanya por su asesoría  
para el desarrollo de esta tesis.*

## INDICE DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>III</b>
<b>INDICE DE CONTENIDO .....</b>	<b>IV</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XII</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>13</b>
<b>CAPITULO I GENERALIDADES.....</b>	<b>14</b>
1.1    Antecedentes Bibliográficos .....	14
1.2    Mina El Silencio.....	15
1.2.1    Ubicación.....	15
1.2.2    Accesibilidad .....	16
1.2.3    Topografía y Vegetación .....	17
1.2.4    Clima y Temperatura .....	17
1.2.5    Geología Regional .....	18
1.2.6    Geología Local .....	20
1.2.7    Método de Explotación.....	21
1.3    Formulación del Problema .....	22
1.3.1    Problema General .....	23
1.3.2    Problemas Específicos .....	23
1.4    Justificación e importancia de la investigación.....	24
1.4.1    Justificación Teórica.....	24
1.4.2    Justificación Práctica .....	24
1.4.3    Justificación Social .....	25
1.4.4    Justificación Personal .....	25
1.5    Objetivos .....	25
1.5.1    Objetivo General.....	25
1.5.2    Objetivos Específicos .....	25
1.6    Hipótesis.....	25
1.6.1    Hipótesis General .....	25
1.6.2    Hipótesis Específicas.....	26
1.6.3    Hipótesis Estadística.....	26
1.7    Variable e Indicadores.....	26
1.7.1    Variable Independiente.....	26
1.7.2    Variable dependiente .....	26

1.7.3	Indicadores.....	27
1.8	Periodo de Análisis.....	27
1.9	Cronograma de Actividades.....	27
<b>CAPITULO II MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL.....</b>		<b>28</b>
2.1	Marco Teórico .....	28
2.1.1	Estructura de un Sistema de Gestión de Ventilación.....	28
2.1.2	Ejecución de un Sistema de Gestión de Ventilación.....	30
2.1.3	Normativa .....	32
2.2	Marco Conceptual .....	33
<b>CAPITULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>		<b>37</b>
3.1	Metodología de Investigación.....	37
3.1.1	Tipo, Nivel y Diseño de la Investigación .....	37
3.1.2	Población y Muestra .....	38
3.1.3	Técnicas e Instrumentos para la recolección de datos.....	38
3.1.4	Técnicas para análisis de datos.....	42
3.2	Diagnóstico del sistema de ventilación de Mina Silencio.....	43
3.2.1	Ventilación Principal .....	44
3.2.2	Ventilación Auxiliar. ....	45
3.2.3	Requerimiento de Aire Fresco actual .....	46
3.2.4	Balance de Aire actual.....	50
3.2.5	Modelo actual de Ventilación – VENTSIM 5.4.....	52
3.2.6	Requerimiento de Aire Proyectado.....	55
3.2.7	Balance de Aire Proyectado .....	57
3.2.8	Modelo proyectado de Ventilación – VENTSIM 5.4.....	58
3.2.9	Determinación del Diámetro Óptimo. ....	61
3.2.10	Condiciones Económicas.....	62
<b>CAPITULO IV RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>		<b>64</b>
4.1	Diseño del sistema de gestión para Mina el Silencio. ....	64
4.1.1	Sistema de Gestión – Evaluación Inicial. ....	67
4.1.2	Programa de Verificación.....	67
4.1.3	Plan de Acción.....	68
4.1.4	Directivas de ventilación .....	70
4.1.5	Verificación final.....	70
4.1.6	Cumplimiento Normativo.....	71
4.2	Implementación del sistema de gestión en Mina el Silencio. ....	71
4.2.1	CASO 1 - Instalación de Ventilador Secundario.....	71
4.2.2	CASO 2 - Ventilación con aire comprimido .....	79

4.2.3	CASO 3 - Ventilación eficiente para frente mecanizado .....	85
4.3	Costos del sistema de ventilación mejorado .....	91
4.3.1	Costos de Capital (Capex) .....	91
4.3.1.1	CASO 1 - Instalación de Ventilador Secundario.....	91
4.3.1.2	CASO 2 - Ventilación con aire comprimido .....	91
4.3.1.3	CASO 3 - Ventilación eficiente para frente mecanizado .....	92
4.3.2	Costos de Operación (Opex) .....	93
4.3.2.1	CASO 1 - Instalación de Ventilador Secundario.....	93
4.3.2.2	CASO 2 - Ventilación con aire comprimido .....	93
4.3.2.3	CASO 3 - Ventilación eficiente para frente mecanizado .....	95
4.3.3	Análisis Financiero, VAN, TIR, Payback .....	95
4.4	Análisis de los resultados de la investigación y Contrastación de Hipótesis. 97	
4.4.1	Mejoras en Productividad:.....	98
4.4.2	Mejora en Seguridad:.....	98
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>101</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>102</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>103</b>
<b>ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA .....</b>		<b>105</b>
<b>ANEXO 2 REQUERIMIENTOS DE AIRE FRESCO .....</b>		<b>106</b>
<b>ANEXO 3 ESTANDARES Y PROCEDIMIENTOS.....</b>		<b>107</b>
<b>ANEXO 4 INSTRUCCIONES DE TRABAJO.....</b>		<b>121</b>
<b>ANEXO 5 INVENTARIO Y MANTENIMIENTO DE VENTILADORES .....</b>		<b>140</b>
<b>ANEXO 6 CALIBRACION DE EQUIPOS DE MONITOREO.....</b>		<b>141</b>
<b>ANEXO 7 PLAN DE CONTINGENCIA MINA EL SILENCIO .....</b>		<b>142</b>
<b>ANEXO 8 PLANO UNIFILAR MINA EL SILENCIO.....</b>		<b>145</b>
<b>ANEXO 9 COMPARACION LEGISLACION COLOMBIANA, PERUANA Y CHILENA .....</b>		<b>146</b>
<b>ANEXO 10 OTROS.....</b>		<b>150</b>
<b>ANEXO 11 CURRICULUM VITAE.....</b>		<b>151</b>

## INDICE DE FIGURAS.

Figura 1.1 Mapa de accesibilidad por carretera al proyecto Segovia.....	16
Figura 1.2 Condiciones climáticas generales de superficie para Segovia. ....	18
Figura 1.3 Mapa geológico regional - Concesión minera de Segovia.....	19
Figura 2.1: Sistema de gestión.....	29
Figura 2.2: Ejecución de un Sistema de gestión.....	31
Figura 3.1: Psicrómetro digital, ambient Weather WS-HT350. ....	39
Figura 3.2: Termohigroanemometro digital, Kestrel 5200.....	39
Figura 3.3: Distanciómetro digital, Leica D110. ....	40
Figura 3.4: Anemómetro de paleta Davies. ....	40
Figura 3.5: Multidetector Drager.....	41
Figura 3.6: Tubo Pitot y manómetro digital. ....	41
Figura 3.7: Tubos de humo y cronometro digital. ....	42
Figura 3.8: Software Ventsim Design 5.4 (Premium).....	42
Figura 3.9: Circuito principal de Mina El Silencio. ....	43
Figura 3.10: Zona de Rampa 1 y Rampa 2. ....	44
Figura 3.11: Ingresos y salida de aire. ....	44
Figura 3.12: Shaft principal de extracción de aire viciado. ....	45
Figura 3.13: Curva de operación – ventilador auxiliar.....	46
Figura 3.14: Resultados de Simulación Ventsim actual. ....	54
Figura 3.15: Distribución de energía actual.....	55
Figura 3.16: Requerimiento y Balance de aire proyectado. ....	58
Figura 3.17: Resumen del sistema de ventilación proyectado.....	60
Figura 3.18: Distribución de energía proyectado. ....	61
Figura 3.19: Curvas de operación de ventiladores principales (proyectado). ....	61
Figura 3.20: Diámetro Optimo. ....	62
Figura 4.1: Componentes del Sistema de Gestión.....	65
Figura 4.2: Diagrama de flujo del sistema de gestión. ....	65
Figura 4.3: Diagrama de flujo del sistema de gestión – Mina el Silencio.....	66
Figura 4.4: Simulación zona de Rampa 2 – Mina el Silencio. ....	73
Figura 4.5: Esquema de ventilación. ....	74
Figura 4.6: Simulación Ventsim CASO 1. ....	76
Figura 4.7: Simulación Ventsim CASO 1. ....	77
Figura 4.8: Curvas de operación CASO 1.....	77
Figura 4.9: Curva de operación CASO 1.....	78
Figura 4.10: Simulación CASO 2.....	83
Figura 4.11: Simulación CASO 3.....	89

Figura 4.12: Simulación CASO 3.....	89
Figura 4.13: Distribución de compresores.....	93



## INDICE DE TABLAS.

Tabla 1.1 Cronograma de actividades. ....	27
Tabla 3.1 Requerimiento de aire por personal.....	47
Tabla 3.2 Requerimiento de aire por equipos diésel. ....	48
Tabla 3.3 Requerimiento de aire por temperatura. ....	49
Tabla 3.4 Requerimiento de aire para voladuras. ....	50
Tabla 3.5 Requerimiento de aire actual. ....	51
Tabla 3.6 Balance de aire actual. ....	51
Tabla 3.7: Requerimiento por personal proyectado.....	55
Tabla 3.8: Requerimiento por equipos diésel proyectado. ....	56
Tabla 3.9: Requerimiento por temperatura proyectado. ....	56
Tabla 3.10: Requerimiento por voladuras proyectado.....	56
Tabla 3.11: Requerimiento y Balance de aire proyectado.....	57
Tabla 3.12: Cálculo del Diámetro Óptimo. ....	62
Tabla 3.13: Costos por consumo de energía. ....	63
Tabla 3.14: Ratios de ventilación. ....	63
Tabla 4.1: Monitoreo termo ambiental Inicial – Caso 1.....	73
Tabla 4.2: Requerimiento de aire – Zona Rampa 2.....	75
Tabla 4.3: Caracterización de ventilador auxiliar.....	75
Tabla 4.4: Monitoreo termo ambiental Final – Caso 1.....	79
Tabla 4.5: Monitoreo termo ambiental – Caso 2.....	81
Tabla 4.6: Cálculo de densidad.....	82
Tabla 4.7: Requerimiento de aire por cada frente de avance.....	82
Tabla 4.8: Diseño de ventilador auxiliar. ....	82
Tabla 4.9: Monitoreo de frentes de trabajo, Inicial. ....	86
Tabla 4.10: Requerimiento de aire por equipos diésel. ....	87
Tabla 4.11: Requerimiento de aire por equipos diésel. ....	87
Tabla 4.12: Requerimiento de aire fresco.....	88
Tabla 4.13: Diseño de ventilador auxiliar. ....	88
Tabla 4.14: Costo de ventiladores. ....	91
Tabla 4.15: Costo de ventiladores. ....	92
Tabla 4.16: Costo por consumo de energía. ....	93
Tabla 4.17: Consumo de energía por aire comprimido. ....	94
Tabla 4.18: Consumo de energía por ventiladores. ....	94
Tabla 4.19: Consumo de energía actual – Caso 3.....	95
Tabla 4.20: Consumo de energía propuesto – Caso 3. ....	95
Tabla 4.21: Indicadores económicos – Caso 2. ....	96

Tabla 4.22: Indicadores económicos – Caso 3. ....	97
Tabla 4.23: Tabla de Resultados. ....	97
Tabla 4.24: Resultados de monitoreo – Caso 1. ....	98
Tabla 4.25: Resultados de monitoreo – Caso 2. ....	99
Tabla 4.26: Resultados de monitoreo – Caso 3. ....	99
Tabla 4.27: Índices de accidentes. ....	100

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se ha realizado el diseño e implementación de un sistema de gestión. Este comprende una serie de documentos que describen los medios de auditoría, control y administración del sistema de ventilación asegurando el cumplimiento normativo establecido en el país. La estructura de este sistema de gestión está compuesta por instrucciones de trabajo, requerimientos, ingeniería, diseño, recursos, pautas y finalmente directivas destinadas a corregir las condiciones deficientes de ventilación identificadas en campo; en consecuencia, nuestro problema general se plantea: ¿En qué medida el diseño y la implementación de un sistema de gestión contribuye al incremento de la productividad y seguridad del sistema de ventilación de una mina subterránea en Colombia?

Basamos nuestra investigación en la siguiente hipótesis: Diseñando e Implementando un sistema de gestión adecuado se podrá incrementar la productividad y seguridad del sistema de ventilación. El objetivo general es Diseñar e Implementar un sistema de gestión para incrementar la productividad y la seguridad del sistema de ventilación. El tipo de investigación utilizada es aplicada, llevando a la práctica las teorías generales en materia de ventilación. La mina en estudio actualmente cuenta con un sistema de ventilación mecánico aspirante con dos extractores principales instalados en superficie y en paralelo de 190 Kcfm cada uno, además de 11 ventiladores auxiliares de 8 a 25 Kcfm.

Se ha analizado tres casos prácticos en los cuales se muestran los resultados de las mejoras en productividad y seguridad después de la implementación del sistema de gestión. En el CASO 2 por ejemplo luego de realizar una inversión (Capex) de US \$ 158 240, el ahorro por concepto de energía actual es de US \$ 183 835, con un VAN=US \$ 880469, TIR=116% y un periodo de recuperación menor a un año. También se ha calculado el diámetro óptimo para el caudal de aire requerido resultando en 3.6 m. de diámetro.

## ABSTRACT

In the present research work, the design and implementation of a management system has been carried out. This includes a series of documents that describe the means of auditing, controlling and managing the ventilation system, ensuring compliance with regulations established in the country. The structure of this management system is made up of work instructions, requirements, engineering, design, resources, guidelines and finally directives aimed at correcting deficient ventilation conditions identified in the field; Consequently, our general problem arises: To what extent does the design and implementation of a management system contribute to increasing the productivity and safety of the ventilation system of an underground mine in Colombia?

We base our research on the following hypothesis: Designing and implementing an adequate management system can increase the productivity and safety of the ventilation system. The general objective is to Design and Implement a management system to increase the productivity and safety of the ventilation system. The type of research used is applied, putting into practice the general theories on ventilation. The mine under study currently has a mechanical suction ventilation system with two main extractors installed on the surface and in parallel of 190 Kcfm each, in addition to 11 auxiliary fans of 8 to 25 Kcfm.

Three practical cases have been analyzed in which the results of improvements in productivity and safety after the implementation of the management system are shown. In CASE 2, for example, after making an investment (Capex) of US\$ 158,240, the savings for current energy is US\$ 183,835, with a NPV=US\$ 880,469, IRR=116% and a period of recovery less than one year. The optimal diameter for the required air flow has also been calculated, resulting in 3.6 m. diameter.

## INTRODUCCIÓN

Un sistema de ventilación no solo debe garantizar la salud y la seguridad del personal que trabaja al interior de la mina, sino también operar en conformidad con los organismos reguladores. Una gestión diaria del sistema de ventilación de la mina es crucial para cumplir todos los objetivos de la operación minera. Un sistema de gestión de ventilación es utilizado para proporcionar, medir y controlar la cantidad y calidad de flujo de aire en toda la red de ventilación de la mina. En la actualidad toda mina subterránea que forma parte de la industria minera debería contar con un sistema de ventilación bien definido, que considere la estimación de caudal para un buen desempeño del personal y el correcto funcionamiento de los equipos. En especial las minas que cuentan con equipos a combustión interna presentan ambientes de trabajo con elevadas temperaturas, que afectan el rendimiento de los trabajadores, si no se cuenta con un sistema de ventilación eficiente. Un programa de gestión de ventilación consiste en un marco iterativo, a través del cual el departamento de ventilación de la mina mantiene el sistema de ventilación en conformidad con los organismos reguladores y en cumplimiento de las normativas y políticas de la empresa. Consiste en documentos estructurados que forman procedimientos estandarizados y directrices para auditar el sistema y proporcionar acciones correctivas cuando surge una condición subestándar, de modo que sea más seguro y eficiente. La implementación adecuada de un programa de gestión de ventilación resultará en beneficios significativos incluyendo una mayor efectividad operativa, mayor seguridad, mejora la eficiencia de la ingeniería, reducción de accesorios de ventilación, reducción de costos de mantenimiento y reducción del consumo de energía. La gestión de calidad permitirá que las operaciones mineras no se vean afectadas por una mala ventilación, además de aplicar técnicas de mitigación ante condiciones ambientales inseguras, alejándose así de prácticas reactivas indeseables.

## **CAPITULO I**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1 Antecedentes Bibliográficos**

(Euler, 2017) La ventilación se describe a veces como el elemento vital de una mina, ya que los conductos de aire fresco de admisión son como arterias que llevan el oxígeno a las áreas de trabajo y los conductos de retorno conducen los contaminantes para su expulsión al ambiente exterior. Sin un sistema de ventilación eficaz, no hay instalaciones subterráneas donde el personal que ingrese puede operar de manera segura. El éxito de la investigación en esta área ha producido una tremenda mejora en las condiciones ambientales subterráneas. Las mejoras en la ventilación también han permitido mejorar mucho la productividad de las minas. Los ingenieros de ventilación subterránea están atrapados en un ciclo continuo. Su trabajo permite que la roca se rompa en cantidades cada vez mayores y en mayores profundidades. Esto, a su vez, produce más polvo, gases y calor, lo que genera una demanda de mejor control ambiental.

(Euler, 2017) El ingeniero de ventilación subterránea debe ser capaz de hacer frente a dos tipos de costos: (a) Costos de capital que requieren fondos sustanciales en un momento determinado o distribuidos en un período breve. Una instalación de ventilador principal o la construcción de una nueva chimenea entran en esta categoría. (b) Costos de trabajo u

operativos, estos representan el gasto de fondos en forma continua para mantener un sistema operativo. Aunque los elementos consumibles, el mantenimiento e incluso los pequeños elementos del equipo pueden considerarse costos de trabajo, los diseñadores de sistemas de ventilación a menudo limitan el término "costos operativos" al precio de suministrar energía eléctrica a los ventiladores. El problema que suele surgir se refiere a la combinación de costos de capital y operativos que busca minimizar el costo total real para la empresa u organización minera; por ejemplo, si compramos un ventilador costoso pero eficiente para reducir los costos operativos o, un ventilador menos costoso que requerirá mayores costos operativos. El propósito de los sistemas de gestión de ventilación es garantizar la salud y la seguridad de los trabajadores subterráneos mediante la creación e incorporación de planes, procedimientos y procesos estructurados en las operaciones diarias del sistema de ventilación de la mina. La aplicación de los programas de gestión de la ventilación consiste en procedimientos de auditoría, verificación y acción correctiva para asegurar el cumplimiento de las normas regulatorias e incrementar la productividad.

## **1.2 Mina El Silencio**

### **1.2.1 Ubicación**

Gran Colombia Gold es una compañía canadiense, que cotiza en la bolsa de Toronto, líder en la exploración y producción de oro y plata, con operaciones enfocadas en Colombia, bajo tres proyectos principales; Segovia, Marmato y Zancudo.

El Proyecto Segovia se compone de varias áreas llamadas, Providencia, El Silencio, Sandra K, y las Verticales (Las Aves, Pomarrosa y Pomarrosa 2), ubicadas en los municipios mineros de Segovia-Remedios, departamento de Antioquia, noroeste de Colombia, aproximadamente 180 km al noreste de Medellín, capital del departamento, sus coordenadas geográficas son:

❖ 74° 42' 00" Latitud Oeste

- ❖ 7° 04' 00" Latitud Norte.
- ❖ Altitud media: 600 m.s.n.m.

Los derechos mineros para el Proyecto Segovia comprenden el Título de Minería No. RPP 140 y dos Licencias de Exploración con un área total de aproximadamente 2,906 hectáreas (ha), ubicadas en los municipios de Segovia y Remedios, en el departamento de Antioquia. La licencia estaba en manos de FGM, pero, a partir de agosto de 2010, ahora es propiedad de Zandor Capital S.A. Colombia (Zandor), una subsidiaria de Gran Colombia.

### ***1.2.2 Accesibilidad***

El acceso por carretera desde Medellín a Segovia es de 225 km, que recientemente se ha actualizado y ahora está pavimentado en toda su extensión. Yendo hacia el norte, hay una carretera de 61 km desde Segovia a Zaragoza, y otra de 120 km a Caucasia, para conectar con vías que conducen a los puertos marítimos de Colombia. El acceso aéreo se realiza en un vuelo chárter de 30 minutos desde Medellín a Otú, a 15 km al sur de Segovia, donde se tiene una pista de aterrizaje con superficie de asfalto. Desde Otú, Segovia se encuentra a 20 minutos en coche, pasando por los municipios de Remedios y La Cruzada, ver Figura 1.1.



***Figura 1.1 Mapa de accesibilidad por carretera al proyecto Segovia.***

Fuente: Instituto Nacional de Vías – Colombia



### **1.2.3 Topografía y Vegetación**

El proyecto está ubicado en las estribaciones de la parte noreste de la Cordillera Central de los Andes colombianos. La topografía es una meseta baja o una superficie erosiva a una altitud de 600 a 850 m, incidida por valles con un relieve de menos de 250 m, pero con pendientes pronunciadas de entre 20° y 40°. El patrón de drenaje es dendrítico. Los principales ríos en el área del Proyecto son Pocuné, Bagre e Ité. En el lado oeste de Segovia, el río Pocuné drena hacia el norte en el río Nechi, que alberga las principales operaciones de extracción de oro de placer. El Nechi es un afluente del río Cauca, que a su vez se une al río Magdalena que desemboca en el mar Caribe en Barranquilla. El río Bagre drena la parte noreste del área y también es un afluente del Nechi. En el lado este de Segovia, el río Ité fluye hacia el sureste y luego hacia el noreste directamente hacia el río Magdalena. La vegetación en el área local en su estado primario es bosque tropical, pero la mayoría de las áreas han sido taladas para el pastoreo de ganado con cierto grado de crecimiento de bosque secundario. (SRK Consulting (U.S.), 2018)

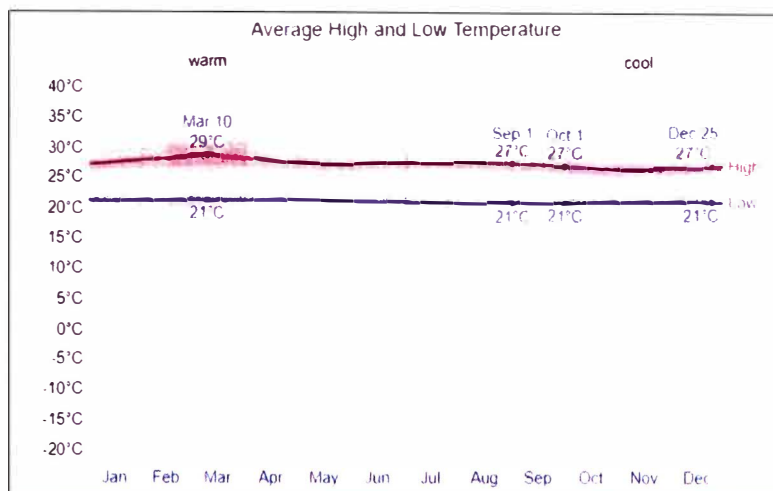
### **1.2.4 Clima y Temperatura**

Se pueden encontrar diferentes climas dentro de la región y varían con la elevación. Estos climas pueden ser definidos como:

- Caliente (> 24 ° C) por debajo de 1,000 m en el valle del río Cauca;
- Templado (18 ° C a 24 ° C) entre 1,000 y 2,000 m;
- Frío por encima de 2.000 m (12 ° C a 18 ° C).

Segovia está situada dentro de la zona cálida donde el clima es tropical y húmedo con una precipitación anual de aproximadamente 2.670 milímetros (mm). El municipio de Segovia tiene una temperatura promedio de 25 ° C. La lluvia tiene una distribución bimodal con los meses más húmedos de mayo a diciembre y una estación seca de diciembre a mayo. La temperatura alta diaria promedio es de 28 ° C, y generalmente se experimenta en marzo.

La temperatura baja diaria promedio permanece constante durante todo el año a aproximadamente 21 ° C. (Prosser, 2019).



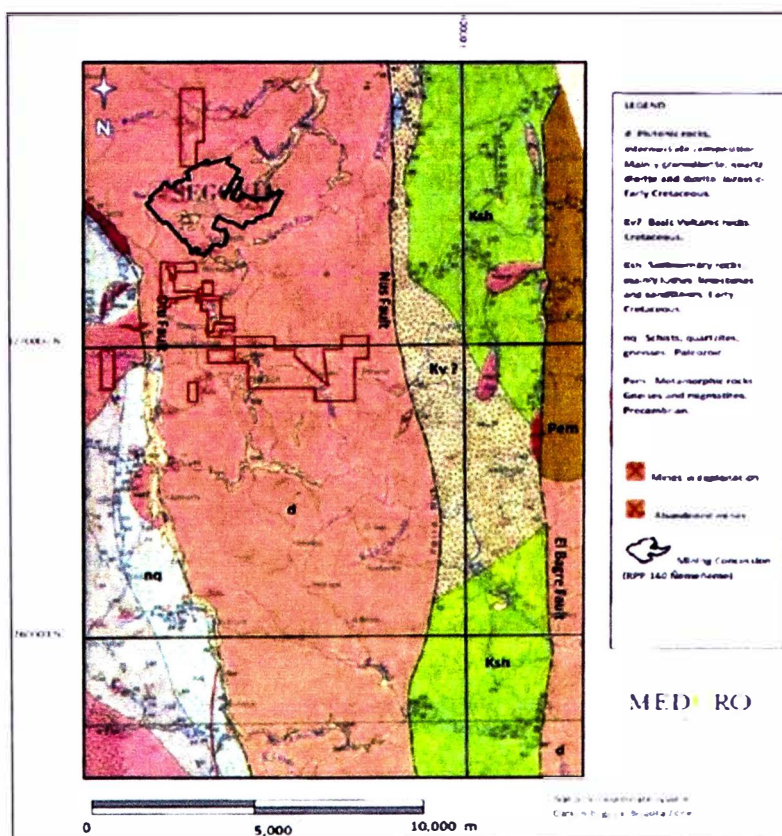
**Figura 1.2 Condiciones climáticas generales de superficie para Segovia.**

Fuente: (SRK Consulting (U.S.), 2018)

### 1.2.5 Geología Regional

El distrito aurífero Segovia-Remedios se encuentra en y alrededor de los municipios de los mismos nombres dentro de la Cordillera Central colombiana. Esta región está dominada por rocas metamórficas e ígneas que están ampliamente orientadas de norte a sur. La región también contiene depósitos menores / localizados de material aluvial no consolidado y las condiciones climáticas predominantes han dado como resultado la formación de una gruesa capa de saprolito amarillo a parduzco que puede exceder los 60 m de profundidad. El distrito está alojado por el batolito Segovia de composición de granodiorita a diorita. El batolito tiene 10 km de ancho en Segovia y es alargado de Norte – Sur. La región está estructuralmente controlada por una serie de fallas orientadas de norte a sur a 350°, más notablemente los Otú-Pericos, que post-datan las fallas del Nus y Bagre, y son todos consideradas como más joven que el Cretáceo Inferior y forma parte del sistema de fallas Palestina que unía el Batolito de Segovia. La falla de Otú es sumamente inclinada, tiende 340° y tiene un desplazamiento lateral-sinestral de 66 km, define el contacto entre

rocas paleozoicas que comprenden cuarzo-sericita y grafito esquistoso, esquistos metavolcánicos del grupo Cajamarca. La falla de Catarra tiende a 20° en el sur y 10° en el norte y tiene un desplazamiento sinistral-lateral de 50 km. La falla de Nus tiende a 350° y tiene una inclinación empinada y desplazamiento lateral-dextral de 50 km. El batolito de Segovia comprende un total de 5,600 km<sup>2</sup> orientados de norte a sur a 30° y predominantemente contiene diorita de grano medio a diorita de cuarzo y variaciones de cuarzo a granodiorita y gabro. Se encuentra intruido por diques andesíticos a lo largo de discontinuidades, que se consideran controles de la mineralización del oro. Las fallas y fracturas en el batolito de Segovia constituyen un importante control sobre la mineralización y se considera que comprende tres conjuntos entre verticales, sub-verticales y de compresión, ver Figura 1.3. (SRK Consulting (U.S.), 2018)



**Figura 1.3. Mapa geológico regional - Concesión minera de Segovia.**

Fuente: (SRK Consulting (U.S.), 2018)

### **1.2.6 Geología Local**

Dentro de los límites actuales de propiedad del RPP 140, hay una serie de minas o proyectos operativos, cuyas principales áreas de interés son: Providencia, El Silencio, Sandra K y las Verticales. Cada una de las minas se ha centrado en una de las principales estructuras de las vetas, pero generalmente tiene una serie de vetas menores las cuales también se sabe que tienen continuidad geológica. La longitud de cuelga conocida de la mineralización de Providencia es de aproximadamente 2 km, y El Silencio de 2.7 km, mientras que Sandra K solo ha sido explorada en más de 1 km de longitud de cuelga. Con la excepción de Las Verticales, cada una de las vetas se clava en promedio entre 25° y 35°. El sistema de vetas Las Verticales está compuesto por una serie de zonas de cizallamiento que golpean hacia el noroeste y se consideran inmersiones pronunciadas ( $> 80^\circ$ ). La única descripción publicada de la geología de Frontino es de Tremlett (1955) quien describió la geología como una estructura de vetas mineralizadas. Las minas de la antigua Frontino están alojadas enteramente por rocas granodiorita / granitoide del batolito de Segovia, que se ha registrado como de edad jurásica tardía, pero algunas dataciones de rocas en la región sugieren que puede ser mucho más joven y de mediana a tardía-Cretáceo en edad ( $\sim 68.4 \pm 5.5$  Ma a  $84.1 \pm 5.5$  Ma). La granodiorita es de grano grueso (aproximadamente 5 mm), equigranular y de color bastante oscuro con plagioclasa blanca, cuarzo y hornblenda verde oscuro. La parte del distrito de Segovia-Remedios cubierta por el Proyecto, tiene tres fases principales de deformación reconocida, que comprende:

- Una fase temprana de deformación asociada con el emplazamiento de una serie empinadas y la inmersión superficial, diques de premineralización (D1),
- Una etapa de compresión orientada de manera general N-S (D2), y
- Una fase de compresión postmineralización orientada E-W (D3).

La mineralización del oro está alojada por una serie de venas de cuarzo-sulfuro. Los principales sulfuros presentes son pirita, calcopirita, esfalerita y galena. Las venas exhiben tres tendencias principales:

- N-S a golpe de NE, con un buzamiento de 30 ° E;
- E-W a golpe NW, con un buzamiento de 30 ° a N o NE; y
- NW con un buzamiento de 65-85 ° NE.

El ancho promedio de las vetas de cuarzo es de 0,95 m, con un ancho máximo en ocasiones de hasta 9,00 m. Las venas de cuarzo comúnmente siguen diques básicos con un ancho de aproximadamente 2-3 m. Estos diques se pueden encontrar en la pared colgante o en el material de la pared del pie, ambos, o en el centro de la vena mineralizada. Los diques son basálticos y tienen fenocristales gruesos (7 mm) de color blanco plagioclasa en una matriz de grano fino y de color oscuro. (SRK Consulting (U.S.), 2018)

**Deposito mineral:** La mineralización del oro en Segovia se produce en las vetas de cuarzo-sulfuro mesotérmicas alojadas por un batolito. Se han clasificado como "Depósitos de oro relacionados con Plutón oxidado" según Sillitoe 2008, son consideraciones que se formaron después del enfriamiento del batolito y pueden tener una relación genética con el batolito, así como con el régimen de estrés regional relacionado con la falla de Otú. El depósito guarda una gran semejanza con los depósitos de Pataz en el norte de Perú. (SRK Consulting (U.S.), 2018)

### ***1.2.7 Método de Explotación***

La mayor parte de la mineralización tiene buzamiento de aproximadamente 35°. Los métodos de minería actuales utilizados en las operaciones de Segovia incluyen cámaras y pilares, así como el método de corte y el relleno. El material generalmente se extrae de la mina mediante el uso de un sistema de elevación por apique (sistema de elevación en ángulo igual al del buzamiento de la mineralización). (SRK Consulting (U.S.), 2018)

**Cámaras y pilares:** Consiste en dos fases; la fase primaria extrae una disposición de cámara y pilar de manera tradicional y la fase secundaria extrae material adicional de los pilares; es decir el pilar es entonces eliminado total o parcialmente según las condiciones geotécnicas. En la primera fase se aplican técnicas convencionales de cámaras y pilares con métodos de minería manual (uso de jackleg o martillo neumático, rastrillos/azadones para transportar el material). Se accede a los paneles desde los niveles de acarreo subyacentes, así como también desde un desarrollo descendente (tambores) que divide los paneles en bloques. También se construyen tolvas desde la que se puede cargar la roca extraída. Los subniveles se desarrollan con una ligera pendiente para hacer que el manejo de materiales, usando rastrillos sea más fácil. Comúnmente, en la región al método se le denomina zapas y conducciones, es decir tambores y sobre guías. El método requiere mucha mano de obra y utiliza principalmente azadones y jackleg. Los pilares son típicamente de 4m x 4m y las cámaras tienen de 4 a 6 m de ancho; sin embargo, el tamaño del pilar puede variar significativamente. El soporte, es típicamente pernos de roca helicoidales, Split sets, madera, malla y hormigón proyectado. Los paquetes de madera y los pilares de cemento se usan cuando es necesario para lograr las proporciones de extracción planificadas, y por lo general en la segunda fase. Se utiliza este método de explotación convencional mezclado con la utilización de equipos mecanizados (Volquetas, Scooptram, Jumbos) para el cargue, acarreo del mineral y desarrollo de rampas. El tamaño de las rampas principales es de 4m x 3,5m, dependiendo del área de minería. Las inclinaciones principales de la rampa son del 13%.

### **1.3 Formulación del Problema**

En Mina el Silencio las temperaturas en las labores de trabajo pueden variar desde un rango de 26°C a más de 30°C de temperatura del bulbo húmedo (lo cual no es recomendable por seguridad), esto se debe principalmente a las fuentes que transfieren calor al ambiente subterráneo, como: el gradiente geotérmico y los equipos mecanizados.

Adicionalmente la ubicación geográfica de la mina y el alto porcentaje de humedad contribuyen al incremento de las temperaturas ambientales. La contaminación de gases generada por los equipos diésel sumado a la generación de polvo al interior de la mina, se convierten también en los principales problemas que se presentan a diario en la operación.

Los reportes de deficiencias termo ambientales en varias labores de la mina no son solucionados por parte del departamento de ventilación con la rapidez y eficiencia que se requiere. Esto se debe muchas veces a que no existe una planificación de los pasos a seguir, primero para identificar adecuadamente los problemas y segundo para generar un plan de acción destinado a dar una solución eficiente. Al no existir una respuesta adecuada por parte del área de ventilación, se presentan tiempos perdidos en la operación generando pérdidas económicas a la compañía y riesgos a la salud de los trabajadores.

Se hace necesario entonces diseñar e implementar un sistema de gestión adecuado al sistema de ventilación actual que nos permita mejorar y controlar las condiciones climáticas al interior de la mina, dando una respuesta rápida y eficiente a los problemas que se pueden presentar durante la operación diaria de la mina, evitando perdidas en el proceso con el objetivo de incrementar la productividad y sobre todo garantizar la seguridad de los trabajadores.

### ***1.3.1 Problema General***

- ¿En qué medida el diseño y la implementación de un sistema de gestión del sistema de ventilación contribuye al incremento de la productividad y seguridad de mina el Silencio de Grancolombiagold?

### ***1.3.2 Problemas Específicos***

- ¿Cómo debería ser el sistema de gestión acorde a las condiciones actuales del sistema de ventilación de mina el silencio?

- ¿Es posible mejorar la productividad de mina el silencio con la implementación de un sistema de gestión adecuado al sistema de ventilación?
- ¿Es posible mejorar la seguridad de mina el silencio con la implementación de un sistema de gestión adecuado al sistema de ventilación?

#### **1.4 Justificación e importancia de la investigación**

La presente investigación se justifica en la medida que servirá como marco referencial a otras empresas que quieran estudiar la problemática planteada buscando con ello la eficiencia en las operaciones de la mina. Se busca el mejoramiento de las condiciones ambientales actuales y proyectadas de la mina, para brindar confort a los trabajos mineros, y garantizar el rendimiento de los equipos (jumbos, cargadores de bajo perfil, camiones de bajo perfil, ventiladores, etc.), con el fin de alcanzar estándares o niveles altos de desempeño laboral en un ambiente seguro. Además, se busca tener una gestión eficiente del sistema de ventilación actual.

##### ***1.4.1 Justificación Teórica***

La realización de este proyecto de implementación de un sistema de gestión adecuado para el Sistema de Ventilación en mina El Silencio y su interrelación con los resultados económicos y de seguridad y confort de los trabajadores, contribuye al conocimiento teórico de los profesionales involucrados en el estudio del ambiente minero.

##### ***1.4.2 Justificación Práctica***

Los resultados medidos luego de implementado este estudio de mejora ayudaran a todos los involucrados en el tema a mejorar los ambientes de trabajo subterráneo. Entre las consecuencias positivas, podemos nombrar las siguientes: crecimiento, productividad, satisfacción, adaptación, etc. Resulta de total utilidad para la empresa, para el sector y para el país.



### **1.4.3 Justificación Social**

A través de este estudio se pretende dar pronta respuesta de la problemática de ambientes subestándares existentes en las operaciones mineras. Aportará beneficios para los trabajadores y para los resultados económicos.

### **1.4.4 Justificación Personal**

La presente investigación tiene una justificación personal, porque a través de ella tendré la oportunidad de lograr el grado académico de maestro en gestión minera.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

- Diseñar e Implementar un sistema de gestión del sistema de ventilación para incrementar la productividad y la seguridad de mina El Silencio de Grancolombiagold.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar un sistema de gestión acorde a las condiciones actuales del sistema de ventilación de mina el Silencio.
- Implementar el sistema de gestión del sistema de ventilación para incrementar la productividad en mina el Silencio.
- Implementar el sistema de gestión del sistema de ventilación para mejorar la seguridad en mina el Silencio.

## **1.6 Hipótesis**

### **1.6.1 Hipótesis General**

- Diseñando e Implementando un sistema de gestión adecuado al sistema de ventilación se podrá incrementar la productividad y seguridad de Mina El Silencio de Grancolombiagold.

### 1.6.2 *Hipótesis Específicas*

- Es posible diseñar e implementar un sistema de gestión acorde a las condiciones actuales del sistema de ventilación de mina el silencio.
- La implementación del sistema de gestión del sistema de ventilación incide significativamente para incrementar la productividad de mina el silencio.
- La implementación del sistema de gestión del sistema de ventilación incide significativamente en la mejora de la seguridad de mina el silencio.

### 1.6.3 *Hipótesis Estadística*

#### *Hipótesis Nula*

- $H_0: p = 0$
- No existe una incidencia significativa en la mejora de la productividad y seguridad de Mina El Silencio a causa del diseño e implementación de un sistema de gestión del sistema de ventilación.

#### *Hipótesis Alternativa*

- $H_a: p \neq 0$
- Existe una incidencia significativa en la mejora de la productividad y seguridad de Mina El Silencio a causa del diseño e implementación de un sistema de gestión del sistema de ventilación.

## 1.7 **Variable e Indicadores**

### 1.7.1 *Variable Independiente*

X1 = Diseño e implementación de un sistema de gestión adecuado para el sistema de ventilación actual.

### 1.7.2 *Variable dependiente*

Y1 = Incremento de la productividad y seguridad del sistema de ventilación de mina el silencio de Grancolombiagold.

### 1.7.3 Indicadores

#### Indicadores de X:

X1: Gestión adecuada de las condiciones climáticas de la mina.

X2: Gestión económica adecuada del sistema de ventilación.

#### Indicadores de Y:

Y1: Condiciones climáticas en las labores de la mina.

Y2: Resultados económicos del sistema de ventilación

### 1.8 Periodo de Análisis

El periodo de la elaboración de a presente investigación se hará desde el mes de agosto hasta el mes de noviembre del 2021.

### 1.9 Cronograma de Actividades

*Tabla 1.1 Cronograma de actividades.*

ETAPA	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES													
	AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE	
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2
Estudio y búsqueda de bibliografía	■	■												
Diagnostico del sistema actual de la mina		■	■	■										
Diseño del plan de gestion				■	■	■	■							
Implementacion de plan de gestion							■	■	■	■				
Caso practico N° 1							■							
Caso practico N° 2									■					
Caso practico N° 3										■				
Analisis de Costos											■	■		
Resultados Obtenidos y discusion													■	■
Conclusiones y Recomendaciones														■
Revision Final														■

Fuente: Elaboración propia.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL**

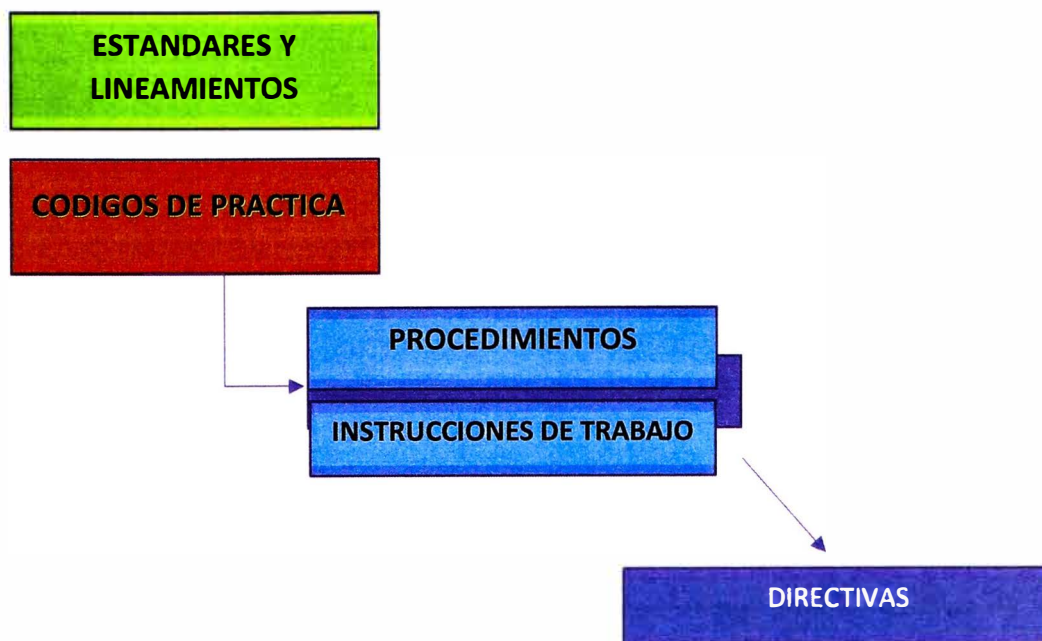
#### **2.1 Marco Teórico**

##### ***2.1.1 Estructura de un Sistema de Gestión de Ventilación***

Un sistema de gestión se define como una herramienta para las organizaciones con el objetivo de cumplir con las expectativas de rendimiento a través de la previsión de garantía y control de calidad, y ofrecer un medio para optimizar el rendimiento a través del control mejorado de los procesos del sistema. Un sistema de gestión de la calidad está apoyado por siete principios fundamentales, utilizados para evaluar la capacidad de la empresa para cumplir con las regulaciones, así como sus políticas internas:

1. Objetivo,
2. Política,
3. Planificación,
4. Implementación,
5. Medición,
6. Revisión
7. Mejora.

El sistema de gestión de ventilación consta de una serie de documentos que describen los medios de auditoría y control del sistema de ventilación de la mina para asegurar que el sistema cumple con todos los requisitos reglamentarios y de seguridad. Cinco tipos principales de documentos forman la estructura de un Sistema de gestión de ventilación: Estándares y lineamientos, código de práctica, Procedimientos, instrucciones de trabajo y directivas. Estos documentos proveen lineamientos para la aplicación de auditoría, verificación y procesos de corrección utilizados para asegurar que el sistema de ventilación de la mina opera dentro de los estándares establecidos. El Manual de Sistemas de Calidad ISO 9000 define la instrucción de trabajo, procedimientos y códigos de práctica. La instrucción de trabajo es definida como instrucciones que informan a las personas sobre qué tarea completar y cuando la finalización de la tarea es necesaria. Los procedimientos están definidos como instrucciones que informan a las personas cómo realizar una determinada tarea, ver Figura 2.1 (Euler, 2017).



