



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

**“PROPUESTA DE ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO  
ENTRE LA AMPLIACIÓN DE UNA CHIMENEA Y UN  
VENTILADOR AXIAL EN UN SUB NIVEL DE UNA MINA  
SUBTERRÁNEA, CAJAMARCA”**

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERO DE MINAS**

**Autor:**

Edinson Fuentes Flores  
Flavian Alexander Silva Diaz

**Asesor:**

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán

Cajamarca – Perú

2018

## APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por los Bachilleres **Edinson Fuentes Flores; Flavian Alexander Silva Diaz**, denominada:

**“PROPUESTA DE ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO ENTRE LA  
AMPLIACIÓN DE UNA CHIMENEA Y UN VENTILADOR AXIAL EN UN SUB  
NIVEL DE UNA MINA SUBTERRÁNEA, CAJAMARCA”**

---

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán  
**ASESOR**

---

Ing. Victor Eduardo Álvarez León  
**JURADO  
PRESIDENTE**

---

Ing. Rafael Napoleón Ocas Boñón  
**JURADO**

---

Ing. Oscar Arturo Vásquez Mendoza  
**JURADO**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por ser mi maestro y guía, agradezco a mis padres, a mis hermanos, por su incondicional apoyo, quienes me enseñaron que el esfuerzo, la perseverancia, la fe y el sacrificio que se realiza a lo largo de la vida, nos permiten hacer realidad los sueños que parecen inalcanzables.

### **Flavian Alexander Silva Diaz**

Esta tesis se la dedico a mis padres, quienes me apoyaron a lo largo de mi aprendizaje, de manera económica e inculcándome valores y ganas de superación con las que cuento hoy en día.

A Dios, ya que, es gracias a él que gozo de buena salud física y mental, que me permitieron culminar con satisfacción la presente tesis.

### **Edinson Fuentes Flores**

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad. Agradecemos a nuestros docentes de la Universidad Privada del Norte por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### Contenido

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	x
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....	13
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....	16
2.1. Antecedentes .....	16
2.1.1. Internacionales.....	16
2.1.2. Nacionales .....	16
2.1.3. Locales.....	18
2.2. Bases teóricas.....	19
2.2.1. Mina subterránea .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.2.2. Yacimiento .....	20
2.2.3. Explotación .....	21
2.2.4. Ejecución de chimeneas en el sistema PEM .....	22
2.2.5. Secuencia operacional.....	31
2.2.6. Análisis de costos de operación de los dos sistemas .....	32
2.2.7. Tipos de ventilación .....	35
2.2.8. Condiciones para instalar un ventilador .....	36
2.2.9. Ventilador centrífugo.....	36
2.2.10. Ventiladores Axiales .....	38
2.2.11. Los problemas más comunes de los ventiladores y sus posibles causas.....	39
2.2.12. Costos fijos .....	40
2.2.13. Costos de operación .....	41
2.2.14. Costos operacionales de ventiladores instalados y la velocidad del aire en mangas .....	42
2.2.15. Disminución de costos dentro de las galerías de la mina .....	43
2.2.16. Disminución de costos en los ventiladores .....	44
2.2.17. Disminución de costos por medidas eléctricas .....	44