**Figura 2.1: Sistema de gestión.**

Fuente: (Euler, 2017)

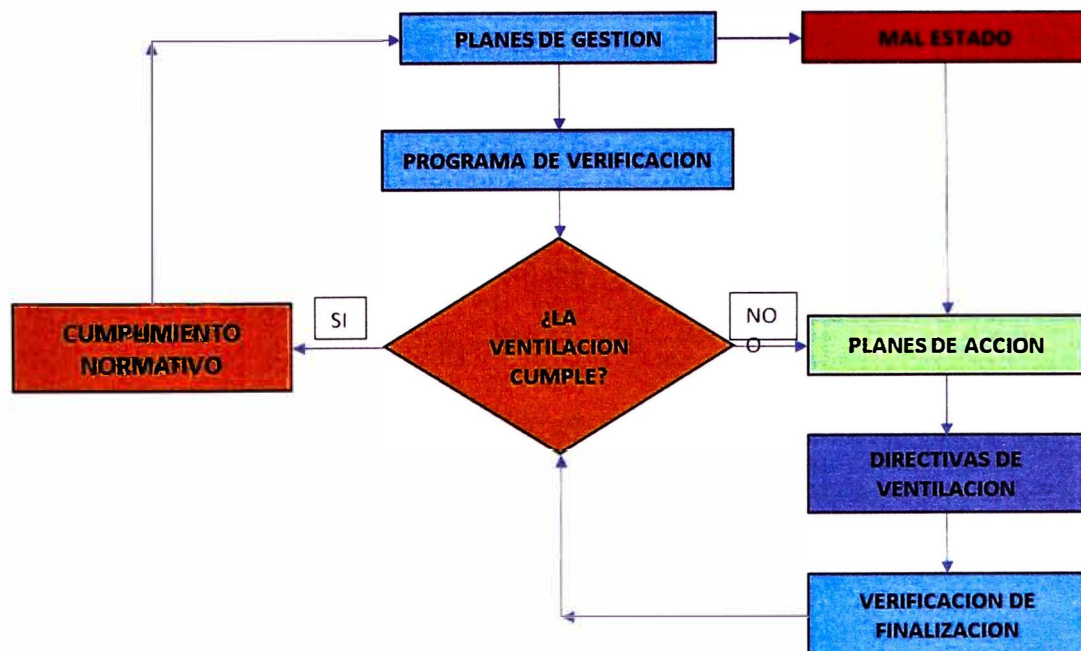
Los códigos de práctica se definen como restricciones sobre cómo los procesos en una empresa deben llevarse a cabo para que el resultado sea dentro de los límites de los organismos reguladores. Los estándares y las directrices constituyen la base del programa de gestión. Esta documentación de soporte es un manual que proporciona una descripción detallada del sistema de ventilación, incluyendo todo el diseño y aspectos operativos de la red de ventilación. El código de práctica es una documentación que define los mínimos operativos, estándares y niveles de acción basados en organismos reguladores y proporciona planes de acción correctivos y de emergencia apropiados cuando existe una condición de malestar. Los procedimientos son documentación que explica las actividades interdepartamentales y de cada departamento o el papel del individuo en los procedimientos de trabajo específicos. Instrucciones de trabajo son documentos que describen el proceso de un procedimiento específico y tarea, incluyendo quién está involucrado, cómo realizar la tarea y qué se necesitan materiales o documentación de apoyo. Las directivas son documentación emitida para cualquier cambio en la ventilación que aseguran la correcta instalación o cambio de cualquier diseño, equipamiento, o condición.

### ***2.1.2 Ejecución de un Sistema de Gestión de Ventilación***

La ejecución de un programa de gestión de la ventilación sigue un proceso iterativo. Planes de gestión, que se realizan diariamente, es una auditoría del estado de todo el sistema de ventilación de la mina. Incluye inspecciones detalladas de todos los componentes y accesorios de ventilación, mediciones de presión y caudal de la red y mediciones de calidad del aire. Se utilizan programas de verificación para evaluar la información recogida de los planes de gestión para verificar si el sistema de ventilación está en conformidad y si cumple con todos los objetivos del programa. Si el proceso de verificación indica que el sistema no cumple, entonces los planes de acción y directivas de ventilación se inician para restaurar el sistema al cumplimiento. Los planes de acción y directivas correspondientes también pueden

ser lanzados directamente en respuesta a las condiciones de ventilación inadecuadas o cuando los problemas son encontrados durante una inspección, ver Figura 2.2 (Euler, 2017).

**Oportunidades y Beneficios:** Al implementar un marco iterativo del programa de gestión del sistema de ventilación permite que las operaciones mineras se realicen de manera eficiente y auditar constantemente el sistema de ventilación de la mina. Se pueden obtener beneficios significativos de la administración diaria del sistema de ventilación de la mina. Asegura que: (1) El sistema funcione de acuerdo con el diseño; (2) Todos los elementos de ventilación operan de manera eficiente y económica; (3) un suministro de aire adecuado se provea para todas las áreas de trabajo activos; (4) el ambiente de la mina se encuentra en condiciones de calidad; (5) el cumplimiento de todos los requisitos reglamentarios se cumple; (6) se mejora la seguridad; (7) y el incremento de la productividad y resultados económicos se consigue (Euler, 2017).



*Figura 2.2: Ejecución de un Sistema de gestión.*

Fuente: (Euler, 2017)

### 2.1.3 Normativa

Se ha tomado en cuenta los reglamentos DS 1886 (Colombia) y DS 023 (Perú):

#### **A. Decreto Supremo 1886 (Colombia - 2015)**

##### TITULO II VENTILACION

##### CAPITULO I Disposiciones Comunes a todas las labores subterráneas

**Artículo 36**, Calidad del aire en el sitio de trabajo. Todas las labores mineras subterráneas accesibles al personal y aquellos lugares donde se localice maquinaria deben estar recorridas de manera permanente por un volumen suficiente de aire, capaz de mantener limpia la atmosfera de trabajo, en condiciones aceptables dentro de los limites máximo permisibles. El aire que se introduzca a la labor minera subterránea debe estar exento de gases, humos, vapores o polvos nocivos o inflamables.

En minería subterránea es indispensable proveer una atmosfera adecuada bajo los parámetros exigidos por el decreto 1886 del 2015, exigiendo a toda empresa minera subterránea contar con una adecuada ventilación, la cual realice la función indispensable de conservar y generar un ambiente de confort adecuado para la realización efectiva de las operaciones mineras.

#### **B. DS 024-2016 EM (Modificatoria DS 023-2017 EM) (Perú)**

##### SUBCAPITULO VIII VENTILACIÓN

**Artículo 246**, El titular de actividad minera debe velar por el suministro de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo con las necesidades del trabajador, de los equipos y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador, así como para mantener condiciones termo-ambientales confortables. Todo sistema de ventilación en la actividad minera, en cuanto se refiere a la calidad del aire, debe mantenerse dentro de los límites de exposición ocupacional para agentes químicos de acuerdo con el *Anexo 15* y lo establecido en el Reglamento sobre Valores Límite Permisibles



para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo, aprobado por Decreto Supremo No 015-2005-SA o la norma que lo modifique o sustituya.

## 2.2 Marco Conceptual

**Sistema de Gestión:** de acuerdo con la Organización Internacional para la estandarización, se define como Sistema de Gestión a la forma en que una organización gestiona las partes interrelacionadas de su empresa para lograr objetivos, los cuales pueden ser temas de calidad del producto o servicio, eficiencia operacional, rendimiento ambiental, seguridad y salud ocupacional, entre otros. (MAESTRIA UNI, 2020)

**Administrar:** es utilizar los recursos disponibles en tu empresa para planificar acciones que ayuden a conseguir los objetivos. La administración tiene que ver con el control, la organización y la dirección de los recursos dentro de una empresa. (MAESTRIA UNI, 2020)

**Gestionar:** es poner en marcha lo planificado durante la administración. La gestión se enfoca en el seguimiento de los recursos disponibles para lograr los objetivos. (MAESTRIA UNI, 2020)

**KPI:** Un KPI es una cuantificación de un objetivo empresarial importante. Es un indicador, un valor numérico (MAESTRIA UNI, 2020)

**Progreso:** El proceso de mejorar o desarrollar algo durante un periodo de tiempo. (MAESTRIA UNI, 2020)

**Rendimiento:** El cumplimiento de una tarea determinada medida con estándares de precisión conocidos y establecidos. (MAESTRIA UNI, 2020)

**VPN: Valor presente Neto.** Es el valor actual de los flujos futuros menos la inversión inicial. (MAESTRIA UNI, 2020)

**TIR: Tasa Interna de Retorno.** Se define como la tasa de descuento que iguala al valor presente de los flujos de efectivo esperados de un proyecto de inversión. Si la tasa de

rendimiento es superior a la tasa requerida, el proyecto es aceptable (MAESTRIA UNI, 2020)

**Tasa de Descuento:** Es la tasa de interés utilizada para calcular el valor presente de los flujos futuros. (MAESTRIA UNI, 2020)

**Costo de Oportunidad:** Es la tasa de rentabilidad esperada a la que se renuncia, al invertir en un proyecto. (MAESTRIA UNI, 2020)

**PAYBACK: Periodo de Recuperación** Es el número esperado de años que se requiere para recuperar la inversión. (MAESTRIA UNI, 2020)

**Costo:** Se define como los beneficios sacrificados para obtener bienes y servicios. Costo es lo que es preciso pagar o sacrificar para obtener algo, ya sea mediante la compra, el intercambio o la producción. En el momento de la compra o adquisición de un bien o servicio, el costo en que se incurre es para lograr beneficios presentes o futuros. Cuando se concretan estos beneficios, los costos se convierten en gastos. (MAESTRIA UNI, 2020)

**Costo Directo:** Se puede identificar directamente con el proceso. Mano de obra directa, materiales directos. (MAESTRIA UNI, 2020)

**Costo Indirecto:** No se puede atribuir directamente con el proceso. Gastos indirectos, luz, agua, depreciación, seguros. (MAESTRIA UNI, 2020)

**Costo Fijo:** Se mantiene estable en su totalidad durante cierto periodo de tiempo, a pesar de los cambios en el nivel de actividad o volumen total. (MAESTRIA UNI, 2020)

**Costo Variable:** Cambia totalmente en proporción con los cambios relacionados con el nivel de actividad o volumen total (Durante un periodo de tiempo determinado). (MAESTRIA UNI, 2020)

**Inversión:** Se entiende por inversión la adquisición de activos fijos, es decir, la adquisición de bienes que implica la inmovilización de fondos durante un periodo de tiempo, normalmente superior a un año; este plazo de un año es arbitrario, aunque de uso casi

general, con el objeto de distinguirse de la inversión en adquisiciones de activos circulantes o empleo de fondos con menores periodos de realización y por tanto con expectativas de generación de ingresos a corto plazo. (MAESTRIA UNI, 2020)

**Clima Minero:** Se define el clima de la mina como “la influencia de la temperatura ambiente, de la radiación térmica y de la velocidad del aire sobre el bienestar y la capacidad de rendimiento del personal”. Podría ampliarse este sentido y podría tomarse en consideración también la influencia del polvo, la oscuridad, la estrechez y otros efectos psicológicos, pero sería tal la dificultad de la evaluación conjunta que no se hace así. (Campillos, 2003)

**Psicrometría:** la medición del contenido de humedad del aire, al igual es la ciencia que involucra las propiedades termodinámicas del aire húmedo, y el efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y el confort humano. (Martinez, Slideplayer, 2017)

**Humedad relativa (%):** es la relación entre la presión de vapor actual y la presión de vapor saturado a la misma temperatura, (McPherson & J, Ingeniería de ventilación subterránea, 1993)

**Temperatura de bulbo seco (bs):** Es la temperatura de la mezcla aire seco y vapor de agua en las condiciones del sistema. (amyd.quimica, amyd.quimica.unam.mx, 2018)

**Temperatura de bulbo húmedo (tbh):** Es la temperatura que indica el equilibrio dinámico entre la transferencia de calor y la transferencia de masa, se llega al equilibrio. Se define también como la temperatura límite de enfriamiento que alcanza una pequeña masa de líquido en contacto con una masa mayor de aire húmedo. (amyd.quimica, amyd.quimica.unam.mx, 2018)

**Temperatura de punto de rocío (TPR):** Es la temperatura que por enfriamiento a humedad absoluta y presión constante se condensa la masa de vapor y aparece la primera gota de agua líquida, persistiendo las condiciones de saturación. Si se sigue enfriando se

condensarán más gotas (agua líquida) y el aire se deshumidifica. (amyd.quimica, amyd.quimica.unam.mx, 2018)

**Presión Barométrica:** Es la presión indicada por el BAROMETRO, este da la lectura de la presión atmosférica a una altura determinada. La presión del aire disminuye con la altura, este aspecto es muy importante al momento de evaluar el rendimiento, (Fullmecanica, 2014)

**Gradiente Geotérmico:** La temperatura de la superficie de las rocas se eleva constantemente con la profundidad, este aumento se llama un gradiente geotérmico o cambio en la temperatura por unidad de profundidad. (McPherson & J, Ingenieria de ventilacion subterranea, 1993)

**Maquinaria y equipos diésel:** La energía consumida por los equipos utilizados en subterráneo transfiere calor a la atmósfera minera; pérdidas de potencia y el trabajo realizado generan calor directa o indirectamente por la fricción. Los motores de combustión interna de los equipos diésel tienen una eficiencia general de solo un tercio de la alcanzada por las unidades eléctricas. Por lo tanto, los motores diésel producirán aproximadamente tres veces más calor que los equipos eléctricos para la misma salida mecánica de trabajo. Entonces, un motor de 100 kW que funciona a plena capacidad produce 300 kW de calor. (McPherson & J, Ingenieria de ventilacion subterranea, 1993).

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 Metodología de Investigación**

##### ***3.1.1 Tipo, Nivel y Diseño de la Investigación***

Según el propósito, el tipo de investigación utilizada es aplicada, llevando a la práctica las teorías generales en materia de ventilación para el diseño e implementación de un sistema de gestión de ventilación, que permita analizar las condiciones óptimas para el desempeño de las actividades en los frentes de trabajo, y así, contribuir a resolver las necesidades de la empresa con respecto al cumplimiento del plan minero de desarrollo y producción anual.

Además, está investigación según la estrategia y el nivel es de tipo análisis documental – descriptiva de carácter cuantitativo. Según (Tamayo y Tamayo, 2000) la investigación descriptiva es la que comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos. Por otra parte, se afirma que la investigación descriptiva es la capacidad para seleccionar las características fundamentales del objeto de estudio y su descripción detallada de las partes, categorías o clases de dicho objeto. (Bernal Torres, 2000). El diseño de la investigación es experimental verdadero.

### **3.1.2 Población y Muestra**

#### **Población.**

El universo para trabajar son todas las labores en operación de Mina El Silencio.

#### **Muestra.**

Se tomaron como muestra tres casos de la operación analizados en campo para objeto de este estudio.

### **3.1.3 Técnicas e Instrumentos para la recolección de datos.**

Se detalla las técnicas y herramientas usadas en el proceso de investigación:

La metodología de trabajo se llevó a cabo mediante tres etapas principales; una etapa inicial para el estudio y búsqueda de bibliografía existente referente a la temática de estudio, donde podemos incluir también un diagnóstico del sistema actual de ventilación, seguida de un trabajo de oficina para el diseño del sistema de gestión y su posterior implementación en campo, en el cual se colectó toda la data referente a la problemática de ventilación de la zona de estudio y la información económica asociada para cada caso; finalmente, una tercera etapa de oficina o trabajo de gabinete, donde se realizaron una serie de cálculos por medio de ecuaciones matemáticas e interpretación de los resultados obtenidos; adicionalmente, se compararon algunos de los resultados de los cálculos manuales con el uso de software computacional (Ventsim Design5.4).

En la fase de campo, las mediciones se realizaron durante un total de 28 días calendario. Se tomaron tres casos prácticos en la zona de estudio siguiendo los lineamientos estipulados en el sistema de gestión establecido. En la fase de oficina se realizó un trabajo de análisis económico de cada uno de los casos prácticos para finalmente llegar a las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

Los instrumentos de medición y herramientas computacionales utilizadas fueron:

**Psicrómetro digital WS-HT350**, marca Ambient Weather, utilizado para la toma de temperaturas húmedas y secas, también puede medir humedad relativa, aunque esta se puede calcular por formulas.



*Figura 3.1: Psicrómetro digital, ambient Weather WS-HT350.*

Fuente: Wikipedia

**Termo-higro-anemómetro digital**, usado para la toma de la presión barométrica y la altitud o cota.



*Figura 3.2: Termohigroanemometro digital, Kestrel 5200*

Fuente: Wikipedia

**Distanciómetro laser D110**, para medir las dimensiones de las labores.



**Figura 3.3: Distanciómetro digital, Leica D110.**

Fuente: Wikipedia.

**Anemómetro mecánico de paletas tipo Davis**, utilizado para medir la velocidad del aire, mediante el método de acumulación de distancia en una sección transversal.



**Figura 3.4: Anemómetro de paleta Davies.**

Fuente: Wikipedia.

**Medidor de gases**, con registro para Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Gases Nitrosos (NO<sub>x</sub>), Oxígeno (O<sub>2</sub>) y Ácido Sulfhídrico (H<sub>2</sub>S).

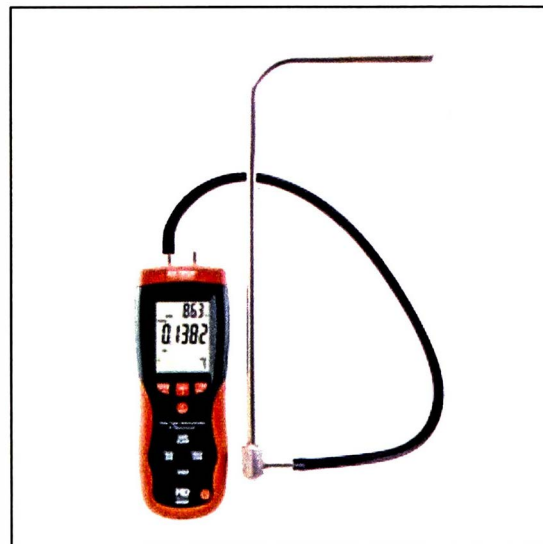




*Figura 3.5: Multidetector Dräger.*

Fuente: Wikipedia.

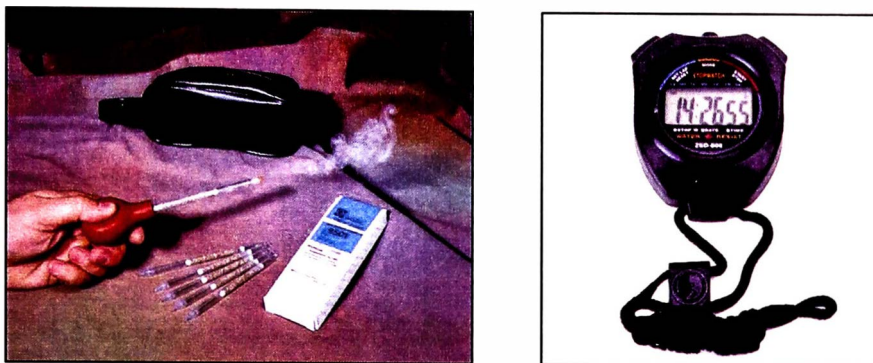
**Tubo Pitot y Manómetro digital**, para la medición de las presiones relativas en ventiladores y ductos.



*Figura 3.6: Tubo Pitot y manómetro digital.*

Fuente: Wikipedia.

**Tubos de Humo, Cronómetro** para verificar la dirección del flujo y medición de velocidad de aire.



**Figura 3.7: Tubos de humo y cronometro digital.**

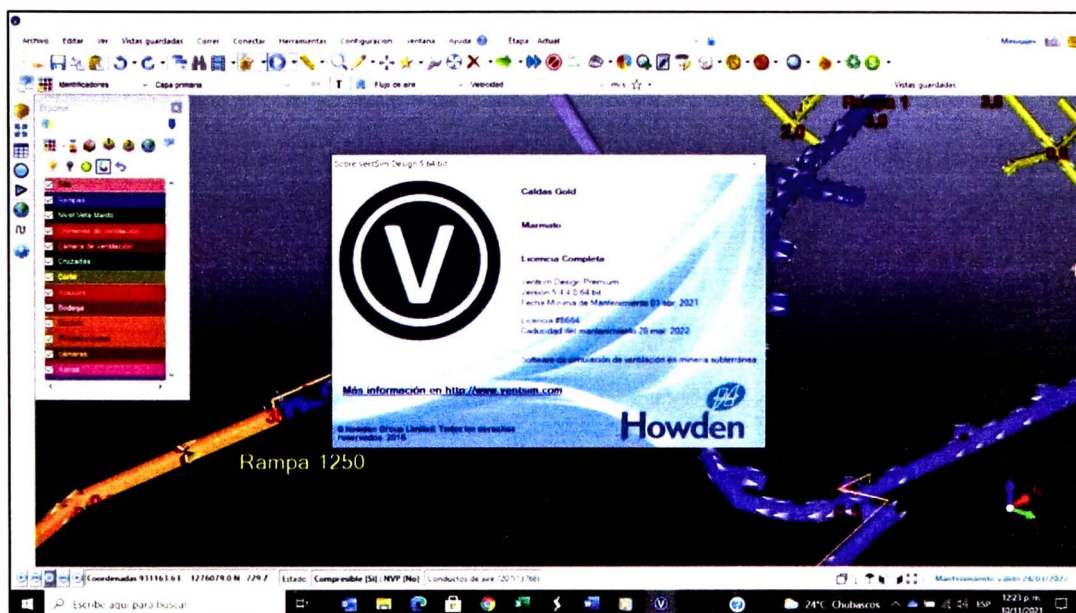
Fuente: Wikipedia.

### 3.1.4 Técnicas para análisis de datos.

La técnica será mediante análisis de los datos tomados en los puntos de trabajo. Se utiliza cálculos matemáticos, así como el software de ventilación Ventsim Design 5.4.

Instrumentos

Software Ventsim Design 5.4 (Premium).



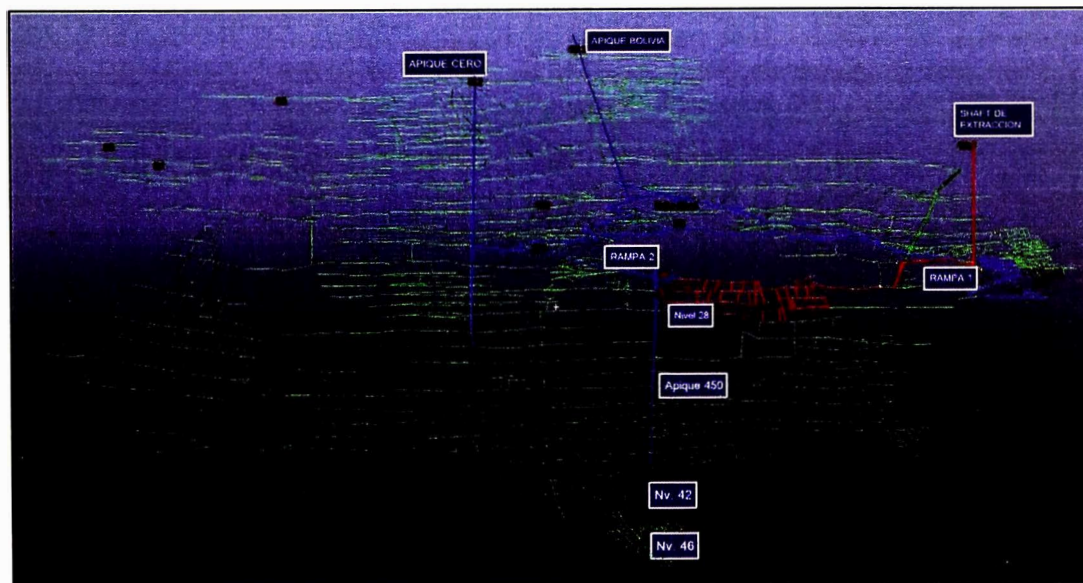
**Figura 3.8: Software Ventsim Design 5.4 (Premium).**

Fuente: Grancolombiagold.

### 3.2 Diagnóstico del sistema de ventilación de Mina Silencio

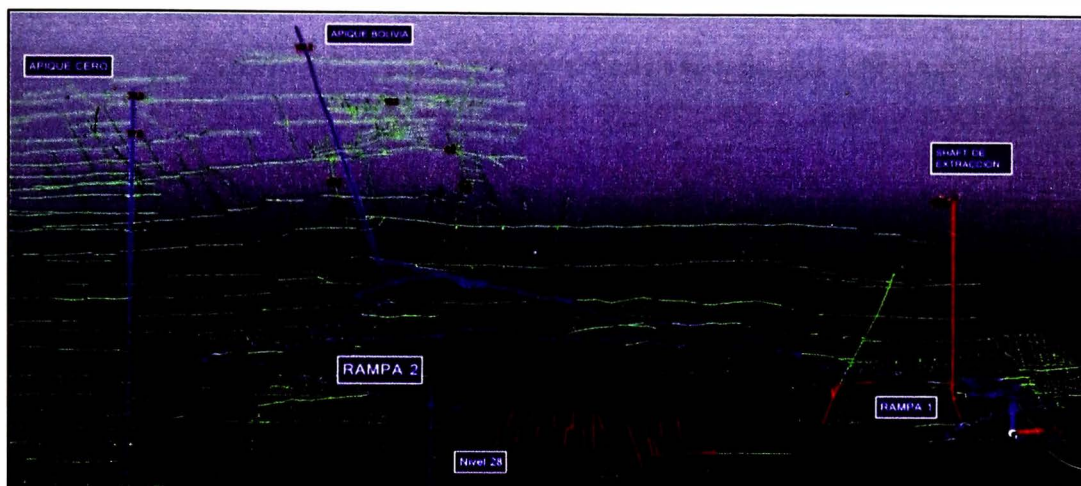
Mina El Silencio de Grancolombiagold es una mina de oro; la producción diaria es de 345 tms/día con una ley de 7.87 gr/ton/Au para un promedio diario de producción de 87 oz/Au. La superficie tiene una cota de 620 m.s.n.m. mientras que el nivel más profundo (nivel 46) tiene una cota de - 292 m.s.n.m. Esta mina se divide en dos zonas importantes; zona alta que donde trabaja el personal de Grancolombiagold (hasta el nivel 28) y la zona baja donde la contratista minera, realiza sus actividades (desde el nivel 30 hasta el nivel 46). El sistema de ventilación es independiente en ambos casos. Ver Figura 3.9.

En la Zona Alta que es objeto de este estudio tenemos a su vez dos zonas de explotación: Zona de Rampa 1 y Zona de Rampa 2 donde se encuentran todos los frentes de desarrollo y explotación de Grancolombiagold, tal como se muestra en la Figura 3.10:



**Figura 3.9: Circuito principal de Mina El Silencio.**

Fuente: Elaboración propia

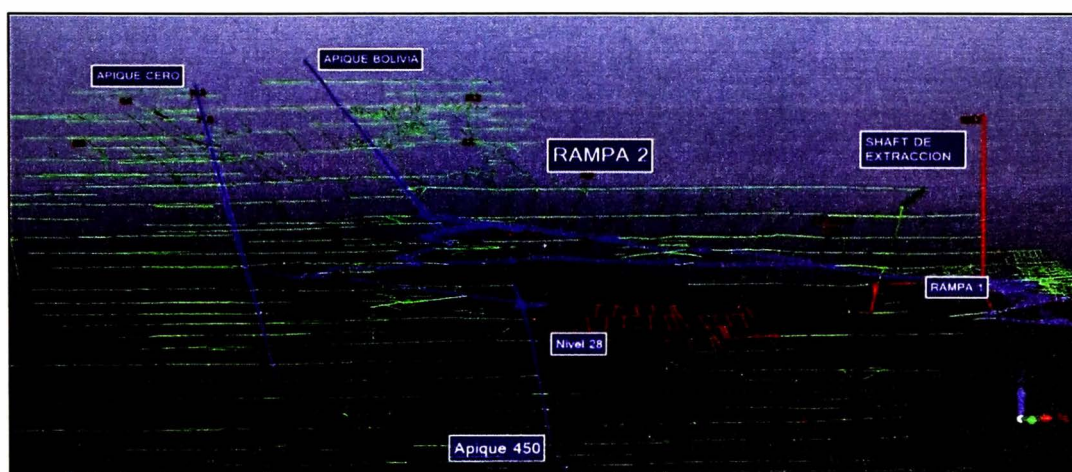


**Figura 3.10: Zona de Rampa 1 y Rampa 2.**

Fuente: Elaboración propia.

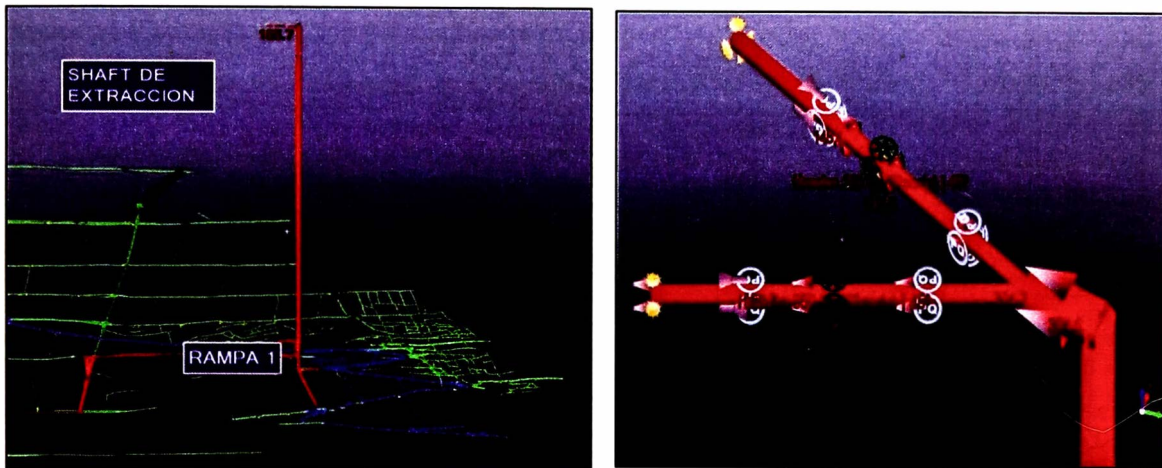
### 3.2.1 Ventilación Principal

Actualmente, se tienen instalados dos ventiladores axiales en paralelo en el Shaft principal en superficie, cada uno con una capacidad nominal de 350 Hp de potencia y un caudal de 190 000 CFM; los cuales extraen el aire viciado desde el nivel 28, esta chimenea tiene una sección de 3 metros de diámetro y 368 m. de longitud y que se encuentra ubicada en la zona norte de la mina (Zona de Rampa 1). Este sistema de extracción de aire genera, por depresión, que ingrese aire fresco a través de Apique 0, Apique Bolivia, y Nivel 5. Las áreas de trabajo o cortes (cámaras y pilares) son ventilados de arriba hacia abajo.



**Figura 3.11: Ingresos y salida de aire.**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.12: Shaft principal de extracción de aire viciado.**

Fuente: Elaboración propia.

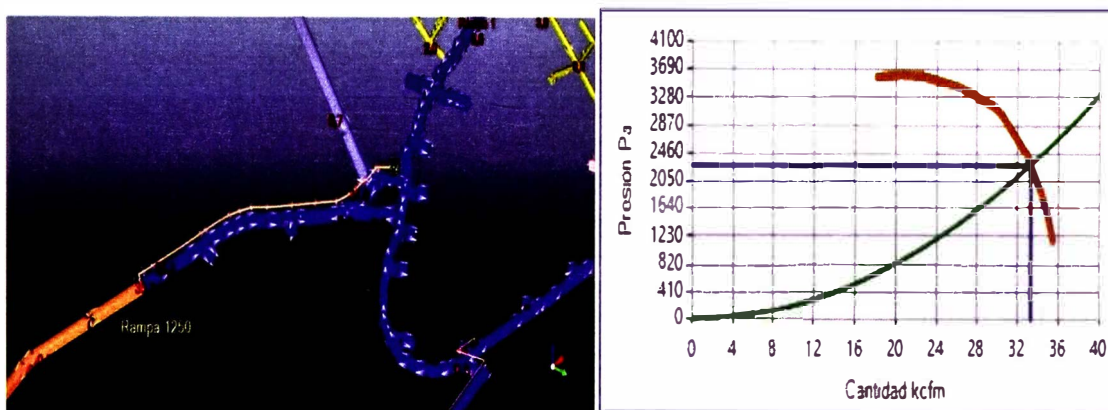
### **3.2.2 Ventilación Auxiliar.**

La ventilación auxiliar está destinada a frentes ciegos, de producción y desarrollo, principalmente; sin embargo, también se utiliza en labores de exploración y geología.

Generalmente, el cálculo de los ventiladores auxiliares se realiza de acuerdo con la finalidad de la labor, es decir, si es una labor de desarrollo, se considera el aire requerido para la respiración del personal, potencia de los equipos mecanizados presentes, o por la cantidad de explosivos a utilizar; por otra parte, si es una labor de exploración donde se van a realizar pozos de perforación, simplemente consideran el caudal requerido por personal y un factor adicional por fugas.

Finalmente, se escoge el ducto que será usado para llevar el aire desde el ventilador hasta el frente de la labor, para ello se considera la cantidad de flujo y la resistencia que el ducto genera. Normalmente en labores de desarrollo se usa ducto de 750 mm y en las demás labores ductos de 500-600 mm, sin embargo, existen otros factores que intervienen en la elección, por ejemplo, las dimensiones de la labor y el tipo de ventilador a usar.

En el frente de desarrollo, rampa 1250 de mina El Silencio, actualmente se tiene instalado un ventilador axial marca Zitron de referencia ZVN-1-7-52/2, el cual usa un motor eléctrico marca Weg de 52 KW de potencia, la manga utilizada para llevar el aire limpio hasta el frente de operación es ducto liso de 750 milímetros de diámetro; las figura N°3.13 representan el esquema general del sistema auxiliar de ventilación instalado y la curva de operación del ventilador.



**Figura 3.13: Curva de operación – ventilador auxiliar.**

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.3 *Requerimiento de Aire Fresco actual*

La cantidad de aire necesario para ventilar adecuadamente una mina se calcula en función de diferentes necesidades y parámetros establecidos, teniendo como objetivo:

- 1° Satisfacer la necesidad mínima vital, dando un cierto grado de confort a los trabajadores que laboran en interior mina.
- 2° Diluir y trasladar los gases, polvos, humos y calor producidos en las operaciones mineras.
- 3° Dar las condiciones mínimas requeridas para el desarrollo de los equipos diésel dentro de mina.

#### **Requerimiento de aire por personal**

"Según Decreto 1886 de 2015"

**Artículo 54,** Cálculo del volumen mínimo de aire, teniendo en cuenta el total de trabajadores del turno más numeroso." Excavaciones mineras hasta mil quinientos metros

(1.500 m) sobre el nivel del mar: tres metros cúbicos por minuto (3 m<sup>3</sup>/min) por cada trabajador. Excavaciones mineras de mil quinientos metros (1.500 m) en adelante sobre el nivel del mar: seis metros cúbicos por minuto (6 m<sup>3</sup>/min) por cada trabajador"

**a) Caudal requerido por el número de trabajadores (Qtr)**

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

Donde:  
 Qtr = Caudal Total para "n" trabajadores (m<sup>3</sup>/min)  
 F = Caudal mínimo por persona de acuerdo con escala establecida en el artículo 247 del reglamento.  
 N = Número de trabajadores de la guardia más numerosa.

**Tabla 3.1 Requerimiento de aire por personal.**

REQUERIMIENTO POR PERSONAL				
CONTRATA	Total/ gdia	Q (m <sup>3</sup> /min)	Q (CFM)	DISTRIBUCION (%)
Zandor	150	450	15891	35%
Navar	280	840	29664	65%
<b>TOTAL</b>	<b>430</b>	<b>1290</b>	<b>45555</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia.

### **Requerimiento de aire por equipos Diesel**

"Según Decreto 1886 de 2015"

**Artículo 54.** Cálculo del volumen mínimo de aire. Parágrafo 2. En las labores mineras subterráneas donde haya tránsito de maquinaria Diesel (locomotoras, transcargadores, entre otros), debe haber el siguiente volumen de aire por contenido de Monóxido de Carbono (CO) en los gases del exosto:

1. Seis metros cúbicos (6 m<sup>3</sup>) por minuto por cada caballo de fuerza (HP) de la máquina, cuando el contenido de monóxido no sea superior de cero coma doce por ciento (0,12 %); o mil doscientas (1.200) partes por millón ppm; y,

2. Cuatro metros cúbicos (4 m<sup>3</sup>) por minuto por cada HP de la máquina, cuando el contenido de monóxido de carbono (CO) en los gases del exosto no sea superior de cero coma ocho por ciento (0,8 %), u ochocientas (800) partes por millón ppm." Se ha considerado 4 m<sup>3</sup>/min por cada HP de los equipos porque las emisiones diésel de estos se

encuentran por debajo de 800 ppm de CO (Monóxido de Carbono). Adicionalmente se ha considerado un factor de simultaneidad de 30% dada la disponibilidad mecánica de los equipos diésel en la mina.

*Tabla 3.2 Requerimiento de aire por equipos diésel.*

REQUERIMIENTO POR EQUIPOS DIESEL						
ITEM	EQUIPO	CANT	POTENCIA NOMINAL (HP)	POTENCIA TOTAL (HP)	Q (m3/min)	Q (CFM)
1	Volqueta YMC 470	1	87	87	242	8.553
2	Volqueta TH 315	1	220	220	616	21.754
3	Volqueta T 12	1	173	173	484	17.107
4	Scoop LH 203	1	95	95	266	9.394
5	Scoop LH 307	1	201	201	563	19.875
6	Scoop MTI diésel	1	55	55	154	5.439
7	Térex TSR 70	1	74	74	207	7.317
8	Utilitario SD 30	1	50	50	140	4.944
9	Jumbo DD 210	1	54	54	65	2.288
10	Muki LHBP	1	74	74	89	3.136
<b>TOTAL</b>		<b>10</b>	<b>1083</b>	<b>1083</b>	<b>2826</b>	<b>99.807</b>

Fuente: Elaboración propia.

### **Requerimiento de aire por temperatura**

Según el “Decreto Supremo N.º 023-2017-EM, PERU” para el tema de la temperatura en labores ya que no se cuenta con este ítem en el reglamento colombiano. Dice:

**Artículo 252. Inciso d)** La demanda de aire en la mina debe ser la cantidad de aire requerida por los trabajadores, para mantener una temperatura de confort del lugar de trabajo y para la operación de los equipos petroleros. Para mantener la temperatura de confort en el lugar de trabajo, se debe considerar en el cálculo del requerimiento de aire una velocidad mínima de 30 m/min, cuando la temperatura se encuentre en el rango de 24° C hasta 29°C como máximo.



**Tabla 3.3 Requerimiento de aire por temperatura.**

<p><b>b) Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo (Qte)</b>  <b>Qte = Vm x A x N (m3/min)</b></p> <p>Donde:  Qte = Caudal por temperatura (m3/min)  Vm = Velocidad mínima.  A = Área de la labor promedio.  N = Número de niveles con temperatura mayor a 23°C, de acuerdo con escala establecida en el tercer párrafo del literal d) del artículo 252 del reglamento.</p>
--

TEMPERATURA SECA (°C)	VELOCIDAD MINIMA (m/min)
<24	0,0
24 a 29	30

REQUERIMIENTO POR TEMPERATURA MECANIZADO	
# NIVELES	2
VELOCIDAD MÍN (m/min)	30
AREA (Prom.)	11,025
SUBTOTAL	<b>23.245</b>
REQUERIMIENTO POR TEMPERATURA CONVENCIONAL	
# NIVELES	20
VELOCIDAD MÍN (m/min)	30
AREA (Prom.)	3,6
SUBTOTAL	<b>75.902</b>
<b>TOTAL</b>	<b>99.148</b>

Fuente: Elaboración propia.

### Requerimiento para dilución de gases (explosivos)

"Según Decreto 1886 de 2015"

**Artículo 54**, El volumen mínimo de aire que debe circular en cada labor subterránea, tiene que calcularse teniendo en cuenta el turno de mayor personal, la elevación de esta sobre el nivel del mar, los gases o vapores nocivos, los gases explosivos o inflamables y los gases producto de las voladuras. Debido al uso del ANFO la velocidad mínima del aire en las labores debe ser de 25 m/min. El caudal requerido se obtiene de la siguiente relación:

$$Q = \underline{A} \times V \times N$$

Dónde:

- $A$  = Área promedio de labores; m<sup>2</sup>.
- $V$  = Velocidad mínima requerida; m/min.
- $N$  = Número de niveles operativos

También se suele utilizar el documento “GUIA METOLOGICA DE SEGURIDAD PARA LA VENTILACION DE MINAS, donde se emplea la ecuación de Novitsky.

**Tabla 3.4 Requerimiento de aire para voladuras.**

<b>Ecuación de Novitsky (*)</b>			
<b><math>Q = (100 \times K \times a) / (d \times T) ; (m^3/min)</math></b>			
Q = Caudal de aire requerido por consumo de explosivo detonado; m <sup>3</sup> /min.			
K = Cantidad de explosivo detonado, equivalente a dinamita 60%; kg.			
a = Volumen de gases generados por cada kg. de explosivo. Valor sugerido: 0.04 (m <sup>3</sup> /kg de explosivo).			
d = Porcentaje de dilución de los gases, deben ser diluidos a no menos de 0.008 % y se aproxima a 0.01 %.			
T = Tiempo de dilución de los gases (minutos).			
(*) Data obtenida del reglamento Chileno)			
	<b>Indugel</b>	<b>Anfo</b>	<b>Total (Kg)</b>
<b>Zandor</b>	200	144	344
<b>Navar</b>	140	80	220
<b>Promedio por voladura</b>			<b>282</b>
<b>Velocidad Min</b>	25		m/min
<b>Tiempo Dilución</b>	60		min
<b>TOTAL</b>	<b>66392,2</b>		cfm

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.4 Balance de Aire actual

Considerando un 15% de fugas en toda la mina el requerimiento actual de aire fresco bordea los 281 186 CFM. No se considera el caudal para explosivo por ser menor que la suma del requerimiento actual para las personas, los equipos diésel y la temperatura. Se debe tener en cuenta también que existe un horario de voladura establecido, tiempo en el cual el personal no debe ingresar a la mina.

**Tabla 3.5 Requerimiento de aire actual.**

Distribución Requerimientos	Q (m3/min)	Q(cfm)
QTr: Personas (430 trabajadores)	1.290	45.555
Qte: Temperatura	2.822	99.148
Qex: Consumo de explosivos*	1.880	66.392
QEq: Equipos Diesel	2.826	99.807
<b>Caudal Requerido QT1 = QTr+Qte+Qeq</b>	<b>8.818</b>	<b>244.510</b>
QFu: Caudal Requerido por Fugas (15%*Qto)	1.323	36.676
<b>Caudal Requerido Qto=QT1+Qfu</b>	<b>10.140</b>	<b>281.186</b>

Fuente: Elaboración propia.

La cobertura actual del sistema es de 106% por lo cual se presenta un superávit de aire fresco de 15 914 CFM (6%). Actualmente el ingreso de aire fresco cubre el requerimiento de aire.

**Tabla 3.6 Balance de aire actual.**

Balance Total de Aire		
Caudal de Aire	m3/min	Q(cfm)
Total de aire requerido	10.140	281.186
Ingreso de aire a mina	8.413	297.100
Salida de aire	8.396	296.500
<b>Cobertura (%)</b>	<b>106</b>	
<b>Superavit (cfm)</b>	<b>15.914</b>	

**Caudal Aire (cfm)**

Item	Value (cfm)
Total de aire requerido	281.186
Ingreso de aire a mina	297.100
Salida de aire	296.500

**REQUERIMIENTO GLOBAL DE AIRE**

Item	Value (cfm)
QTr: Personas (430 trabajadores)	45.555
Qte: Temperatura	99.148
Qex: Consumo de explosivos*	66.392
QEq: Equipos Diesel	99.807

Fuente: Elaboración propia.

### **3.2.5 Modelo actual de Ventilación – VENTSIM 5.4**

Actualmente el departamento de Ventilación de Grancolombiagold tiene modelada la mina en el programa VENTSIM DESIGN 5.4 PREMIUM. Para el modelamiento y simulación del sistema de ventilación, se tomó como referencia los ejes al techo (labores horizontales) y los ejes centrales (labores verticales), según su topografía.

#### **Actualización del modelo de ventilación**

Tomando como base la información del área de topografía se procede a la actualización permanente del modelo de ventilación. En este caso se puede realizar la exportación de los planos topográficos en formato dxf o dwg. Luego se procede a la actualización del modelo.

#### ***Parámetros actuales de operación:***

- Tipo de minado: Cámaras y Pilares – Corte y Relleno Ascendente.
- Perforación:
  - ✓ Tajos (Paneles): Maquinarias neumáticas (Jack leg, Stoper).
  - ✓ Desarrollos: Equipo electrohidráulico (Jumbo).
- Número de guardias: 02/día.
- Horario de trabajo (8 horas):
  - ✓ Turno Día: 7:00 am a 3:00 pm.
  - ✓ Turno Noche: 7:00 pm a 3:00 am.
- Personal mina: 150 hombres/guardia.
- Número de equipos diésel: 10.
- Total, potencia equipos diésel: 1083 HP.
- Consumo de explosivos: 282 Kg/guardia.
- Horarios de voladuras primarias (chispeos):
  - ✓ Turno Día: 3:00 p.m.

- ✓ Turno Noche: 3:00 a.m.
- Tiempo de ventilación:
  - ✓ Turno Día: 4 horas.
  - ✓ Turno Noche: 4 horas.
- Tipo de explosivo: ANFO, emulsión.
- Velocidad mínima del aire: 25 m/min.
- Velocidad máxima del Aire: 250 m/min (zona de tránsito de personal).
- Producción de Mineral:
  - ✓ Día: 345 TMS. /87oz
  - ✓ Mensual: 10 950 TMS.

#### ***Configuración de Parámetros:***

Se tomó como punto de referencia la comunicación del Shaft de ventilación en superficie, los datos obtenidos en esta estación fueron tomados como input data en el modelo:

- Altura de nivel de referencia en superficie: 596 msnm (Shaft principal).
- Densidad del aire: 1.06 kg/m<sup>3</sup>.
- Temperatura de bulbo seco: 32 °C.
- Temperatura de bulbo húmedo: 31 °C.
- Presión barométrica en la superficie: 94.5 KPa.
- Método: Presión total.
- Flujo de aire: Compresible.
- Valores de factor de fricción “K” (<sup>6</sup>), Kg/m<sup>3</sup>:
  - ✓ Voladura promedio: 0.011
  - ✓ Voladura rugosa: 0.014
  - ✓ Voladura muy rugosa 0.016

- ✓ Conducto de ventilación enmaderado: 0.0333
- ✓ Mangas de ventilación: 0.0037
- ✓ Manga con refuerzo espiral: 0.011
- ✓ Eje Raisborer: 0.005
- Costo de energía: 0.14 US\$ / Kw-Hora

#### **Resultados de Simulación actual Ventsim 5.4:**

Se muestra el resumen del sistema actual obtenido de la simulación, el ingreso de aire fresco es de 297.1 KCFM. Adicional a esto se muestra la resistencia de la mina, la longitud, costos por energía y demás parámetros.

<b>Mina El Silencio</b>	
Flujos de aire comprensible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Etapas	0: Actual
Todos los conductos de aire	13354
Actual etapas conductos	6793
Segmentos de etapa actual	3269
Longitud total	108,577.0 m
Caudal de aire total de admisión	297.1 Kcfm
Caudal de aire total de escape	296.5 Kcfm
Flujo de masa total	144.24 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.04975 Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
Resistencia de la mina (incluyendo el conducto)	0.11242 Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
<b>RESUMEN DE POTENCIA</b>	
Potencia del aire (pérdida por fricción)	414.5 hp Total
	92.3 Hp Chimenea
	91.2 hp Conducir
	231.1 hp Conducto de ventilación
Refrigeración potencia	0.0 hp
<b>Potencia eléctrica de entrada</b>	<b>576.9 hp</b>
<b>Costo de energía anual de la red</b>	<b>\$ 527,609</b>
<b>Eficiencia de la red</b>	<b>71.80%</b>
<b>Que consta de..</b>	
11 ventiladores	576.6 hp
0 presiones fijadas	0.0 hp
1 flujos fijos	0.3 hp
0 refrigeración	0.0 hp

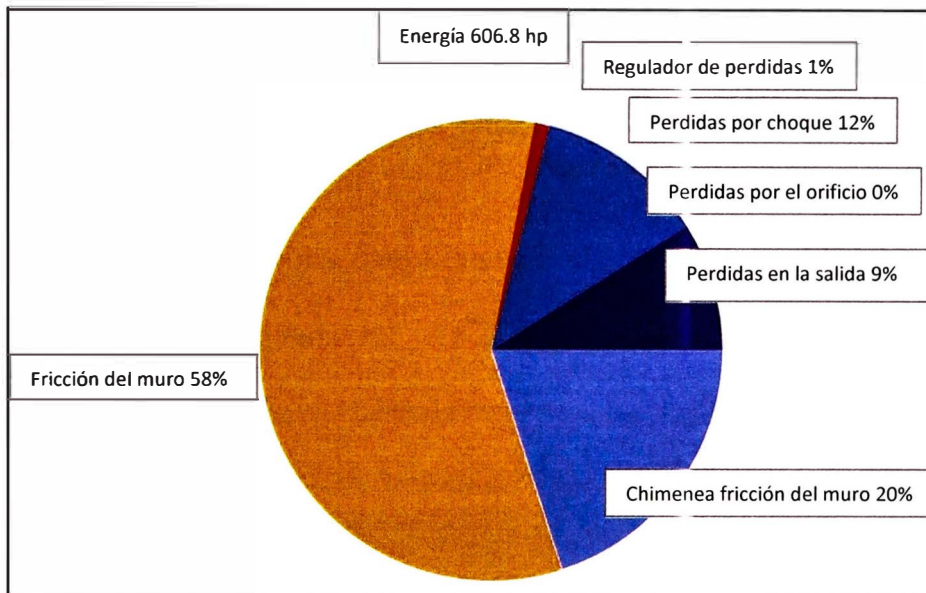
**Figura 3.14: Resultados de Simulación Ventsim actual.**

Fuente: Elaboración propia.

#### **Distribución de Energía:**

El software además nos permite conocer cómo se distribuye esta energía, identificando las principales pérdidas del sistema. Principalmente es por fricción en galerías (58 %) y por fricción en las chimeneas (20 %), ello se debe a lo irregular de la mayoría de labores debido a una mala ejecución de las voladuras y a las secciones reducidas de las labores de la zona convencional.

Por eso es importante llevar un control riguroso en la perforación y voladura principalmente en las labores de desarrollo ya que ello aumenta la resistencia al paso del aire.



**Figura 3.15: Distribución de energía actual.**

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.6 Requerimiento de Aire Proyectado

#### Requerimiento de aire por personal

"Según Decreto 1886 de 2015" Se ha considerado un incremento de 40 personas para el requerimiento proyectado.

**Tabla 3.7: Requerimiento por personal proyectado.**

REQUERIMIENTO POR PERSONAL				
CONTRATA	Total/ gdia	Q (m3/min)	Q (CFM)	DISTRIBUCION (%)
Zandor	170	510	18010	57%
Navar	300	900	31783	100%
<b>TOTAL</b>	<b>470</b>	<b>1410</b>	<b>49793</b>	<b>157%</b>

Fuente: Elaboración propia.

## Requerimiento de aire por equipos Diesel

"Según Decreto 1886 de 2015" Se considera el incremento de 3 equipos diésel.

**Tabla 3.8: Requerimiento por equipos diésel proyectado.**

REQUERIMIENTO POR EQUIPOS DIESEL						
ITEM	EQUIPO	CANT	POTENCIA NOMINAL (HP)	POTENCIA TOTAL (HP)	Q (m3/min)	Q (CFM)
1	Volqueta YMC 470	1	87	87	242	8.553
2	Volqueta TH 315	1	220	220	616	21.754
3	Volqueta T 12	1	173	173	484	17.107
4	Scoop LH 203	1	95	95	266	9.394
5	Scoop LH 307	1	201	201	563	19.875
6	Scoop MTI diésel	1	55	55	154	5.439
7	Térex TSR 70	1	74	74	207	7.317
8	Utilitario SD 30	1	50	50	140	4.944
9	Jumbo DD 210	1	54	54	43	1.526
10	Muki LHBP	1	74	74	59	2.091
11	Volqueta TH 315	1	220	220	616	21.754
12	Jumbo DD 210	1	54	54	151	5.340
13	Scoop LH 307	1	201	201	563	19.875
<b>TOTAL</b>		<b>13</b>	<b>1.558</b>	<b>1.558</b>	<b>4.105</b>	<b>144.968</b>

Fuente: Elaboración propia.

## Requerimiento de aire por temperatura

Según el "Decreto Supremo N.º 023-2017-EM, PERU" Como incremento para el balance de aire proyectado se ha considerado un nivel mecanizado y 2 niveles convencional.

**Tabla 3.9: Requerimiento por temperatura proyectado.**

REQUERIMIENTO POR TEMPERATURA MECANIZADO	
# NIVELES	3
VELOCIDAD MÍN (m/min)	30
AREA (Prom.)	11,025
<b>SUBTOTAL</b>	<b>34.868</b>
REQUERIMIENTO POR TEMPERATURA CONVENCIONAL	
# NIVELES	22
VELOCIDAD MÍN (m/min)	30
AREA (Prom.)	3,6
<b>SUBTOTAL</b>	<b>83.493</b>
<b>TOTAL</b>	<b>118.360</b>

Fuente: Elaboración propia.

## Requerimiento para dilución de gases (explosivos)

"Según Decreto 1886 de 2015"

**Tabla 3.10: Requerimiento por voladuras proyectado.**



	Indugel	Anfo	Total (Kg)
Zandor	250	200	450
Navar	200	100	300
Promedio por voladura			<b>375</b>
Velocidad Min		25	m/min
Tiempo Dilución		60	min
<b>TOTAL</b>		<b>88287,5</b>	cfm

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.7 Balance de Aire Proyectado

Considerando un incremento de los equipos diésel para el incremento de la producción en mina, el requerimiento de aire fresco proyectado bordea los 360 089 CFM. No se considera el caudal para explosivo por ser menor que la suma del requerimiento actual para las personas, los equipos diésel y la temperatura. Se debe tener en cuenta también que existe un horario de voladura establecido, tiempo en el cual el personal no debe ingresar a la mina.

**Tabla 3.11: Requerimiento y Balance de aire proyectado.**

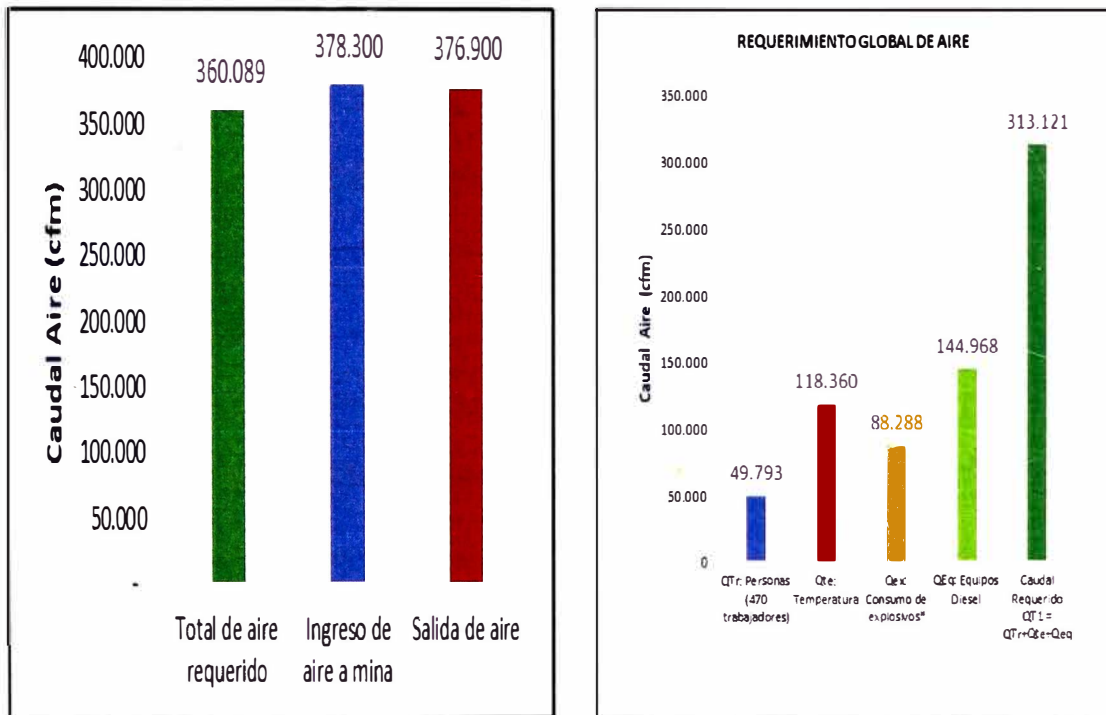
Distribución Requerimientos	m3/min	cfm
QTr: Personas (470 trabajadores)	1.410	49.793
Qte: Temperatura	3.352	118.360
Qex: Consumo de explosivos*	2.500	88.288
QEq: Equipos Diesel	4.105	144.968
<b>Caudal Requerido QT1 = QTr+Qte+Qeq</b>	<b>11.367</b>	<b>313.121</b>
QFu: Caudal Requerido por Fugas (15%*Qto)	1.705	46.968
<b>Caudal Requerido Qto=QT1+Qfu</b>	<b>13.071</b>	<b>360.089</b>

Balance Total de Aire		
Caudal de Aire	m3/min	cfm
Total de aire requerido	13.071	360.089
Ingreso de aire a mina	10.712	378.300
Salida de aire	10.673	376.900
<b>Cobertura (%)</b>		<b>105</b>
<b>Superavit (cfm)</b>		<b>18.211</b>

Fuente: Elaboración propia.

Dado que actualmente los ventiladores principales se encuentran trabajando con un ángulo de 45° y 80% de las RPM totales, entonces los ventiladores deben funcionar al 100%

de su revolución total para lograr 378.3 KCFM con lo cual la cobertura de aire para el sistema de ventilación proyectado sería de 105%. Se presentaría un superávit de aire fresco de 18 211 CFM (5%). Se considera en este caso también un estimado de 15% en fugas de aire.



**Figura 3.16: Requerimiento y Balance de aire proyectado.**

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.8 Modelo proyectado de Ventilación – VENTSIM 5.4

#### Parámetros proyectados de operación:

- Tipo de minado: Cámaras y Pilares – Corte y Relleno Ascendente.
- Perforación:
  - ✓ Tajos: Maquinarias neumáticas (Jack leg, Stoper).
  - ✓ Desarrollos: Equipo electrohidráulico (Jumbo).
- Horarios de trabajo (8 horas):
  - ✓ Turno Día: 7:00 a.m. - 3:00 p.m.
  - ✓ Turno Noche: 7.00 p.m. - 3:00 a.m.

- Personal mina: 170 hombres/guardia.
- Número de equipos diésel: 13.
- Total, potencia equipos diésel: 1558 HP.
- Consumo de explosivos: 310 Kg/guardia.
- Horarios de voladuras primarias (chispeos):
  - ✓ Turno Día: 3:00 p.m.
  - ✓ Turno Noche: 3:00 a.m.
- Tiempo de ventilación:
  - ✓ Turno Día: 4 horas.
  - ✓ Turno Noche: 4 horas.
- Tipo de explosivo: ANFO, emulsión.
- Velocidad mínima del aire: 25 m/min.
- Velocidad máxima del Aire: 250 m/min (zona de tránsito de personal).
- Producción de Mineral:
  - ✓ Día: 450 TMS.
  - ✓ Mensual: 13,000 TMS.

#### **Resultados de Simulación proyectado Ventsim 5.4:**

Se muestra a continuación el resumen del sistema de ventilación proyectado obtenido de la simulación, observando el balance de ingresos y salidas de la mina, se proyecta el ingreso de aire fresco en 378.3 KCFM. Adicional a esto se muestra la resistencia de la mina, la longitud y demás parámetros.

<b>Mina El Silencio</b>	
Flujos de aire comprensible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Etapa	0: Actual
Todos los conductos de aire	13337
Actual etapa conductos	6776
Segmentos de etapa actual	3272
Longitud total	108,619.6 m
Caudal de aire total de admisión	378.3 Kcfm
Caudal de aire total de escape	376.9 Kcfm
Flujo de masa total	183.55 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.04452 Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
Resistencia de la mina (incluyendo el conducto)	0.06853 Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
<b>RESUMEN DE POTENCIA</b>	
Potencia del aire (pérdida por fricción)	520.1 hp Total
	194.8 Hp Chimenea
	143.0 hp Conducir
	182.2 hp Conducto de ventilación
Refrigeración potencia	0.0 hp
<b>Potencia eléctrica de entrada</b>	<b>756.7 hp</b>
<b>Costo de energía anual de la red</b>	<b>\$ 692,034</b>
<b>Eficiencia de la red</b>	<b>68.70%</b>
<b>Que consta de..</b>	
11 ventiladores	755.1 hp
0 presiones fijadas	0.0 hp
1 flujos fijos	1.6 hp
0 refrigeración	0.0 hp

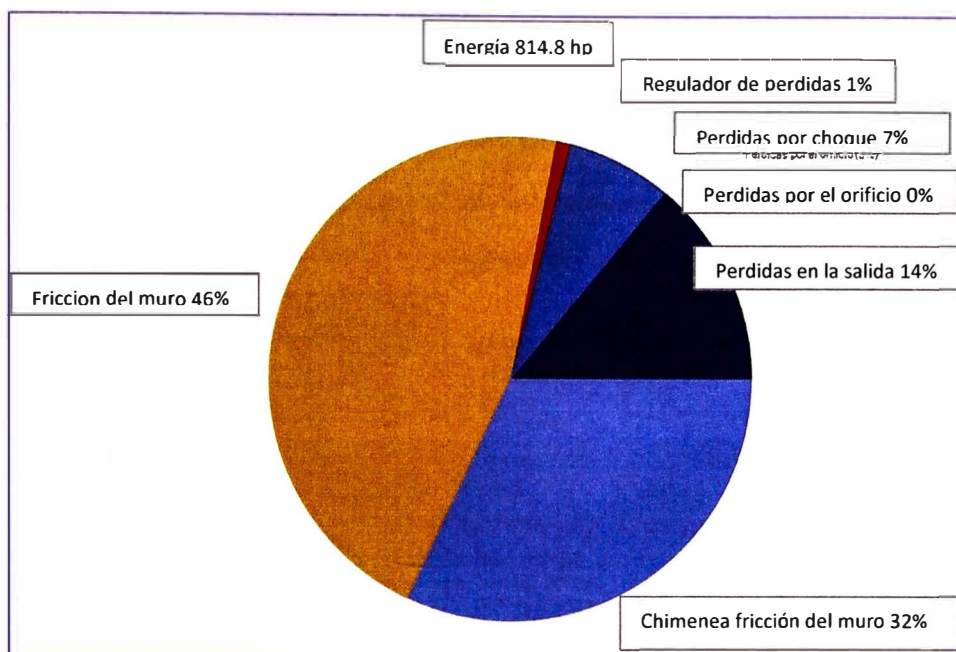
*Figura 3.17: Resumen del sistema de ventilación proyectado.*

Fuente: Elaboración propia.

### **Distribución de Energía:**

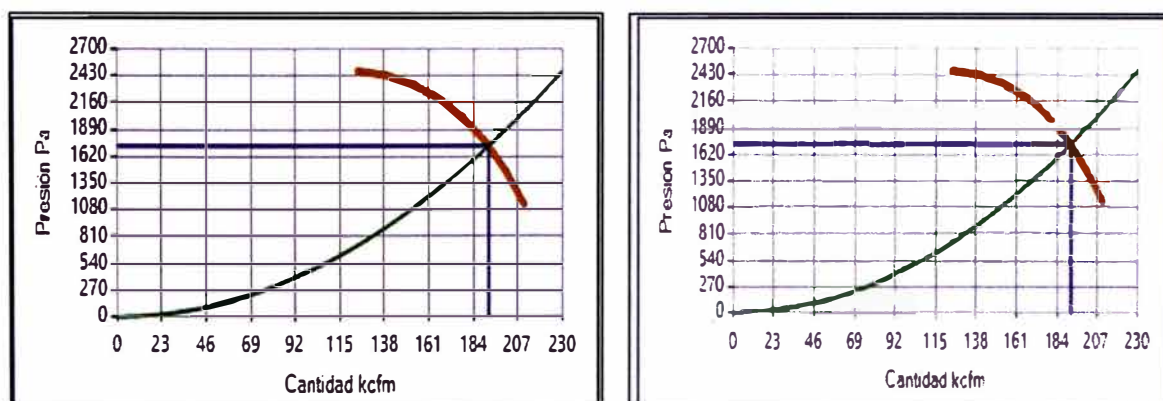
El software además nos permite conocer cómo se distribuye esta energía, identificando las principales pérdidas del sistema. Principalmente es por fricción en labores horizontales (46 %) y por fricción en chimeneas (32%), ello se debe a lo irregular y reducida sección que presentan las labores (Zona convencional).

Por eso es importante llevar un control riguroso en la perforación y voladura principalmente en las labores de desarrollo ya que ello aumenta la resistencia al paso del aire.



**Figura 3.18: Distribución de energía proyectado.**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 3.19: Curvas de operación de ventiladores principales (proyectado).**

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.9 Determinación del Diámetro Óptimo.

A largo plazo la mina necesitara de la construcción de más chimeneas a superficie. No se puede depender de una sola chimenea de extracción del aire viciado, por lo cual se ha realizado el cálculo del diámetro óptimo de chimenea que debería construirse en el futuro tomando en cuenta los siguientes parámetros:

Caudal Requerido Q = 200 000 CFM

Longitud de chimenea: 370 m.

Tabla 3.12: Cálculo del Diámetro Óptimo.

Alty Temp		1.06		Proyecto						
Longitud		370 m		Labor: Chimenea Ventilación						
K		0.00466 kg/m <sup>3</sup>		Variador 1 no se usará variador						
Q		200,000 CFM		94.39 m <sup>3</sup> /s		02 RB's en paralelo				
Tiempo Vida		10 años		97600 Hrs						
Item	RB1.5 x 1	RB1.8 x 1	RB2.1 x 1	RB2.4 x 1	RB2.7 x 1	RB3.1 x 1	RB3.6 x 1	RB1.5 x 2	RB1.8 x 2	RB2.1 x 2
Ø RB (m)	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.1	3.6	1.5	1.8	2.1
Perim (m)	4.71	5.65	6.60	7.54	8.48	9.74	11.31	4.71	5.65	6.60
Area (m <sup>2</sup> )	1.77	2.54	3.46	4.52	5.73	7.55	10.18	1.77	2.54	3.46
P (Pa)	13904.80	5588.03	2585.38	1326.06	735.87	368.82	174.63	3476.20	1397.01	646.35
P (inchH <sub>2</sub> O)	55.82	22.43	10.38	5.32	2.95	1.48	0.70	13.96	5.61	2.59
Power(kW)	1749.96	703.27	325.38	166.89	92.61	46.42	21.98	218.74	87.91	40.67
Power(kW):DF	1749.96	703.27	325.38	166.89	92.61	46.42	21.98	218.74	87.91	40.67
Power(HP)	2379.27	956.18	442.39	226.91	125.92	63.11	29.88	297.41	119.52	55.30
\$/kW-Hr	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
\$ energía	21,461,457.85	8,624,878.57	3,990,423.98	2,046,724.11	1,135,786.48	569,255.25	269,527.46	2,682,682.23	1,078,109.82	498,803.00
\$/m	492	552	612	672	792	792	1300	492	552	612
piloto	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
instalacion	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500
\$ RB	356,040.00	378,240.00	400,440.00	422,640.00	444,840.00	467,040.00	655,000.00	356,040.00	378,240.00	400,440.00
\$ totales	21,817,497.85	9,003,118.57	4,390,863.98	2,469,364.11	1,580,626.48	1,036,295.25	924,527.46	6,077,444.46	2,912,699.64	1,798,485.99
							Ø Econom.			

Fuente: Elaboración propia.

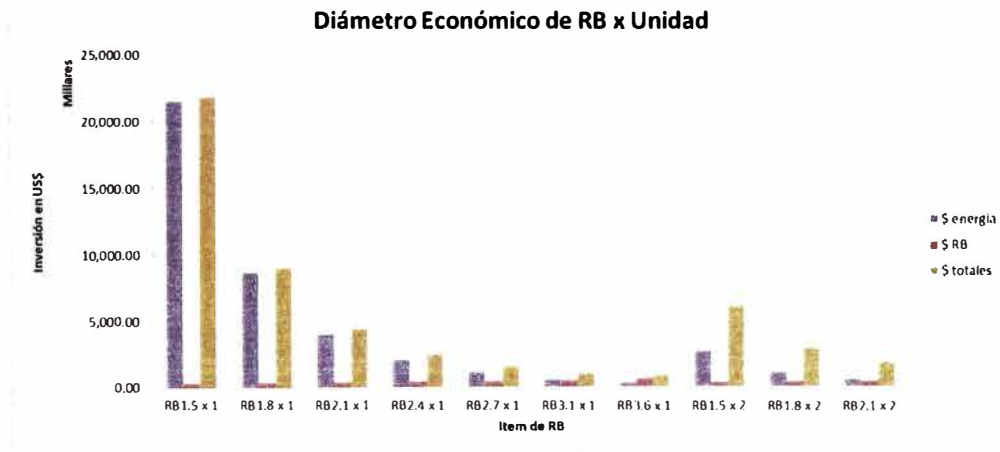


Figura 3.20: Diámetro Óptimo.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.10 Condiciones Económicas

El consumo de energía mensual promedio actual por concepto de ventiladores en mina el silencio es de US \$ 54 891.

**Tabla 3.13: Costos por consumo de energía.**

Mina El Silencio		
Año	Mes	Costo (USD)
	oct-20	\$ 53.428
	nov-20	\$ 52.159
	dic-20	\$ 60.674
2021	ene-21	\$ 60.270
	feb-21	\$ 60.270
	mar-21	\$ 56.466
	abr-21	\$ 60.374
	may-21	\$ 50.372
	jun-21	\$ 44.478
	jul-21	\$ 54.190
	ago-21	\$ 54.055
	sep-21	\$ 51.955
<b>Promedio</b>		<b>\$ 54.891</b>

Tipo de Ventilador	Numero	Potencia (HP)
Principales	2	330
Auxiliares	4	70
Auxiliares	3	35
Auxiliares	4	25
<b>Total</b>	<b>13</b>	<b>460</b>



Fuente: Elaboración propia.

El ratio de ventilación proyectado respecto al ratio actual que se presenta a continuación se incrementa en 0.19 US\$/CFM.

**Tabla 3.14: Ratios de ventilación.**

Ratios de Ventilación				
Item	Etapas	Caudal Nominal (CFM)	Costo de energía US\$/año	Ratio de Ventilación US\$/CFM
1	Actual	304000	658692	2,17
1	Proyectado	378300	892200	2,36

Fuente: Elaboración propia.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

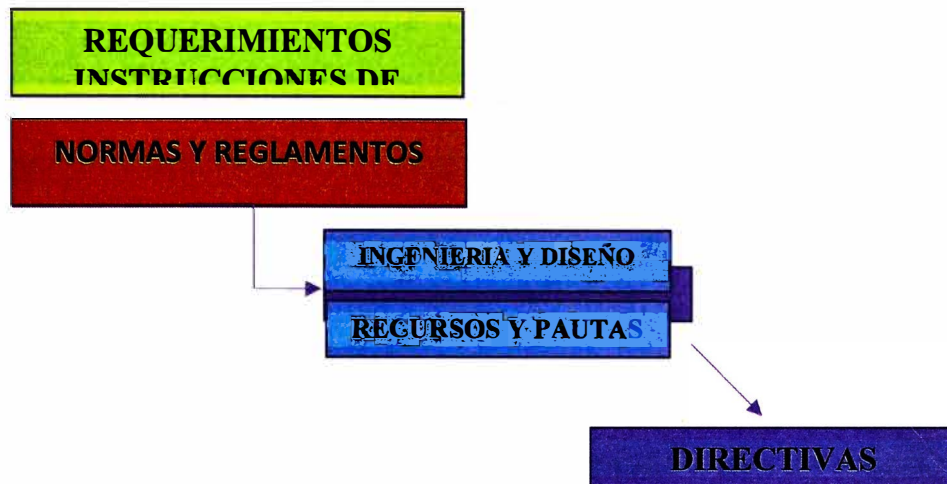
#### **4.1 Diseño del sistema de gestión para Mina el Silencio.**

El diseño del sistema de gestión de ventilación de mina el Silencio constara de una serie de documentos que describan los medios de auditoría y control para asegurar que el sistema cumple con todos los requisitos reglamentarios y de seguridad. Estos documentos que forman la estructura del Sistema de gestión de ventilación son los siguientes:

1. Requerimientos e Instrucciones de trabajo.
2. Normas y Reglamentos de trabajo.
3. Ingeniería y Diseño de ventilación.
4. Recursos y Pautas para ejecutar el plan de acción.
5. Directivas de ventilación.

Estos documentos nos proveen de lineamientos para la aplicación de auditoría, verificación y procesos de corrección utilizados para asegurar que el sistema de ventilación de la mina opere dentro de los estándares de cumplimiento.

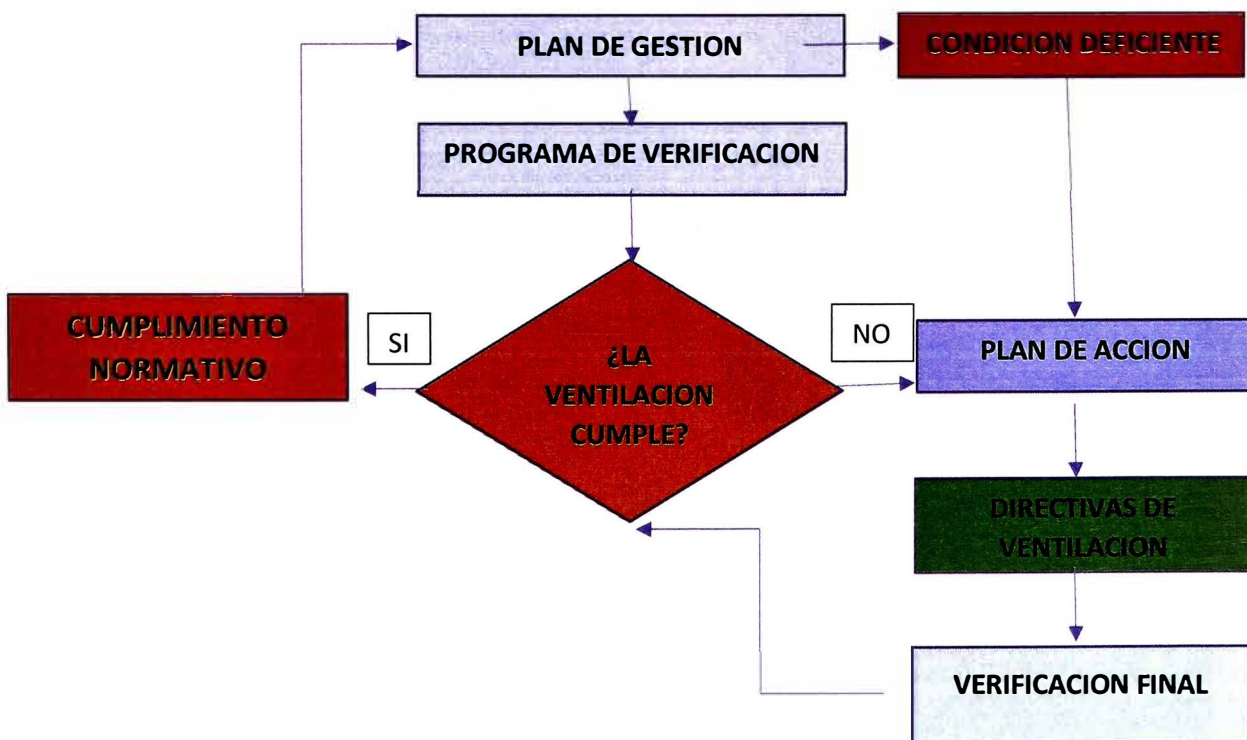




*Figura 4.1: Componentes del Sistema de Gestión.*

Fuente: Elaboración propia.

Para mina el silencio se plantea el siguiente diagrama de flujo como diseño del proceso iterativo que debe seguir el sistema de gestión. Este incluye inspecciones detalladas de las condiciones climáticas y económicas del sistema de ventilación de la mina.



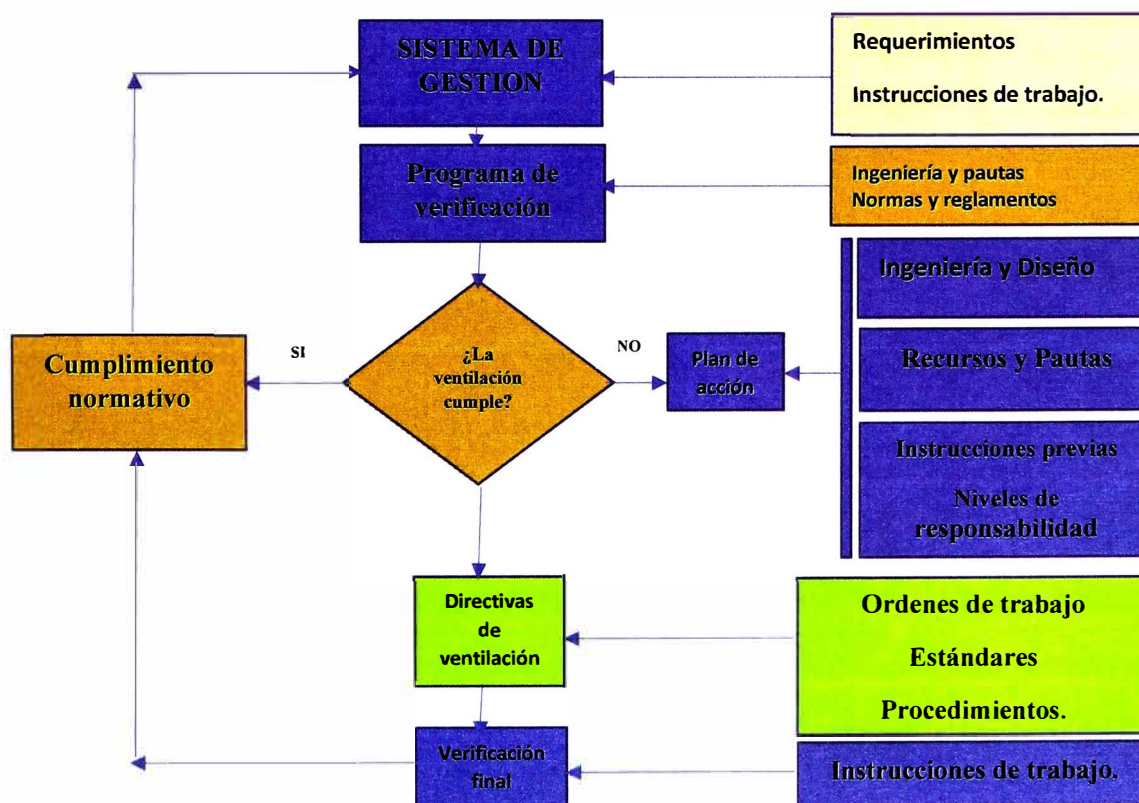
*Figura 4.2: Diagrama de flujo del sistema de gestión.*

Fuente: Elaboración propia.

Se utiliza el programa para verificar si el sistema de ventilación está en conformidad y si cumple con todos los objetivos del sistema de gestión. Si el programa de verificación

indica que el sistema no cumple, entonces el plan de acción y directivas de ventilación se inician para restaurar el sistema al cumplimiento. Los planes de acción y directivas correspondientes también pueden ser lanzados directamente en respuesta a las condiciones de ventilación inadecuadas o cuando se encuentran problemas durante una inspección.

Debe realizarse la verificación final para comprobar que las condiciones estén de acuerdo con lo establecido en el plan de acción y conforme a las normas y reglamentos. El Sistema de Gestión para Mina el Silencio sirve para realizar auditorías constantes del sistema de ventilación principal, secundario y auxiliar. Cada vez que se produzcan nuevas comunicaciones de labores, cambios en el circuito de aire, etc. También para los controles permanentes de ventilación en las labores de exploración, desarrollo, preparación y explotación donde haya personal trabajando. El diagrama de flujo y los componentes necesarios para el sistema de ventilación de mina el Silencio se muestra a continuación:



*Figura 4.3: Diagrama de flujo del sistema de gestión – Mina el Silencio.*

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.1.1 Sistema de Gestión – Evaluación Inicial.**

El sistema de gestión diseñado para mina el Silencio incluye los siguientes componentes como parte de la evaluación inicial:

##### **Requerimientos:**

Incluye todo lo necesario que se debe considerar antes de ejecutar el sistema de gestión, con el objetivo de realizar los trabajos de una manera confiable y segura. Para el caso de mina el Silencio se ha determinado los siguientes:

1. Programa de Mantenimiento y Calibración de instrumentos de ventilación.

##### **Instrucciones de trabajo:**

Las instrucciones de trabajo desarrollan secuencialmente los pasos a seguir para la correcta realización de un trabajo o tarea de acuerdo con unas pautas e indicaciones en función de factores tan importantes como la seguridad, la calidad y la productividad. Por tanto, deben servir de guía al trabajador en el desarrollo de actividades que pueden ser críticas. Tenemos las siguientes, por ejemplo:

1. Aforo de caudales en estaciones de ventilación.
2. Aforo de caudales en frentes de trabajo.
3. Medición de presión en ventiladores.
4. Monitoreo de gases en frentes de trabajo.
5. Monitoreo de emisión de gases en equipos diésel.
6. Medición de temperaturas en frentes de trabajo.
7. Medición de velocidad de aire en frentes de trabajo.

#### **4.1.2 Programa de Verificación**

El programa de verificación incluye ciertas pautas en base a las normas y reglamentos que deberían cumplirse para tener un sistema de gestión adecuado:

**Ingeniería y pautas:**

Son aquellos documentos, cálculos, diseños, y trabajos de ingeniería elaborados previamente y que sirven como patrón para realizar la verificación de las mediciones y mensuras realizadas en campo y comprobar si están dentro de lo establecido por las normas y reglamentos.

1. Requerimientos de Aire fresco.
2. Diseño de circuito de ingreso de aire fresco principal.
3. Diseño de circuito de ingreso de aire fresco auxiliar.
4. Diseño de instalación de ventiladores.

***Normas y Reglamentos***

Los documentos legales con los que se trabaja son los siguientes:

1. Decreto 1886 de 2015 – ANM (Colombia)
2. RSSO DS N°023-2017-EM (Peru)

**4.1.3 Plan de Acción**

Se define como la planificación realizada antes de la ejecución de los trabajos destinados a corregir las deficiencias climáticas identificadas durante el sistema de gestión. Incluye la Ingeniería y Diseño, Recursos y Pautas, las instrucciones previas, así como un nivel de responsabilidades.

**Ingeniería y Diseño:**

Son los cálculos, modelamientos en software de ventilación y evaluaciones que se realizan para corregir las deficiencias identificadas en la evaluación inicial del sistema de gestión. Tenemos, por ejemplo:

1. Modelado de la ventilación en software Ventsim.
2. Dimensionamiento de ventiladores.

3. Cálculos de requerimientos de aire.
4. Cálculos para diseño de ventiladores.
5. Cálculos de consumo de energía.
6. Cálculos financieros asociados a la ventilación.

**Recursos y Pautas:**

Son inventarios de equipos, inventarios de materiales, disponibilidad de personal quienes van a ser los encargados de realizar los trabajos destinados a corregir las deficiencias identificadas. También se consideran ciertas pautas que debe tomarse en cuenta antes de la ejecución de los trabajos.

1. Inventario de Ventiladores.
2. Inventario de ductos de ventilación.
3. Distribución de personal.
4. Inventario de materiales para ventilación.
5. Horarios de voladura.

**Instrucciones previas:**

Describen los pasos a seguir antes de dar paso a la ejecución de los trabajos, incluye por ejemplo el procedimiento para una regulación de alabes a fin de incrementar o disminuir el caudal, etc.

1. Verificación de ángulos de alabes.
2. Programa de Mantenimiento preventivo de ventiladores.

**Niveles de responsabilidad:**

Incluye todos los niveles involucrados en el proceso de ejecución del sistema de gestión. Desde el encargado o jefe de ventilación hasta los supervisores, jefes de mina, etc.

1. Gerente de Mina.
2. Gerente de Seguridad.

3. Jefe de Seguridad.
4. Superintendente de Mina.
5. Jefe de Ventilación.
6. Ingeniero de Ventilación.

#### **4.1.4 Directivas de ventilación**

Son las ordenes de trabajo derivadas del Plan de acción y que han de ejecutarse cumpliendo con los Estándares y procedimientos establecidos.

##### **Ordenes de trabajo, Estándares y Procedimientos:**

Incluye las órdenes para realizar el trabajo en campo destinado a corregir las deficiencias identificadas durante el sistema de gestión, respetando todos los procedimientos y estándares que han de tenerse en cuenta durante la ejecución de los trabajos y que están de acuerdo con el plan de acción diseñado previamente.

1. PETS: Traslado de ventiladores
2. PETS: Instalación de ventiladores
3. PETS: Puesta en marcha de ventiladores
4. PETS: Construcción de mamparos
5. PETS: Monitoreo.
6. ESTANDAR: Instalación de ventiladores
7. ESTANDAR: Puesta en marcha de ventiladores
8. ESTANDAR: Construcción de mamparos
9. ESTANDAR: Construcción de puertas y tapones

#### **4.1.5 Verificación final**

La Verificación final debe hacerse y es una de las partes más importantes del sistema de gestión.

**Instrucciones de trabajo:**

La verificación final incluye la evaluación de caudal, medición de temperaturas, medición de presión del ventilador, etc. Debe estar de acuerdo con lo diseñado en el plan de acción y la normativa vigente.