2.2.18.	<i>Costo total de ventilación de una mina</i> .....	45
2.3.	Hipótesis .....	45
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA</b> .....		<b>46</b>
3.1.	Operacionalización de variables .....	46
3.2.	Diseño de investigación .....	47
3.3.	Unidad de estudio .....	47
3.4.	Población .....	48
3.5.	Muestra .....	48
3.6.	Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos.....	48
3.7.	Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos .....	49
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS</b> .....		<b>50</b>
4.1.	Análisis técnico del sistema de ventilación actual .....	50
4.1.1.	<i>Velocidad del aire para ventilación</i> .....	50
4.1.2.	<i>Cálculo del caudal de aire en el circuito de ventilación</i> .....	50
4.1.3.	<i>Cálculo del caudal requerido</i> .....	50
4.1.4.	<i>Control del caudal para ventilación</i> .....	51
4.1.5.	<i>Balance del caudal de aire</i> .....	52
4.1.6.	<i>Interpretación del circuito de ventilación</i> .....	54
4.2.	Estudio económico de la ampliación de la chimenea .....	55
4.2.1.	<i>Cálculos técnicos de voladura</i> .....	55
	<i>Factor de Carga Lineal según la ecuación de Calvin Konya</i> .....	56
4.2.2.	<i>Cálculo de burden y espaciamiento</i> .....	57
4.2.3.	<i>Distribución de talado por explosivo</i> .....	58
4.2.4.	<i>Costo de la chimenea 150 por metro lineal</i> .....	60
4.3.	Estudio económico de la compra del ventilador .....	63
4.3.1.	<i>Cálculos de costos de compra del ventilador, mantenimiento del ventilador, costos por consumo de energía eléctrica y costo de mangas de ventilación.</i> .....	63
4.4.	Comparación de costos entre la ampliación de la chimenea y la compra del ventilador.....	65
<b>CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN</b> .....		<b>68</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....		<b>70</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		<b>71</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....		<b>72</b>
<b>ANEXOS</b> .....		<b>73</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 01. REQUERIMIENTOS PARA LA EJECUCIÓN DE CHIMENEAS .....	23
TABLA N° 02. PLATAFORMAS Y ACCESORIOS. (CORREDIZOS, ANCLAJES) .....	24
TABLA N° 03. ESCALERAS METÁLICAS .....	24
TABLA N° 04. PUNTALES DE DESCANSO.....	24
TABLA N° 05. DISPOSICIÓN DE LOS SERVICIOS AUXILIARES .....	25
TABLA N° 06. TALADROS DE SERVICIOS .....	25
TABLA N° 07. EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL.....	27
TABLA N° 08. EQUIPO/ HERRAMIENTAS/ MATERIALES .....	27
TABLA N° 09. PROCEDIMIENTO.....	28
TABLA N° 10. EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (PERFORACIÓN EN CHIMENEAS PEM) .....	28
TABLA N° 11. EQUIPO/ HERRAMIENTAS/ MATERIALES (PERFORACIÓN EN CHIMENEAS PEM) .....	29
TABLA N° 12. PROCEDIMIENTO (PERFORACIÓN EN CHIMENEAS PEM) .....	29
TABLA N° 13. PROCEDIMIENTO (ENCEBADO EN CHIMENEAS PEM) .....	30
TABLA N° 14. PROCEDIMIENTO (VOLADURA EN CHIMENEAS PEM).....	30
TABLA N° 15. PRECIO UNITARIO DE UNA CHIMENEA CONVENCIONAL PEM .....	34
TABLA N° 16. CAPACIDADES Y PRESIÓN ABAJO DE LAS NOMINALES CAUSAS .....	39
TABLA N° 17. VIBRACIONES Y RUIDO CAUSAS .....	39
TABLA N° 18. CUADRO CORRESPONDIENTE A LA CORRECCIÓN DEL CAUDAL POR ALTITUD .....	51
TABLA N° 19. CANTIDAD DE AIRE PARA LOS TRABAJADORES EN EL PRIMER NIVEL .....	51
TABLA N° 20. CANTIDAD DE AIRE QUE SE REQUIERE EN EL PRIMER NIVEL .....	52

TABLA N° 21. CÁLCULO DE REQUERIMIENTO DE AIRE FRESCO .....	53
TABLA N° 22. BALANCE DEL CAUDAL DE AIRE PARA VENTILACIÓN .....	54
TABLA N° 23. DATOS PARA EL CÁLCULO DE DISEÑO DE LA MALLA DE VOLADURA .....	55
TABLA N° 24. DATOS DE LA CHIMENEA .....	60
TABLA N° 25. DATOS DE TRABAJADORES .....	60
TABLA N° 26. COSTO DE MATERIALES .....	60
TABLA N° 27. COSTOS DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS .....	61
TABLA N° 28. COSTOS DE HERRAMIENTAS MANUALES.....	61
TABLA N° 29. COSTO DE EXPLOSIVOS .....	61
TABLA N° 30. COSTO POR DOS DISPAROS AL DÍA .....	61
TABLA N° 31. COSTO DE ACCESORIOS .....	61
TABLA N° 32. COSTO POR METRO LINEAL DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA CHIMENEA ....	62
TABLA N° 33. COSTO DE MANTENIMIENTO DEL VENTILADOR AXIAL .....	63
TABLA N° 34. POTENCIA DEL VENTILADOR EN kW .....	63
TABLA N° 35. COSTO DE LA MANGA DE VENTILACIÓN .....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 01. CHIMENEAS DESARROLLADAS EN H .....	22
FIGURA N° 02. ELEMENTOS DEL SISTEMA PEM .....	25
FIGURA N° 03. CORREDISOS DE METAL .....	26
FIGURA N° 04. ESCALERA DE METAL.....	26
FIGURA N° 05. ANCLAJE DE METAL .....	26
FIGURA N° 06. SECUENCIA OPERACIONAL .....	31
FIGURA N° 07. TIPOS DE VENTILACIÓN.....	35
FIGURA N° 08. LAS CURVAS TÍPICAS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES DE UN VENTILADOR .....	36
FIGURA N° 09. ESQUEMA DE UN VENTILADOR CENTRÍFUGO .....	37
FIGURA N° 10. TIPOS DE VENTILADORES CENTRÍFUGOS .....	37
FIGURA N° 11. ESQUEMA DE VENTILADOR AXIAL .....	38
FIGURA N° 12. PERFORMANCES TÍPICAS DEL VENTILADOR AXIAL .....	39
FIGURA N° 13. DIAGRAMA ISOMÉTRICO CON LA CONSTRUCCIÓN DE LA CHIMENEA .....	62
FIGURA N° 14. DIAGRAMA ISOMÉTRICO CON EL VENTILADOR AXIAL .....	65

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRAFICO N° 01. COSTO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA CHIMENEA .....	65
GRAFICO N° 02. COSTO DE LA COMPRA DEL VENTILADOR, Y ELECTRICIDAD EN UN MES .....	66
GRAFICO N° 03. COSTO DE LA COMPRA DEL VENTILADOR, Y ELECTRICIDAD EN UN AÑO .....	66
GRAFICO N° 04. COSTO DE LA COMPRA DEL VENTILADOR VS LA CONSTRUCCIÓN DE LA CHIMENEA CON EL SISTEMA PEM Y EL COSTO EN 5 AÑOS .....	67

## RESUMEN

La presente tesis lleva por título, “Propuesta de análisis técnico comparativo entre la ampliación de una chimenea y un ventilador axial en un sub nivel de una mina subterránea, Cajamarca”; se realizó con la finalidad de tener un mejor sistema de ventilación en el sub nivel 076 y se tiene como objetivo general realizar el análisis comparativo entre la ampliación de la chimenea y el uso de un ventilador axial. Con el incremento de la producción y la profundidad de la labor subterránea, incrementa también las dificultades de ventilación en la mina subterránea.

El tipo de investigación es no experimental, transversal, descriptivo. En la actualidad el sub nivel 076 necesita de una mejor ventilación, para garantizar un control óptimo de las condiciones en la mina, se hace un seguimiento a través de aforos de los caudales; y de un monitoreo continuo de la atmósfera minera para conocer las concentraciones de gases con el fin de controlar todos aquellos elementos que pongan en peligro la vida de quienes laboran en la mina. Esta investigación permitió el análisis de costos, la ampliación de la chimenea que es de 39 921 soles; la compra de un ventilador, costo de la manga de ventilación, el costo de electricidad y el mantenimiento al año suma la cantidad de 84 330.30 soles.

Se concluyó que al hacer un análisis los dos sistemas de ventilación satisfacen las necesidades de caudal de aire para los trabajadores. En cuanto a la ventilación más adecuada para el sub nivel 076 es la ventilación natural ya que el costo es mucho menor a comparación de la ventilación mecánica. La construcción de la chimenea debe ser con el sistema PEM.

**Palabras claves:** Ventilación, chimenea, ventilador axial, caudal.

## ABSTRACT

This thesis is entitled, "Proposal of comparative technical analysis between the expansion of a chimney and an axial fan in a sub-level, of an underground mine, Cajamarca"; It was carried out in order to have a better ventilation system in sub level 076 and the general objective is to carry out the comparative analysis between the extension of the chimney and the use of an axial fan. With the increase of the production and the depth of the underground work, it also increases the difficulties of ventilation in the underground mine.

The type of research is non-experimental, transversal, and descriptive. At present the sub level 076 needs better ventilation, to guarantee an optimal control of the conditions in the mine, a follow-up is made through the gauging of the flows; and continuous monitoring of the mining atmosphere to know the concentrations of gases in order to control all those elements that endanger the lives of those who work in the mine. This investigation allowed the analysis of costs, the extension of the chimney that is of 39 921 suns; the purchase of a fan, the cost of the ventilation hose, the cost of electricity and maintenance per year add the amount of 84 330.30 suns.

It was concluded that when doing an analysis, the two ventilation systems meet the needs of airflow for workers. As for the most suitable ventilation for sub-level 076 is natural ventilation since the cost is much lower compared to mechanical ventilation. The construction of the chimney must be with the PEM system.

**Keywords:** Ventilation, chimney, axial fan, flow.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Los parámetros necesarios referentes a la ventilación de una mina subterránea, la normativa aplicable a ese tipo de instalaciones, así como los procedimientos e instrumentación básicos para la medida de aforos. Todo ello va encaminado a cuantificar el circuito de ventilación de una mina subterránea para realizar de forma eficiente una modelización de la ventilación. Esta optimización se caracterizará de forma económica eficiente. (Campillos, 2015).