1. Aforo de caudales en estaciones de ventilación.
2. Aforo de caudales en frentes de trabajo.
3. Medición de presión en ventiladores.
4. Monitoreo de gases en frentes de trabajo.
5. Monitoreo de emisión de gases en equipos diésel.
6. Medición de temperaturas en frentes de trabajo.
7. Medición de velocidad de aire en frentes de trabajo

**4.1.6 Cumplimiento Normativo**

Se han tomado en cuenta la siguiente normatividad:

1. Decreto 1886 de 2015 – ANM (Colombia)
2. RSSO DS N° 023-2017-EM (Peru)

**4.2 Implementación del sistema de gestión en Mina el Silencio.**

Como parte de la implementación del Sistema de Gestión para el sistema de ventilación de mina el Silencio se presenta a continuación tres casos evaluados en campo:

**4.2.1 CASO 1 - Instalación de Ventilador Secundario**

En una rutina de inspección diaria se encuentra en los frentes de trabajo de rampa 2, condiciones climáticas molestas para el personal (suministro de flujo inadecuado y recirculación de aire), generando baja productividad en el personal y rendimiento de los equipos por lo cual se pone en práctica el uso del plan de gestión diseñado para mina el Silencio. Se siguen los pasos de acuerdo con el diagrama de flujo ya establecido.

## **Sistema de Gestión – Evaluación Inicial:**

### ***Requerimientos:***

1. Programa de Mantenimiento y Calibración de instrumentos de ventilación:  
termohigroanemometro, detector de gases, distanciómetro. *Ver anexo*

### ***Instrucciones de trabajo:***

1. Monitoreo de gases en frentes de trabajo. *Ver anexo*
2. Medición de temperaturas en frentes de trabajo. *Ver anexo*
3. Medición de velocidades de aire en frentes de trabajo. *Ver anexo*
4. Aforo de caudales en estaciones secundarias y auxiliares. *Ver anexo*
5. Medición de presión en ventiladores principales y secundarios. *Ver anexo*

## **Programa de Verificación**

### ***Ingeniería y pautas:***

1. Requerimiento de Aire para frentes mecanizados. *Ver anexo*
2. Requerimiento de Aire para frentes convencionales. *Ver anexo*
3. Circuito de aire principal. *Ver anexo*
4. Circuito de aire auxiliar. *Ver anexo*
5. Modelo de ventilación en Ventsim. *Ver modelo Ventsim*

### ***Normas y Reglamentos:***

1. Decreto 1886 de 2015 – ANM (Colombia) *Ver anexo 9*
2. RSSO DS N°023-2017-EM (Peru) *Ver anexo 9*

Luego de realizar la evaluación inicial y comprobar los datos de campo con el programa de verificación y de acuerdo con el reglamento de seguridad establecidos, se encuentra los siguientes resultados:



## **Sistema de Gestión – Evaluación Inicial:**

### ***Requerimientos:***

1. Programa de Mantenimiento y Calibración de instrumentos de ventilación:  
termohigroanemometro, detector de gases, distanciómetro. *Ver anexo*

### ***Instrucciones de trabajo:***

1. Monitoreo de gases en frentes de trabajo. *Ver anexo*
2. Medición de temperaturas en frentes de trabajo. *Ver anexo*
3. Medición de velocidades de aire en frentes de trabajo. *Ver anexo*
4. Aforo de caudales en estaciones secundarias y auxiliares. *Ver anexo*
5. Medición de presión en ventiladores principales y secundarios. *Ver anexo*

## **Programa de Verificación**

### ***Ingeniería y pautas:***

1. Requerimiento de Aire para frentes mecanizados. *Ver anexo*
2. Requerimiento de Aire para frentes convencionales. *Ver anexo*
3. Circuito de aire principal. *Ver anexo*
4. Circuito de aire auxiliar. *Ver anexo*
5. Modelo de ventilación en Ventsim. *Ver modelo Ventsim*

### ***Normas y Reglamentos:***

1. Decreto 1886 de 2015 – ANM (Colombia) *Ver anexo 9*
2. RSSO DS N°023-2017-EM (Peru) *Ver anexo 9*

Luego de realizar la evaluación inicial y comprobar los datos de campo con el programa de verificación y de acuerdo con el reglamento de seguridad establecidos, se encuentra los siguientes resultados:

**Tabla 4.1: Monitoreo termo ambiental Inicial – Caso 1.**

MONITOREO TERMOAMBIENTAL																
Fecha de Reporte:		29/09/2021		Fecha de Monitoreo:		29/09/2021		Turno:		Día		Responsable:		Ing. Milton Raza		
AREA	PROCESO	Nº	LABOR/NIVEL	REFERENCIA	HORA DE MEDICION	VALORES DE MEDICION										OBSERVACIONES
						H <sub>2</sub> S (ppm)	CO (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	Td (°C)	Tw (°C)	HR (%)	V (m/s)	Te (°C)	
Mina Silencio	Exploración, Desarrollo y Explotación	1	Frente de Rampa 2	Frente de trabajo	7:30 a. m.	0	30	1.000	0,0	20,3	31,1	29,3	83	0,3	30,2	
		2	Rampa 2	Trayecto de la rampa	7:50 a. m.	0	19	1.300	1,0	20,4	32,3	30,1	88	0,5	31,1	Transito de equipo diesel
		3	Corte 455	Frente de trabajo	8:20 a. m.	0	18	600	0,0	20,3	30,5	29	84	0,4	29,7	Recirculacion de aire Demasiadas fugas en los ductos
		4	Corte 290	En la labor	9:10 a. m.	0	20	3.000	0,0	20,3	30,1	29,4	82	0,3	29,6	Recirculacion de aire
		5	Sill 300	Todo el tajo	9:45 a. m.	0	40	3.500	0,2	19,9	32,2	29,3	86	0,2	31,1	Recirculacion de aire
LÍMITES PERMISIBLES (*)						10	26	5000	5	≥ 19,6		29**		0,42	29**	

(\*) Según el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, Decreto Supremo N° 023-2017-EM

(\*\*) Según el Reglamento de Seguridad, Decreto 1886 de 2015 ANM

Monitoreo realizado con equipo digital: Multidetector Dräger Termohigroanemómetro Kestrel

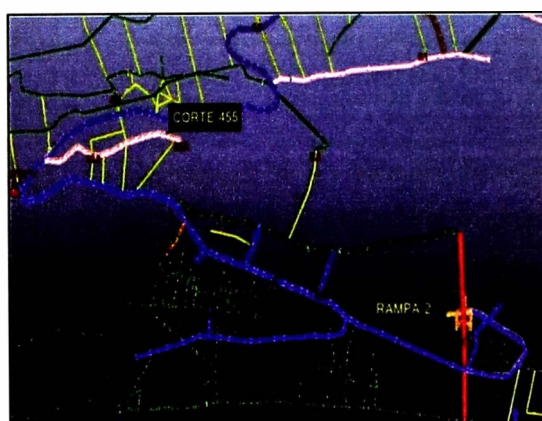
Valores de medición por encima de los Niveles Máximos Permisibles establecidos por Legislación

Niveles Máximos Permisibles establecidos por legislación.

Fuente: Elaboración propia.

Las velocidades de aire en la mayoría de los frentes de trabajo están por debajo de lo establecido por las normativas. La sensación térmica (temperatura efectiva) es muy elevada lo cual crea condiciones inseguras de trabajo para el personal. Además, los ventiladores auxiliares recirculan el aire en los frentes de explotación.

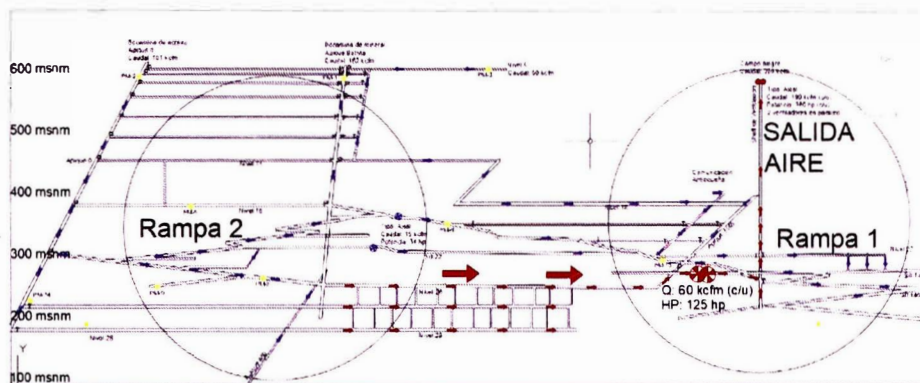
El caudal de aire que ingresa a la zona actualmente es de 36 700 CFM, lo cual es insuficiente para los frentes de trabajo. Se verifica el modelo de ventilación de la zona en estudio, así como los requerimientos de aire ya calculados con anterioridad.



**Figura 4.4: Simulación zona de Rampa 2 – Mina el Silencio.**

Fuente: Elaboración propia.

Como sabemos la mina se divide en dos zonas importantes: Zona de Rampa 1 y Zona de Rampa 2. Se viene presentando problemas en los frentes de trabajo de la Zona de Rampa 2, por lo cual se requiere incrementar el aire fresco hacia esa zona direccionando un mayor caudal de aire viciado hacia el Shaft principal de salida de aire ubicado en la zona de Rampa 1, tal como se muestra a continuación en el esquema siguiente:



**Figura 4.5: Esquema de ventilación.**

Fuente: Elaboración propia.

## Plan de Acción

### *Ingeniería y Diseño:*

#### 1. Requerimiento de aire fresco Zona Rampa 2

A fin de mejorar las condiciones de trabajo en la zona de estudio se realizó un cálculo detallado del requerimiento de aire para la Zona de Rampa 2. Este requerimiento se ha determinado a partir de la flota móvil diésel, el personal y un caudal considerado para mantener las temperaturas por debajo de 29°C de temperatura efectiva.

**Tabla 4.2: Requerimiento de aire – Zona Rampa 2.**

REQUERIMIENTO DE AIRE FRESCO				
<b>Para personal (Qtr)</b>				
Descripcion	Personas	m3/min	m3/min	cfm
Total personal	60	3	180	6.357
<b>Para voladura (Qvol)</b>				
Velocidad minima (m/min)	Area Prom (m2)	N° de niveles	m3/min	cfm
25	12,6	2	630	22.248
<b>Para equipos diesel:</b>				
Descripcion	Tota HP	m3/min/HP	m3/min	cfm
Total de equipos diesel	606	3	1.818	64.201
<b>Para temperatura (Qte)</b>				
Velocidad minima (m/min)	Area Prom (m2)	N° de niveles	m3/min	cfm
30	12,6	2	756	26.697
<b>Requerimiento</b>				
Caudal			m3/min	cfm
Q1	Qte+Qeq+Qtr		2.754	97.258
Q2	Qvol		630	22.248
Como Q1 > Q2	entonces	Q1	2.754	97.258
QFu: Caudal Requerido por Fugas (20%*Q1)			551	19.452
<b>Caudal Requerido Qto=Q1+Qfu</b>			<b>1.102</b>	<b>116.709</b>

Fuente: Elaboración propia.

El requerimiento asciende a 97 258 CFM más un 20% considerado para las fugas que existirán dado que todo el recorrido del aire es a través de labores antiguas y de sección reducida. Se considera entonces un Q total de 116 709 CFM.

## 2. Dimensionamiento de ventiladores.

Para mejorar las condiciones de trabajo en la zona se debe considerar la instalación de un ventilador de 120 KCFM o en su defecto 2 ventiladores de 60 KCFM con una presión total mínima de 1.23 Kpa de acuerdo con la simulación realizada en Ventsim. Este ventilador servirá como extracción desde la zona de rampa 2 direccionando el aire hacia el Shaft de salida de aire viciado ubicado en la zona de rampa 1.

**Tabla 4.3: Caracterización de ventilador auxiliar.**

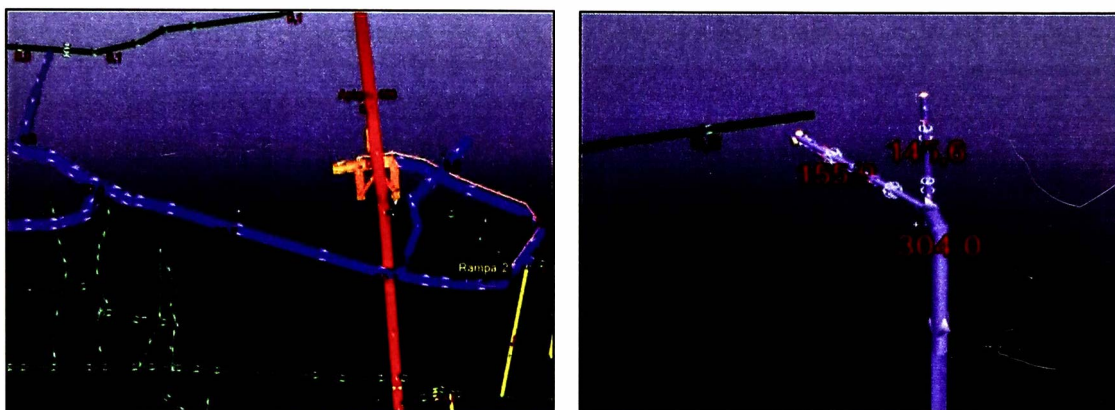
Presion FTP	1239,7 Pa	Potencia	117.7 hp chimenea
Flujo	120.0 Kcfm	Potencia	123.9 hp electrica
Densidad del aire	1,12 kg/m3	Costo	\$ 113.295 /año
Empuje	7 264 N		

Fuente: Elaboración propia.

El estado inicial de la ventilación y la potencia asociada de los extractores principales de superficie es la siguiente:

Caudal de aire en Zona Rampa 2: 36.7 KCFM

Extracción total a superficie: 304 KCFM / 596.8 HP



**Figura 4.6: Simulación Ventsim CASO 1.**

Fuente: Elaboración propia.

#### ***Recursos y Pautas:***

##### 1. Inventario de Ventiladores

Dentro de nuestro inventario de ventiladores contamos con 2 ventiladores marca JOY de 125 HP (60 000 CFM) cada uno. La instalación se realizará en el nivel 23, galería antigua cerca a la rampa 1 principal.

#### ***Instrucciones previas:***

1. Verificación de ángulos de alabes.
2. Programa de Mantenimiento preventivo. *Ver anexo*

#### ***Niveles de responsabilidad:***

1. Gerente de Mina
2. Gerente de Seguridad
3. Jefe de Ventilación
4. Ingeniero de Ventilación

El estado final de la ventilación en la zona de rampa 2 así como la potencia por consumo de energía en los ventiladores principales de superficie quedaría de la siguiente manera de acuerdo con la simulación realizada en Ventsim:

Caudal de aire en Zona Rampa 2: 98.7 KCFM

Extracción total a superficie: 312.8 KCFM / 594.5 HP

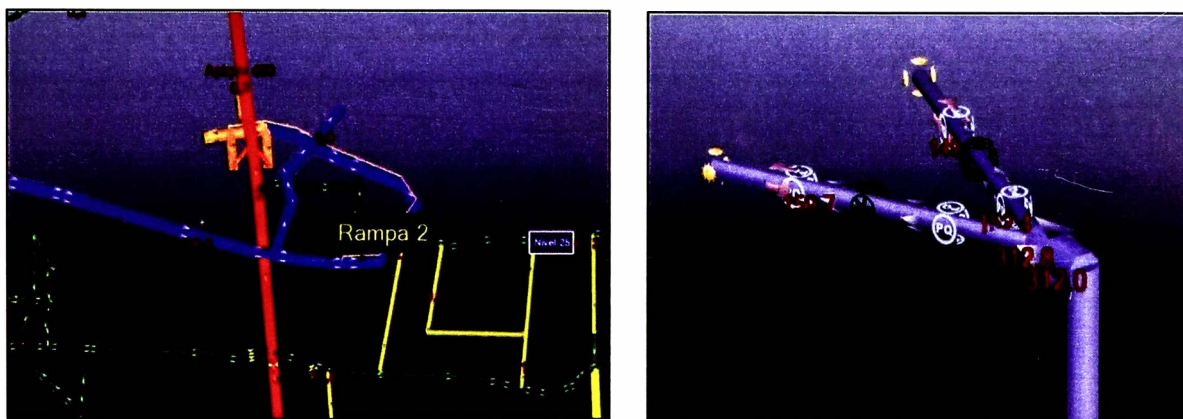


Figura 4.7: Simulación Ventsim CASO 1.

Fuente: Elaboración propia.

La curva de operación para los ventiladores principales se muestra a continuación:

Eficiencia 84,7%	1185 rpm	Potencia	281,2 hp chimenea
Densidad del aire	1,07 kg/m3	Potencia	296,0 hp electrica
FTP debe ser	2301,1 Pa	Costo	\$ 270.690 /año
Cantidad 163,5 Kcfm	22,4 m/s	R del sist.	0,38652 Ns2/m2
		Peak cap.	52% R:90% P

Eficiencia 82,5%	1185 rpm	Potencia	283,5 hp chimenea
Densidad del aire	1,07 kg/m3	Potencia	298,5 hp electrica
FTP debe ser	2407,1 Pa	Costo	\$ 272.947 /año
Cantidad 153,5 Kcfm	21 m/s	R del sist.	0,45892 Ns2/m2
		Peak cap.	62% R:94% P

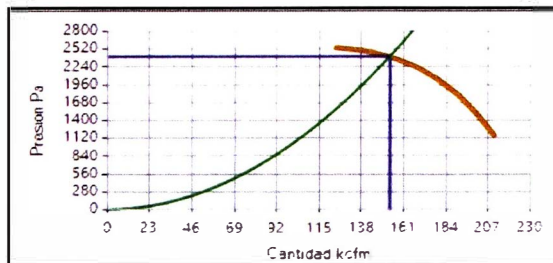
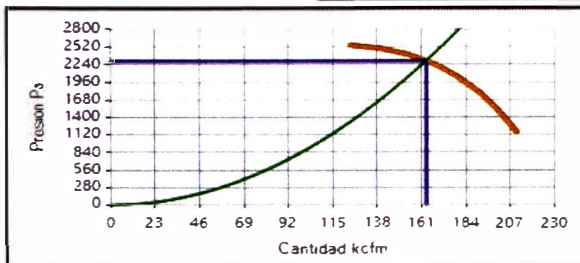


Figura 4.8: Curvas de operación CASO 1.

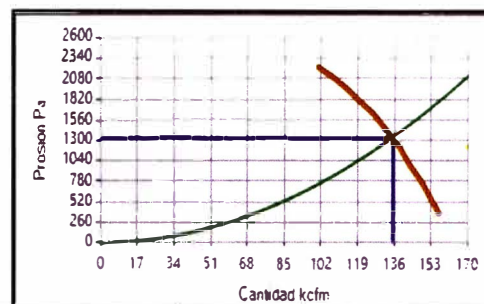
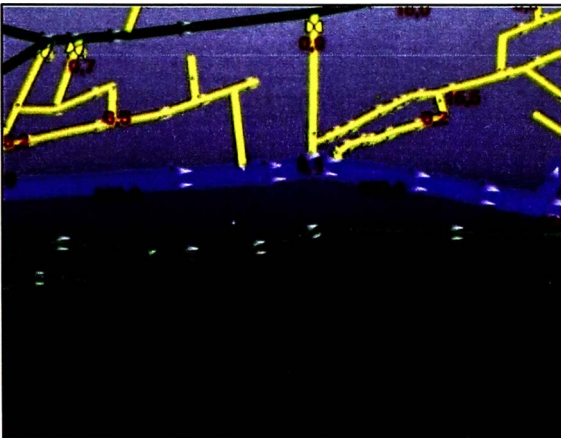
Fuente: Elaboración propia.

## Directivas de Ventilación

### Ordenes de trabajo, Estándares y Procedimientos:

1. Traslado de ventiladores. *Ver anexo*
2. Instalación de ventiladores. *Ver anexo*
3. Puesta en marcha de ventiladores. *Ver anexo*
4. Construcción de mamparos. *Ver anexo*

Entonces luego de completarse la instalación de dos ventiladores de 60 KCFM/125 HP en paralelo en el nivel 23, los resultados de la curva de operación de los dos ventiladores son los siguientes:



Eficiencia 80%	1800 rpm	Potencia	142,7 hp chimenea
Densidad del aire	1,12 kg/m <sup>3</sup>	Potencia	150,2 hp eléctrica
FTP debe ser	1334,0 Pa	Costo	\$ 137.363 /año
Cantidad 135,2 Kcfm	10,8 m/s	R del sist.	0,32759 Ns <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
		Peak cap.	33% R:60% P

**Figura 4.9: Curva de operación CASO 1.**

Fuente: Elaboración propia.

El caudal de extracción es de 135.2 KCFM con una potencia combinada de 150.2 HP. El consumo de energía es de US \$ 137 363 al año.

## Verificación Final

### Instrucciones de trabajo:

1. Monitoreo de gases en frentes de trabajo. *Ver anexo*
2. Medición de temperaturas en frentes de trabajo. *Ver anexo*
3. Medición de velocidades de aire en frentes de trabajo. *Ver anexo*
4. Aforo de caudales en estaciones secundarias y auxiliares. *Ver anexo*

5. Medición de presión en ventiladores principales y secundarios. *Ver anexo*

### Cumplimiento Normativo

1. Decreto 1886 de 2015 – ANM (Colombia) *Ver anexo 9*

2. RSSO DS N° 023-2017-EM (Peru) *Ver anexo 9*

Luego de completar los trabajos de instalación de los dos ventiladores en paralelo y el cambio de diámetro de los ductos de ventilación se procedió a realizar la verificación en campo de las nuevas condiciones de ventilación con los resultados siguientes:

**Tabla 4.4: Monitoreo termo ambiental Final – Caso 1.**

MONITOREO TERMOAMBIENTAL																
Fecha de Reporte:		25/10/2021		Fecha de Monitoreo:		25/10/2021		Turno:		Dia		Responsable:		Ing. Milton Rozan		
AREA	PROCESO	N°	LABOR/NIVEL	REFERENCIA	HORA DE MEDICION	VALORES DE MEDICION									OBSERVACIONES	
						H <sub>2</sub> S (ppm)	CO (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	Td (°C)	Tw (°C)	HR (%)	V (m/s)		Te (°C)
Mina Silencio	Exploración, Desarrollo y Explotación	1	Frente de Rampa 2	Frente de trabajo	7:50 a. m.	0	25	1.000	0,0	20,3	29,1	28,1	78	0,9	27,9	Se cambio diametro de ductos
		2	Rampa 2	Trayecto de la rampa	8:00 a. m.	0	10	1.300	1,0	20,4	29,6	28,5	80	1,5	27,8	Transito de equipo diesel constante
		3	Corte 155	Frente de trabajo	8:30 a. m.	0	5	600	0,0	20,3	29,5	28,6	84	0,8	28,4	Se cambio diametro de ductos
		4	Corte 290	En la labor	9:30 a. m.	0	15	3.000	0,0	20,3	29,1	29	82	0,7	28,4	
		5	Sill 500	Todo el tajo	9:55 a. m.	0	18	3.500	0,2	19,9	30,2	29	86	0,4	29,4	
LÍMITES PERMISIBLES (*)						10	25	5000	5	≥ 19.5		29**		0,42	29**	

(\*) Según el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, Decreto Supremo N° 023-2017-EM

(\*\*) Según el Reglamento de Seguridad, Decreto 1886 de 2015 ANM

Monitoreo realizado con equipo digital Multidetector Drager Termohigroanemometro Kestrel

Valores de medición por encima de los Niveles Máximos Permisibles establecidos por Legislación

Niveles Máximos Permisibles establecidos por legislación.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.2 CASO 2 - Ventilación con aire comprimido

Luego de recibir constantes quejas por las malas condiciones termoambientales en algunos frentes de trabajo donde solo existe ventilación con uso del aire comprimido, se pone en práctica el plan de gestión de mina el silencio. Se siguen los pasos de acuerdo con el diagrama de flujo ya diseñado para estos casos.

#### Sistema de Gestión – Evaluación Inicial:

##### Requerimientos:

Se ha utilizado los siguientes documentos para la evaluación realizada:

1. Programa de Mantenimiento y Calibración de instrumentos de ventilación:

termohigroanemometro, detector de gases, distanciómetro. *Ver anexo*



***Instrucciones de trabajo:***

Se ha utilizado los siguientes:

1. Monitoreo de gases en frentes de trabajo. *Ver anexo*
2. Medición de temperaturas en frentes de trabajo. *Ver anexo*
3. Medición de velocidades de aire en frentes de trabajo. *Ver anexo*
4. Aforo de caudales en estaciones secundarias y auxiliares. *Ver anexo*

**Programa de Verificación*****Ingeniería y pautas:***

1. Requerimiento de Aire para frentes convencionales. *Ver anexo*
2. Circuito de ventilación. *Ver anexo*

***Normas y Reglamentos:***

1. Decreto 1886 de 2015 – ANM (Colombia). *Ver anexo 9*
2. RSSO DS N°023-2017-EM. (Peru) *Ver anexo 9*

Después de realizar la evaluación inicial y comprobar los datos de campo con el programa de verificación y de acuerdo con el reglamento de seguridad establecidos, se encuentra los siguientes resultados:

Tabla 4.5: Monitoreo termo ambiental – Caso 2.

MONITOREO TERMOAMBIENTAL																	
Fecha de Reporte:		11/10/2021			Fecha de Monitoreo:		7/8/9/10/2021			Turno:		Día		Responsable:		Ing. Milton Rozan	
AREA	PROCESO	N°	LABOR/NIVEL	REFERENCIA	HORA DE MEDICION	VALORES DE MEDICION										OBSERVACIONES	
						H <sub>2</sub> S (ppm)	CO (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	Td (°C)	Tw (°C)	HR (%)	V (m/s)	Te (°C)		
Mina Silencio	Exploración, Desarrollo y Explotación	1	Corte 850 N	Todo el tajo	7:45 a. m.	0	22	1.000	0,0	20,3	30,2	29,3	83	0,02	29,9		
		2	Corte 810 N	Todo el tajo	7:50 a. m.	0	19	1.300	0,5	20,4	30,6	29	88	0,02	30,1		
		3	Tambor 735 N	Frente de trabajo	8:20 a. m.	0	18	600	0,0	20,3	30,5	29	84	0,03	30,0	Recirculacion de aire Demasiadas fugas en los ductos	
		4	Corte 775 N	Todo el tajo	9:10 a. m.	0	20	3.000	0,0	20,3	30,1	29,4	82	0,01	29,9	Recirculacion de aire	
		5	Corte 950 N	Todo el tajo	9:45 a. m.	0	4	3.500	0,2	20,3	30,1	29,3	86	0,02	29,8	Recirculacion de aire	
		6	Corte 1150 N	Todo el tajo	7:25 a. m.	0	8	500	0,0	20,2	30,2	29,3	87	0,02	29,9	Acumulacion de polvo	
		7	Tambor 1220	Frente de trabajo	8:15 a. m.	0	12	200	0,0	20,5	30,2	29,5	86	0,03	30,0	Recirculacion de aire	
		8	Camara 1130	Frente de trabajo	8:50 a. m.	0	16	150	0,0	20,6	30,1	29,6	89	0,03	29,9	Acumulacion de polvo	
		9	Galena 1120 N	Frente de trabajo	9:18 a. m.	0	21	50	0,0	20,3	30,5	29,8	92	0,02	30,3	Recirculacion de aire	
		10	Camara 1190 N	Frente de trabajo	9:35 a. m.	0	13	280	0,0	20,4	31,2	29,3	90	0,02	30,6	Temperatura elevada	
		11	Camara 1215 N	Frente de trabajo	7:10 a. m.	0	5	0	0,0	20,2	31	29,4	86	0,01	30,5	Acumulacion de polvo	
		12	Corte 1110 N	Todo el tajo	7:32 a. m.	0	4	0	0,0	20,5	30,2	29,6	87	0,01	30,0	Recirculacion de aire	
		13	Ventana 1095	Frente de trabajo	8:05 a. m.	0	17	110	0,0	20,6	30,5	29,4	88	0,02	30,2	Temperatura elevada	
		14	Tambor 1060	Frente de trabajo	8:39 a. m.	0	11	110	0,0	20,3	30,6	29,3	93	0,02	30,2		
		15	Corte 1130 N	Todo el tajo	9:13 a. m.	0	5	0	0,0	20,2	29,1	28,8	88	0,03	29,0	Acumulacion de polvo	
		16	Corte 1130 N	Todo el tajo	9:34 a. m.	0	8	0	0,0	20,6	29,3	28,9	86	0,03	29,2		
<b>LÍMITES PERMISIBLES (*)</b>						10	25	5000	5	≥ 19,5		28**		0,42	28**		

(\*) Según el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, Decreto Supremo Nº 023-2017-EM

(\*\*) Según el Reglamento de Seguridad, Decreto 1886 de 2015 ANM

Monitoreo realizado con equipo digital Multidetector Dräger Termohigroanemómetro Kestrel

Valores de medición por encima de los Niveles Máximos Permisibles establecidos por Legislación

Niveles Máximos Permisibles establecidos por legislación.

Fuente: Elaboración propia

El flujo de aire se muestra insuficiente para los frentes de trabajo, las temperaturas elevadas, presencia de polvo y gases generan malestar en el personal y bajo rendimiento. Para este caso en el plan de acción se evaluará el uso de ventilación mecánica para suministrar un flujo de aire adecuado a cada labor, en reemplazo del uso de aire comprimido que solo genera 172 CFM de aire por labor:

## Plan de Acción

### Ingeniería y Diseño:

#### 1. Cálculo de Densidad.

Se realizó el cálculo de la densidad relativa para efectos de diseño de los ventiladores, tomando en cuenta una altitud de: 352 m.s.n.m. y una temperatura promedio de 29°C.

**Tabla 4.6: Cálculo de densidad.**

Altitud		Temperatura del Aire		Presión Atmosférica	Densidad del Aire	
(m)	(pies)	(°C)	(°R)	(pulg de Hg)	(kg/m <sup>3</sup> )	(lb/pie <sup>3</sup> )
342	1121,9	29,0	543,89	28,78	1,125	0,0702

Fuente: Elaboración propia

2. Requerimiento de Aire fresco por cada frente de avance:

**Tabla 4.7: Requerimiento de aire por cada frente de avance.**

REQUERIMIENTO DE AIRE FRESCO				
<b>Para personal (Qtr)</b>				
Descripcion	Personas	m3/min	m3/min	cfm
Total personal	2	3	6	212
<b>Para voladura (Qvol)</b>				
Velocidad mínima (m/min)	Area Prom (m2)	N° de niveles	m3/min	cfm
25	3,6	1	90	3.178
<b>Para temperatura (Qte)</b>				
Velocidad mínima (m/min)	Area Prom (m2)	N° de niveles	m3/min	cfm
30	3,6	1	108	3.814
<b>Requerimiento:</b>				
Caudal			m3/min	cfm
Q1	Qtr+Qte		114	4.026
Q2	Qvol		90	3.178
Como Q1 > Q2	entonces	Q1	114	4.026
QFu: Caudal Requerido por Fugas (10%*Q1)			11	403
<b>Caudal Requerido Qto=Q1+Qfu</b>			<b>23</b>	<b>4.429</b>

Fuente: Elaboración propia

3. Dimensionamiento de ventilador auxiliar y ductos.

Los cálculos para el dimensionamiento del ventilador auxiliar se muestran a continuación. La dimensión de los ductos se ha tomado en base a la sección de la labor de 2.0 x 2.0 m.

**Tabla 4.8: Diseño de ventilador auxiliar.**

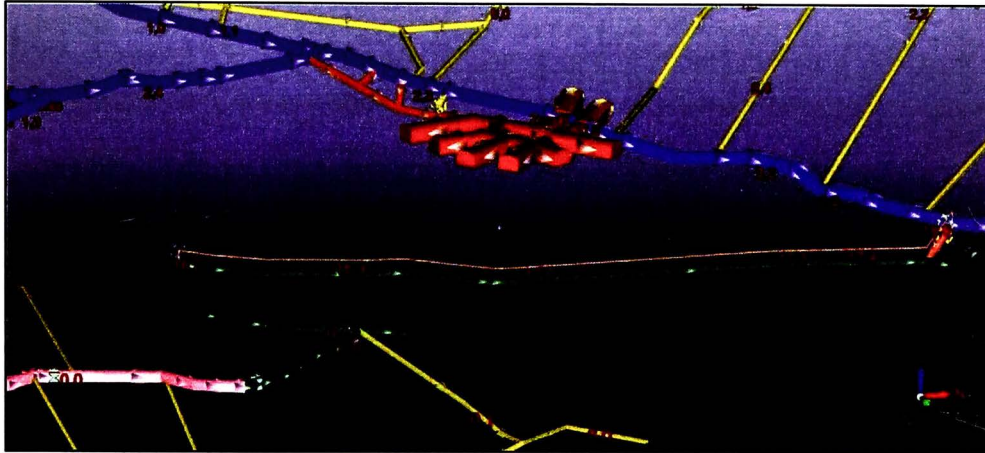
Densidad del Aire	Seccion Diametro	Longitud	Factor de Fricción (k)	Resistencia	Ventilador Simulado	Pérdida Presión Corregido (hf)	Pérdida Presión Dinamica	Pérdida Presión Total	Pérdida Presión Total
(kg/m <sup>3</sup> )	(m)	(m)	(Ns <sup>2</sup> /m <sup>4</sup> )	(Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup> )	(pie <sup>3</sup> /min)	(" H <sub>2</sub> O)	(" H <sub>2</sub> O)	(Pascal)	(" H <sub>2</sub> O)
1,123	0,400	150	0,0037	356,14229	5.000	7,456	0,77	2055,313	8,22

<b>Hpa</b>	6,47
<b>BHP</b>	8,63

Fuente: Elaboración propia

#### 4. Modelado de la ventilación auxiliar.

El modelamiento se ha realizado utilizando el software Ventsim 5.4, con los siguientes resultados:



Presion FTP	2053,9 Pa	Potencia	8,1 hp chimenea
Flujo	5,0 Kcfm	Potencia	8,6 hp electrica
Densidad del aire	1,12 kg/m3	Costo	\$ 7821 /año
Empuje	258 N		

**Figura 4.10: Simulación CASO 2.**

Fuente: Elaboración propia.

En consecuencia, se requiere instalar ventiladores de 5 000 CFM con una presión total de 2053 Pa. para satisfacer el requerimiento de cada frente de avance:

#### **Recursos y Pautas:**

1. Inventario de Ventiladores. Se verifico el inventario de ventiladores para comprobar si contamos con ventiladores de estas características: Caudal 5000 CFM y una potencia mínima de 10 HP. No se cuenta con estos ventiladores por tanto estos se deben comprar. *Ver anexo*
2. Inventario de ductos de ventilación. Los ductos que se debe utilizar para este trabajo son de 400 mm. (14”) de diámetro, se procede a verificar en el inventario de almacén la disponibilidad del material.

- Horarios de Voladura. Siempre debemos tener en cuenta los horarios de voladura de la unidad minera.

***Instrucciones previas:***

- Verificación de ángulos de alabes
- Programa de Mantenimiento preventivo *Ver anexo*

***Niveles de responsabilidad:***

- Gerente de Mina
- Gerente de Seguridad
- Jefe de Seguridad
- Jefe de Ventilación
- Ingeniero de Ventilación
- Superintendente de Mina

**Directivas de Ventilación**

***Ordenes de trabajo, Estándares y Procedimientos:***

Para la instalación de los nuevos ventiladores se debe seguir los siguientes procedimientos y estándares de trabajo:

- Procedimiento de traslado de ventiladores. *Ver anexo*
- Procedimiento para instalación de ventiladores. *Ver anexo*
- Procedimiento para puesta en marcha de ventiladores. *Ver anexo*
- Procedimiento para instalación de ductos *Ver anexo*
- Estándar de Instalación de ventiladores *Ver anexo*
- Estándar de Instalación de ductos de ventilación. *Ver anexo*

**Verificación Final**

Como parte de la verificación final se debe seguir las siguientes instrucciones de trabajo con el cumplimiento normativo correspondiente:

***Instrucciones de trabajo:***

1. Inspección de ventilador
2. Verificación de caudal *Ver anexo*
3. Monitoreo de condiciones climáticas. *Ver anexo*

**Cumplimiento Normativo**

1. Decreto 1886 de 2015 – ANM (Colombia) *Ver anexo 9*
2. RSSO DS N°023-2017-EM (Peru) *Ver anexo 9*

**4.2.3 CASO 3 - Ventilación eficiente para frente mecanizado**

Se recibió varias quejas por parte de los operadores de equipo diésel (scooptram y Dumper) y del personal que realiza algún trabajo cerca a los frentes donde se está operando los equipos diésel, respecto a las altas temperaturas y fuerte concentración de gases cuando se realiza la limpieza y el carguío en los frentes de trabajo. Por tanto, se puso en práctica nuestro sistema de gestión para el caso.

**Sistema de Gestión – Evaluación Inicial:*****Requerimientos:***

Se ha utilizado los siguientes documentos para la evaluación realizada:

1. Programa de Mantenimiento y Calibración de instrumentos de ventilación:  
termohigroanemometro, detector de gases, distanciómetro. *Ver anexo*

***Instrucciones de trabajo:***

Se ha utilizado los siguientes:

1. Monitoreo de gases en frentes de trabajo. *Ver anexo*
2. Medición de temperaturas en frentes de trabajo. *Ver anexo*
3. Medición de velocidades de aire en frentes de trabajo. *Ver anexo*
4. Aforo de caudales en estaciones secundarias y auxiliares. *Ver anexo*
5. Medición de presión en ventiladores principales y secundarios. *Ver anexo*

## Programa de Verificación

### Ingeniería y pautas:

1. Requerimiento de Aire para frentes mecanizados *Ver anexo*
2. Diseño de circuito de ingreso de aire fresco auxiliar. *Ver anexo*

### Normas y Reglamentos:

1. Decreto 1886 de 2015 – ANM (Colombia) *Ver anexo 9*
2. RSSO DS N°023-2017-EM (Peru) *Ver anexo 9*

Luego de realizar la evaluación inicial cumpliendo los requerimientos necesarios para realizar los trabajos y siguiendo las instrucciones de trabajo implementados en el plan de gestión se pudo obtener los siguientes datos en campo, también se verifico los datos con el programa de verificación, de acuerdo con los reglamentos de seguridad establecidos.

**Tabla 4.9: Monitoreo de frentes de trabajo, Inicial.**

MONITOREO TERMOAMBIENTAL																
Fecha de Reporte:		14/10/2021		Fecha de Monitoreo:		12 y 13/10/2021		Turno:		Día		Responsable:		Ing. Milton Rozan		
AREA	PROCESO	Nº	LABOR/NIVEL	REFERENCIA	HORA DE MEDICION	VALORES DE MEDICION										OBSERVACIONES
						H <sub>2</sub> S (ppm)	CO (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	Td (°C)	Tw (°C)	HR (%)	V (m/s)	Te (°C)	
Mina Silencio	Exploración, Desarrollo y Explotación	1	Corte 455	Frente de trabajo	8:30 a.m.	0	30	1.500	0,2	20,3	31,1	29,3	88	0,5	30,1	Equipo diesel trabajando
		2	Frente de rampa 2	Frente de trabajo	8:50 a.m.	0	28	1.800	1,0	20,4	32,3	30,1	89	0,6	31,0	Trasito de equipo diesel
		3	Rampa 1250	Frente de trabajo	8:20 a.m.	0	18	2.300	0,6	20,2	32	31,1	84	0,4	31,3	Equipo diesel trabajando Demasiadas fugas en los ductos
		4	Corte 290	Frente de trabajo	9:10 a.m.	0	20	3.000	1,5	20,1	32,4	29,4	86	0,45	31,1	Equipo diesel en el frente
LÍMITES PERMISIBLES (*)						10	25	5000	5	≥ 19,5			0,42	29**		

(\*) Según el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, Decreto Supremo N° 023-2017-EM

(\*\*) Según el Reglamento de Seguridad, Decreto 1886 de 2015 ANM

Monitoreo realizado con equipo digital: Multidetector Dräger, Termohigroanemómetro Kestrel  
 Valores de medición por encima de los Niveles Máximos Permisibles establecidos por Legislación  
 Niveles Máximos Permisibles establecidos por legislación.

Fuente: Elaboración propia

A pesar de que las velocidades de aire son aceptables, las temperaturas se muestran muy elevadas, esto se debe a que en el cálculo de requerimiento de aire para estas labores no se consideró un caudal suficiente para mantener unas temperaturas de aire dentro de los límites permisibles cuando el equipo diésel realice su trabajo en los frentes de operación (labor confinada). Por tal motivo se prepara un plan de acción siguiendo los lineamientos de nuestro programa de gestión.

## Plan de Acción

### Ingeniería y Diseño:

#### 1. Cálculo de requerimiento de aire detallado:

Se realiza un análisis detallado del requerimiento de aire cuando se realiza el trabajo de los equipos diésel en los frentes, considerando que se eleva la temperatura. Se considera los siguientes parámetros para efectos de cálculo:

**Tabla 4.10: Requerimiento de aire por equipos diésel.**

REQUERIMIENTO POR EQUIPOS DIESEL (DS 1886)						
Item	Equipo	N°	Potencia nominal (HP)	Q (m3/min)	Q (CFM) (4m3/min/HP)	Q (CFM) (6m3/min/HP)
1	Volqueta TH 315	1	220	880	31.077	46.616
2	Scoop LH 307	1	201	804	28.393	42.590
<b>Total</b>		<b>2</b>	<b>421</b>	<b>1684</b>	<b>59.470</b>	<b>89.206</b>

Fuente: Elaboración propia

En el requerimiento de aire de acuerdo con el DS 1886 se considera 4 m3/min/HP para efectos de cálculo más el requerimiento de personal en la labor que asciende a 424 CFM, haciendo un total de 59 894 CFM.

Si realizamos la evaluación de acuerdo con el RSSO 207 (Peru), se considera 3 m3/min/HP además de tomar en cuenta el rendimiento de los equipos, así como una deducción por factor de altura. No se toma en cuenta en este cálculo la disponibilidad mecánica ni la utilización porque asumimos un funcionamiento constante para el frente de trabajo durante 4 horas de trabajo.

**Tabla 4.11: Requerimiento de aire por equipos diésel.**

REQUERIMIENTO POR EQUIPOS DIESEL (RSSO 2017)								
Item	Equipo	N°	Potencia nominal (HP)	Rendimiento (%)	Factor por altura (%)	Potencia efectiva (HP)	Q (m3/min)	Q (CFM)
1	Volqueta TH 315	1	220	0.85	0.85	159	477	16.840
2	Scoop LH 307	1	201	0.85	0.85	145	436	15.386
<b>Total</b>		<b>2</b>	<b>421</b>	<b>0.85</b>	<b>0.85</b>	<b>304</b>	<b>913</b>	<b>32.226</b>

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 4.12: Requerimiento de aire fresco.**

REQUERIMIENTO DE AIRE FRESCO				
<b>Para personal (Qtr)</b>				
Descripcion	Personas	m3/min	m3/min	cfm
Total personal	4	3	12	424
<b>Para voladura (Qvol)</b>				
Velocidad minima (m/min)	Area Prom (m2)	N° de niveles	m3/min	cfm
25	12,6	1	315	11.124
<b>Para equipos, diesel.</b>				
Descripcion	Tota HP	m3/min/HP	m3/min	cfm
Total de equipos diesel	304	3	912	32.206
<b>Para temperatura (Qte)</b>				
Velocidad minima (m/min)	Area Prom (m2)	N° de niveles	m3/min	cfm
30	12,6	1	378	13.349
<b>Requerimiento:</b>				
Caudal			m3/min	cfm
Q1	Qtr+Qte+Qeq		1.302	45.980
Q2	Qvol		315	11.124
Como Q1 > Q2	entonces	Q1	1.302	45.980
QFu: Caudal Requerido por Fugas (10%*Q1)			130	4.598
Caudal Requerido Qto=Q1+Qfu			260	50.578

## 2. Dimensionamiento de ventiladores y ductos:

Los resultados de los cálculos realizados son los siguientes:

**Tabla 4.13: Diseño de ventilador auxiliar.**

Densidad del Aire	Seccion Diametro	Longitud	Factor de Fricción (k)	Resistencia	Ventilador Simulado	Pérdida Presión Corregido (hf)	Pérdida Presión Total	Pérdida Presión Total
(kg/m <sup>3</sup> )	(m)	(m)	(Ns <sup>2</sup> /m <sup>4</sup> )	(Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup> )	(pie <sup>2</sup> /min)	(" H <sub>2</sub> O)	(Pascal)	(" H <sub>2</sub> O)
1,123	0,750	155	0,0037	15,96452	25.000	8,355	2482,027	9,91

<b>Hpa</b>	77,99
<b>BHP</b>	103,99

Fuente: Elaboración propia.

Se realiza el modelamiento para calcular el nuevo ventilador considerando los siguientes parámetros:

- ✓ Sección de la labor: 3.5 x 4.0 m
- ✓ Diámetro del ducto máximo a utilizar: 2 mangas en paralelo de 0.75 m.
- ✓ Caudal requerido en el frente: 50 000 CFM
- ✓ Longitud de cada ducto: 155 m.
- ✓ Uso de variadores de velocidad para cada ventilador para reducir el consumo de energía.

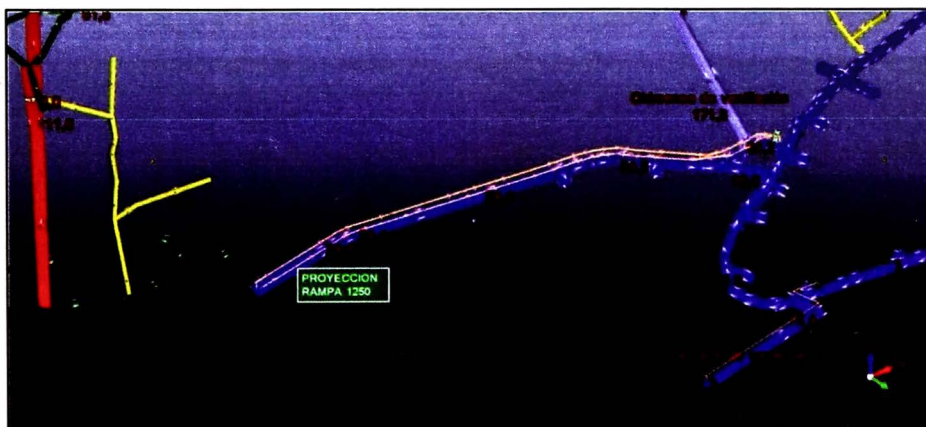
Los resultados son los siguientes:

Presion FTP	2482,5 Pa	Potencia	98,2 hp chimenea
Flujo	50,0 Kcfm	Potencia	103,4 hp electrica
Densidad del aire	1,13 kg/m <sup>3</sup>	Costo	\$ 94531 /año
Empuje	1097 N		

**Figura 4.11: Simulación CASO 3.**

Fuente: Elaboración propia.

Adicionando 7 Hp por alguna resistencia no prevista en el sistema, entonces consideramos un ventilador de 110 HP (50 KCFM), utilizando dos ductos de 750 mm instalados en paralelo a lo largo de una longitud proyectada de 155 m.



**Figura 4.12: Simulación CASO 3.**

Fuente: Elaboración propia.

### **Recursos y Pautas:**

1. Inventario de Ventiladores, se verifico sin contamos con los ventiladores adecuados de acuerdo con las características seleccionadas y se determinó que se debe realizar una requisición para compra de equipos nuevos.
2. Inventario de ductos de ventilación.
3. Horarios de Voladura.

### **Instrucciones previas:**

1. Verificación de ángulos de alabes
2. Programa de Mantenimiento preventivo

***Niveles de responsabilidad:***

1. Gerente de Mina
2. Gerente de Seguridad
3. Jefe de Ventilación
4. Ingeniero de Ventilación
5. Superintendente de Mina

**Directivas de Ventilación*****Ordenes de trabajo, Estándares y Procedimientos: Se debe utilizar los siguientes:***

- |                                      |                  |
|--------------------------------------|------------------|
| 1. Traslado de ventiladores          | <i>Ver anexo</i> |
| 2. Instalación de ventiladores       | <i>Ver anexo</i> |
| 3. Puesta en marcha de ventiladores  | <i>Ver anexo</i> |
| 4. Construcción de mamparos          | <i>Ver anexo</i> |
| 5. Construcción de puertas y tapones | <i>Ver anexo</i> |

**Verificación Final**

Como parte de la verificación final se debe seguir las siguientes instrucciones de trabajo con el cumplimiento normativo correspondiente:

***Instrucciones de trabajo:***

- |   |                  |
|---|------------------|
| 1. Monitoreo de gases en frentes de trabajo.                      | <i>Ver anexo</i> |
| 2. Medición de temperaturas en frentes de trabajo.                | <i>Ver anexo</i> |
| 3. Medición de velocidades de aire en frentes de trabajo.         | <i>Ver anexo</i> |
| 4. Aforo de caudales en estaciones secundarias y auxiliares.      | <i>Ver anexo</i> |
| 5. Medición de presión en ventiladores principales y secundarios. | <i>Ver anexo</i> |

**Cumplimiento Normativo**

- |  |                    |
|--|--------------------|
| 1. Decreto 1886 de 2015 – ANM (Colombia) | <i>Ver anexo 9</i> |
| 2. RSSO DS N°023-2017-EM (Peru)          | <i>Ver anexo 9</i> |

### 4.3 Costos del sistema de ventilación mejorado

#### 4.3.1 Costos de Capital (Capex)

Los costos de capital se componen de la compra de nuevos equipos, materiales, etc., tal como se muestra a continuación en cada uno de los casos:

##### 4.3.1.1 CASO 1 - Instalación de Ventilador Secundario

Para este caso no fue necesario la compra de nuevos ventiladores ya que en la mina se cuenta con los ventiladores adecuado para el caso.

##### 4.3.1.2 CASO 2 - Ventilación con aire comprimido

Los costos de inversión (Capex) para este caso son la compra de nuevos ventiladores, para ello se trabajó con la cotización de una empresa peruana fabricante de estos equipos.

Características de los ventiladores a comprar:

Caudal de aire: 5000 CFM

Presión Total a 1.12 kg/m<sup>3</sup>: 7.93" H<sub>2</sub>O

Consumo fuerza a 1.12 kg/m<sup>3</sup>: 14.34 BHP

RPM del ventilador: 3450

Diámetro del ventilador: 18"

Nivel de ruido: 85 db

Eficiencia: 43.6 %

Precio de venta:

**Tabla 4.14: Costo de ventiladores.**

<b>VENTILADORES 5000 CFM</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>PU (US \$)</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TOTAL (US \$)</b>
1	Ventilador modelo VAV-18-14-3450-IIA/15HP	5600	16	89600
2	Silenciador modelo S-VAV-18	1020	32	32640
3	Adaptador ADAP-VAV-18	380	16	6080
4	Tablero Y-D de 15 HP	1870	16	29920
				158240

Fuente: Elaboración propia

El costo de adquisición de los 16 ventiladores que requerimos será de US \$ 158 240.

### 4.3.1.3 CASO 3 - Ventilación eficiente para frente mecanizado

Los costos de inversión (Capex) para este caso son la compra de nuevos ventiladores, para ello se trabajó con la cotización de una empresa peruana fabricante de estos equipos.

Características de los ventiladores:

Caudal de aire: 50 000 CFM

Presión Total a 1.12 kg/m<sup>3</sup>: 8.93" H<sub>2</sub>O

Consumo fuerza a 1.12 kg/m<sup>3</sup>: 92.92 BHP

RPM del ventilador: 1750

Diámetro del ventilador: 45"

Nivel de ruido: 85 db

Eficiencia: 75.7 %

Precio de venta:

*Tabla 4.15: Costo de ventiladores.*

VENTILADORES 50 000 CFM				
ITEM	DESCRIPCION	PU (US \$)	CANTIDAD	TOTAL (US \$)
1	Ventilador modelo VAV-45-26,5-1750-IB/100HP	14450	4	57800
2	Silenciador modelo S-VAV-48	2970	8	23760
3	Adaptador ADAP-VAV-45	2200	4	8800
4	Tablero VFD de 100 HP	15400	4	61600
				151960

Fuente: Elaboración propia

El costo de adquisición de los 8 ventiladores que requerimos asciende a US \$ 151

960.

### 4.3.2 Costos de Operación (Opex)

#### 4.3.2.1 CASO 1 - Instalación de Ventilador Secundario

Estos costos tienen que ver con el consumo de energía por operación de los ventiladores:

VENTILADORES SECUNDARIOS											
ITEM	NIVEL	TIPO DE VENTILADOR	LABORES QUE VENTILAN	Q(CFM)	POTENCIA		TRABAJO Hrs/Día	CONSUMO		COSTO/MES \$	COSTO/AÑO \$
					HP	Kw		Kw-h/día	Kw-h/mes		
1	23	Extractor	Rampa 2	60000	125	93.2	24	2237	53690	7517	68552
2	23	Extractor	Rampa 2	60000	125	93.2	24	2237	53690	7517	68823
			<b>TOTAL</b>	<b>120000</b>	<b>250</b>	<b>186.4</b>	<b>48</b>	<b>4474,2</b>	<b>107380,8</b>	<b>15033</b>	<b>137374</b>

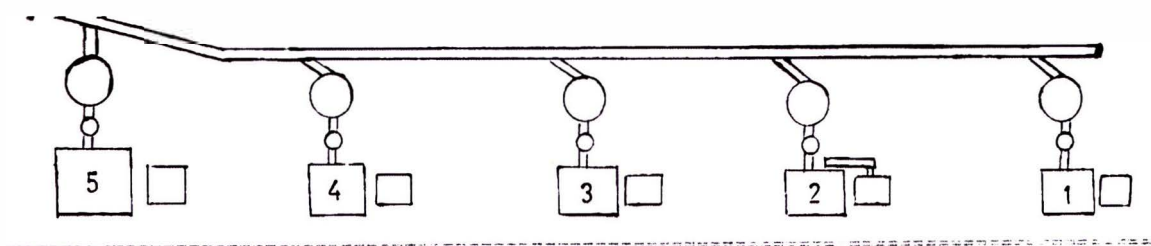
**Tabla 4.16: Costo por consumo de energía.**

Fuente: Elaboración propia.

El consumo de energía por los dos ventiladores secundarios que se planea implementar asciende a US \$ 137 374 al año.

#### 4.3.2.2 CASO 2 - Ventilación con aire comprimido

Costos asociados al Consumo de Energía:



**Figura 4.13: Distribución de compresores.**

Fuente: Mantenimiento Mina.

La mina cuenta con 5 compresores que juntos proveen a la mina de 6515 CFM con una potencia total de 1120 HP a una presión promedio de 105 Pa. Entonces para brindar 172 CFM que llega a cada labor se requiere una potencia de 29.6 HP.

El consumo de energía por concepto de aire comprimido en todas las labores que han presentado este problema con la ventilación se muestra a continuación:

**Tabla 4.17: Consumo de energía por aire comprimido.**

CONSUMO DE ENERGIA - AIRE COMPRIMIDO										
ITEM	NIVEL	LABOR	Q (CFM)	POTENCIA		TRABAJO Hrs/Día	CONSUMO		COSTO/ME \$	COSTO/AÑO \$
				HP	Kw		Kw-h/día	Kw-h/mes		
1	25	Corte 850 N	172	29,6	22	20	441	13231	1852	22228
2	28	Corte 810 N	172	29,6	22	20	441	13231	1852	22228
3	28	Tambor 735 N	172	29,6	22	20	441	13231	1852	22228
4	28	Corte 775 N	172	29,6	22	20	441	13231	1852	22228
5	30	Corte 950 N	172	29,6	22	20	441	13231	1852	22228
6	30	Corte 1150 N	172	29,6	22	20	441	13231	1852	22228
7	30	Tambor 1220	172	29,6	22	20	441	13231	1852	22228
8	31	Camara 1130	172	29,6	22	20	441	13231	1852	22228
9	31	Galeria 1120 N	172	29,6	22	20	441	13231	1852	22228
10	31	Camara 1190 N	172	29,6	22	20	441	13231	1852	22228
11	31	Camara 1215 N	172	29,6	22	20	441	13231	1852	22228
12	31	Corte 1110 N	172	29,6	22	20	441	13231	1852	22228
13	31	Ventana 1095	172	29,6	22	20	441	13231	1852	22228
14	31	Tambor 1060	172	29,6	22	20	441	13231	1852	22228
15	38	Corte 1130 N	172	29,6	22	20	441	13231	1852	22228
16	39	Corte 1130 N	172	29,6	22	20	441	13231	1852	22228
<b>TOTAL</b>			<b>2752</b>	<b>474</b>	<b>353</b>	<b>320</b>	<b>7057</b>	<b>211699</b>	<b>29638</b>	<b>355655</b>

Fuente: Elaboración propia

Mientras el costo por consumo de energía para el caso de uso de ventiladores eléctricos en las labores que han presentado este problema sería de la siguiente forma:

**Tabla 4.18: Consumo de energía por ventiladores.**

CONSUMO DE ENERGIA - VENTILACION AUXILIAR										
ITEM	NIVEL	LABOR	Q (CFM)	POTENCIA		TRABAJO Hrs/Día	CONSUMO		COSTO/ME \$	COSTO/AÑO \$
				HP	Kw		Kw-h/día	Kw-h/mes		
1	25	Corte 850 N	5000	14,3	11	20	213	6392	895	10739
2	28	Corte 810 N	5000	14,3	11	20	213	6392	895	10739
3	28	Tambor 735 N	5000	14,3	11	20	213	6392	895	10739
4	28	Corte 775 N	5000	14,3	11	20	213	6392	895	10739
5	30	Corte 950 N	5000	14,3	11	20	213	6392	895	10739
6	30	Corte 1150 N	5000	14,3	11	20	213	6392	895	10739
7	30	Tambor 1220	5000	14,3	11	20	213	6392	895	10739
8	31	Camara 1130	5000	14,3	11	20	213	6392	895	10739
9	31	Galeria 1120 N	5000	14,3	11	20	213	6392	895	10739
10	31	Camara 1190 N	5000	14,3	11	20	213	6392	895	10739
11	31	Camara 1215 N	5000	14,3	11	20	213	6392	895	10739
12	31	Corte 1110 N	5000	14,3	11	20	213	6392	895	10739
13	31	Ventana 1095	5000	14,3	11	20	213	6392	895	10739
14	31	Tambor 1060	5000	14,3	11	20	213	6392	895	10739
15	38	Corte 1130 N	5000	14,3	11	20	213	6392	895	10739
16	39	Corte 1130 N	5000	14,3	11	20	213	6392	895	10739
<b>TOTAL</b>			<b>80000</b>	<b>229</b>	<b>170</b>	<b>320</b>	<b>3409</b>	<b>102274</b>	<b>14318</b>	<b>171820</b>

Fuente: Elaboración propia

El costo por ahorro de energía en estos 16 frentes de trabajo donde se planea implementar los ventiladores eléctricos asciende a US \$ 183 835 al año.

### 4.3.2.3 CASO 3 - Ventilación eficiente para frente mecanizado

Estos costos tienen que ver con el consumo de energía por operación de los ventiladores, se proyecta el uso de variadores de velocidad para la operación de los ventiladores propuestos:

Consumo de Energía Actual:

**Tabla 4.19: Consumo de energía actual – Caso 3.**

VENTILADORES AUXILIARES - ACTUAL											
ITEM	NIVEL	TIPO DE VENTILADOR	LABORES QUE VENTILA	Q (CFM)	POTENCIA		TRABAJO Hrs/Día	CONSUMO		COSTO/MES \$	COSTO/AÑO \$
					HP	Kw		Kw-h/día	Kw-h/mes		
1	22	Impelente	Corte 455	25000	70	52	20	1040	31200	4368	52416
2	25	Impelente	Frente rampa 2	25000	70	52	20	1040	31200	4368	52416
3	25	Impelente	Rampa 1250	25000	70	52	20	1040	31200	4368	52416
4	25	Impelente	Corte 290	25000	70	52	20	1040	31200	4368	52416
<b>TOTAL PARCIAL</b>				100000	<b>280</b>	<b>208</b>	<b>80</b>	<b>4160</b>	<b>124800</b>	<b>17472</b>	<b>209664</b>

Fuente: Elaboración propia

Consumo de Energía Propuesto:

**Tabla 4.20: Consumo de energía propuesto – Caso 3.**

VENTILADORES AUXILIARES - PROPUESTO												
ITEM	NIVEL	TIPO DE VENTILADOR	LABORES QUE VENTILA	Q (CFM)	POTENCIA		TRABAJO Hrs/Día	CONSUMO		COSTO/MES \$	COSTO/AÑO \$	
					HP	Kw		Kw-h/día	Kw-h/mes			
1	22	Impelente	Corte 455	50000	110	82,0	6	492	14751	2065	24782	n=100%
				<b>25000</b>	<b>13,75</b>	<b>10,2</b>	<b>14</b>	<b>143</b>	<b>4302</b>	<b>602</b>	<b>7228</b>	n=50%
2	25	Impelente	Frente rampa 2	50000	110	82,0	6	492	14751	2065	24782	
				<b>25000</b>	<b>13,75</b>	<b>10,2</b>	<b>14</b>	<b>143</b>	<b>4302</b>	<b>602</b>	<b>7228</b>	
3	25	Impelente	Rampa 1250	50000	110	82,0	6	492	14751	2065	24782	
				<b>25000</b>	<b>13,75</b>	<b>10,2</b>	<b>14</b>	<b>143</b>	<b>4302</b>	<b>602</b>	<b>7228</b>	
4	25	Impelente	Corte 290	50000	110	82,0	6	492	14751	2065	24782	
				<b>25000</b>	<b>13,75</b>	<b>10,2</b>	<b>14</b>	<b>143</b>	<b>4302</b>	<b>602</b>	<b>7228</b>	
<b>TOTAL PARCIAL</b>				200000	<b>440</b>	<b>328</b>	<b>80</b>	<b>2397</b>	<b>71911</b>	<b>10068</b>	<b>120811</b>	

Fuente: Elaboración propia

El costo por ahorro en el consumo de energía de los 4 frentes donde se implementará estos nuevos equipos de ventilación asciende a US \$ 88 853 al año.

### 4.3.3 Análisis Financiero, VAN, TIR, Payback

#### 4.3.3.1 CASO 2 - Ventilación con aire comprimido

Los costos de inversión (Capex) para este caso son la compra de nuevos ventiladores, para ello se trabajó con la cotización de una empresa peruana fabricante de estos equipos.



Siendo que la inversión será de US \$ 158 240 y el ahorro por concepto de energía en estos nuevos ventiladores asciende a US \$ 183 835 al año, podemos calcular el VAN (Valor actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno) para este proyecto. Además, se calcula el PAYBACK del proyecto.

Se utiliza una tasa de descuento de 12% y un número de años de vida de la mina  $n=10$  años, de acuerdo con los datos proporcionados por el área de planeamiento de la mina.

**Tabla 4.21: Indicadores económicos – Caso 2.**

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	158240										
Ingresos		183835	183835	183835	183835	183835	183835	183835	183835	183835	183835
FC Proyectado	-158240	183835	183835	183835	183835	183835	183835	183835	183835	183835	183835
Tasa	12%										
<b>VPN</b>	<b>880.469</b>	US \$									
<b>TIR</b>	<b>116%</b>										
<b>PAY BACK</b>	<b>0,86</b>										

Fuente: Elaboración propia

En este caso el proyecto de inversión es rentable ya que el VPN = US \$ 880 469 y el TIR en 116% mucho mayor que la tasa de descuento. El periodo de recuperación de la inversión se estima en menos de un año.

#### 4.3.3.2 CASO 3 - Ventilación eficiente para frente mecanizado

Los costos de inversión (Capex) para este caso son la compra de nuevos ventiladores con el uso de variadores de velocidad, para ello se trabajó con la cotización de una empresa peruana fabricante de estos equipos.

Siendo que la inversión será de US \$ 151 960 y el ahorro por concepto de energía en estos nuevos ventiladores asciende a US \$ 88 853 al año, podemos calcular el VAN (Valor actual Neto), el TIR (Tasa Interna de Retorno) y el PAYBACK para este proyecto.

Se utiliza una tasa de descuento de 12% y un número de años de vida de la mina  $n=10$  años, de acuerdo con los datos proporcionados por el área de planeamiento de la mina.

**Tabla 4.22: Indicadores económicos – Caso 3.**

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	151960										
Ingresos		88853	88853	88853	88853	88853	88853	88853	88853	88853	88853
FC Proyectado	-151960	88853	88853	88853	88853	88853	88853	88853	88853	88853	88853
Tasa	12%										
<b>VPN</b>	<b>350.079</b>	<i>US \$</i>									
<b>TIR</b>	<b>58%</b>										
<b>PAY BACK</b>	<b>1,71</b>										

Fuente: Elaboración propia

En este caso el proyecto de inversión es rentable ya que el VPN = US \$ 350 079 y el TIR en 58% mayor que la tasa de descuento. El periodo de recuperación de la inversión se estima en menos de dos años.

Por tanto, los casos 2 y 3 de inversión de nuestro estudio son rentables económicamente.

#### 4.4 Análisis de los resultados de la investigación y Contrastación de Hipótesis.

Luego de la implementación del sistema de gestión en mina el silencio de Grancolombiagold, el análisis de resultados y contrastación de hipótesis es la siguiente:

**Tabla 4.23: Tabla de Resultados.**

Indicadores	Año 1	Año 2	Variación (%)
<b>Seguridad</b>			
Indice de Accidentabilidad (IA)	8	2	-310
<b>Productividad</b>			
Caso 1 (ton/hora_hombre)	48	51	5
Caso 2 (US \$/Consumo de energía)	355,655	171,820	-107
Caso 3 (US \$/Consumo de energía)	209,664	120,811	-74

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.1 Mejoras en Productividad:

**CASO 1:** Se logra mejoras en la productividad del personal y de los equipos diésel. El caudal inicial de trabajo en la zona era de 36 700 CFM y luego de la puesta en práctica del sistema de gestión, se consiguió incrementar el caudal de aire fresco a 98 700 CFM, por consiguiente, el personal que laboraba 05 horas de trabajo efectivo incrementa a 6.5 horas de trabajo efectivo. No fue necesario realizar inversión económica en este caso. Las ton/hora\_hombre fueron de 48 y 51 antes y después de la implementación del sistema de gestión respectivamente.

**CASO 2:** El ahorro por consumo de energía en este caso asciende a US \$ 183 835 al año. Luego de realizar una inversión económica de US \$ 158 240 para la compra de nuevos ventiladores. En este caso el proyecto de inversión es rentable ya que el VPN = US \$ 880 469 y el TIR en 116% mucho mayor que la tasa de descuento. El periodo de recuperación de la inversión se estima en menos de un año.

**CASO 3:** Con la nueva implementación de ventiladores de 50 Kcfm y mediante el uso del variador de velocidad se consigue condiciones de trabajo más seguras para los operadores de equipos diésel. En este caso el ahorro por consumo de energía asciende a US \$ 88 853 al año y la recuperación de la inversión es menor a dos años.

#### 4.4.2 Mejora en Seguridad:

**CASO 1:** Los resultados de los monitoreos de los frentes de trabajo después de la implementación del sistema de gestión se muestra a continuación:

**Tabla 4.24: Resultados de monitoreo – Caso 1.**

MONITOREO TERMOAMBIENTAL																
Fecha de Reporte:		25/10/2021		Fecha de Monitoreo:		25/10/2021		Turno:		Día		Responsable:		Ing. Milton Rozan		
AREA	PROCESO	N°	LABOR/NIVEL	REFERENCIA	HORA DE MEDICION	VALORES DE MEDICION										OBSERVACIONES
						H <sub>2</sub> S (ppm)	CO (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	Td (°C)	Tw (°C)	HR (%)	V (m/s)	Te (°C)	
Mina Silencio	Exploración, Desarrollo y Explotación	1	Frente de Rampa 2	Frente de trabajo	7:50 a.m.	0	25	1.000	0,0	20,3	29,1	28,1	78	0,9	27,9	Se cambio diametro de ductos
		2	Rampa 2	Trayecto de la rampa	8:00 a.m.	0	10	1.300	1,0	20,4	29,6	28,5	80	1,5	27,8	Trasito de equipo diesel constante
		3	Corte 455	Frente de trabajo	8:30 a.m.	0	5	600	0,0	20,3	29,5	28,6	84	0,8	28,4	Se cambio diametro de ductos
		4	Corte 290	En la labor	9:30 a.m.	0	15	3.000	0,0	20,3	29,1	29	82	0,7	28,4	
		5	Sill 300	Todo el tajo	9:55 a.m.	0	18	3.500	0,2	19,9	30,2	29	86	0,4	29,4	
LÍMITES PERMISIBLES (*)						10	25	6000	5	≥ 19.5		29**		0,42	28**	

(\*) Según el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, Decreto Supremo N° 023-2017-EM

(\*\*) Según el Reglamento de Seguridad, Decreto 1886 de 2015 ANM

Monitoreo realizado con equipo digital Multidetector Dräger Termohigroanemometro Kestrel

Valores de medición por encima de los Niveles Máximos Permisibles establecidos por Legislación

Niveles Máximos Permisibles establecidos por legislación.

Fuente: Elaboración propia

**CASO 2:** Los resultados de los monitoreos de los frentes de trabajo después de la implementación del sistema de gestión para el caso 2 se muestra a continuación:

**Tabla 4.2523: Resultados de monitoreo – Caso 2.**

MONITOREO TERMOAMBIENTAL																
Fecha de Reporte:		4/11/2021		Fecha de Monitoreo:		1.2.3/11/2021		Turno:		Día		Responsable:		Ing. Milton Rozan		
AREA	PROCESO	N°	LABOR/NIVEL	REFERENCIA	HORA DE MEDICION	VALORES DE MEDICION										OBSERVACIONES
						H <sub>2</sub> S (ppm)	CO (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	Td (°C)	Tw (°C)	HR (%)	V (m/s)	Te (°C)	
Mina Silencio	Exploración, Desarrollo y Explotación	1	Corte 850 N	Frente de trabajo	7:45 a.m.	0	22	1.000	0,0	20,3	29	28,5	83	0,50	28,4	
		2	Corte 810 N	Trayecto de la rampa	7:50 a.m.	0	19	1.300	1,0	20,4	30	29	88	0,60	29,1	
		3	Tambor 735 N	Frente de trabajo	8:20 a.m.	0	18	600	0,0	20,3	28	27	84	0,45	27,3	
		4	Corte 775 N	En la labor	9:10 a.m.	0	20	3.000	0,0	20,3	29,1	28	82	0,65	28,1	
		5	Corte 950 N	Todo el tajo	9:45 a.m.	0	40	3.500	0,2	20,3	29,2	28,3	86	0,55	28,4	
		6	Corte 1150 N	Todo el tajo	7:25 a.m.	0	8	500	0,0	20,2	29,2	28,3	86	0,60	28,3	
		7	Tambor 1220	Frente de trabajo	8:15 a.m.	0	12	200	0,0	20,5	29,4	28,1	86	0,60	28,4	
		8	Camara 1130	Frente de trabajo	8:50 a.m.	0	16	150	0,0	20,6	30	29	86	0,50	29,2	
		9	Galeria 1120 N	Frente de trabajo	9:18 a.m.	0	21	50	0,0	20,3	29	28	86	0,40	28,3	
		10	Camara 1190 N	Frente de trabajo	9:35 a.m.	0	13	280	0,0	20,4	28,2	28	86	0,45	27,7	
		11	Camara 1215 N	Frente de trabajo	7:10 a.m.	0	5	0	0,0	20,2	28,3	28	86	0,50	27,7	
		12	Corte 1110 N	Todo el tajo	7:32 a.m.	0	4	0	0,0	20,5	28,5	28,1	86	0,60	27,8	
		13	Ventana 1095	Frente de trabajo	8:05 a.m.	0	17	110	0,0	20,6	28	27	86	0,40	27,3	
		14	Tambor 1060	Frente de trabajo	8:39 a.m.	0	11	110	0,0	20,3	28,5	28	86	0,50	27,9	
		15	Corte 1130 N	Todo el tajo	9:13 a.m.	0	5	0	0,0	20,2	29	28	86	0,60	28,1	
		16	Corte 1130 N	Todo el tajo	9:34 a.m.	0	8	0	0,0	20,6	28	27	86	0,65	27,1	
<b>LÍMITES PERMISIBLES (*)</b>						10	25	5000	5	≥ 19,5		29**		0,42	29**	

(\*) Según el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, Decreto Supremo N° 023-2017-EM

(\*\*) Según el Reglamento de Seguridad, Decreto 1886 de 2015 ANM

Monitoreo realizado con equipo digital Multidetector Dräger Termohigroanemometro Kestrel

Valores de medición por encima de los Niveles Máximos Permisibles establecidos por Legislación

Niveles Máximos Permisibles establecidos por legislación.

Fuente: Elaboración propia

**CASO 3:** Los resultados de los monitoreos de los frentes de trabajo después de la implementación del sistema de gestión para el caso 3 se muestra a continuación:

**Tabla 4.26: Resultados de monitoreo – Caso 3.**

MONITOREO TERMOAMBIENTAL																
Fecha de Reporte:		7/11/2021		Fecha de Monitoreo:		05/06/11/2021		Turno:		Día		Responsable:		Ing. Milton Rozan		
AREA	PROCESO	N°	LABOR/NIVEL	REFERENCIA	HORA DE MEDICION	VALORES DE MEDICION										OBSERVACIONES
						H <sub>2</sub> S (ppm)	CO (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	Td (°C)	Tw (°C)	HR (%)	V (m/s)	Te (°C)	
Mina Silencio	Exploración, Desarrollo y Explotación	1	Corte 455	Frente de trabajo	8:30 a.m.	0	12	1.100	0,2	20,3	30,5	29	80	1,5	28,6	Equipo diesel trabajando
		2	Frente de rampa 2	Frente de trabajo	8:50 a.m.	0	15	900	0,5	20,4	30,8	29,1	78	1,8	28,5	Transito de equipo diesel
		3	Rampa 1250	Frente de trabajo	8:20 a.m.	0	18	800	0,6	20,2	30,2	28,3	75	1,7	27,9	Equipo diesel trabajando Demasiadas fugas en los ductos
		4	Corte 290	Frente de trabajo	9:10 a.m.	0	20	1.200	0,2	20,1	30	28,1	76	1,6	27,8	Equipo diesel en el frente
<b>LÍMITES PERMISIBLES (*)</b>						10	25	5000	5	≥ 19,5		29**		0,42	29**	

(\*) Según el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, Decreto Supremo N° 023-2017-EM

(\*\*) Según el Reglamento de Seguridad, Decreto 1886 de 2015 ANM

Monitoreo realizado con equipo digital Multidetector Dräger Termohigroanemometro Kestrel

Valores de medición por encima de los Niveles Máximos Permisibles establecidos por Legislación

Niveles Máximos Permisibles establecidos por legislación.

Fuente: Elaboración propia

Los monitoreos realizados en los tres casos muestran valores que cumplen con los límites permisibles establecidos por ley y por tanto las labores a realizar en estos frentes de trabajo muestran un ambiente confiable y seguro.

Los índices de accidentes antes y después de la implementación del sistema de gestión se muestra a continuación:

**Tabla 4.27: Índices de accidentes.**

<b>Periodo</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>
Numero de Accidentes Mortales (Gaseamiento)	0	0
Numero de Accidentes Incapacitantes (Gaseamiento)	8	2
Numero de Accidentes Leves (Deshidratacion)	12	3
<b>Indice de Accidentabilidad (IA)</b>	8.2	2.0

Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

**PRIMERO:** La implementación del sistema de gestión en mina el silencio de Grancolombiagold mejora la productividad y/o las condiciones termo ambientales al interior de la mina, tal como se ve reflejado en los tres casos analizados durante la investigación. El sistema de gestión nos brinda un ordenamiento de los pasos a seguir, y la documentación y normas a tener en cuenta, para solucionar los problemas de ventilación de la mina con rapidez y eficiencia.

**SEGUNDO:** Con la implementación del sistema de gestión para el sistema de ventilación de mina el silencio, el departamento de ventilación de la mina mejora su capacidad de respuesta ante cualquier caso de condición termo ambiental inadecuado que pudiera surgir durante los avances y explotación de la mina.

**TERCERO:** En el primer y tercer caso de nuestra investigación se logra la mejora de las condiciones de seguridad y productividad.

**CUARTO:** En el CASO 2 luego de realizar una inversión (Capex) de US \$ 158 240, el ahorro por concepto de energía es de US \$ 183 835 al año, con un VAN=US \$ 880 469, TIR=116% y un periodo de recuperación menor a un año.

**QUINTO:** El diámetro óptimo de la chimenea para el caudal de aire requerido a largo plazo resulta en 3.6 m. de diámetro.

**SEXTO:** Tanto el balance actual de aire fresco y el balance proyectado a corto plazo de la mina muestran coberturas por encima del 100%, por lo cual no se requerirá de fuertes inversiones en infraestructura o equipos, al menos en el corto plazo. Para el largo plazo se requiere hacer un estudio más detallado con el fin de determinar la construcción de la nueva infraestructura y compra de equipos para ventilación.

## RECOMENDACIONES

**PRIMERO:** Mejorar la documentación del área de ventilación, en este caso se requiere elaborar más estándares y procedimientos que abarque las tareas más importantes que se realiza en el área. De esta manera se logrará robustecer aún más el sistema de gestión actual.

**SEGUNDO:** Los ingenieros y personal de ventilación, así como los ingenieros de mina deben ser capacitados con el sistema de gestión implementado para ser capaces de dar respuesta en todo momento ante cualquier problema de ventilación que pudiera presentarse.

**TERCERO:** Todos los documentos que forman parte del sistema de gestión, como inventario de ventiladores, programa de mantenimiento preventivo, etc. deben ser actualizados constantemente.

**CUARTO:** Implementar un sistema inteligente que permita mediante una interfaz llamar cada documento del sistema de gestión de ventilación rápidamente cuando se pulse un comando.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bernal Torres. (2000). *Metodología de la investigación*. Bogotá: Pearson educación - Colombia.
- BSCDesigner. (Agosto de 2003). *Glosario tecnico*. Obtenido de Agencia nacional minera: <https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>
- Decreto 1886, M. d. (2015). *Reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas*. Bogotá.
- Euler, D. S. (2017). Application of ventilation management programs for improved mine., (pág. 9).
- McPherson, & J, M. (1993). *Ingenieria de ventilacion subterranea*.
- Minkang, T., & Yuanchun, D. (2011). The reliability of ergonomics in the ventilation system of an underground metal mine. *ScienceDirect*, 7.
- Minkang, T., & Yuanchun, D. (2011). The reliability of ergonomics in the ventilation system of an underground metal mine. *ScienceDirect*, 7.
- OSHA, M. T. (2017). *Liljegren, James; Argonne, Laboratorio Nacional de; DIS, División*. Obtenido de [https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm\\_iii/otm\\_iii\\_4.html](https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iii/otm_iii_4.html)
- Prosser, B. (2019). *Ventilation Review For Gran Colombia-Segovia*. Segovia Antioquia: Mine Ventilation Services/SRK Consulting.



**ANEXOS**

## ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA

“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE GESTION PARA INCREMENTO DE LA  
PRODUCTIVIDAD Y SEGURIDAD DEL SISTEMA DE VENTILACION EN UNA MINA SUBTERRANEA –  
COLOMBIA”.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	DISEÑO METODOLÓGICO
<p><b><u>Problema general</u></b> ¿En qué medida el diseño y la implementación de un sistema de gestión contribuye al incremento de la productividad y seguridad del sistema de ventilación de mina el Silencio de Grancolombiagold?</p> <p><b><u>Problemas específicos</u></b></p> <p>1. ¿Cómo debería ser el sistema de gestión acorde a las condiciones actuales del sistema de ventilación de mina el silencio de Grancolombiagold?</p> <p>2. ¿Es posible mejorar la productividad y la seguridad del sistema de ventilación de mina el silencio con la implementación de un sistema de gestión adecuado?</p> <p>3. ¿Cuáles son las herramientas de control más adecuadas para gestionar el sistema de ventilación de mina el silencio de Grancolombiagold?</p>	<p><b><u>Objetivo general</u></b> Diseñar e Implementar un sistema de gestión para incrementar la productividad y la seguridad del sistema de ventilación de Mina El Silencio de Grancolombiagold.</p> <p><b><u>Objetivos específicos</u></b></p> <p>1. Diseñar un sistema de gestión acorde a las condiciones actuales del sistema de ventilación de mina el silencio de Grancolombiagold.</p> <p>2. Implementar el sistema de gestión para mejorar la productividad y seguridad del sistema de ventilación en mina el Silencio de Grancolombiagold.</p> <p>3. Determinar herramientas de control para una gestión adecuada del sistema de ventilación de mina el silencio de Grancolombiagold.</p>	<p><b><u>Hipótesis general</u></b> Diseñando e Implementando un sistema de gestión adecuado se podrá incrementar la productividad y seguridad del sistema de ventilación de Mina El Silencio de Grancolombiagold.</p> <p><b><u>Hipótesis específicas</u></b></p> <p>1. Es posible diseñar un sistema de gestión acorde a las condiciones actuales del sistema de ventilación de mina el silencio de Grancolombiagold.</p> <p>2. Se puede implementar un sistema de gestión para incrementar la productividad y seguridad del sistema de ventilación de mina el silencio de Grancolombiagold.</p> <p>3. Se puede cuantificar los resultados de incremento de la productividad y seguridad del sistema de ventilación con las herramientas de control adecuados.</p>	<p><b><u>Variable independiente</u></b> : X</p> <p>X1=Diseño e implementación de un sistema de gestión adecuado para el sistema de ventilación actual.</p> <p><b><u>Variable dependiente:</u></b> Y</p> <p>Y1: Incremento de la productividad y seguridad del sistema de ventilación de mina el silencio de Grancolombiagold.</p>	<p><b><u>Indicadores de X:</u></b></p> <p>X1: Gestión adecuada de las condiciones climáticas de la mina.</p> <p>X2: Gestión económica adecuada del sistema de ventilación.</p> <p><b><u>Indicadores de Y:</u></b></p> <p>Y1: Condiciones climáticas en las labores de la mina.</p> <p>Y2: Resultados económicos del sistema de ventilación.</p>	<p><b><u>Tipo de Investigación</u></b> Aplicada</p> <p><b><u>Nivel de Investigación</u></b> Documental-Descriptivo</p> <p><b><u>Diseño de la Investigación</u></b> Experimental verdadero</p> <p><b><u>Población</u></b> Mina El Silencio</p> <p><b><u>Muestra</u></b> La Muestra está compuesta por: Puntos de trabajo en interior mina.</p> <p><b><u>Técnicas en recolección.</u></b> La técnica para emplearse será la de: Observación, Análisis, encuesta</p> <p><b><u>Instrumento</u></b> KPIs Temperatura Efectiva Monitoreo de Gases Balance de aire fresco Cobertura de aire</p>

## ANEXO 2 REQUERIMIENTOS DE AIRE FRESCO

### 1.1 REQUERIMIENTO DE AIRE PARA FRENTE CONVENCIONAL

#### Sobre guías (subniveles) o tambores (chimeneas)

Se tiene el siguiente cálculo para un frente de trabajo de 2.0 x 2.0 m de sección convencional donde la limpieza se realiza con winches de arrastre.

REQUERIMIENTO DE AIRE FRESCO				
<b>Para personal (Qtr)</b>				
Descripcion	Personas	m3/min	m3/min	cfm
Total personal	2	3	6	212
<b>Para voladura (Qvol)</b>				
Velocidad minima (m/min)	Area Prom (m2)	N° de niveles	m3/min	cfm
25	3,6	1	90	3.178
<b>Para temperatura (Qte)</b>				
Velocidad minima (m/min)	Area Prom (m2)	N° de niveles	m3/min	cfm
30	3,6	1	108	3.814
<b>Requerimiento</b>				
Caudal			m3/min	cfm
Q1	Qtr+Qte		114	4.026
Q2	Qvol		90	3.178
Como Q1 > Q2	entonces	Q1	114	4.026
QFu: Caudal Requerido por Fugas (10%*Q1)			11	403
Caudal Requerido Qto=Q1+Qfu			23	4.429

### 1.2 REQUERIMIENTO DE AIRE PARA FRENTE MECANIZADO

#### Frentes de desarrollo con equipo diésel.

Se tiene el siguiente cálculo para el requerimiento de aire fresco de un frente de 4.0 x 3.5 m. (Rampa principal de acceso).

REQUERIMIENTO DE AIRE FRESCO				
<b>Para personal (Qtr)</b>				
Descripcion	Personas	m3/min	m3/min	cfm
Total personal	4	3	12	424
<b>Para voladura (Qvol):</b>				
Velocidad minima (m/min)	Area Prom (m2)	N° de niveles	m3/min	cfm
25	12,6	1	315	11.124
<b>Para equipos diesel</b>				
Descripcion	Tota HP	m3/min/HP	m3/min	cfm
Total de equipos diesel	118,75	4	475	16.774
<b>Para temperatura (Qte) 33</b>				
Velocidad minima (m/min)	Area Prom (m2)	N° de niveles	m3/min	cfm
30	12,6	1	378	13.349
<b>Requerimiento</b>				
Caudal			m3/min	cfm
Q1	Qtr+Qte+Qeq		865	30.547
Q2	Qvol		315	11.124
Como Q1 > Q2	entonces	Q1	865	30.547
QFu: Caudal Requerido por Fugas (10%*Q1)			87	3.055
Caudal Requerido Qto=Q1+Qfu			173	33.602

## ANEXO3 ESTANDARES Y PROCEDIMIENTOS

Controlado	ESTANDAR: Instalación de Mangas o ductos de ventilación		Pagina 1 de 6			
HISTORIAL DEL DOCUMENTO						
VERSIÓN	DESCRIPCIÓN	ELABORÓ	REVISÓ	REVISÓ	REVISÓ	APROBÓ
01	Versión Inicial del documento	Jefe de Ventilación	Jefe de Mina	Gerente Planeación	Gerente OH&S	Gerente de Minas
<p><b>1. OBJETIVO</b> Estandarizar los parámetros de la instalación de mangas de ventilación en las minas de la operación Segovia de la empresa GranColombiaGold, desarrollando un trabajo seguro y de calidad, previniendo accidentes como también la contaminación ambiental.</p> <p><b>2. ALCANCE</b> A la Jefatura y Supervisión del área de ventilación, departamento de planeación, seguridad industrial (OH&amp;S), operación mina y operarios de ventilación que realizan trabajo de instalación de mangas de ventilación, las actividades inician desde la preparación de los anclajes, colocación de cable mensajero, empalmes entre mangas y a la toma de aire, y puesta en funcionamiento de las mangas.</p> <p><b>3. REFERENCIAS LEGALES Y OTRAS NORMAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Decreto 1886 del 21 de septiembre de 2015. Reglamento de Seguridad en las labores Subterráneas.</li> <li>▪ Reglamento de Higiene y Seguridad Industrial de GranColombiaGold.</li> </ul> <p><b>4. ESPECIFICACIONES DEL ESTÁNDAR</b></p> <p><b>Dimensiones para la instalación de las mangas:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. La instalación de las mangas de ventilación se hará en el lado opuesto a las tuberías de servicios y junto a las instalaciones de energía o en el centro de la labor minera. (Ver Gráfico I. Anexo 1)</li> <li>2. La sección de la manga es variable según su función: 12", 20", para distancias menores a 150 m. 24", 30" para distancias mayores a 150 m.</li> <li>3. Materiales/Herramientas : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cable mensajero.</li> <li>▪ Tensores.</li> <li>▪ Anclajes (Perno de anclaje Hilti de ojo.)</li> <li>▪ Ductos de ventilación de 12", 20", 24", 30" de diámetro.</li> <li>▪ Ductos anillados de 12", 20", 24", 30" de diámetro.</li> <li>▪ Agujas para coser mangas.</li> <li>▪ Rafia.</li> <li>▪ Alambre dulce y galvanizado.</li> <li>▪ Escaleras de tijera de 3.0 m.</li> <li>▪ Arnés de cuerpo entero con línea doble de anclaje.</li> </ul> </li> <li>4. Los anclajes hilti deberán estar separados cada 3 m.</li> <li>5. Luego de instalado los anclajes y el cable mensajero se procederá a instalar las mangas de ventilación.</li> </ol>						

6. Para curvas pronunciadas se instalarán los ductos anillados de acuerdo al diámetro de la manga de ventilación.

## 5. RESPONSABLES/RESPONSABILIDADES

### Operarios

- Cumplir el presente estándar.
- Llenar el formato de Análisis de trabajo seguro (ATS). Ver F-OH&S-047.