La ventilación de minas es el trabajo que se realiza para lograr el acondicionamiento del aire que circula a través de las labores subterráneas siendo su objetivo principal asegurar un ambiente libre de riesgo, saludable y cómodo para los trabajadores, el cual debe de ser aumentado de manera más eficiente y de menor costo. Por lo tanto, existen varias razones que justifican lograr que el aire que entre a una mina subterránea asegure la renovación de este vital elemento durante el laboreo minero. Para luego garantizar la preservación del oxígeno necesario para la vida de los trabajadores, suprimir los gases tóxicos producidos en las voladuras con explosivos, eliminar la concentración nociva de polvo en suspensión, reducir la temperatura en lugares muy calurosos y aumentarla, si es muy baja, y proporcionar el aire suficiente para el trabajo seguro de los trabajadores por el creciente aumento equipos diésel dentro de las minas. (Sutty, 2016).

Toda actividad minera subterránea requiere de ventilación en el interior de sus labores, los que permitirán suministrar aire en calidad y en cantidad necesaria. La empresa minera requiere evaluar sus costos de ventilación, en la instalación de un ventilador mecánico versus la ampliación de una chimenea y determinar cuál de ellos es más económico y favorable para el sistema de ventilación. El circuito de ventilación funciona mayormente en base a la ventilación natural que llega a las labores (tiro de aire), creados entre dos puntos: iniciales (bocaminas) y finales (chimeneas) corridas cada 50.00 m. en labores horizontales, que comunican de nivel a nivel y/o a superficie. Teniendo en cuenta el grado de precisión que se espera normalmente de los cálculos de ventilación y que las pérdidas locales son en realidad caídas bruscas de la energía cinética del aire, no se consideran en los cálculos las causas de pérdidas de presión, las cuales se recomienda incluirlas sólo cuando la velocidad del aire sea superior a los 200 m/min. Después de la voladura se genera gases y sólidos en suspensión que no permiten a los trabajadores desempeñarse con eficiencia en los trabajos que realizan debido a la profundidad de la mina, a la falta de circuito de ventilación por carencia de puertas de ventilación para su direccionamiento correcto del flujo de aire, alta concentración de gases nocivos. Se estudia el análisis de costos para optar con un sistema de ventilación adecuado y menor costo en la empresa minera. (Carranza, 2015).

## 1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el resultado del análisis comparativo entre la ampliación de una chimenea y el uso de un ventilador axial en una mina subterránea?

## 1.3. Justificación

El análisis técnico económico entre la ampliación de una chimenea 150 versus un ventilador axial, es el objeto de estudio de la presente tesis debido a que, permitirá a la empresa elegir la mejor opción para brindar una ventilación de calidad a los colaboradores, aumentando la eficacia de aire fresco.

En el sistema de ventilación existen conocimientos teóricos y prácticos que nos permiten evaluar los costos de la construcción de una chimenea y los costos de instalación, operación y mantenimiento de ventiladores axiales; muchas veces en el interior mina se han dejado de ejecutar labores porque su ejecución representaba problemas de ventilación en otras labores o porque los el desarrollo de la labor resultaba ser bastante costosas, y en el desarrollo del presente investigación tratamos los costos operacionales del ventilador y el modo de reducir estos costos versus la construcción de una chimenea.

Para lograr este objetivo se presenta información cuantificada sobre cuál opción de ventilación es la más adecuada. Además, este trabajo está orientado a exponer y fortalecer aspectos teóricos y bases del conocimiento en los sistemas de ventilación.

El trabajo se orienta a establecer, mediante un sistema de costos cual es la opción de ventilación más asequible para la empresa. No solo servirá para solucionar un problema dentro de la empresa, sino que también puede servir de base para empresas del mismo rubro minero ya que aporta información cuantificada y estructurada mediante tablas y gráficos.

## 1.4. Limitaciones

- El análisis de la longitud de la chimenea que es de 50 metros.
- Cotización del ventilador axial, ya que solo ese tipo de ventilador utiliza la empresa.

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivo general

- Realizar el análisis comparativo entre la ampliación de la chimenea y el uso de un ventilador axial.

### 1.5.2. Objetivos específicos

- Realizar un análisis técnico del sistema de ventilación actual.

- Analizar el estudio económico de la ampliación de la chimenea.
- Analizar el estudio económico de la compra del ventilador.
- Comparación de costos entre la ampliación de la chimenea y la compra del ventilador.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Internacionales

Según, Carabajo (2015) en su tesis titulada “Diseño del circuito de ventilación de la zona Norte de la mina Cabo de Hornos ubicada en el distrito aurífero- polimetálico Portovelo- Zaruma”, tuvo como objetivo principal demostrar que por el aumento de la humedad que asciende un 86,23%; en algunos sitios (a partir de la cota 500 msnm) se registran la velocidad del aire de (cero) 0 m/s, inconveniente que ocasionaba la recirculación del aire contaminado, aumentando la temperatura y humedad, generando una atmósfera minera saturada de gases y polvo. Por lo tanto, el ingreso (inyección) de aire fresco se realizó a través del decline principal y de la chimenea North Shaft Alimak (Bocamina Ana Michelle), en cuya entrada (a 250 m) se colocó un ventilador marca “El Tigre”, de 150.000 pies cúbicos por minuto (CFM), de fabricación peruana, labores que condujeron, en conjunto, un caudal total de 285 m<sup>3</sup>/s, distribuidos el 25 % por Bocamina Ana Michelle y el 75% por Decline principal.