### Ingeniero y/o supervisor de Ventilación, Jefe de Ventilación.

- Verificar que se cumpla el presente estándar.
- Se asegurarán que todos los operarios tengan capacitación en los estándares y procedimientos para Trabajos de Alto Riesgo e Instalación de ventiladores.
- Informar a los trabajadores acerca de los peligros en el lugar de trabajo.
- Ser responsable por su seguridad y la de los trabajadores que laboran en el área a su mando.
- Llenar el formato de Análisis de trabajo seguro y firmar. (ATS). Ver F-OH&S-047.

### Jefe de Mina / Jefe de Turno.

- Verificar que se cumpla el presente estándar.
- Auditar el cumplimiento del presente estándar.
- Capacitar al personal en la utilización adecuada de los estándares, procedimientos y prácticas de trabajo seguro.
- Facilitar los primeros auxilios y la evacuación del trabajador(es) lesionado(s), o que esté en peligro.
- Ser responsable por su seguridad y la de los trabajadores que laboran en el área a su mando.
- Actuar inmediatamente sobre cualquier peligro que sea informado en el lugar de trabajo.

### Jefe de OH&S/ Supervisor OH&S

- Auditar el cumplimiento del presente estándar.
- Planificar las inspecciones a las labores, de manera programada y de manera inopinada.
- Paralizar la labor si se encuentra con evidentes condiciones sub estándares que atente contra la integridad de las personas, equipos e instalaciones, hasta que se eliminen dichas condiciones.
- Asegurarse del cumplimiento de los requisitos establecidos en el Programa Anual de Seguridad e Higiene Minera.
- Asesorar a los supervisores acerca de los programas de capacitación para la seguridad y salud y en las prácticas operativas.

## 6. REGISTROS, CONTROLES Y DOCUMENTACIÓN

- Check list diario de inspecciones de labores mineras.
- Formato de Análisis de trabajo seguro (ATS). Ver F-OH&S-047.
- Cuaderno de órdenes de trabajo y reporte de novedades.
- Reglamento Interno de Higiene y Seguridad Industrial de Gran ColombiaGold.
- Estándar.

Controlado

ESTANDAR: Instalación de Mangas o ductos de ventilación

Pagina 3 de 6

**7. FRECUENCIA DE INSPECCIONES**

Diario y mensual.

**8. EQUIPO DE TRABAJO**

Jefe de Mina o turno, Jefatura y supervisión de ventilación, SISO y Operarios de ventilación.

**9. REVISION Y MEJORAMIENTO CONTINUO**

Las revisiones se realizarán anualmente y/o cuando se generen cambios en las operaciones o legislaciones.

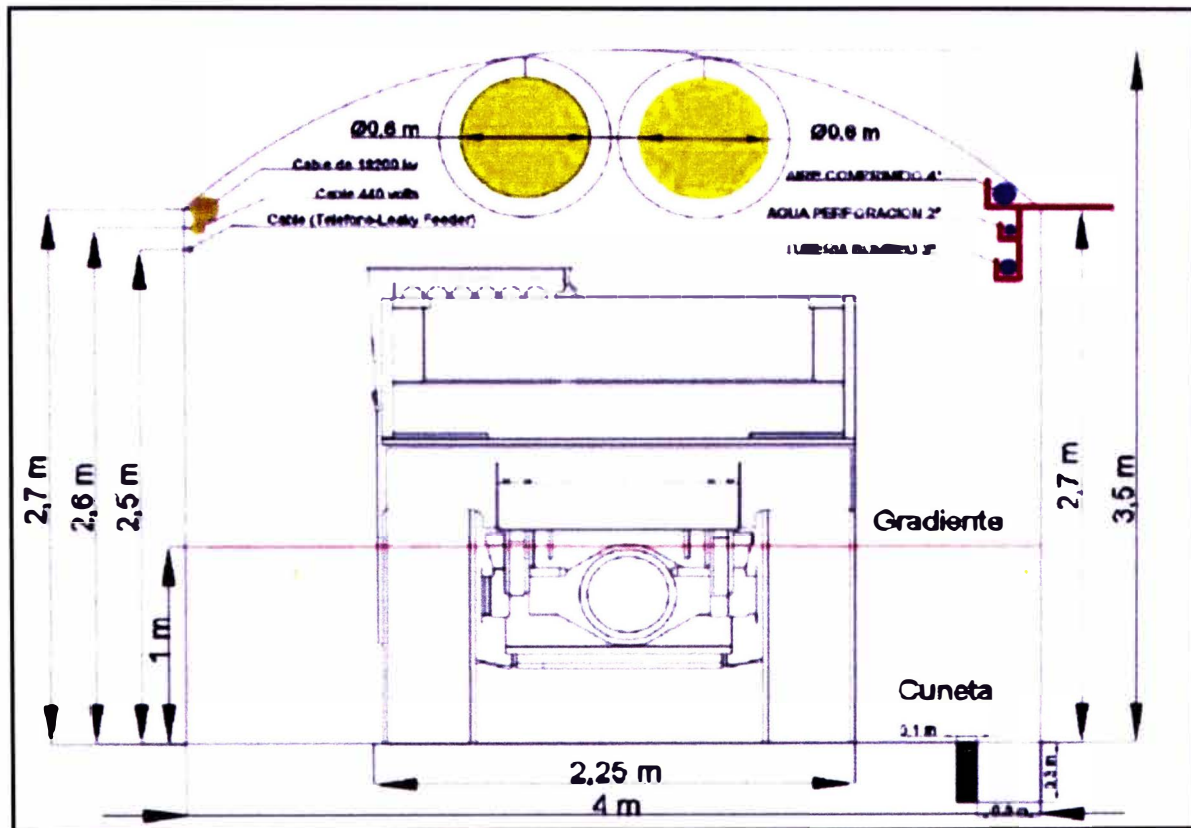
El presente estándar luego de realizar un taller se actualizó y mejoró.

**10. REGISTROS**

- F-OH&S-047. Formato Análisis de Trabajo Seguro (ATS)

Controlado	ESTANDAR: Instalación de Mangas o ductos de ventilación	Página 4 de 6
------------	---	---------------

ANEXO 1  
 GRAFICO 1: DIAGRAMA TRANSVERSAL DE INSTALACIÓN DE MANGAS DE VENTILACIÓN



Controlado	ESTANDAR: Instalación de Ventilador Auxiliar en Labores Mineras	Página 1 de 6
------------	---	---------------

HISTORIAL DEL DOCUMENTO						
VERSIÓN	DESCRIPCIÓN	ELABORÓ	REVISÓ	REVISÓ	REVISÓ	APROBÓ
01	Versión Inicial del documento	Jefe de Ventilación	Jefe de Mina	Gerente Planeación	Gerente OH&S	Gerente de Minas

### 1. OBJETIVO

Estandarizar las dimensiones y parámetros de la instalación de ventiladores auxiliares en las minas de la operación Segovia de la empresa GranColombiaGold, desarrollando un trabajo seguro y de calidad, previniendo accidentes y permitiendo una adecuada ventilación en las labores, a través de un flujo adecuado de aire fresco.

### 2. ALCANCE

A la Jefatura y Supervisión del área de ventilación, departamento de planeación, seguridad industrial (OH&S), operación mina, mantenimiento eléctrico y operarios de ventilación que realizan trabajo de alto riesgo, las actividades inician desde la elección del punto de instalación de modo que no dificulte el tránsito de vehículos y/o personas, la preparación de la base de madera o concreto y anclajes, preparación del ventilador a instalar, instalaciones eléctricas, hasta la pruebas y puesta en marcha del ventilador.

### 3. REFERENCIAS LEGALES Y OTRAS NORMAS

- Decreto 1886 del 21 de septiembre de 2015. Reglamento de Seguridad en las labores Subterráneas.
- Reglamento de Higiene y Seguridad Industrial de GranColombiaGold.

### 4. ESPECIFICACIONES DEL ESTÁNDAR

El personal asignado para la instalación de los ventiladores deberá contar con la debida autorización para trabajos de alto riesgo.

#### PARA INSTALAR UN VENTILADOR SOBRE PLATAFORMA:

1. La instalación del ventilador auxiliar se dará en un lugar que no obstruya o dificulte el paso de vehículos y/o personas.
2. El ventilador puede ser instalado en una base de madera o en base de concreto de acuerdo al diseño asignado por el peso o tipo de ventilador. (Ver Gráfico 1, Anexo 2)

#### Materiales/Herramientas para armar una plataforma de madera:

- Tablas de 2" x 10" x 3.0 m
- Puntales 4" x 4" x 1.0 m. de longitud.
- Clavos de 5" y 4"
- Nivel de mano.
- Flexómetro
- Prensas de 2" x 4" de longitud según necesidad.

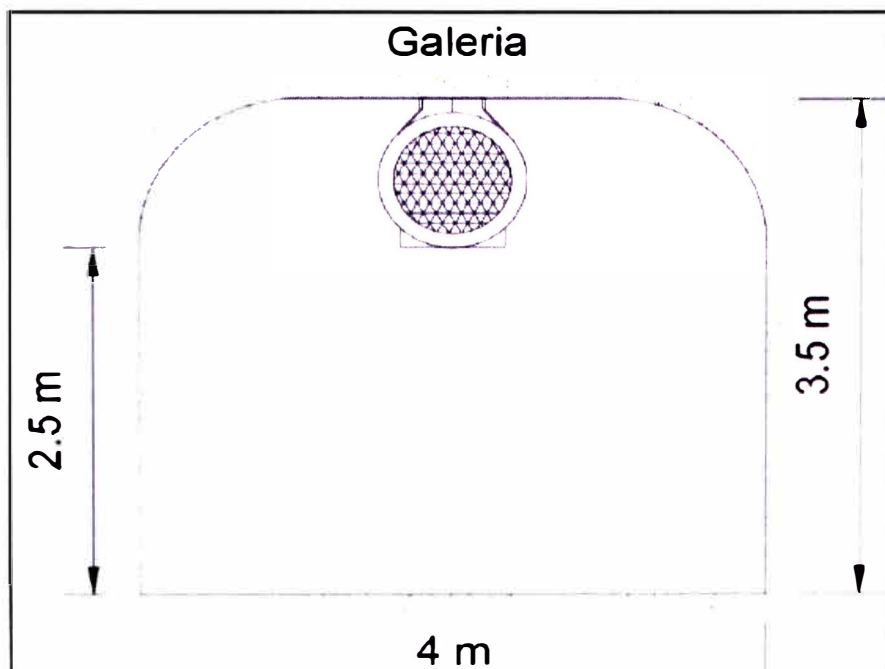
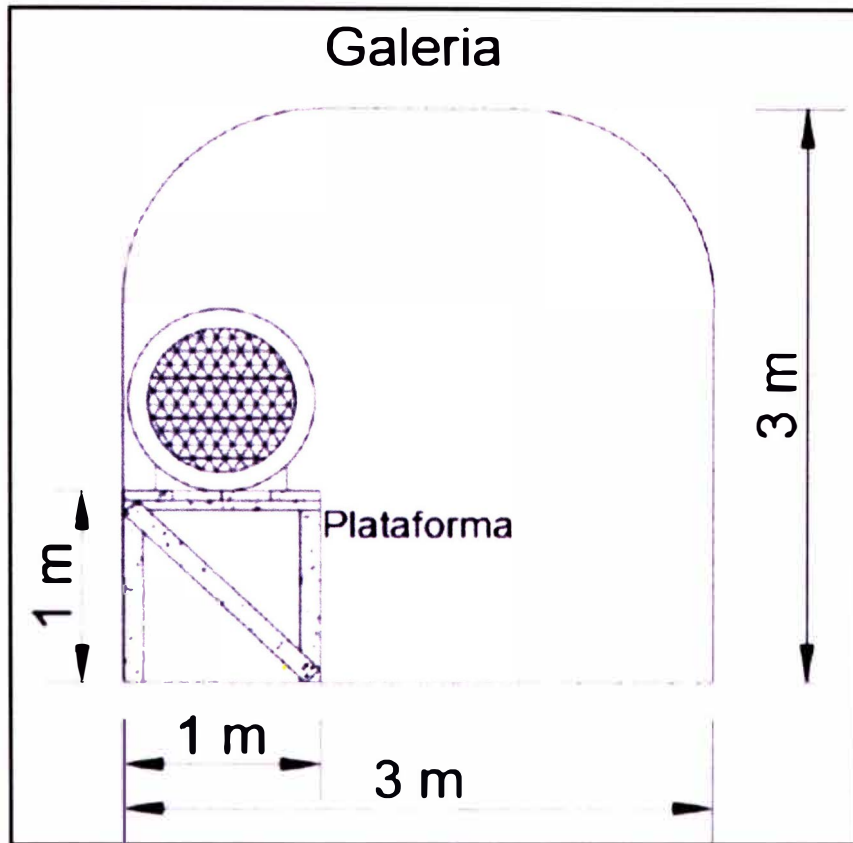
#### Materiales/Herramientas para armar una plataforma de concreto:

- Nivel de mano Flexómetro.
- Adobes.



Controlado	ESTANDAR: Instalación de Ventilador Auxiliar en Labores Mineras	Pagina 2 de 6
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pala y palustre.</li> <li>▪ Cemento, arena y agua.</li> </ul>		
<p><b>PARA INSTALACIÓN DE VENTILADOR ANCLADO:</b></p>		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La instalación del ventilador auxiliar se dará en un lugar que no obstruya o dificulte el paso de vehículos y/o personas.</li> <li>2. Si el ventilador se cuelga en el techo se utiliza: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 4 taladros de 1 pies de profundidad, cada taladro con tornillo gancho de 3/4" y su respectiva espiga.</li> <li>▪ Realizar amarre perimetral con cable de 3/8" de diámetro entre el ventilador y los ganchos. (Ver Gráfico 2, Anexo 2)</li> </ul> </li> <li>3. Materiales/Herramientas : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tornillo gancho de 3/4" cada uno con su respectiva espiga.</li> <li>▪ Cable de acero de 3/8" de diámetro.</li> <li>▪ Cadenas de 5/16"</li> <li>▪ Alambre galvanizado número 14.</li> <li>▪ Nivel de mano.</li> <li>▪ Flexometro.</li> <li>▪ Diferencial de cadena.</li> <li>▪ Alicata</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El ventilador contará con su campana de succión, silenciadores y rejilla de protección.</li> <li>• El sistema de lock out debe estar ubicado en el tablero eléctrico.</li> <li>• El ventilador debe de estar enumerado y contar con su placa de especificaciones técnicas.</li> <li>• Se coloca el ventilador auxiliar en zonas donde la ventilación es deficiente</li> <li>• De acuerdo a las dimensiones de la labor instalar el ventilador con su base o mantenerlo colgado utilizando pernos de anclaje.</li> </ul> </li> </ol>		
<p><b>5. RESPONSABLES/RESPONSABILIDADES</b></p>		
<p><b>Operarios</b></p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumplir el presente estándar.</li> <li>• Llenar el formato de Análisis de trabajo seguro (ATS) Ver F-OH&amp;S-047.</li> </ul>		
<p><b>Ingeniero y/o supervisor de Ventilación, Jefe de Ventilación.</b></p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar que se cumpla el presente estándar.</li> <li>• Se asegurarán que todos los operarios tengan capacitación en los estándares y procedimientos para Trabajos de Alto Riesgo e Instalación de ventiladores.</li> <li>• Informar a los trabajadores acerca de los peligros en el lugar de trabajo.</li> <li>• Ser responsable por su seguridad y la de los trabajadores que laboran en el área a su mando.</li> <li>• Llenar el formato de Análisis de trabajo seguro (ATS) y firmar. Ver F-OH&amp;S-047.</li> </ul>		
<p><b>Jefe de Mina : Jefe de Turno.</b></p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar que se cumpla el presente estándar.</li> <li>• Auditar el cumplimiento del presente estándar.</li> </ul>		

Controlado	ESTANDAR: Instalación de Ventilador Auxiliar en Labores Mineras	Pagina 3 de 6
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Capacitar al personal en la utilización adecuada de los estándares, procedimientos y prácticas de trabajo seguro.</li> <li>● Facilitar los primeros auxilios y la evacuación del trabajador(es) lesionado(s), o que esté en peligro.</li> <li>● Ser responsable por su seguridad y la de los trabajadores que laboran en el área a su mando.</li> <li>● Actuar inmediatamente sobre cualquier peligro que sea informado en el lugar de trabajo.</li> </ul>		
<p><b>Jefe de OH&amp;S/ Supervisor OH&amp;S</b></p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Auditar el cumplimiento del presente estándar.</li> <li>● Planificar las inspecciones a las labores, de manera programada y de manera inopinada.</li> <li>● Paralizar la labor si se encuentra con evidentes condiciones sub estándares que atente contra la integridad de las personas, equipos e instalaciones, hasta que se eliminen dichas condiciones.</li> <li>● Asegurarse del cumplimiento de los requisitos establecidos en el Programa Anual de Seguridad e Higiene Minera.</li> <li>● Asesorar a los supervisores acerca de los programas de capacitación para la seguridad y salud y en las prácticas operativas.</li> </ul>		
<p><b>6. REGISTROS, CONTROLES Y DOCUMENTACIÓN</b></p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Check list diario de inspecciones de labores mineras.</li> <li>● Análisis de trabajo seguro (ATS). Ver F-OH&amp;S-047.</li> <li>● Cuaderno de órdenes de trabajo y reporte de novedades.</li> <li>● Reglamento Interno de Higiene y Seguridad Industrial de GranColombiaGold.</li> <li>● Estándar.</li> </ul>		
<p><b>7. FRECUENCIA DE INSPECCIONES</b></p>		
<p>Diario y mensual.</p>		
<p><b>8. EQUIPO DE TRABAJO</b></p>		
<p>Jefe de Mina o turno, Jefatura y supervisión de ventilación, SISO, Operarios de ventilación y electricistas.</p>		
<p><b>9. REVISION Y MEJORAMIENTO CONTINUO</b></p>		
<p>Las revisiones se realizarán anualmente y/o cuando se generen cambios en las operaciones o legislaciones. El presente estándar luego de realizar un taller se actualizó y se mejoró.</p>		
<p><b>10. REGISTROS</b></p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>● F-OH&amp;S-047. Formato Análisis de Trabajo Seguro (ATS)</li> </ul>		



Controlado	<b>ESTANDAR: Instalación de Ventilador Auxiliar en cámaras de ventilación</b>	Página 1 de 5
------------	---	---------------

HISTORIAL DEL DOCUMENTO						
VERSIÓN	DESCRIPCIÓN	ELABORÓ	REVISÓ	REVISÓ	REVISÓ	APROBÓ
01	Versión Inicial del documento	Jefe de Ventilación	Jefe de Mina	Gerente Planeación	Gerente OH&S	Gerente de Minas

### 1. OBJETIVO

Estandarizar las dimensiones y parámetros de la instalación de ventiladores auxiliares en ventanas (pulmones o cerca de chimeneas) en las minas de la operación Segovia de la empresa GranColombiaGold, desarrollando un trabajo seguro y de calidad, previniendo accidentes y permitiendo una adecuada ventilación en las labores, a través de un flujo adecuado de aire fresco.

### 2. ALCANCE

A la Jefatura y Supervisión del área de ventilación, departamento de planeación, seguridad industrial (OH&S), operación mina, mantenimiento eléctrico y operarios de ventilación que realizan trabajo de alto riesgo, las actividades inician desde la elección del punto de instalación de modo que no dificulte el tránsito de vehículos y/o personas, la preparación de la base de madera o concreto y anclajes, preparación del ventilador a instalar, instalaciones eléctricas, hasta las pruebas y puesta en marcha del ventilador.

### 3. REFERENCIAS LEGALES Y OTRAS NORMAS

- Decreto 1886 del 21 de septiembre de 2015. Reglamento de Seguridad en las labores Subterráneas.
- Reglamento de Higiene y Seguridad Industrial de GranColombiaGold.

### 4. ESPECIFICACIONES DEL ESTÁNDAR

El personal asignado para la instalación de los ventiladores deberá contar con la debida autorización para trabajos de alto riesgo.

#### PARA INSTALACION DE VENTILADOR EN CÁMARA CERCANA A CHIMENEA:

1. La instalación del ventilador auxiliar se dará en un lugar que no obstruya o dificulte el paso de vehículos y/o personas.
2. La longitud mínima de la cámara será de 15 m. con una sección mínima de 3.0 x 3.0 m.
  - Distancia desde el cono de succión del ventilador al filo de la chimenea: 3 m.
  - Dimensiones de la base: 2 x 1.0 m. x 1.0 de altura como mínimo.
  - El ventilador deberá tener 1 silenciador como mínimo.
3. Si el ventilador se coloca en el piso se hará una base de madera o una base de concreto de acuerdo al diseño asignado por el peso o tipo de ventilador tomando como base las dimensiones mínimas establecidas.

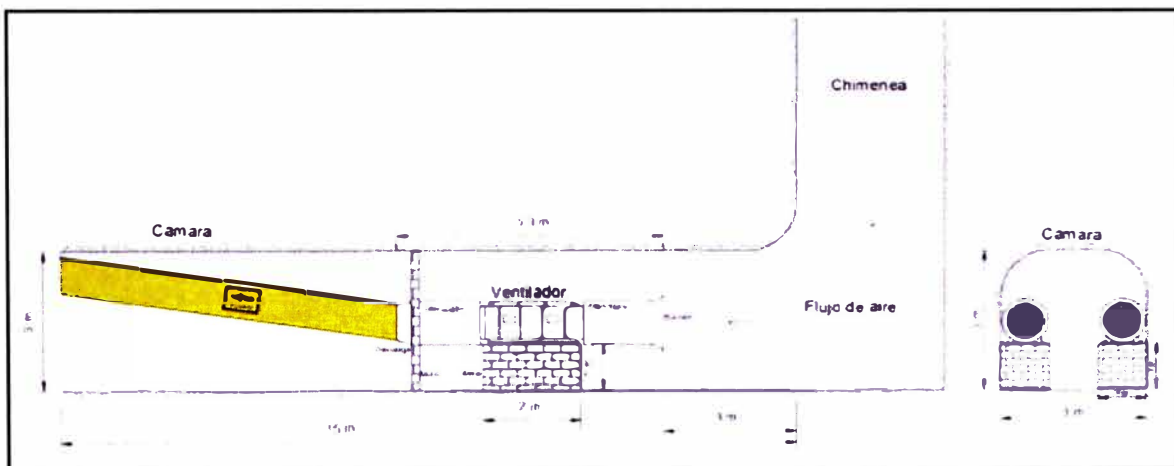
Materiales/Herramientas para armar una plataforma de madera:

- Tablas de 2" x 10" x 3.0 m

Controlado	ESTANDAR: Instalación de Ventilador Auxiliar en cámaras de ventilación	Pagina 2 de 5
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Puntales 4" x 4" x 1.0 m. de longitud.</li> <li>▪ Clavos de 5" y 4"</li> <li>▪ Nivel de mano.</li> <li>▪ Flexómetro.</li> <li>▪ Prensas de 2" x 4" de longitud según necesidad.</li> </ul> <p>Materiales/Herramientas para armar una plataforma de concreto (Anexo 1):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nivel de mano y Flexómetro.</li> <li>▪ Adobes.</li> <li>▪ Pala y palustre.</li> <li>▪ Cemento, arena y agua.</li> </ul>	
	<p><b>5. RESPONSABLES/RESPONSABILIDADES</b></p> <p><b>Operarios</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumplir el presente estándar.</li> <li>• Llenar el formato de Análisis de trabajo seguro (ATS). Ver F-OH&amp;S-047.</li> </ul> <p><b>Ingeniero y/o supervisor de Ventilación, Jefe de Ventilación.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar que se cumpla el presente estándar.</li> <li>• Se asegurarán que todos los operarios tengan capacitación en los estándares y procedimientos para Trabajos de Alto Riesgo e Instalación de ventiladores.</li> <li>• Informar a los trabajadores acerca de los peligros en el lugar de trabajo.</li> <li>• Ser responsable por su seguridad y la de los trabajadores que laboran en el área a su mando.</li> <li>• Llenar el formato de Análisis de trabajo seguro y firmar (ATS). Ver F-OH&amp;S-047.</li> </ul> <p><b>Jefe de Mina / Jefe de Turno.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar que se cumpla el presente estándar.</li> <li>• Auditar el cumplimiento del presente estándar.</li> <li>• Capacitar al personal en la utilización adecuada de los estándares, procedimientos y prácticas de trabajo seguro.</li> <li>• Facilitar los primeros auxilios y la evacuación del trabajador(es) lesionado(s), o que esté en peligro.</li> <li>• Ser responsable por su seguridad y la de los trabajadores que laboran en el área a su mando.</li> <li>• Actuar inmediatamente sobre cualquier peligro que sea informado en el lugar de trabajo.</li> </ul> <p><b>Jefe de OH&amp;S/ Supervisor OH&amp;S</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auditar el cumplimiento del presente estándar.</li> <li>• Planificar las inspecciones a las labores, de manera programada y de manera inopinada.</li> <li>• Paralizar la labor si se encuentra con evidentes condiciones sub estándares que atente contra la integridad de las personas, equipos e instalaciones, hasta que se eliminen dichas condiciones</li> </ul>	

Controlado	ESTANDAR: Instalación de Ventilador Auxiliar en cámaras de ventilación	Pagina 3 de 5
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asegurarse del cumplimiento de los requisitos establecidos en el Programa Anual de Seguridad e Higiene Minera.</li> <li>• Asesorar a los supervisores acerca de los programas de capacitación para la seguridad y salud y en las prácticas operativas.</li> </ul> <p><b>6. REGISTROS, CONTROLES Y DOCUMENTACIÓN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Check list diario de inspecciones de labores mineras.</li> <li>• Formato de Análisis de trabajo seguro (ATS). Ver F-OH&amp;S-047.</li> <li>• Cuaderno de órdenes de trabajo y reporte de novedades.</li> <li>• Reglamento Interno de Higiene y Seguridad Industrial de GranColombiaGold.</li> <li>• Estándar.</li> </ul> <p><b>7. FRECUENCIA DE INSPECCIONES</b></p> <p>Diario y mensual.</p> <p><b>8. EQUIPO DE TRABAJO</b></p> <p>Jefe de Mina o turno, Jefatura y supervisión de ventilación, SISO, Operarios de ventilación y electricistas</p> <p><b>9. REVISION Y MEJORAMIENTO CONTÍNUO</b></p> <p>Las revisiones se realizarán anualmente y/o cuando se generen cambios en las operaciones o legislaciones. El presente estándar luego de realizar un taller se actualizó y se mejoró.</p> <p><b>10. REGISTROS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• F-OH&amp;S-047. Formato Análisis de Trabajo Seguro (ATS)</li> </ul>		

#### INSTALACIÓN DE VENTILADORES EN CÁMARAS CERCANAS A CHIMENEAS.



## 1. SEGURIDAD GENERAL:

- Es responsabilidad del personal de ventilación y de MTO asegurarse que la instalación sea manejada por personal calificado experimentado en la instalación de este tipo de equipamiento.
- No debe ser excedida la velocidad y temperatura máxima con la que el ventilador ha sido diseñado.
- Ver límites en Especificaciones Generales del equipo.
- Ninguna modificación sobre el producto es permitida sin aprobación de Ventilación y/o Mantenimiento.
- No arrancar el ventilador si la hélice está girando libre.
- Las puertas de inspección nunca deben ser abiertas durante la operación del equipo.
- Asegúrese que todas las guardas y rejillas estén bien ajustadas antes de la puesta en funcionamiento.
- Durante el mantenimiento del equipo este debe ser aislado completamente de la red de energía eléctrica.
- Previo al arranque saque todo material suelto extraño que pudiera haber en la carcasa como en la turbina.
- No limpie el ventilador cuando está operando.
- Asegurarse de que el ventilador no pueda ser accionado accidentalmente durante su limpieza o mantenimiento.
- Para cualquier tipo de intervención del equipo se debe desconectar y asegurar con KIT de bloqueo.

*Nunca dejar objetos dentro del ventilador (pueden ocasionar daños importantes al usuario y a la hélice)*

**CONEXIÓN ELÉCTRICA:** El ventilador nunca debe ser conectado a la red eléctrica sin incluir uno o más sistemas de corte del suministro, para así poder posibilitar la intervención humana en una examinación o mantenimiento a ser llevado a cabo de manera segura. De la misma manera, se debe proveer de protección eléctrica al motor para prevenir sobrecargas u operaciones en dos fases en caso eventual de algún incidente.

Para conseguir esto se deben usar arrancadores suaves, cortacorrientes diferenciales, llaves termomagnéticas, relés térmicos, fusibles, etc.

En todos los casos usar la correcta sección de cables compatible con el tamaño del motor. Dependiendo del voltaje de la red, consultar el diagrama de la caja bornera del motor antes de decidir sobre la correcta posición de las conexiones.

Observar en la chapa identificadora del equipo los valores especificados del voltaje, amperaje, potencia y frecuencia de rotación del motor eléctrico.

**MANIPULACIÓN O EMBALAJE:** Todos los ventiladores deben ser manipulados por personal entrenado y deben seguir las prácticas de manejo seguro. Verificar el peso del ventilador y el equipo apropiado para evitar cualquier daño o perjuicio. Algunos ventiladores pueden ser provistos de puntos de izaje para facilitar su correcto manejo. No elevar o mover el ventilador de la entrada o salida del mismo, tampoco desde el eje, turbina o motor. Los puntos de izaje del motor tampoco se deben usar para levantar el ventilador. No hacer rodar la turbina por el suelo, esto podría afectar el balance de la misma.

## 2. REQUERIMIENTOS DE LA INSTALACIÓN:

- Los conductos deben ser conectados al ventilador con conexiones flexibles siempre que sea posible para reducir la vibración y ser independientemente sujetado. Conectar los conductos directamente al ventilador puede distorsionar algunos componentes causando vibraciones y contacto entre partes rotantes. Esto es crítico donde por temperatura, ya sea por el gas transportado o por las condiciones ambientales, los conductos se expanden o contraen. Como regla general, las conexiones flexibles son requeridas en todos los ventiladores que operan arriba de los 120°C y en ventiladores montados sobre sistemas anti vibratorios.
- Una correctamente diseñada base de concreto es el mejor medio para instalar ventiladores montados al piso. Asegúrese que la base de concreto se extienda al menos 150 mm más allá de la base del ventilador. El peso de la base de concreto debe ser al menos 2 a 3 veces el peso del ventilador, incluido el motor. El ventilador debe ser correctamente ajustado a la base con pernos de anclaje. Delgas y soportes se requerirán para nivelar el ventilador. Plataformas de acero pueden ser usadas para aplicaciones elevadas. Estas deben ser adecuadamente sujetadas en todas direcciones para prevenir deslizamientos; los difusores deberán ser diseñados en concreto o hierro.
- Cuidados extremos deben ser tomados para asegurar que la frecuencia natural de la estructura, soporte del ventilador difiera significativamente (al menos 30% por encima) de la velocidad de rotación del ventilador para evitar la resonancia. Esta causara la falla estructural.

### 3. CHECK LIST:

*Antes de efectuar cualquier chequeo, se debe asegurar que el motor este desconectado de la red eléctrica de suministro.*

- Chequear el cableado del motor. El motor debe ser conectado como lo muestra la placa del mismo. Se debe verificar que el voltaje, amperaje, potencia y velocidad de rotación sean las especificadas en la chapa identificadora del equipo. Siempre chequear que los rodamientos del motor estén lubricados.
- Verificar el juego entre la hélice y el aro del ventilador.
- Chequear que el manguito de fijación esté correctamente ajustado.
- Chequear el apriete de todos los tornillos de fijación en caso de que se hayan aflojado durante su instalación.
- Verificar el alineado de las poleas, si las tuviere. Chequear la tensión de las correas.
- Chequear el alineamiento de los rodamientos y que estén correctamente centrados al eje y lubricados. No lubricar demasiado.
- Las puertas de inspección deben estar ajustadas y selladas.
- Girar la hélice con la mano tal que gire libremente sin ninguna obstrucción.
- Sacar todo material extraño del ventilador y eje del motor.

### 4. OPERACIÓN:

**ARRANQUE POR PRIMERA VEZ:** Encender y apagar el motor para chequear que la rotación de la hélice esté de acuerdo con la flecha indicada en la carcasa. Chequear por ruidos inusuales, rozamientos o vibraciones. Corregir cualquier problema luego de ser desconectado eléctricamente. Si no hay problemas se puede ahora hacer funcionar el ventilador a las condiciones nomales de funcionamiento. Si el ventilador es puesto en marcha con aire en condiciones normales, y éstas cambian luego durante la operación, se deben realizar mediciones para verificar que el motor no exceda su capacidad nominal. Chequear las vibraciones y temperatura de los rodamientos para condiciones normales de funcionamiento.

**ARRANQUE NORMAL:** Aplicar potencia al motor hasta su punto de trabajo.

**PARADA DEL MOTOR:** Notar que la hélice puede continuar rotando varios minutos luego de parar el motor. Asegurarse de que el ventilador este quieto aun estando fuera de servicio. La hélice debe ser bloqueada antes de intentar cualquier acceso o mantenimiento.

### 5. MANTENIMIENTO:

**Requerimientos:** El correcto cuidado y mantenimiento es indispensable en la operación exitosa de cualquier ventilador. La periodicidad del mantenimiento depende del tipo de operación y cuidados, como también del servicio que ejecutara y especialmente que rol ocupara como parte de otro equipamiento. La falta de un adecuado mantenimiento podría guiar a un extensivo y prematuro daño de la unidad.

**INSPECCIÓN PERIÓDICA RUTA TRABAJO:** Se requerirá una inspección periódica registrada y actualizada del balanceo, lubricación, tensión de las correas, ajustes, temperatura, amperaje y pintura. Cuando se realiza el mantenimiento hay que asegurarse de cortar la corriente eléctrica. Chequear y limpiar todos los componentes. Especial cuidado se debe tener en las partes que están directamente en el flujo de aire, especialmente en la hélice ya que la acumulación de materiales extraños en los alabes podrían afectar el balanceo y duración de los rodamientos. Chequear todas las partes por desgaste y alineaciones, reparar o reemplazar si es necesario.

**PARTES ESTÁTICAS:** Si es posible, desconectar el ventilador de los conductos, luego proceder: Cuidadosamente limpiar las partes internas de la carcasa y, si es posible, los conductos de entrada y salida del ventilador. Limpiar la hélice. Reconectar los conductos. Poner cuidado en no dejar ningún objeto olvidado dentro del ventilador, esto podría ocasionar serios daños al equipo y al usuario. Finalmente limpiar la parte exterior del ventilador.

**HÉLICE:** Una puerta de inspección en la carcasa (si la posee) permite una inspección periódica de la hélice; esta última está sujeta a tensiones provenientes de fuerzas centrífugas y vibraciones. Remover cualquier elemento extraño que podría conducir a un significativo y peligroso desbalanceo de la hélice.



## 6. RODAMIENTOS:

**PROCEDIMIENTOS DE RE-LUBRICACIÓN:** Es difícil establecer una regla para la frecuencia de Re-lubricación puesto que las necesidades pueden variar considerablemente según las distintas condiciones de trabajo y aplicaciones. El mejor procedimiento para establecer esta frecuencia es aquel que se basa en la experiencia del usuario contando para ello con la ayuda de un historial de cada uno de los equipos. Independiente de la vida calculada de la grasa, esta lista considera factores tales como la velocidad rotacional de los rodamientos, temperaturas de operación y condiciones ambientales.

Temperatura de operación -15 a +80 grados Celsius  
Condiciones ambientales normales

En caso de que el equipo funcione condiciones ambientales diferentes a las referidas en la tabla, por ejemplos altas temperaturas, ambientes polvorientos los periodos de Re lubricación pueden reducirse hasta una semana.

**VIDA (DURACIÓN) DEL RODAMIENTO:** Aun cuando los rodamientos operen bajo condiciones normales, las superficies de las pistas y de los elementos rodantes están sujetos en forma continua a esfuerzos de compresión repetitivos que causan el descascarillado de estas superficies (fatiga del metal que causará la falla del rodamiento). La vida efectiva de un rodamiento se define en términos del número total de revoluciones que soporta antes de que ocurra el descascarillado de las pistas o de los elementos rodantes. Puede también expresarse en términos de horas de operación (revoluciones).

Otras causas de fallas en los rodamientos se atribuyen a problemas tales como atascamiento, abrasiones, rajaduras, picaduras, corrosión, etc., las cuales son causadas por un montaje inadecuado, lubricación insuficiente o inadecuada, sellado defectuoso o selección equivocada del rodamiento.

Según la aplicación, las máquinas utilizadas para trabajo diario de 24 horas a máxima capacidad (entre las que se pueden encontrar los ventiladores), tienen que tener valores de vida nominal de rodamientos de entre 20.000 y 30.000 horas de servicio como mínimo.

## 7. MOTOR ELÉCTRICO:

El mantenimiento de los motores eléctricos, adecuadamente aplicado, se resume a una inspección periódica en cuanto a los niveles de aislamiento, elevación de temperatura, desgastes excesivos, correcta lubricación de los rodamientos y eventuales exámenes en el ventilador, para verificar el correcto flujo de aire. La frecuencia con que deben ser hechas las inspecciones, depende del tipo de motor y de las condiciones del local de aplicación del motor. Los motores deben ser mantenidos limpios, exentos de polvo, residuos y aceites.

Para la limpieza proceder como sigue luego de desconectar la energía:

- Limpiar la carcasa colocando especial atención a las aberturas de ventilación.
- Inspeccionar visualmente el estado de los cables. - Sacar la cubierta de la caja de terminales.
- Chequear las conexiones y estado (terminales limpios, ajustados y sin oxidación).
- Ajustar los cables si es necesario.
- Cuidadosamente cerrar la caja de terminales cambiando todos los sellos.

Para la lubricación de los rodamientos, se debe realizar:

- Observación y examen del estado general en que se encuentran los rodamientos (verificar que la temperatura de trabajo de los mismos no supere los 70° C).
- Limpieza y lubricación con grasa a base de Litio (estabilidad mecánica e insolubilidad en agua).

NOTA: los intervalos de Re-lubricación deben ser hechos conforme a las instrucciones de las Tablas del fabricante del motor.

**MTENIMINETO-RUTA N°1:** para los ventiladores principales se determinó plan de MTTO cada 30,000 horas o 4.5 años (CAMBIO DE RODAMIENTOS Y MTTO DE ESTATOR, ROTOR-HELICE Y CARCASA EN TALLER) y una ruta de trabajo cada 750 horas o 31 días (VERIFICACION CON ESTETOSCOPIO, ANALISIS DE VIBRACION, LUBRICACION, LIMPIEZA Y AJUSTE GENERAL EN CAMPO).

**MTENIMINETO-RUTA N°2:** para los ventiladores secundarios se determinó un plan de MTTO cada 20,000 horas o 2.3 años (CAMBIO DE RODAMIENTOS Y MTTO DE ESTATOR, ROTOR-HELICE Y CARCASA EN TALLER) y una ruta de trabajo de 667 horas o 28 días (VERIFICACION CON ESTETOSCOPIO, ANALISIS DE VIBRACION, LUBRICACION, LIMPIEZA Y AJUSTE GENERAL EN CAMPO).

**MTENIMINETO-RUTA N°3:** para los ventiladores auxiliares se determinó el siguiente plan de Mtto y ruta de trabajo, se debe tener en cuenta que para el MTTO los equipos deberán salir a superficie y la ruta se hará en campo en promedio cada 31 días o cada 750 horas cada equipo

#### ANEXO 4. INSTRUCCIONES DE TRABAJO

##### 1. Ubicación estaciones de ventilación principal - evp

Las estaciones de ventilación principal son lugares ubicados en la recta, en los principales túneles de ingresos o las salidas del aire, considerados en el sistema de ventilación; es decir son todas las labores que se encuentren conectadas directamente a superficie, pudiendo ser también las estaciones donde se hayan identificado en los niveles inferiores de la mina (al pie de las chimeneas) o por donde el aire se junta para salir a superficie. Igualmente son las salidas de los ventiladores principales. En efecto, la ubicación del punto de ingreso de aire a la mina está bajo el criterio del responsable de la Ventilación de la Mina. Se estima a una distancia no menor de 10m, por ejemplo, al ingreso de un túnel o la Bocamina (B/M), en un tramo recto y uniforme, longitud mínima 5m (en lo posible) y donde no varíe la sección. Ver gráfico 1.

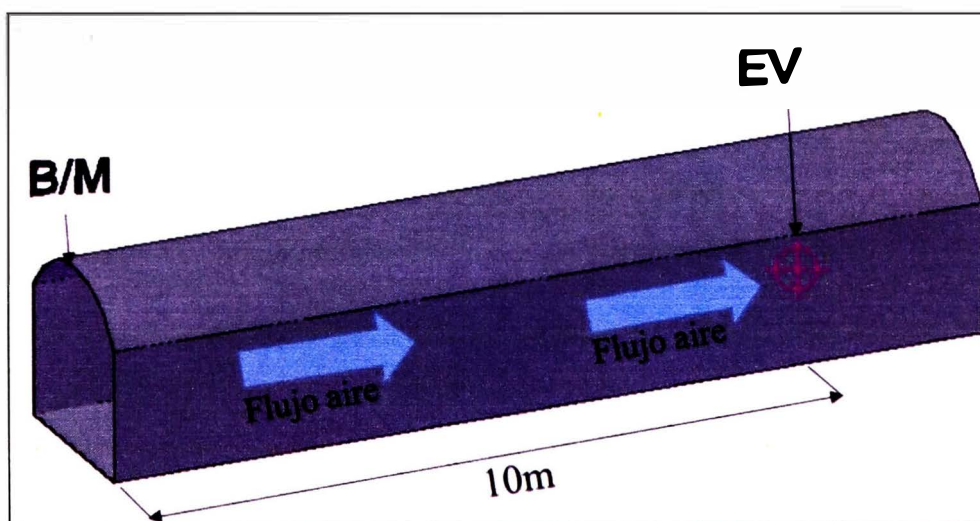


Gráfico 1. Ubicación estación principal al ingreso de una mina o bocamina (B/M).

## 2. Ubicación estaciones de ventilación secundarias

Las estaciones secundarias de ventilación se ubican dentro del circuito de ventilación, cerca de la intersección de las labores, donde se bifurca, sube o baja el aire; donde sea más representativa. Se resume que es todo lugar dentro del circuito de la red de ventilación. No es posible ubicar la “estación” en una curva, pues no es aparente medir las velocidades de forma regular, habrá mucha variación, por efectos de la turbulencia que se genera, por el cambio de dirección. Ver Gráfico 2, se muestra la ubicación de las estaciones de monitoreo (P1, P2 y P3) en tramos rectos, además, el PI representa la intersección de las labores. Por otra parte, la Gráfico 3, indica la ubicación de las estaciones P1 y P2 por lo menos a 10m de distancia, medida desde el inicio o término de la curvatura y en un tramo recto.