Para la elaboración de esta tesis el autor utilizó el diseño transversal descriptivo.

El autor concluyó su trabajo señalando que es mejor la extracción de aire viciado a través de chimeneas ya que estas evacúan en su totalidad el aire contaminado.

#### 2.1.2. Nacionales

El estudio de (Charrez, 2015) con título "Alternativa de construcción de chimeneas con el sistema plataforma y escaleras metálicas P.E.M. vs. convencional con puntales de madera, E.E. AESA S.A.C. Mina San Rafael" tuvo como objetivo general demostrar la mejor alternativa para la construcción de chimeneas utilizando el sistema P.E.M y definir las ventajas que representa en la reducción de costos y realizar una excavación más segura y al mejor tiempo posible.

Para la elaboración de esta tesis el autor utilizó diseño experimental descriptivo.

El autor concluye que la secuencia operacional del sistema de plataformas y escaleras metálicas para su mejor ejecución de chimeneas, teniendo en cuenta los PETS y estándares de trabajo. La seguridad se identificó los peligros y riesgos para un mejor control de operación en ejecución de chimeneas, lo cual en la mina San Rafael en el tiempo de ejecución de chimeneas con el sistema PEM no hubo accidentes fatales por ser un sistema seguro versátil y de menor costo. Siendo el

costo de operación con el sistema PEM de sección (1,50 m x 1,50 m) es de 423,88 S/m, y el costo de chimenea convencional con madera de igual sección es de 551,82 S/m (soles por metro). En donde el sistema PEM reduce los costos de operación en S/. 127,94; también la ejecución de chimeneas con el sistema PEM reduce el costo en un 23% en relación a la ejecución de chimeneas con madera.

Según (Campillos, 2015) presentó la tesis “Optimización y modelización del circuito de ventilación de una mina subterránea” se parametrizó una explotación subterránea para modelizar la labor minera y así poder adaptar su circuito de ventilación a nuevas condiciones que se puedan llegar de forma eficiente. Se utilizó los métodos informáticos para la simulación de crear sistema de ventilación eficiente, seguro, barato y en definitiva más eficiente. Por lo que concluyó que cuando se usa un ventilador de 2 kPa, al aumentar la resistencia en algunas ramas mediante telones de ventilación, se consigue aumentar en gran medida el caudal necesario para el nuevo nivel. Además, el uso de un ventilador secundario junto con este ventilador sería aumentar los costes de forma innecesaria ya que se observa que con un ventilador menor se cumplen las necesidades. Y para todos los casos en los que se instala un ventilador secundario y se clausuran ciertas galerías en desuso, se comprueba que se cumplen todas las condiciones tanto de velocidad como de caudal impuestas.

Sutty (2016) demostró en su trabajo de investigación titulada “Influencia de la ventilación mecánica, en el diseño de del sistema de ventilación del nivel 4955 Mina Urano S.A.C. - Puno” que en la operación fue necesaria la colocación de dos ventiladores: un con capacidad de 25000 cfm y el otro de 15000 cfm para cubrir la necesidad de aire, lo cual se instaló en la misma galería; uno en BM y otro a 800 metros de profundidad permitiendo enseriarlo, mediante una cámara de acumulación de aire con capacidad de 75 m<sup>3</sup>.

El autor tuvo un diseño de investigación cuasi experimental descriptivo para elaborar el estudio de investigación.

En cuanto al rendimiento del personal antes de la instalación se realizaba 3 viajes en un tiempo de 3:45 min. Acarreando 13.8 TM, después de la instalación se realiza 4 viajes en un tiempo de 4:10 min, acarreando así 18.4 TM. Aumentando su rendimiento en 4.6 TM/guardia. Y finalmente la instalación del circuito de ventilación se minimizó la reducción del aire viciado.

### 2.1.3. Locales

En (2015), Carranza y Quispe en la investigación titulada “Mejoramiento en el diseño de chimeneas en minería subterránea con el uso del sistema PEM en la unidad de producción Minera Troy S.A.C” tuvo como objetivo principal mejorar el diseño de chimeneas en minería subterránea, con el sistema (PEM), en la unidad de producción minera Troy S.A.C. Demostró que el sistema PEM (plataformas y escaleras metálicas), a comparación del sistema convencional con madera, es mucho más versátil e innovador en labores verticales (chimeneas y piques), dentro de minería subterránea, reduciendo los costos notablemente en la ejecución de chimeneas, se confirmó con cifras reales, que este sistema es de menor costo que el sistema convencional con madera reduciendo los costos hasta un 23% en pocos días de ser implementado. Además, en pocos días incrementó hasta 50 % en la productividad, brindándonos un mayor avance en la ejecución de la obra y por ende mayores ingresos, siendo la instalación y desinstalación no es complicado y no demanda de mucho tiempo ni de mucho personal, por lo que lo hace más práctico y efectivo.

Los autores tuvieron un diseño de investigación no experimental, transversal descriptivo para la investigación que se desarrolló.

Rodríguez (2010) en la tesis titulada "Diseño del sistema de control para la ventilación una mina subterránea usando un controlador AC800M" tuvo como objetivo diseñar un sistema de control de ventilación centralizado con un proceso de inyección de aire para asegurar una atmósfera respirable y segura dentro de la mina subterránea y controlar el caudal de aire en el túnel de salida del ventilador mediante un variador de frecuencia (VDF). Concluyó que la inversión que se realizaría en el equipo propuesto (Ventilador Vane-Axial) para lograr obtener el caudal requerido resultaría ser menor en un 22.2% comparándolo con el caso de continuar con el uso de los ventiladores de baja capacidad. Y con el diseño propuesto se lograría mejorar los estándares de calidad de ventilación de la mina subterránea, proporcionando el caudal necesario, exigido por las normas peruanas establecidas, lo que significa una mejora en las condiciones de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente.

En (2017), Valle presentó la tesis titulada: “Optimización del sistema de ventilación de la mina Charito, Compañía Minera Poderosa S.A.”, cuyo objetivo fue determinar el diseño y método de ventilación más adecuado, para optimizar el sistema de ventilación de la mina Charito, Proyecto Palca - Compañía Minera Poderosa S.A. La mina Charito tiene labores ciegas, por lo que se utiliza ventilación auxiliar. En un inicio el método de ventilación utilizado fue combinada, con dos ventiladores de

10 000 CFM uno instalado como aspirante y el otro como impelente; siendo el principal problema el prolongado tiempo de ventilación para evacuar los gases producto de las voladuras y la necesidad de ventilación en otros puntos de la mina, que no estaban considerados en el sistema. Se argumentó que el sistema de ventilación de la Mina Charito, es muy sensible a los cambios debido a la variación de los puntos de trabajo. Por lo que fue necesario usar ventilación mecánica o forzada desde bocamina, para satisfacer la necesidad en los distintos puntos de trabajo, de acuerdo a la norma del RSSO, el caudal de aire requerido para esta etapa de desarrollo será de un caudal de 241.67 m<sup>3</sup>/min (8,534CFM). En la ventilación se utilizará dos ventiladores enseriados 10 000 CFM cada uno (Airtec), con mangas de 24” de diámetro por 100 m de longitud, el cual inyectará aire limpio desde la bocamina hacia los frentes de trabajo.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Mina subterránea**

#### **2.2.1.1. Ubicación geográfica**

Este yacimiento mineral se encuentra ubicado en Perú, en el departamento de Cajamarca, provincia de Santa Cruz, distrito de Sexi entre 1,800 y 2,300 msnm. Sus accesos: por carretera desde Chiclayo siguiendo la ruta de Chiclayo – Llama – Sexi, 167 km con camino afirmado; También por el distrito de Tongod y Chota.

La empresa minera subterránea tiene las siguientes coordenadas geográficas: El proyecto está ubicado en la vertiente oeste de la cordillera occidental de los andes y a una distancia en línea recta de 78 km. Al N75°E de la ciudad de Chiclayo, en un área comprendida entre el Río Chancay y La Quebrada Cirato. Sus coordenadas UTM representativas son: 713980E y 9267500N (Sector 17), altitud promedio de 2250m.s.n.m.

#### **2.2.1.2. Historia de las actividades**

La unidad de producción minera, ha presentado desde el inicio y a lo largo de estos años la siguiente evolución: la unidad de explotación y producción de la mina, posee estructuras vetiformes de cuarzo, de las cuales las más importantes son las vetas: Diana, Juana Sofía, Milagros, Maribel, Amelia y Rosa Victoria. Los trabajos de exploración geológica a detalle se iniciaron en el año 2000, bajo la Gerencia de CMB después de firmado el contrato de asociación a riesgo compartido con Minera Meridian Perú S.A.C. Entre octubre del 2000 y septiembre del 2001 se realizó una campaña de exploración con trincheras en las vetas Diana, Maribel, Juana