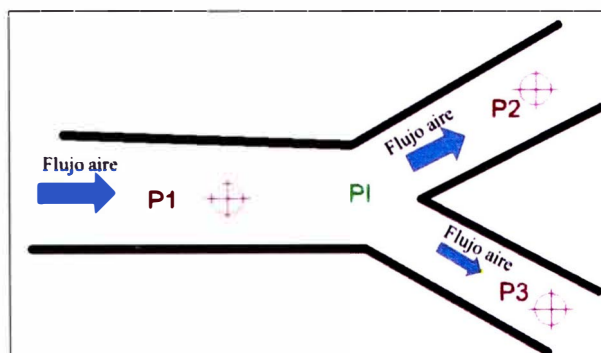


Gráfico 2.  
Estaciones de levantamiento de ventilación en labores horizontales con intersección.

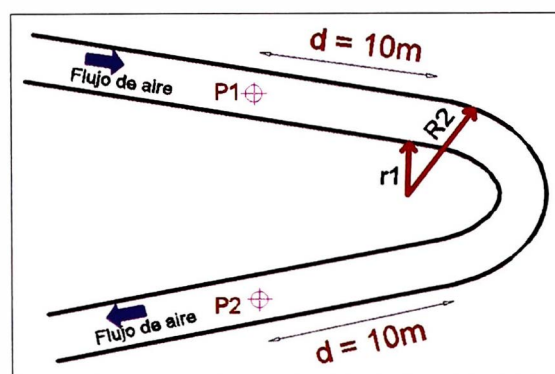


Gráfico 3. Estaciones de levantamiento de ventilación en labores con curvatura.

### Estaciones de ventilación – medición con equipos de ventilación

#### En labores horizontales

##### Con termo anemómetro

Para el levantamiento de ventilación en una “estación” se usa principalmente el **método del barrido** que consiste en circular el aparato a lo largo de la sección transversal de la estación, dicho barrido debe ser lo más amplio y completo posible. Requiere que el anemómetro acumule los valores. Ver Gráfico 4.

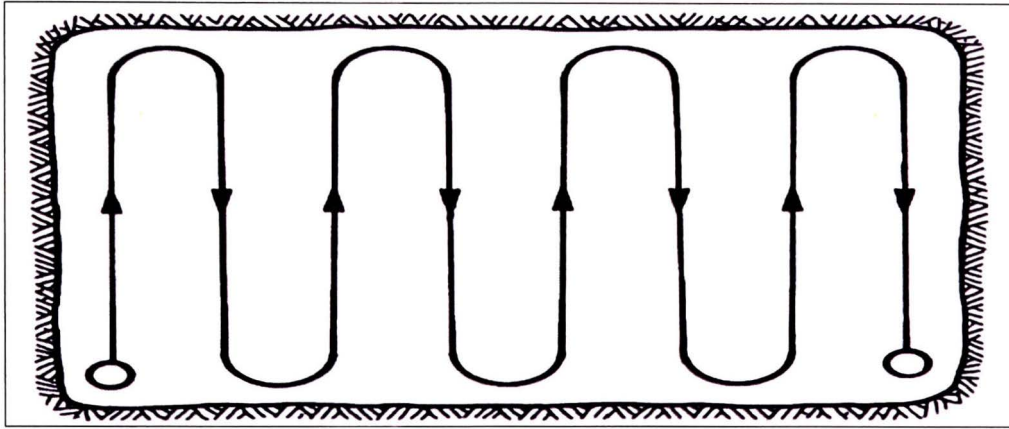


Gráfico 4. Recorrido del anemómetro sección transversal labor.

*Fuente: Malcolm J. MacPherson. (1993). Subsurface Ventilation and Environmental Engineering.*

La medición por el **método de cuadrículas**, en cada punto imaginario (9 puntos) es por un lapso de tiempo de 10s, a fin tomar datos estables con la sonda térmica o de hilo caliente. “Toda medición de flujo debe salir dentro de un rango aceptable de error que no debe ser más del 8% del volumen y esta exigencia de precisión con el fin de evitar que los errores se multipliquen y que al final salga un mayor volumen...”<sup>1</sup>

Las mediciones de los flujos de aire, se basaron según la norma ASHRAE 111, “Practices for measurement, testing, adjusting and balancing of building heating, ventilation, Air-conditioning and refrigeration Systems” usando el método de áreas iguales “Method of equal areas”. Ver Gráfico 5.

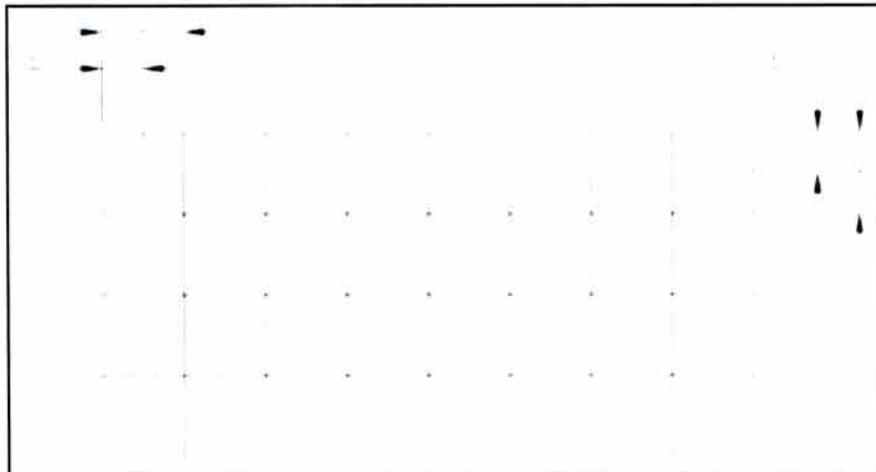


Gráfico 5. “Method of equal areas”.

<sup>1</sup> Nota tomado de “Ventilación de Minas Subterráneas y Túneles” de Jiménez A. Pablo, 2011, 1ª Edición, pp. 42.

El sentido de las mediciones por puntos, iniciándose en la ubicación 1 y se termina en 9. Ver Gráfico 6.

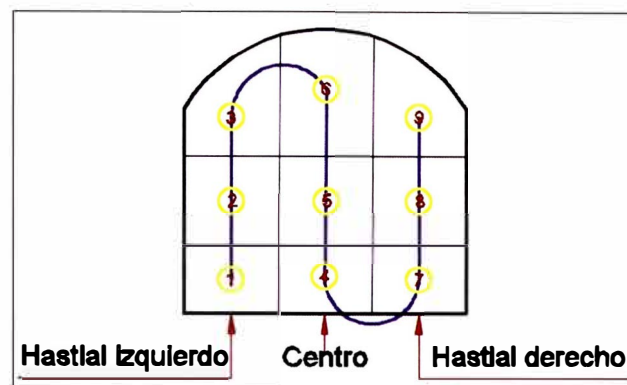


Gráfico 6. Puntos imaginarios de medición sección transversal de labor.

Una vez hecha la toma de mediciones de velocidades en cada punto imaginario, se procede a determinar un único valor representativo de la velocidad de aire, que no es más que el promedio aritmético de éstos, es decir:  $v_p =$

$$(V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_9)$$

---

9

Donde:

$v_p$ : Velocidad promedio (m/s)

$v_1, v_2, v_3, \dots, v_9$ : Velocidades registradas en cada punto imaginario (m/s)

### Con el tubo de humo y cronometro

Para velocidades de aire  $< 0.25\text{m/s}$  o  $< 15\text{m/min}$ , es ideal usar los tubos de humo ya que, cuando las velocidades son muy pequeñas los equipos no la registran, (no gira la paleta). Las mediciones de las velocidades del aire se determinan entre dos estaciones auxiliares distanciados a 3m; siendo la primera estación el punto de envío del humo y el segundo punto la ubicación del cronómetro para la toma del tiempo a la llegada del humo. Una vez determinado el tiempo se calcula la velocidad del aire mediante la siguiente formula:

$$V = d/t$$

Donde:

V: Velocidad del aire (m/s)

d: Distancia entre estaciones de monitoreo (m)

t: tiempo del recorrido del humo entre estaciones (s)

#### a) Uso del tubo de humo

1. Romper las capsulas que contienen las sustancias químicas del tubo de humo, luego se instala la boquilla de la bomba de caucho entre el tubo e humo.
2. Se observa la dirección del flujo de aire para que una vez salga el humo del tubo sea arrastrado por el mismo.

3. Se mide la distancia entre la persona que bombea el humo y la que toma el tiempo que se demora el humo en hacer el recorrido, no necesariamente debe ser 5m (este valor varía, debiéndose registrar esta longitud en la hoja de campo, para el cálculo en gabinete).
4. Se comprime la bomba o goma para evacuar el humo del tubo.
5. Se toma el tiempo que demora el humo en hacer el recorrido de la distancia medida (s), en los tres niveles de medición Piso, Medio y Techo.
6. Se tapan los extremos del tubo para evitar la salida del humo, y así volverlos a usar otra vez, pues el tubo sirve para realizar varias medidas.
7. Se divide el dato de la distancia medida entre el tiempo y se obtendrá la velocidad. Ver Gráficos 7 y 8.

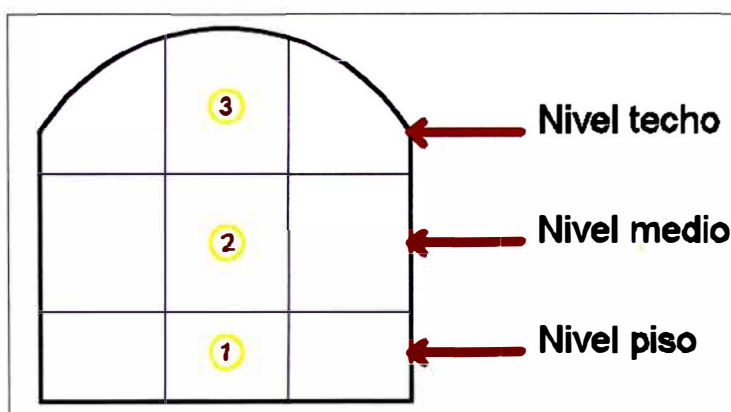


Gráfico 7. Puntos imaginarios sección transversal labor, levantamiento ventilación con tubo de humo.

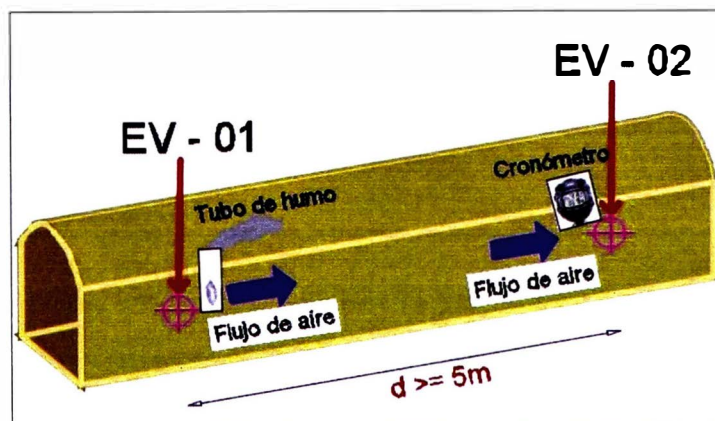


Gráfico 8. Medición de velocidades de aire con tubo de humo.

**En labores verticales – circular – en ventiladores**  
**Con termo anemómetro**

- Normalmente la ubicación estará a 10cm del ras de la superficie.

- Ubicación de los nueve (08 periféricos y 01 central) puntos imaginarios. Ver Gráfico 9.
- Medición de velocidades del aire por un lapso de 10s (promedio con cronómetro), para estabilizar el instrumento “sonda” y tener una medida precisa.

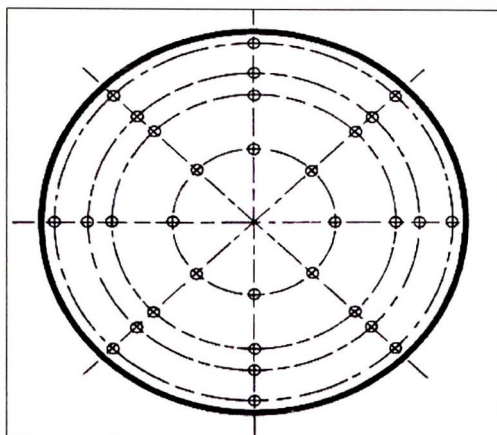


Gráfico 9. Posiciones de los ocho puntos para cuatro tamaños de diámetro y una la lectura central.

Fuente: Malcolm J. MacPherson. (1993). *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*.

En efecto, el número de puntos recomendados para distintos diámetros se da en la Tabla 1.

Diameter of duct (m)	< 1.25	1.25 - 2.5	> 2.5
No. of points	6	8	12

Tabla 1. Número de puntos para distintos diámetros.

Fuente: Malcolm J. MacPherson. (1993). *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*.

Sin embargo, en la mayoría de las minas, por el tamaño de las secciones de las chimeneas Raise Borer y los ventiladores, nueve puntos (incluyendo un punto en el centro) imaginarios son empleados. Ver Gráfico 9.

La posición de los puntos imaginarios a través del diámetro de una labor de sección uniforme, puede ser determinado por la Tabla 2 desarrollado por Malcolm J. McPherson. Por ejemplo, en un conducto y/o ventilador de diámetro 2 m, donde se emplearía 6 puntos de medición por diámetro, “d” para último punto sería:

$d = 0.956 \times 2\text{m} = 1.912\text{m}$ , medida diametralmente desde el extremo o tangente a la labor. Ver Tabla 2 y Gráfico 10.

No. of measuring points on each diameter	Fractions of one diameter measured from side of duct											
	centre ▼											
6				0.044	0.146	0.296	0.704	0.854	0.956			
8			0.032	0.105	0.194	0.323	0.677	0.806	0.895	0.968		
12	0.021	0.067	0.118	0.177	0.250	0.356	0.644	0.750	0.823	0.882	0.933	0.979

Tabla 2. Fracciones para ubicación de puntos imaginarios a través del diámetro, medido desde la tangente del círculo (sección labor).

Fuente: Malcolm J. McPherson. (1993). *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*.

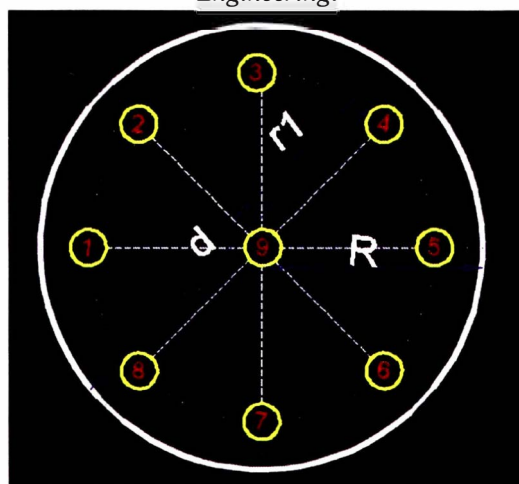


Gráfico 10.  
puntos imaginarios

Posiciones de nueve en labores de sección circular y ventiladores, vista transversal.

### ***Con tubo de humo***

El tubo de humo es usado en labores verticales, principalmente, para verificar la dirección del flujo de aire, no siendo frecuente su uso para tomar medidas de velocidades a  $>15\text{m/min}$ .

De igual modo que en una sección típica, la evaluación de la velocidad única representativa es determinada realizando el promedio aritmético de las velocidades registradas en los nueve puntos de medición.

Finalmente, para obtener el caudal de aire que pasa por la estación, se emplea la ecuación de continuidad:



Donde:

Q: Caudal requerido

explosivos ( ) V:

Velocidad mínima

requerida ( ) A: Área

promedio de labores

Para corregir el área por la forma típica de la sección se usará un factor  $K = 0.935$ ; cuyo promedio lo considera el Ventsim Visual Avanzado-Premium, entonces, el cálculo del área transversal de una labor viene dada por:

Donde:

A: Área de la sección

K: Factor de corrección por la forma típica

de una labor. b: Base de la sección

h: Altura de la sección

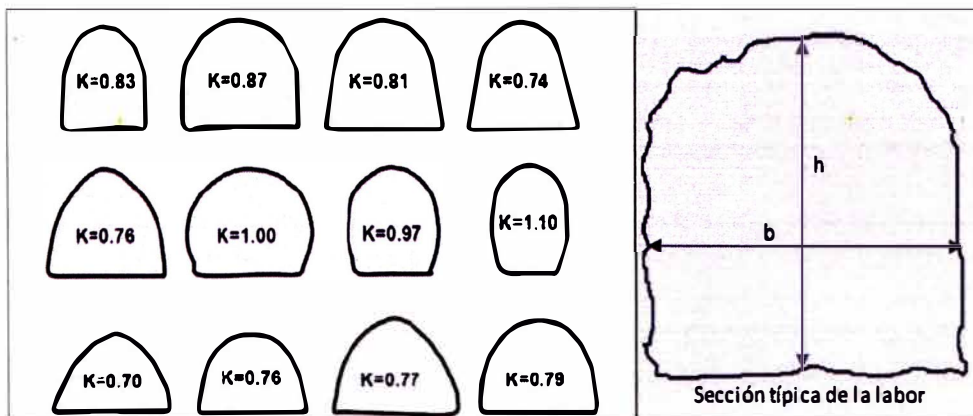


Gráfico 11. Factor "K" para secciones típicas.

Fuente: Zitón. (2007). *Ventilación de Minas*. Conferencia de Ventilación de Minas.

## Medición de Presiones

En mensuras de ventilación, dos tipos de presiones son medidas: presión absoluta y presión relativa. La presión absoluta afecta la migración de gases de un estrato o material fragmentado hacia los frentes de trabajo, cuanto menor es la presión mayor es la migración del gas. La presión relativa o diferencia de presiones entre dos puntos afecta el movimiento del aire. Esta diferencia es creada debido a variaciones climáticas (ventilación natural) o por medio de ventiladores o compresores (ventilación mecánica).

La presión absoluta es medida por medio de un barómetro o altímetro (Figura 6). Una cámara de vacío es la parte central del instrumento. La cámara lleva una membrana muy sensible a las variaciones de presión atmosférica. La membrana disminuye en longitud con un incremento de presión o viceversa. Estas variaciones de longitud son mostradas por el instrumento en términos de presión o altura. Los barómetros son generalmente usados para medir variaciones grandes de presión y para determinar el peso específico del aire. El barómetro Setra puede ser usado para medir tanto la presión barométrica como la elevación del punto de medición. El altímetro Paulin es todavía usado para determinar caídas de presión en pozos profundos.

La presión relativa es medida utilizando un manómetro de agua. Este instrumento consiste de un tubo fabricado en forma similar a la letra U y llenado con agua destilada hasta un nivel de referencia. Para medir la presión, el instrumento tiene una escala graduada en pulgadas o milímetros de agua. En la práctica, su aplicación es muy limitada. Hoy, las mensuras de presión son completadas usando manómetros mecánicos o electrónicos (Figure 7). Sin embargo, estos instrumentos, antes de ser usados, deben ser calibrados contra un manómetro de agua considerado como un estándar primario.

**Procedimiento de Medición.** En una mina, la caída de presión entre dos estaciones es medida directamente utilizando un manómetro, dos mangueras de plástico de  $\frac{1}{4}$  de pulgada de diámetros y dos tubos Pitot (Figura 8). Durante la medición de presión en una galería o rampa, las mangueras son extendidas a lo largo de la excavación por unos 750 pies. Los extremos alejados de estas mangueras son conectados a dos tubos Pitot y sus extremos centrales conectados al manómetro. Antes de conectar estas al manómetro, el instrumento debe ser nivelado y calibrado moviendo su vernier a un punto de referencia (de presión cero). Otro detalle es el de posicionar los tubos Pitot en el centro de la galería con el objeto de neutralizar la presión de velocidad. Es aconsejable repetir las mediciones cada cinco minutos hasta tener tres lecturas similares. El promedio de estas es la caída de presión entre los puntos medidos y generalmente no necesita de ninguna corrección. Sin embargo, en rampas o piques con diferencias de elevaciones pronunciadas (mayores a 1000 pies), la presión indicada por el manómetro debe ser corregida por un factor proporcional a los cambios de presión barométrica (ecuación 7). La Figura 9 muestra un esquema sobre cómo hacer esta corrección en una rampa con un flujo de aire descendente.

$$CH_{12} = H_{12} \frac{P_{b1} + P_{b2}}{2P_{b2}} \quad (7)$$

Donde:

- $CH_{12}$  = caída de presión corregida, pulg. de  $H_2O$
- $H_{12}$  = presión indicada por el manómetro
- $P_{b1}$  = presión barométrica en estación 1 (presión alta)
- $P_{b2}$  = presión barométrica en estación 2 (presión baja)

El mismo principio puede ser usado para determinar la pérdida de presión en un pozo de ventilación.

### Resistencia y Coeficiente "K" de un Conducto de Ventilación

La resistencia de un conducto de ventilación (galería, rampa, pozo o ducto) es calculada por la ecuación de Atkinson. Esta es una ecuación empírica utilizada con frecuencia en diseños de ventilación. En su forma simple, esta ecuación puede expresada por:

$$H_{12} = R Q^2 \quad (6)$$

$$R = \frac{K \cdot \text{Per} \cdot L}{5.2 A^3} \quad (7)$$

Donde:

- R = resistencia,  $\text{pulg. min}^2/\text{p}^6$
- K = coeficiente de fricción,  $\text{lb. min}^2/\text{p}^4$
- Per = perímetro de una sección transversal, p
- L = longitud del conducto, p
- A = área de la sección,  $\text{p}^2$ .

El coeficiente K, una vez calculado, es utilizado para caracterizar la pared interna de un conducto. Este coeficiente es función de la aspereza y el tipo de revestimiento de la excavación. Durante la planificación, este coeficiente es leído de cuadros o ábacos para conductos de características similares (Cuadro 1).

#### Coefficiente de Fricción Estandarizado, K'

El coeficiente K calculado por la ecuación 9 es válido para una condición donde el peso específico del aire es  $w$ . Para diseños nuevos o conductos desarrollados en diferentes niveles, es recomendable estandarizar estos coeficientes por los cambios del peso específico del aire. El coeficiente estandarizado, K' es expresado por (ecuación 10):

Cuadro 1. Valores típicos del coeficiente de fricción, K \*

Descripción del conducto	K* 10 <sup>-10</sup> , lb min <sup>2</sup> /p <sup>4</sup>
Galería con revestimiento de concreto	24
Galería sin revestimiento	48
Galerías con arcos metálicos	32
Galerías con marcos de madera	48
Pozos con revestimiento de concreto	35
Pozos sin revestimiento con mallas de alambre y pernos de anclaje	60
Pozos con marcos guidores	120
Galerías con correas de transporte	75
Ductos flexibles (mangas)	15
Ductos metálicos	20
Ductos flexibles con espiral	30

\*: Recopilados de varios trabajos prácticos (McPherson, 1993)

$$K' = K \frac{w_s}{w} \quad (10)$$

Donde  $w_s = 0.075 \text{ lb/p}^3$  (estándar medido para el nivel del mar).

Los manuales de ventilación contienen generalmente estos coeficientes estandarizados para diferentes tipos de excavaciones.

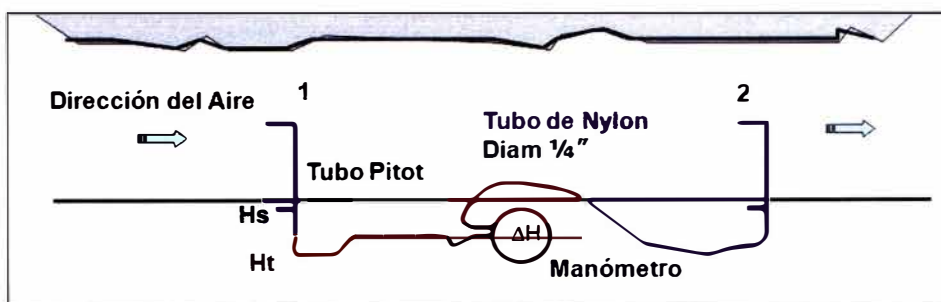


Figura . Lectura Directa de Caída de Presión

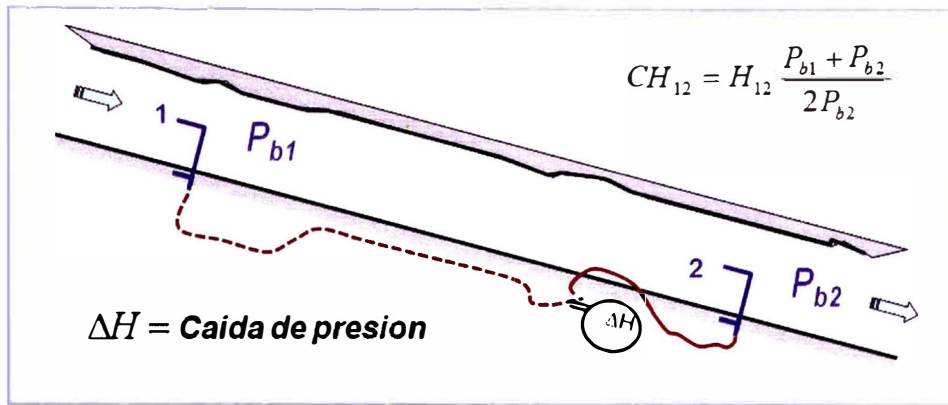


Figura . Presión manométrica corregida por cambio de elevación

### Manómetro y Tubos Pitot

El tubo Pitot consiste en dos tubos concéntricos construidos en forma de L: un tubo interno, usado para medir la presión total,  $H_T$ , y otro externo, para la presión estática,  $H_s$ . Cuando los dos extremos en T del tubo Pitot son conectados a las entradas del manómetro, el desplazamiento de la aguja de este de este instrumento permite medir la presión de velocidad,  $H_v$ . Durante la mensura, es importante mantener el tubo Pitot alineado con el eje mayor del ducto y en dirección opuesta a la corriente de aire.

Una vez medida la presión  $H_v$ , la velocidad puede ser calculada usando la siguiente ecuación:

$$V = 1098 \sqrt{\frac{H_v}{w}} \quad (2)$$

Donde:

$H_v$  = presión de velocidad en pulgadas de agua

$w$  = peso específico del aire en  $\text{lb/p}^3$  en el punto de medición.

El peso específico varía con la presión barométrica y la temperatura del aire y puede ser calculado usando una de las siguientes ecuaciones:

$$w = \frac{70.7 * P_b}{R * T} \quad (3)$$

$$w_2 = w_1 \exp(-Z / RT) \quad (4)$$

Donde:

$w$  = peso específico del aire (al nivel del mar:  $w_1 = 0.075 \text{ lb/p}^3$ )

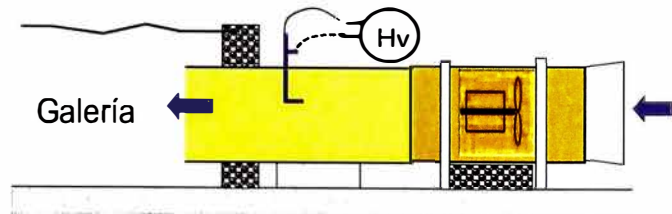
$Z$  = Elevación, pies

$R$  = 53.35  $\text{lb.p/lbm } ^\circ\text{R}$

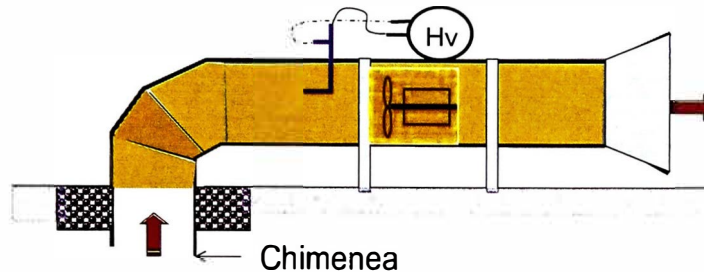
$P_b$  = Presión barométrica (29.92 pulgadas, Hg at nivel del mar)

$T$  = temperatura en  $^\circ\text{R}$

El punto de operación de un ventilador es determinado en base a dos clases de mediciones: presión estática y presión de velocidad. Estas presiones son medidas utilizando una combinación de un manómetro y un tubo Pitot. La Figura 2 muestra las estaciones de medición en los ductos de acople. En un sistema soplante (Figura 2A) el ducto de acople está a la salida del ventilador mientras que en un sistema aspirante (Figura 2B) a la entrada del ventilador.



**A. Ventilador en Entrada de Aire**



**B. Ventilador en Salida de Aire**

Figura 2. Esquemas de Instalación de Ventiladores Primarios

En cada caso, se recomienda medir varias presiones de velocidad en el ducto de acople.

La presión total es calculada usando la siguiente ecuación:

$$H_T = H_s + H_v \quad (5)$$

Donde:

$H_T$  = presión total, pulg.  $H_2O$

$H_s$  = presión estática, pulg.  $H_2O$

La presión estática en una sección es constante, pero la presión de velocidad varía con la distancia de las paredes, por esta razón se deben hacer varias mediciones para determinar una velocidad media.

**Ejemplo 1.** En una mensura de ventilación auxiliar se registraron las siguientes mediciones (Figura 2):

$H_v = 0.12$  pulgadas de  $H_2O$

$Z = 4000$  pies sobre el nivel del mar

$t = 70$  °F

Para los datos anteriores, determinar el peso específico y la velocidad del aire.

**Solución:** Utilizando las ecuaciones anteriores, se generaron los siguientes resultados:  $w = 0.065$  lb/p<sup>3</sup> y  $V = 1490$  p/min. Esta velocidad es válida para el punto de medición de  $H_v$  solamente.

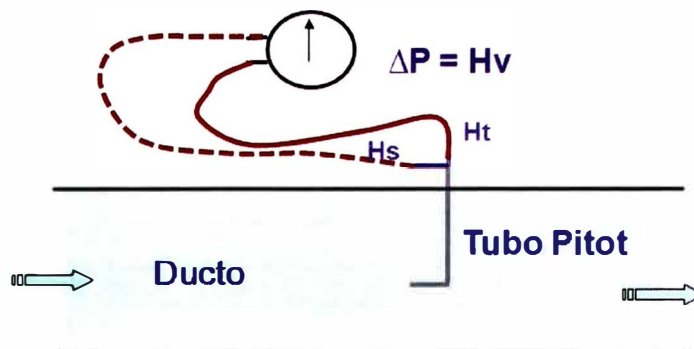


Figura 2. Esquema mostrando la presión de velocidad en un ducto

**Procedimiento de Medición.** Una combinación de un manómetro y un tubo Pitot es utilizada para determinar el caudal y la presión del aire circulado por un ventilador. Las mediciones son tomadas generalmente en el ducto de entrada de un ventilador aspirante o en el ducto de salida de un ventilador soplante. Como la velocidad del aire en un ducto no es uniforme sino variable, para

determinar un caudal promedio es necesario hacer varias mediciones de presión en un plano normal a la corriente del aire. Los puntos de medición en un ducto son determinados utilizando la siguiente ecuación (Figura 3):

$$R_n = R \sqrt{\frac{2n-1}{2N}} \quad (6)$$

Donde:

- $R_n$  = Distancia al punto  $n$  medido del centro
- $D$  = Diámetro del ducto, pies
- $2N$  = Numero de estaciones a lo largo del diámetro

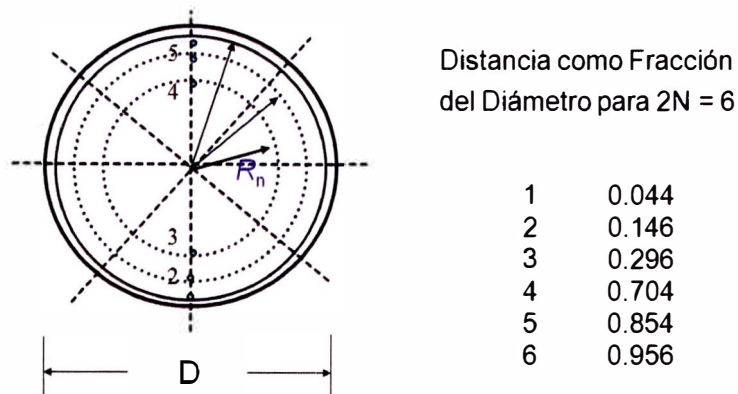


Figura 3. Posición del Tubo Pitot en un Ducto de Diámetro  $D$

La Figura 3 muestra las estaciones donde el mensurista debe sostener el tubo Pitot en un ducto de diámetro  $D$ . Por ejemplo, si el objetivo es determinar la velocidad del aire en base a seis lecturas en un ducto de 3 pies de diámetro, la primera lectura (punto 1) debe ser tomada a 0.132 pies ( $0.044 \times 3$ ) de la pared interior del ducto, la segunda a 0.438 pies, etc. Esta técnica permite determinar una velocidad ponderada por seis áreas iguales. En la práctica estas mediciones son tomadas a lo largo de dos o más diámetros perpendiculares. **Dr. Felipe Calizaya. Mensuras de ventilación.**

### Contaminantes del Aire

Un contaminante es una sustancia toxica que es añadida a la corriente de aire. Esta puede encontrarse en un estado gaseoso, como el monóxido de carbono, o estado sólido, como el polvo respirable y el humo. Estas sustancias son dañinas en concentraciones muy pequeñas. Uno de los objetivos de ventilación es el de controlar la concentración de estas sustancias en el aire. Para este fin, es necesario conocer el origen de los contaminantes, sus concentraciones en los diferentes frentes de trabajo y sus límites permisibles (TLV). En muchos países, estos límites son establecidos por agencias especializadas en mantener condiciones saludables para todos los trabajadores. La calidad del aire de una mina es determinada midiendo las concentraciones de los contaminantes y comparando las mediciones con los límites permisibles. El cuadro 2 contiene un resumen de los límites permisibles para diferentes tipos de contaminantes y periodos de exposición.

Cuadro. Límites Permisibles para diferentes tipos de contaminantes

Contaminante	Gravedad relativa*	TLV por 8 horas	TLV por 15 min
Monóxido de carbono, ppm	0.97	25	400
Acido sulfhídrico, ppm	1.19	10	15
Dióxido de carbono, %	1.53	0.5	3
Metano, %	0.55	1.0	5
Productos de diesel, $\text{mg}/\text{m}^3$		0.16	
Temperatura húmeda, °F		< 85	
Humedad relativa, %		80	

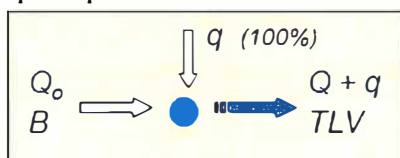
\*: Gravedad relativa de un gas:  $w$  (gas)/ $w$  (aire)

### Muestreo de Contaminantes

Hoy, casi todos contaminantes del aire son medidos utilizando instrumentos electrónicos. Las Figuras 10 y 11 muestran dos tipos de instrumentos utilizados para medir concentraciones de gases: ITX es un detector múltiple, usado para medir cuatro gases simultáneamente. La base del instrumento es un sensor electrónico, muy sensible al gas tóxico de interés. Generalmente, este tiene una vida útil de 18 meses. El instrumento debe ser calibrado antes de cualquier trabajo de muestreo. El detector Dräger, basado en tubos detectores sensibles al gas tóxico de interés. Una vez quebradas las puntillas de un detector, este es insertado en la bomba de aire. Durante la operación, la bomba succiona un volumen definido de aire por el tubo, produciendo una reacción química visible y proporcional a la concentración del contaminante. Esta es leída en una escala graduada marcada en la superficie del tubo. Las lecturas son generalmente corregidas por cambio de presión barométrica. El instrumento es usado para medir altas concentraciones de gases como aquellas en los ductos de escape de un equipo a diesel y también como estándar en la calibración de detectores electrónicos. La Figura 12 muestra dos bombas de aire usadas para determinar concentraciones de polvo respirable. Durante el muestreo, un ciclón y un filtro son utilizados para separar el polvo grueso de las partículas microscópicas (inferiores a 10 micrones).

### Dilución de Contaminantes

La concentración de un contaminante en la corriente del aire puede ser controlada mezclando el volumen de aire circulado por un frente con un volumen fijo de aire limpio o fresco. El volumen de aire fresco puede ser calculado utilizando la ecuación de dilución. Simbólicamente, esta ecuación puede ser derivada del principio de conservación de masa de la siguiente manera:



$$Q_o = \frac{q}{TLV - B} \quad (13)$$

Donde:

$Q_o$  = caudal de aire fresco requerido,  $p^3/min$

$q$  = caudal del contaminante del aire,  $p^3/min$

$B$  = concentración del contaminante en el aire fresco, ppm

$TLV$  = límite permisible del contaminante.

Esta ecuación puede ser utilizada para estimar el volumen de aire limpio requerido para controlar prácticamente cualquier contaminante. En la práctica, esta ecuación es usada para determinar tanto la emisión de contaminantes ( $q$ ) como para estimar el tamaño de un ventilador de una sección y alcanzar los límites permisibles.



Figura Detector Múltiple (cuatro gases)



Figura . Detector de Gas Dräger



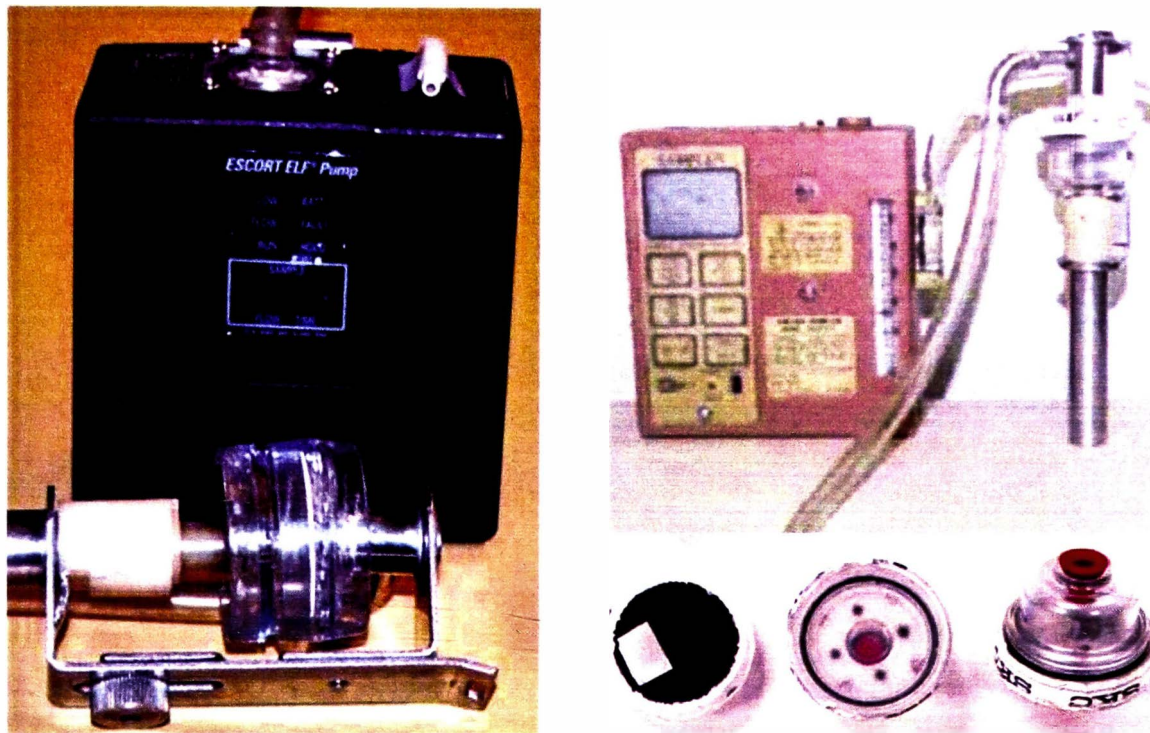


Figura 12. Bombas de Aire Usados para Medir la Concentración del Polvo Respirable

### Control de Calor y Humedad

Un psicrómetro en conjunción con un barómetro es utilizado para determinar las propiedades psicrométricas del aire incluyendo el volumen específico, la humedad relativa, la humedad específica y la entalpia del aire. Un psicrómetro, compuesto de dos termómetros (Figura 13), es utilizado para medir las temperaturas del aire. El termómetro húmedo, cubierto de una camisa de algodón, sirve para simular la traspiración de la piel al paso de una corriente de aire. Con este objeto la camisa debe ser humedecida y ventilada. El Psicrómetro Davis (Figura 13) tiene un pequeño ventilador que debe ser operado durante la medición. Estas temperaturas en conjunción con la presión barométrica son los parámetros necesarios para determinar todas las propiedades psicrométricas del aire.

Una vez hechas las mediciones, las propiedades psicrométricas del aire pueden ser determinadas utilizando ábacos como aquellos producidos por la Sociedad Americana de Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE). La Figura 14 muestra un esquema de este Abaco. Para leer los parámetros de este Abaco es necesario tener tres datos: la presión barométrica,  $P_b$ , la temperatura seca,  $t_d$ , y la temperatura húmeda,  $t_w$ . la abscisa representa la temperatura seca, la curva de saturación representa la temperatura húmeda, la ordenada la humedad relativa, etc. El primer paso en la aplicación del Abaco es determinar el punto de estado como la intersección de las dos temperaturas. Este punto es luego utilizado para determinar los otros parámetros. Por ejemplo, la intersección de la línea horizontal, que emerge de este punto, con el eje vertical representa la humedad específica, la diagonal identificada por la letra  $v$  representa el volumen específico, etc.

La Figura 15 muestra un Abaco psicrométrico ASHRAE para condiciones atmosféricas estándar (nivel del mar). Esta sociedad produce ábacos similares para diferentes elevaciones.