Sofía, Milagros y Amelia. En el año 2002 se inició una campaña de sondajes en las vetas Diana y Maribel. En el año 2004 se descubrieron las vetas Karina y Lesly, además de otras zonas con potencial exploratorio tales como la proyección al sur de la veta Rosa Victoria y la intersección del sistema de vetas Diana con la falla Cirato. En el año 2005 se han realizado trincheras en las vetas Lesly, Karina y Blanca. En septiembre se iniciaron las labores subterráneas donde se reconocieron las vetas Ruth, Diana y Angélica. Para el año 2006 se ejecutarán; labores mineras en el sistema Diana, habiéndose programado un total de 2 350 m de labores mineras en las vetas Diana, Isabel y Angélica. Adicionalmente se realizarán 1 500 m de perforación diamantina en superficie y se explorará en superficie en la veta Rosa Victoria Sur y la intersección de las vetas/falla Diana y Lesly. La empresa minera fue explorada desde la época; “Los derechos mineros que conforman El Proyecto Minero (ubicado en el sector denominado Corral Viejo, distrito de Sexi, provincia de Santa Cruz, Cajamarca) fueron de propiedad de Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. hasta el mes de enero de 2008.

## **2.2.2. Yacimiento**

### **2.2.2.1. Principales avances de explotación**

Sistema de vetas epitermales de baja sulfuración con contenido de oro y plata. Se han definido cinco vetas, de las cuales la veta Diana es la principal con una sección de 380 m con ancho promedio de 2.1 m y contenido promedio de 0.23 oz/TCS de oro y 8.75 oz/TCS de plata. Recurso indicado de 224,516 TCS con ley promedio de 0.53 oz/TCS de oro y 0.51 oz/TCS de plata sobre un ancho de 2 m.

### **2.2.2.2. Geología regional**

Se ubica sobre una secuencia principalmente de rocas volcánicas continentales, de origen lávico y clástico, cuya composición varía de andesitas a riocitas y son conocidas como Formación Llama del Terciario inferior (Miembro inferior del Grupo Calipuy) y Formación Huambos del Terciario superior (J. Wilson y C. Guevara, 1985). La base de la columna litoestratigráfica, está constituida por unidades sedimentarias, representadas por las formaciones Chimú, Inca y Pariatambo del Cretáceo inferior a medio.

### **2.2.2.3. Geología local**

En cuanto a las principales características del basamento rocoso de la zona del proyecto, se evidencian dos eventos tectónicos que han dado lugar al emplazamiento de las unidades estratigráficas existentes. El primer evento tectónico pre-terciario es un movimiento compresivo, que ha provocado el plegamiento de las rocas cretácicas, las cuales fueron erosionadas antes que se depositara la formación Llama de edad terciaria. El segundo evento tectónico es un movimiento de compresión y distensión que originó una falla profunda de rumbo NW - SE, que ha controlado el magmatismo cenozoico.

### **2.2.2.4. Mineralización y geología económica**

El yacimiento está constituido por sistemas de vetas de cuarzos, calcita y baritina con características mineralógicas y termométricas de un sistema tipo epitermal de baja sulfuración. La mineralización está constituida por diseminación de pirita fina con inclusiones de oro, galena y esfalerita, oro libre en cuarzo, hematina; goetita, argentita, sulfosales de plata y óxidos de manganeso. La tipología del cuarzo varía de hialino, blanco, gris y calcedónico, cuya ocurrencia está relacionada a una zonación termométrica. Las texturas de las vetas son del tipo bandeado, crustiforme, brechado, en drusas, relleno de cavidades, pseudomorfos de calcita y baritina. En el proyecto se han definido 6 vetas principales: Diana, Maribel, Rosa Victoria, Amelia, Juana Sofía y Milagros. El sistema de la veta Diana representa hasta ahora la principal zona de exploración, en superficie se ha explorado cerca de 1,5 km de afloramiento donde se ha determinado un segmento de 380 m con 2,20 m de ancho promedio y leyes interesantes de oro y plata, sobre el cual se han perforado 12 sondajes diamantinos con un total de 1 805,25 m, lo que ha permitido calcular recursos geológicos indicados del orden de 200 000 toneladas métricas.

### **2.2.3. Explotación**

Es un yacimiento para desarrollar minería subterránea en vetas tipo rosario; es decir angostas en un lado y anchas en otras y con separaciones en forma de venillas, para la explotación se utiliza el método de corte y relleno convencional con la variante Open Stopping (Cámaras abiertas), que posteriormente permitirá tener un bajo porcentaje de desmonte expuesto a superficie.