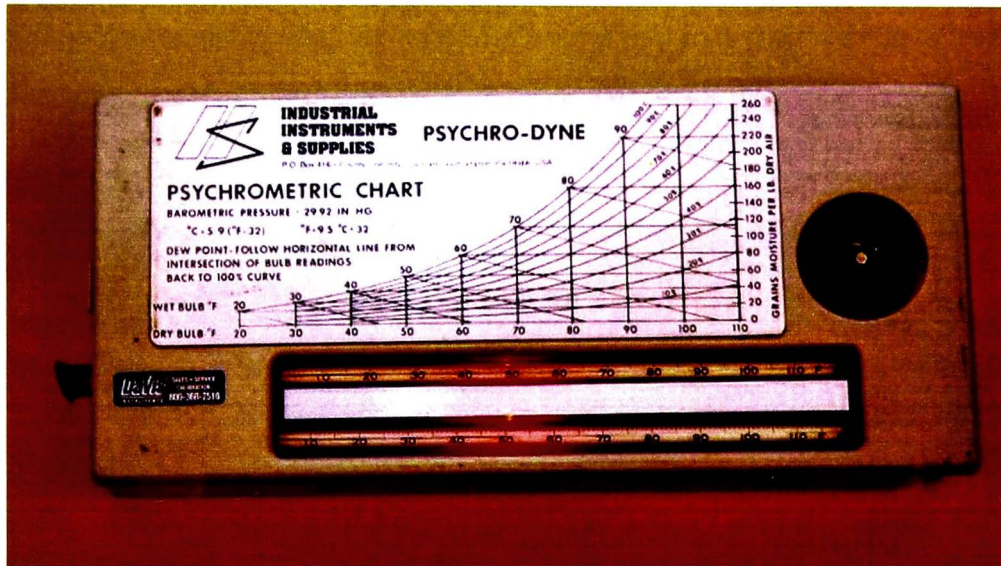


Figura 13. Psicrómetro Usando para Medir la Temperaturas del Aire

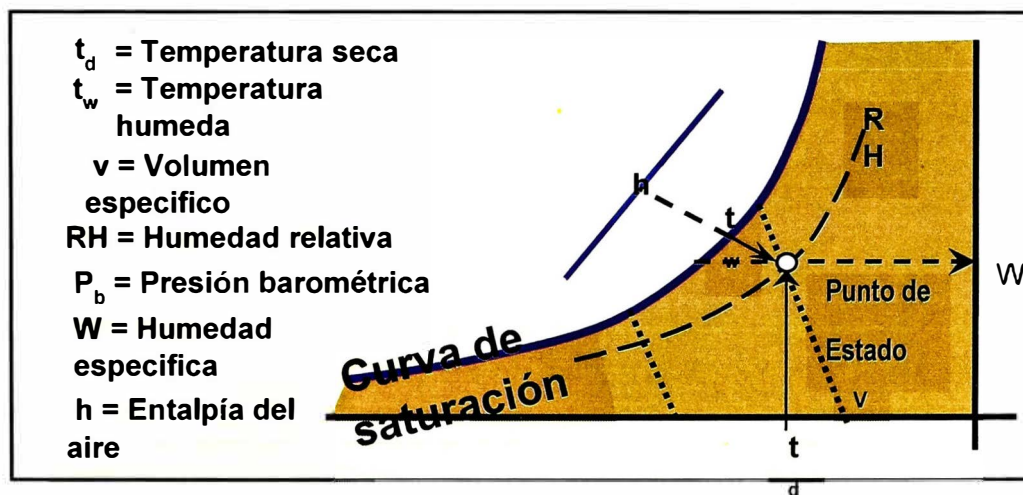


Figura 14. Esquema de un Abaco Psicrómetro

### Control de Calor por Ventilación

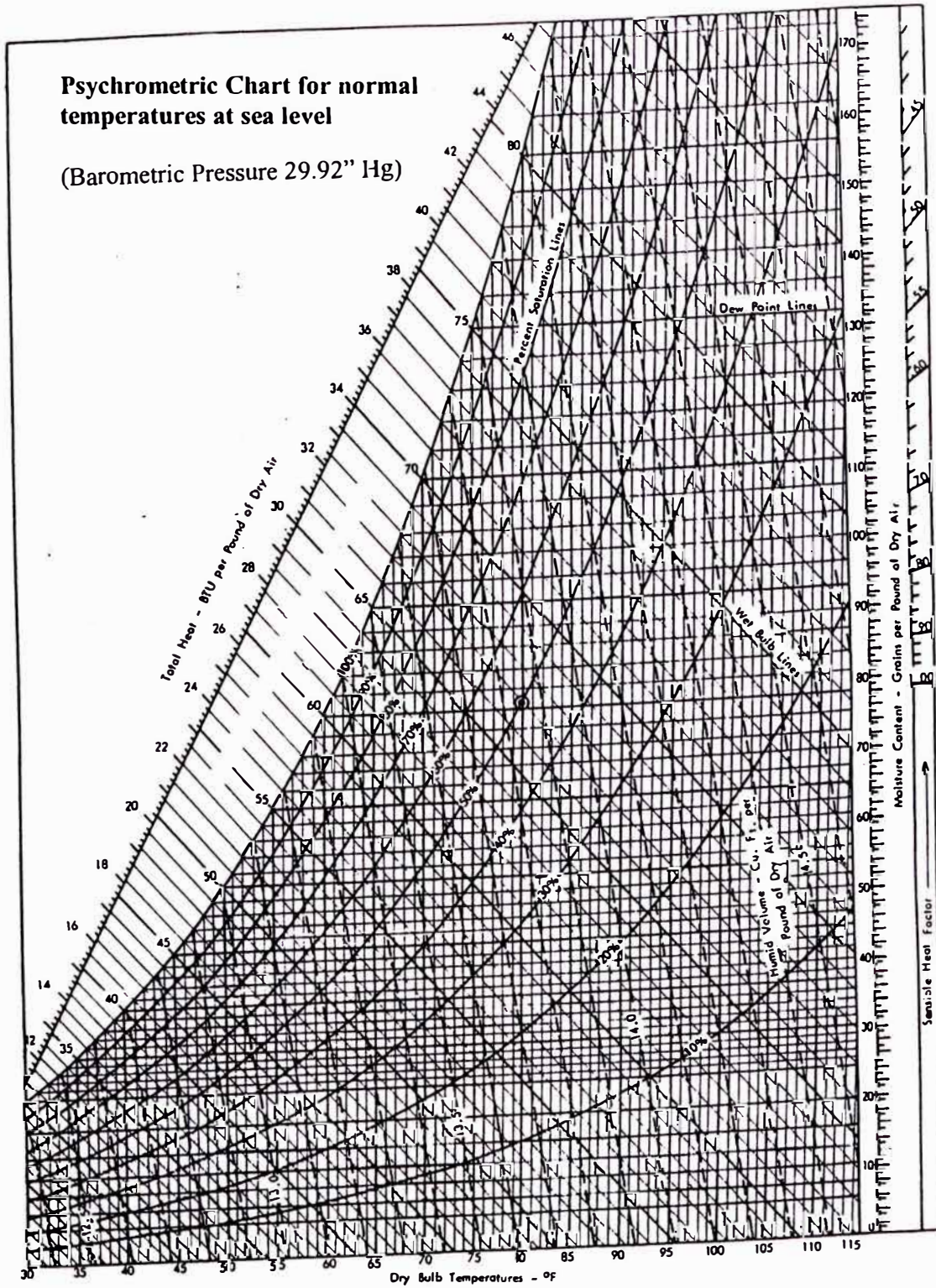
El caudal de aire requerido para controlar las cargas térmicas de un frente de trabajo puede ser calculado por la siguiente expresión:

$$Q_o = \frac{q}{w(h_2 - h_1)} \quad (14)$$

Donde:

- w = peso específico del aire de entrada, lb/p<sup>3</sup>
- q = carga térmica de un frente o sección, Btu/min
- h<sub>1</sub> = entalpía del aire de entrada, Btu/lb de aire seco
- h<sub>2</sub> = entalpía del aire de salida, Btu/lb de aire seco

Para un punto de estado, la entalpía del aire puede ser obtenida de la Figura 15 directamente.



© American Air Filter Co. Inc., 1959  
 Louisville, Ky. Form 1932

Total Heat Values - ASHAE Guide  
 End Points - Zimmerman & Levine

Figure 15. Cuadro Psicométrico para Condiciones del Nivel del Mar

**Ejemplo 8.** Las labores profundas de una sección minera tienen problemas de calor. Las mediciones psicométricas del aire dieron los siguientes resultados:

- Carga térmica: 3000 kW
- Temperaturas del aire:  $t_d = 79$  °F,  $t_w = 65$  °F, y
- Presión barométrica: 0.075 lb/p<sup>3</sup>.

En opinión del supervisor, el problema puede ser controlado utilizando ventiladores. Si el criterio usado para diseñar el sistema de ventilación es el de mantener la temperatura húmeda por debajo de 82 °F, cual debe ser la capacidad del ventilador?

Solución (usando la Figura 15) :

- (1)  $q = 3000 \times 56.87 = 170,610$  Btu/min
- (2) Para  $t_{w1} = 65$  °F  $h_1 = 30.0$  Btu/lb
- (3) Para  $t_{w2} = 82$  °F  $h_2 = 45.9$  Btu/lb

Luego, utilizando la ecuación 14, el ventilador de la sección debe tener una capacidad de 144,000 p<sup>3</sup>/min de aire.

**Ejemplo 9.** Un frente de una sección calurosa es ventilado por medio de un sistema de ventilación auxiliar (soplante). Durante una inspección del sistema se obtuvieron los siguientes resultados:

- Caudal a la salida de ducto: 20,000 p<sup>3</sup>/min de aire fresco
- Temperaturas del aire de entrada (a la salida del ducto):  $t_{d1} / t_{w1} = 70 / 60$ °F
- Temperaturas del aire de salida (a 300 pies del frente):  $t_{d1} / t_{w1} = 85 / 75$ °F
- Peso específico del aire:  $w = 0.075$ .

Para los datos anteriores, determinar la cantidad de calor de roca añadida a la corriente del aire.

Solución (usando la Figura 15):

- (1) Para  $t_{w1} = 60$  °F  $h_1 = 26.4$  Btu/lb
- (2) Para  $t_{w2} = 75$  °F  $h_2 = 38.6$  Btu/lb

Luego, para los datos anteriores, la ecuación 14 resulta en una carga térmica de 18,300 Btu/min.

**Dr. Felipe Calizaya. Mensuras de ventilación.**

## ANEXO 5 INVENTARIO Y MANTENIMIENTO DE VENTILADORES

INVENTARIO DE VENTILADORES											
FECHA: Septiembre 2021											
VENTILADORES PRINCIPALES											
ITEM	NIVEL	TIPO DE VENTILADOR	UBICACIÓN DEL VENTILADOR	LABORES QUE VENTILAN	Q (CFM)	POTENCIA		TRABAJO Hrs/Día	CARACTERÍSTICAS		ESTADO
						HP	Kw		TIPO	MARCA	
1	Superficie	Extractor	Campo alegre	Toda la Mina	190 000	330	246	24	Axial	Howden	Operativo
2	Superficie	Extractor	Campo alegre	Toda la Mina	190 000	330	246	24	Axial	Howden	Operativo
TOTAL					380.000	660	492	48			
VENTILADORES AUXILIARES											
ITEM	NIVEL	TIPO DE VENTILADOR	UBICACIÓN DEL VENTILADOR	LABORES QUE VENTILAN	Q (CFM)	POTENCIA		TRABAJO Hrs/Día	CARACTERÍSTICAS		ESTADO
						HP	Kw		TIPO	MARCA	
1	18	Impelente	Nivel 18	Taller diésel	9 000	35	26	24	Axial	Zitrón	Operativo
2	20	Impelente	Sill 650	PoMorín	5 200	20	15	24	Axial	Vibracol	Operativo
3	22	Impelente	Acceso 455	Corte 455	25 000	70	52	24	Axial	Zitrón	Operativo
4	25	Impelente	Frente a corte 485	Frente rampa 2	25 000	70	52	24	Axial	Zitrón	Operativo
5	25	Impelente	Base chimenea nv 25 R. 1	Rampa 1250	25 000	70	52	24	Axial	Zitrón	Operativo
6	25	Impelente	Rampa 2 acceso 360	Corte 290	25 000	70	52	24	Axial	Zitrón	Operativo
7	25	Impelente	Rampa 2 corte 485	Sill 500	9 000	35	26	24	Axial	Zitrón	Operativo
8	25	Impelente	Apique Bolivia	Apique Bolivia	9 000	35	26	24	Axial	Zitrón	Operativo
9	25	Impelente	Rampa 1	Cruzada 710	8 000	25	19	24	Axial	Vibracol	Operativo
10	38	Impelente	Nivel 38 norte	Apique 1100	8 000	25	19	24	Axial	Vibracol	Operativo
11	38	Impelente	Nivel 38 (bypass)	Nivel 38	8 000	25	19	24	Axial	Bornar	Operativo
TOTAL					156.200	480	358	264			
VENTILADORES EN MANTENIMIENTO/STAND BY											
ITEM	NIVEL	TIPO DE VENTILADOR	MINA	LABORES QUE VENTILAN	Q (CFM)	POTENCIA		TRABAJO Hrs/Día	CARACTERÍSTICAS		ESTADO
						HP	Kw		TIPO	MARCA	
1		Extractor	Silencio		60 000	150	112	0	Axial	Joy	Mantenimiento
2		Extractor	Silencio		60 000	150	112	0	Axial	Joy	Reparacion helice
3		Extractor	Silencio		40 000	150	112	0	Axial	Joy	stand by
4		Impelente	Silencio		9 000	34	25	0	Axial	Zitrón	Mantenimiento
5		Extractor	Silencio		40 000	150	112	0	Axial	Joy	stand by
6		Impelente	Silencio		20 000	40	30	0	Axial	Bornar	stand by
Ventiladores operativos			13								
Ventiladores en stand by			3								
Ventiladores en mantenimiento			3								
TOTAL			19								

MANTENIMIENTO DE VENTILADORES											
FECHA: oct-21											
VENTILADORES PRINCIPALES											
ITEM	NIVEL	TIPO DE VENTILADOR	UBICACIÓN DEL VENTILADOR	LABORES QUE VENTILAN	Q (CFM)	POTENCIA		TRABAJO Hrs/Día	INSTALACION FECHA	MANTENIMIENTO PROGRAMADO	
						HP	Kw				
1	Superficie	Extractor	Campo alegre	Toda la Mina	190 000	330	246	24	jun-19	dic-21	
2	Superficie	Extractor	Campo alegre	Toda la Mina	190 000	330	246	24	jul-19	dic-21	
TOTAL					380.000	660	492	48			
VENTILADORES AUXILIARES											
ITEM	NIVEL	TIPO DE VENTILADOR	UBICACIÓN DEL VENTILADOR	LABORES QUE VENTILAN	Q (CFM)	POTENCIA		TRABAJO Hrs/Día	INSTALACION FECHA	MANTENIMIENTO PROGRAMADO	
						HP	Kw				
1	18	Impelente	Nivel 18	Taller diésel	9 000	35	26	24	feb-21	feb-22	
2	20	Impelente	Sill 650	PoMorín	5 200	20	15	24	jul-21	jul-22	
3	22	Impelente	Acceso 455	Corte 455	25 000	70	52	24	ener-20	mar-22	
4	25	Impelente	Frente a corte 485	Frente rampa 2	25 000	70	52	24	jun-21	jun-22	
5	25	Impelente	Base chimenea nv 25 R. 1	Rampa 1250	25 000	70	52	24	jun-21	jun-22	
6	25	Impelente	Rampa 2 acceso 360	Corte 290	25 000	70	52	24	nov-19	nov-22	
7	25	Impelente	Rampa 2 corte 485	Sill 500	9 000	35	26	24	dic-19	dic-22	
8	25	Impelente	Apique Bolivia	Apique Bolivia	9 000	35	26	24	ene-20	ene-22	
9	25	Impelente	Rampa 1	Cruzada 710	8 000	25	19	24	jul-21	jul-22	
10	38	Impelente	Nivel 38 norte	Apique 1100	8 000	25	19	24	abr-21	abr-22	
11	38	Impelente	Nivel 38 (bypass)	Nivel 38	8 000	25	19	24	abr-20	abr-20	
TOTAL					156.200	480	358	264			
VENTILADORES EN MANTENIMIENTO/STAND BY											
ITEM	NIVEL	TIPO DE VENTILADOR	MINA	LABORES QUE VENTILAN	Q (CFM)	POTENCIA		TRABAJO Hrs/Día	INSTALACION FECHA	MANTENIMIENTO PROGRAMADO	
						HP	Kw				
1		Extractor	Silencio		60000	150	112	0			
2		Extractor	Silencio		60 000	150	112	0			
3		Extractor	Silencio		40 000	150	112	0			
4		Impelente	Silencio		9 000	34	25	0			
5		Extractor	Silencio		40 000	150	112	0			
6		Impelente	Silencio		20 000	40	30	0			
Ventiladores operativos			13								
Ventiladores en stand by			3								
Ventiladores en mantenimiento			3								
TOTAL			19								

## ANEXO 6 CALIBRACION DE EQUIPOS DE MONITOREO

CALIBRACION DE EQUIPOS DE MONITOREO									
ITEM	EQUIPO	CANT	MARCA	MODELO	PARÁMETROS	ESTADO	FECHA ADQUISICIÓN	PROXIMA CALIBRACIÓN	OBSERVACIONES
1	Termohipro anemómetro digital	4	Kestrel	5200	Velocidad del aire Caudal Temperatura Humedad	Operativo	2018	Mayo 2022 y Agosto 2022	Ninguna
2	Sonómetro	1	Flus	ET-956	Potencia acústica	Operativo	2018	feb-22	Ninguna
3	Manómetro diferencial	2	Xtech	HD-750	Presión Velocidad de aire Caudal	Operativo	2018	jul-22	Ninguna
4	Multidetector de gases	4	Dragger	X-am-5600	O2, H2S, CO, CO2, NO2	Operativo	2019	febrero 2022 y junio 2022	Ninguna
5	Distanciómetro	1	Leica	D510	Longitud	Operativo	2018	feb-22	Ninguna
6	Psicrómetro	1	Ambient W.	WS-HT350	Temperatura Humedad	Operativo	2017	ene-22	Ninguna
7	Anemómetro-manómetro	1	KIMO	MP210	Velocidad del aire Temperatura Humedad Presión	Inoperativo	2015	Inmediato	Falla en la batería
8	Anemómetro	1	DAVIS	ST 1000	Velocidad del aire	Operativo	2018	jun-22	Ninguna

## ANEXO 7 PLAN DE CONTINGENCIA MINA EL SILENCIO

En caso de suspensión de la ventilación por fallas en el servicio de energía siga los siguientes pasos:

- Conserve la calma, y evite correr
- Protéjase de la presencia de gases y ubíquese en zonas ventiladas.
- De ser necesario utilice el refugio establecido en interior mina
- Espere la orden de evacuación, se debe evacuar todo el personal de la mina, incluyendo al personal encargado de labores de bombeo de las aguas subterráneas
- Utilice las vías de escape establecidas para evacuación.
- La brigada seguirá, de acuerdo con la magnitud de la emergencia, los procedimientos especificados en el Plan de Emergencias.
- Se restringirá el tránsito de vehículos diésel en la mina hasta que la ventilación sea repuesta.
- El área de mantenimiento Eléctrico deberá coordinar la reposición inmediata del fluido eléctrico.
- Al restituirse la ventilación y antes de la entrada del personal, el supervisor o el jefe inmediato debe verificar que las condiciones de la atmósfera al interior de la labor cumplan con las disposiciones del reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas. Sólo después podrá autorizar el ingreso del personal, de lo cual debe quedar evidencia por escrito.

Refugio Minero Silencio			
N°	Ubicación	Capacidad	Autonomía
1	Nivel2 1	60 personas	72 horas



### SISTEMA DE COMUNICACIÓN

Radio: Dentro de la unidad minera El Silencio, no existen en la actualidad equipos de Sistema de comunicación interconectados con teléfonos internos de la Unidad.

Telefonía: Existe una red telefónica habilitada para comunicación desde socavón a superficie y viceversa.

<b>TELEFONO DE EMERGENCIA 6508</b>	
<b>ESTACIONES TELEFONICAS A SUPERFICIE G.C.G</b>	
<b>EXTENSION</b>	<b>UBICACION</b>
841	Taller Mecánico
842	Taller Diesel
843	Taller Eléctrico
844	Oficina OH&S
846	Bocamina Personal
847	Coordinación de Mina
<b>ESTACIONES TELEFONICAS A SOAVÓN G.C. G</b>	
813	Nivel 18 Bodega
815	Zona 5
817	Taller Mecanizado
819	Polvorín
820	Refugio Minero
831	Rampa 1
840	Rampa 2

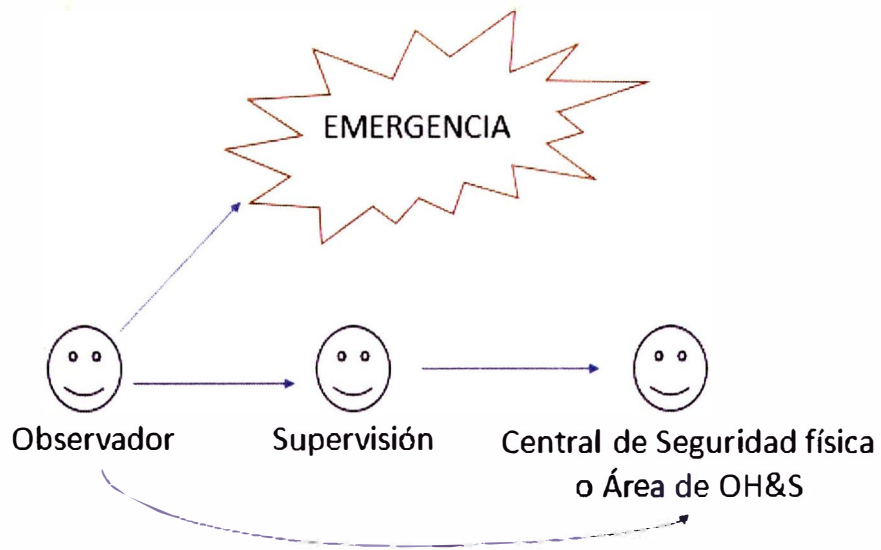
### ELEMENTOS DE INFORMACIÓN Y ALERTA

Existen timbres de emergencia para el sistema de elevación de carga, se cuenta con puntos de emergencia, dotados de extintores, camillas, botiquines de primeros auxilios, cilindros de oxígeno y elementos inmovilizadores; las vías o rutas de escape se encuentran debidamente señalizados. (Ver plano de evacuación).

### ORGANIZACIÓN DE LLAMADAS

En el caso que se detecte cualquier contingencia y/o emergencia dentro de la Unidad de Producción; el sistema de comunicaciones debe de iniciarse de la siguiente manera:

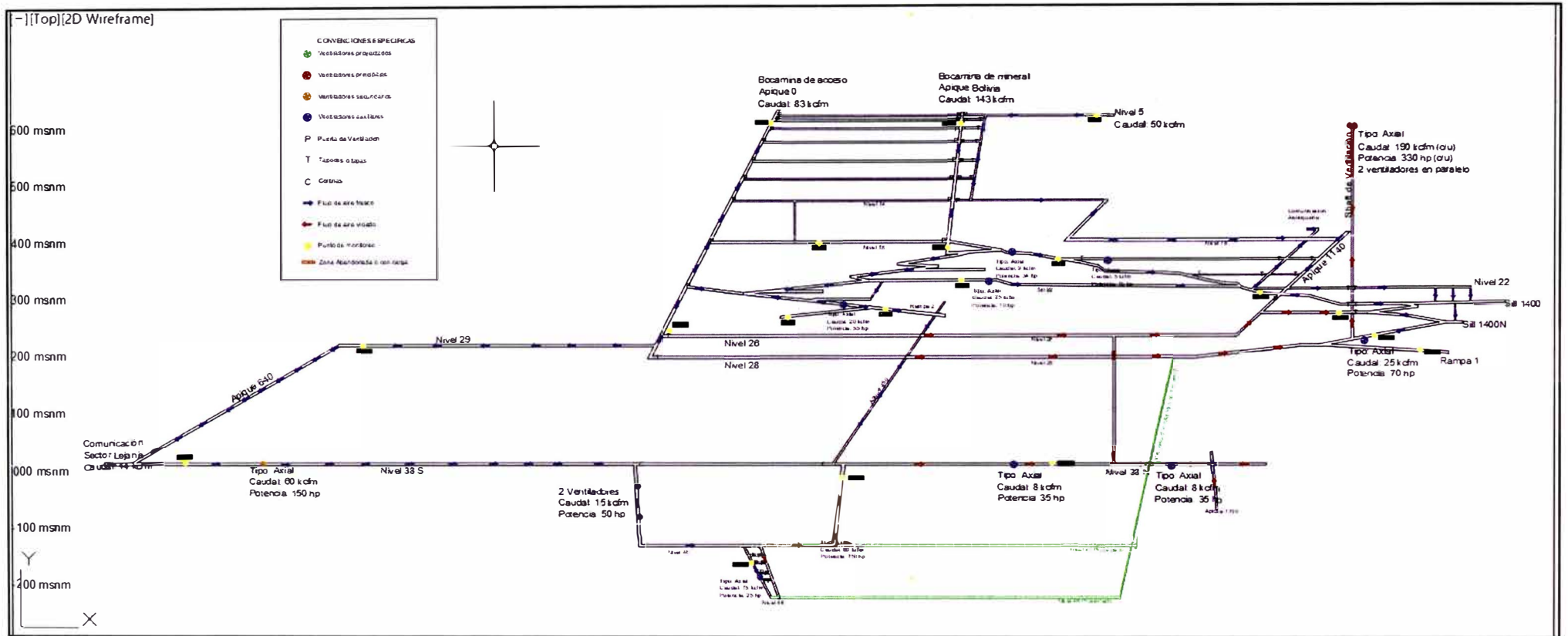






**TELEFONO DE  
EMERGENCIA**

**6508**

# ANEXO 8 PLANO UNIFILAR MINA EL SILENCIO



**ANEXO 9 COMPARACION LEGISLACION COLOMBIANA, PERUANA Y CHILENA**

	<b>LEGISLACION COLOMBIANA Decreto 1886 de 2015</b>	<b>LEGISLACION PERUANA DS- 023-2017-EM</b>	<b>LEGISLACION CHILENA DS- 072</b>
<b>PAIS</b>			
<b>Caudal requerido para personal.</b>	<p><b>Artículo 54.</b> El volumen mínimo de aire que debe circular en cada labor subterránea tiene que calcularse teniendo en cuenta el turno de mayor personal, la elevación de esta sobre el nivel del mar, los gases o vapores nocivos, los gases explosivos e inflamables y los gases producto de voladuras, de acuerdo con los siguientes parámetros:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Hasta 1,500 msnm, 3 m<sup>3</sup>/min por cada trabajador</li> <li>De 1500 msnm en adelante sobre el nivel del mar 6 m<sup>3</sup>/min por cada trabajador.</li> </ol>	<p><b>Artículo 247.</b> e) Cuando las minas se encuentren hasta un mil quinientos (1,500) metros sobre el nivel del mar, en los lugares de trabajo la cantidad mínima de aire necesaria por hombre será de tres (03) metros cúbicos por minuto. En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo con la siguiente escala:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>De 1,500 a 3,000 msnm, aumentará en 40% que será igual a 4 m<sup>3</sup>/min</li> <li>De 3,000 a 4,000 msnm aumentará en 70% que será igual a 5 m<sup>3</sup>/min.</li> <li>Sobre los 4,000 msnm aumentará en 100% que será igual a 6 m<sup>3</sup>/min</li> </ol>	<p><b>Artículo 138.</b> En todos los lugares de la mina, donde acceda personal, el ambiente deberá ventilarse por medio de una corriente de aire fresco, de no menos de tres metros cúbicos por minuto (3 m<sup>3</sup>/min) por persona, en cualquier sitio del interior de la mina. Dicho caudal será regulado tomando en consideración el número de trabajadores, la extensión de las labores, el tipo de maquinaria de combustión interna, las emanaciones naturales de las minas y las secciones de las galerías.</p>
<b>Velocidades del aire permitidas</b>	<b>NO ESPECIFICA</b>	<p><b>Artículo 248.</b> e) En ningún caso la velocidad del aire será menor de veinte (20) metros por minuto ni superior a doscientos cincuenta (250) metros por minuto en las labores de explotación, incluido el desarrollo y preparación. Cuando se emplee explosivo ANFO u otros agentes de voladura, la velocidad del aire no será menor de veinticinco (25) metros por minuto.</p>	<p><b>Artículo 138.</b> Las velocidades, como promedio, no podrán ser mayores de ciento cincuenta metros por minuto (150 m/min.), ni inferiores a quince metros por minuto (15 m/min.).</p>

<p><b>Caudal requerido para equipos diésel</b></p>	<p><b>Artículo 236. Parágrafo 2</b> En las labores mineras subterráneas donde haya transito de maquinaria Diesel (locomotoras, transcargadores, entre otros) debe haber el siguiente volumen de aire por contenido de Monóxido de Carbono (CO) en los gases del exosto:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Seis metros cúbicos 6 m<sup>3</sup>/min por cada caballo de fuerza (HP) de la máquina, cuando el contenido de CO (Monóxido de carbono) en los gases del exosto no sea superior de cero coma doce por ciento (0.12%); o mil doscientas partes por millón (1200 ppm).</li> <li>2. Cuatro metros cúbicos (4 m<sup>3</sup>) por minuto por cada HP de la máquina, cuando el contenido de monóxido de carbono (CO) en los gases del exosto no sea superior de cero coma cero ocho por ciento (0.08%) u ochocientas partes por millón (800 ppm).</li> </ol>	<p><b>Artículo 252.</b> e) El requerimiento de aire para los equipos que operan con motores petroleros no debe ser menor de tres (3) m<sup>3</sup>/min, por la capacidad efectiva de potencia (HPs) y en función a su disponibilidad mecánica y utilización de acuerdo con la evaluación realizada por la titular de actividad minera que considere también la altitud, el calor de los motores y las emisiones de gases y partículas en suspensión.</p>	<p><b>Artículo 132</b> En los frentes de trabajo donde se utilice maquinaria diésel deberá proveerse un incremento de la ventilación necesaria para una óptima operación del equipo y mantener una buena dilución de gases. El caudal de aire necesario por máquina debe ser el especificado por el fabricante. Si no existiese tal especificación, el aire mínimo será de dos coma ochenta y tres metros cúbicos por minuto (2,83 m<sup>3</sup>/min.), por caballo de fuerza efectivo al freno, para máquinas en buenas condiciones de mantención. El caudal de aire necesario para la ventilación de las máquinas diésel debe ser confrontado con el aire requerido para el control de otros contaminantes y decidir su aporte al total del aire de inyección de la mina. De todas maneras, siempre al caudal requerido por equipos diésel, debe ser agregado el caudal de aire calculado según el número de personas trabajando.</p>
<p><b>Evaluaciones integrales de ventilación</b></p>	<p><b>Artículo 35.</b> Toda labor minera subterránea debe tener un plan de ventilación en un termino de seis (6) meses, contados a partir de la publicación del presente reglamento.</p>	<p><b>Artículo 252.</b> Se deben efectuar evaluaciones integrales del sistema de ventilación de una mina subterránea cada semestre y evaluaciones parciales del mismo cada vez que se produzcan conexiones de labores y cambios en los circuitos de aire. Dichas evaluaciones deben ser realizadas por personal especializado en la materia de ventilación. Asimismo, se deben efectuar controles permanentes de ventilación en las labores de exploración, desarrollo, preparación y explotación donde haya personal trabajando.</p>	<p><b>Artículo 139.</b> Se deberá hacer, a lo menos trimestralmente, un aforo de ventilación en las entradas y salidas principales de la mina y, semestralmente, un control general de toda la mina, no tolerándose pérdidas superiores al quince por ciento (15 %). Los resultados obtenidos de estos aforos deberán registrarse y mantenerse disponibles para el Servicio.</p>
<p><b>Cantidad mínima de oxígeno</b></p>	<p><b>Artículo 38.</b> Volumen de oxígeno. Ningún lugar de trabajo bajo tierra puede ser considerado apropiado para trabajar o transitar, si su atmosfera contiene menos de diecinueve coma cinco por ciento (19,5%), o más del veintitrés coma cinco por ciento (23,5%) en volumen de oxígeno.</p>	<p><b>Artículo 246.</b> b) En todas las labores subterráneas se mantendrá una circulación de aire limpio y fresco en cantidad y calidad suficientes de acuerdo con el número de trabajadores, con el total de HPs de los equipos con motores de combustión interna, así como para la dilución de los gases que permitan contar en el ambiente de trabajo con un mínimo de 19.5% de oxígeno.</p>	<p><b>Artículo 144.</b> No se permitirá la ejecución de trabajos en el interior de las minas subterráneas cuya concentración de oxígeno en el aire, en cuanto a peso, sea inferior a diecinueve coma cinco por ciento (19,5%) y concentraciones de gases nocivos superiores a los valores máximos permisibles determinados por la legislación. Si las concentraciones ambientales fueren superiores, será obligatorio retirar al trabajador del área contaminada hasta que las condiciones ambientales retornen a la normalidad, situación que deberá certificar personal calificado y autorizado.</p>

<p><b>Uso de ventilación auxiliar</b></p>	<p><b>NO ESPECIFICA</b></p>	<p><b>Artículo 246</b> f) En labores que posean sólo una vía de acceso y que tengan un avance de más de sesenta (60) metros, es obligatorio el empleo de ventiladores auxiliares. En longitudes de avance menores a sesenta (60) metros se empleará también ventiladores auxiliares sólo cuando las condiciones ambientales así lo exijan. En las labores de desarrollo y preparación se instalará mangas de ventilación a no menos de quince (15) metros del frente de disparo.</p>	<p><b>Artículo 141</b> En las galerías en desarrollo donde se use ventilación auxiliar, el extremo de la tubería no deberá estar a más de treinta metros (30m) de la frente. Para distancias mayores se deberá usar sopladores, venturi o ventiladores adicionales, tanto para hacer llegar el aire del ducto a la frente (sistema impelente) como para hacer llegar los gases y polvo al ducto (sistema aspirante). <b>Artículo 146</b> En las frentes de reconocimiento o desarrollo en donde, por encontrarse a una distancia tal de la corriente ventiladora principal, la aireación de dichos sitios se haga lenta, deberán emplearse tubos ventiladores u otros medios auxiliares adecuados a fin de que se produzca la renovación continua del ambiente.</p>
<p><b>Labores abandonadas o por debajo de los límites máximos permisibles</b></p>	<p><b>Artículo 44</b> Áreas de trabajo abandonadas. Las áreas de trabajo antiguas o abandonadas que no estén ventiladas deberán ser aisladas herméticamente del circuito de ventilación y señalizadas para evitar el tránsito de personal.</p>	<p><b>Artículo 256</b> En las labores mineras subterráneas donde haya liberación de gases o labores abandonadas gaseadas deberán adoptarse las siguientes medidas de seguridad: 1. Contar con equipos de ventilación forzada capaz de diluir los gases a concentraciones por debajo del límite de exposición ocupacional para agentes químicos. 2. Clausurar las labores por medio de puertas o taponés herméticos que impidan el escape de gases y señalizarlos para evitar el ingreso de personas.</p>	<p><b>Artículo 145</b> En toda labor minera que no ha sido ventilada, esté abandonada o se hayan detectado concentraciones de gases nocivos por sobre los límites permisibles, debe ser bloqueado el acceso de personas por medio de tapados de malla o similar, colocando las señales de advertencia correspondientes. En caso de ser necesario acceder a ella, se deberá realizar previamente un análisis exhaustivo tanto de los niveles de oxígeno como de gases nocivos, usándose, si es necesario, equipos autónomos de respiración u otro equipo de respiración aprobado.</p>
<p><b>Ventilación forzada</b></p>	<p><b>Artículo 40</b> <b>Circuito de Ventilación Forzada</b> Toda labor subterránea debe contar con un circuito de ventilación forzada. Dicho circuito debe ser calculado por un tecnólogo de minas, ingeniero de minas, un ingeniero de minas y metalurgia o por un especialista en ventilación de labores subterráneas.</p>	<p><b>Artículo 246</b> f) Cuando la ventilación natural no sea capaz de cumplir con los artículos precedentes, deberá emplearse ventilación mecánica, instalando ventiladores principales, secundarios o auxiliares, según las necesidades.</p>	<p><b>Artículo 137</b> En toda mina subterránea se deberá disponer de circuitos de ventilación, ya sea natural o forzado a objeto de mantener un suministro permanente de aire fresco y retorno del aire viciado.</p>
<p><b>Equipos e instrumentos.</b></p>	<p><b>Artículo 46</b> Equipos de medición de gases. Todas las labores mineras subterráneas deben contar de forma permanente en sus instalaciones, con todos los equipos debidamente calibrados, que permitan la medición de gases, como Metano (porcentaje en volumen o porcentaje LEL), Oxígeno, Monóxido de Carbono, Ácido Sulphídrico, Gases Nitrosos y Bióxido de Carbono.</p>	<p><b>Artículo 252</b> Las evaluaciones de ventilación y mediciones de la calidad del aire se deben hacer con instrumentos adecuados y con calibración vigente para cada necesidad.</p>	<p><b>NO ESPECIFICA</b></p>

<p><b>LMP de equipos diésel</b></p>	<p><b>NO ESPECIFICA</b></p>	<p><b>Artículo 254.</b> En las labores mineras subterráneas donde operan equipos con motores petroleros, deberá adoptarse las siguientes medidas de seguridad:</p> <p>a) Deben estar provistos y diseñados para asegurar que las concentraciones de emisión de gases al ambiente de trabajo sean las mínimas técnicamente posibles y las concentraciones en el ambiente de trabajo se encuentren siempre por debajo del límite de exposición ocupacional para agentes químicos los que se encuentran detallados en el ANEXO 15 del presente reglamento.</p> <p>b) Monitorear y registrar semanalmente las concentraciones de monóxido de carbono en el escape de las máquinas operando en el interior de la mina, las que se deben encontrar por debajo de 500 ppm de CO.</p> <p>c) Monitorear y registrar semanalmente concentraciones de dióxido de nitrógeno, no debiendo superar cien (100) partes por millón de NO<sub>2</sub>.</p>	<p><b>Artículo 135</b> La operación de los equipos diésel en el interior de la mina, se deberá detener al presentarse cualquiera de las siguientes condiciones:</p> <p>a) Cuando las concentraciones ambientales con relación a los contaminantes químicos, en cualquier lugar donde esté trabajando la máquina, exceda de:</p> <table border="0"> <tr> <td>CONTAMINANTE</td> <td>p.p.m.:</td> </tr> <tr> <td>- Monóxido de Carbono</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>- Óxidos de Nitrógeno</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>- Aldehído Fórmico</td> <td>1,6</td> </tr> </table> <p>b) Cuando la concentración de gases, medidos en el escape de la máquina, excedan de dos mil (2,000) partes por millón de monóxido de carbono o de mil (1,000) partes por millón de óxido de nitrógeno.</p>	CONTAMINANTE	p.p.m.:	- Monóxido de Carbono	40	- Óxidos de Nitrógeno	20	- Aldehído Fórmico	1,6
CONTAMINANTE	p.p.m.:										
- Monóxido de Carbono	40										
- Óxidos de Nitrógeno	20										
- Aldehído Fórmico	1,6										
<p><b>Ventilación Primaria</b></p>	<p><b>NO ESPECIFICA</b></p>	<p><b>Artículo 249.</b> Se tomará todas las providencias del caso para evitar el deterioro y paralización de los ventiladores principales. Dichos ventiladores deberán cumplir las siguientes condiciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ser instalados en casetas incombustibles y protegidas contra derrumbes, golpes, explosivos y agentes extraños.</li> <li>2. Tener, por lo menos, dos (02) fuentes independientes de energía eléctrica que, en lo posible, deberán llegar por vías diferentes.</li> <li>3. Estar provistos de silenciadores para minimizar los ruidos en áreas de trabajo o en zonas con poblaciones donde puedan ocasionar perjuicios en la salud de las personas.</li> <li>4. Estar provistos de dispositivos automáticos de alarma para caso de paradas.</li> <li>5. Cumplir estrictamente las especificaciones técnicas dispuestas por el fabricante para el mantenimiento preventivo y correctivo de los ventiladores.</li> </ol>	<p><b>Artículo 149</b> Todo ventilador principal debe estar provisto de un sistema de alarma que alerte de una detención imprevista.</p> <p><b>Artículo 150</b> Los ventiladores, puertas de regulación de caudales, medidores, sistemas de control y otros, deberán estar sujeto a un riguroso plan de mantención, llevándose los respectivos registros.</p>								

# ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN GESTION MINERA

## Tomo No.62

En la Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica, siendo las 20:00 horas del día martes 17 de enero de 2023, se reunieron de manera virtual en la plataforma Meet de Google, los Miembros del Jurado, docentes:

Presidente : Dr. Ing. SANTIAGO GUALBERTO VALVERDE ESPINOZA  
Director(e) de Posgrado : Dr. Ing. ALBERTO LANDAURO ABANTO  
Asesor : M.Sc. Ing. JOSE ANTONIO CORIMANYA MAURICIO  
Especialista 1 : M.Sc. Ing. EFRAIN EUGENIO CASTILLO ALEJOS  
Especialista 2 : M.Sc. Ing. DIONISIO CARDENAS GONZALES

Bajo la Presidencia del **Dr. Ing. Santiago Gualberto Valverde Espinoza**, Decano, procedieron al acto de sustentación de la tesis titulada: "DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE GESTION PARA INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD Y SEGURIDAD DEL SISTEMA DE VENTILACION EN UNA MINA SUBTERRANEA – COLOMBIA".

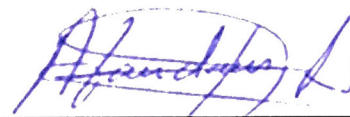
Presentado por el Sr. Ing. **Milton César Rozan Bravo** para obtener el Grado Académico de Maestro en Gestión Minera.

Culminada la exposición, los señores Miembros del Jurado, preguntaron y replicaron al sustentante. Terminado el acto deliberaron entre sí y emitieron la nota en forma secreta e individual, declarándolo ..... *APROBADO CON DISTINGUION* ..... con la nota de *Diecisiete* ..... (17)

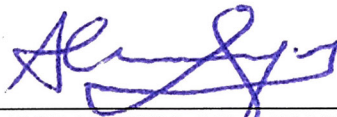
A continuación, el Presidente del Jurado, hizo saber al interesado el resultado de la sustentación, dando por terminado el acto, levantándose el acta por triplicado, que es firmada por los miembros del Jurado.



Dr. Ing. SANTIAGO GUALBERTO VALVERDE ESPINOZA  
Presidente



Dr. Ing. ALBERTO LANDAURO ABANTO  
Director(e) de la Unidad de Posgrado



M.Sc. Ing. JOSE ANTONIO CORIMANYA MAURICIO  
Asesor



M.Sc. Ing. EFRAIN EUGENIO CASTILLO ALEJOS  
Especialista 1



M.Sc. Ing. DIONISIO CARDENAS GONZALES  
Especialista 2

## CONSTANCIA


La Dirección de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica, en aplicación de la Resolución Rectoral N° 1829 de fecha 27 de noviembre de 2017, deja Constancia que la Tesis:

“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE GESTION PARA INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD Y SEGURIDAD DEL SISTEMA DE VENTILACION EN UNA MINA SUBTERRANEA – COLOMBIA”

Presentado por el Señor Milton César Rozan Bravo, identificado con código UNI 20166293B para obtener el Grado de Maestro en Gestión Minera, ha sido analizado con el software de verificación *URKUND* el 21 de noviembre de 2022 generando el informe, obteniendo el nivel de significancia de 8% (ocho por ciento).

Se expide la presente constancia para tramitar la sustentación de la tesis.

Lima, 21 de noviembre de 2022



.....  
**Dr. Ing. Alberto Landauro Abanto**  
**Director (e) Unidad de Posgrado**

Software de verificación *URKUND* autorizado por la Biblioteca Central – CRAI (Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación) de la Universidad Nacional de Ingeniería.



## ANEXO 10



**Ley N° 30035**  
Respositorio Nacional Digital



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
INGENIERIA**

**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN  
ELECTRÓNICA EN EL PORTAL DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL  
DE LA UNI**

**1. DATOS PERSONALES**

Apellidos y nombres: ROZAN BRAVO, MILTON

D.N.I: 40376075

Teléfono casa: -----

celular: 943 065 438

Correos electrónicos: mrozanb@uni.pe

**2. DATOS ACADÉMICOS**

Grado académico: Bachiller

Mención: Ingeniería de Minas

**3. DATOS DE LA TESIS**

Título:

“Diseño e Implementación de un Sistema de Gestión para Incremento de la Productividad y Seguridad del Sistema de Ventilación en una Mina Subterránea-Colombia”

Año de publicación: 2023

A través del presente, autorizo a la Biblioteca Central de la Universidad Nacional de Ingeniería, la publicación electrónica a texto completo en el Repositorio Institucional, el citado título.

Firma:

Fecha de recepción: 16/12/2022

Lima, 28 JUN. 2023

Habiendo la Facultad de: FIGMM

Otorgado el <sup>GRADO</sup> Título de: MAESTRO EN GESTIÓN MINERA

a don: ROZAN BRAVO, MILTON CESAR

Expiadase el Diploma N° 2019-G y archivase:  Tesis

Informe de suficiencia  Informe de Competencia

SECRETARIO GENERAL