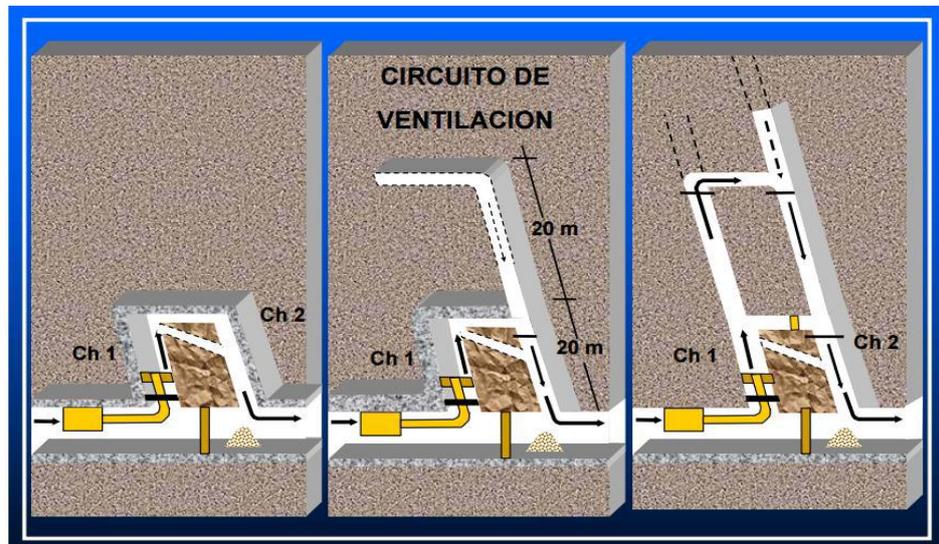
También comprende un prospecto de mineralización de oro (Au), plata (Ag); según la evaluación geológica desarrollada en la fase de exploración se ha determinado

que existen reservas para dar inicio a las actividades de explotación a pequeña escala a través de minería subterránea; de forma paralela se continúa con la exploración a fin de identificar más reservas. La razón de explotación máxima proyectada es de 80 Ton por día (TPD).

#### 2.2.4. Ejecución de chimeneas en el sistema PEM

Para la ejecución de chimeneas de gran altura, deberá hacerse utilizando dos compartimientos independientes, uno para tránsito del personal y otro como echadero o desarrollar chimeneas en “H”, cuyo procedimiento debe hacerse comunicándose subniveles cada 20 metros y contar con una adecuada ventilación auxiliar.

**Figura N° 01 Chimeneas desarrolladas en H**



**Fuente: Elaboración ATR Contratistas S.A.C**

El diseño es específico. En rocas encajonantes: ore pass, wastepass, pilotos de piques o inclinados, chimeneas de preparación sobre vetas, ventilación, servicios, drenajes, arranques en voladura de gran volumen, etc.

El emplazamiento del proyecto debe considerar rocas con un RQD mínimo de 60, cuya equivalencia con el Q de Barton es de 5.91, que la tabla de clasificación del macizo rocoso representa una calidad de roca regular a buena.

El diámetro máximo recomendable de la chimenea debe ser de 2.40 metros, con inclinaciones no mayores a 75°.

En operación se debe contar con dos plataformas, una de trabajo (de perforación) y otra de seguridad, en el cual se colocan tablas en cantidad que va depender de la sección de la labor.

#### 2.2.4.1. Estándares de trabajo para la ejecución de chimeneas con el sistema PEM

**Tabla N° 1: Requerimientos para la ejecución de chimeneas**

Corredizos de fierro angular de 2 ½ *2 ½ *1/8.
Anclajes de fierro corrugado de 1”, de 50cm a 70cm de anclaje fuera de la argolla.
Escaleras metálicas de fierro corrugado de ¾”, tablas
Longitud de barra de perforación de 2, 4, 6 y 8 pies.
Diámetro de broca 36, 38, 41 mm.
Presión de aire de trabajo no menor a 70 PSI.
Presión de agua no menor a 3Kg/cm <sup>2</sup> y con una caudal mínimo de 1 Lt/seg.
Uso de guidores de madera para controlar el paralelismo.
Marcado de malla de perforación.

**Fuente: (Adelino, 2004)**

Sección: 1.5x1.5 m.

La sección se lleva en forma casi rectangular cumpliendo el ancho y el alto de la labor, de acuerdo a la inclinación y dirección indicada por topografía según el proyecto de la labor. (Mediante una voladura controlada se controlará dicha sección, evitando irregularidades en el piso, techo y cajas).

**Tabla N° 2: Plataformas y accesorios. (Corredizos, anclajes)**

Se contará con dos plataformas, de perforación o de trabajo y de seguridad, cada plataforma estará compuesta por dos corredizos y tablas.
Sobre los corredizos se han de colocar entre 3 a 4 tablas atadas a ambos extremos sobre los corredizos.

La plataforma de perforación estará distanciada de la de seguridad a 1,5 mts., y a su vez a una distancia como máximo de 3.00 mts., del frente de perforación.

**Fuente: ATR contratistas S.A.C**

**Tabla N° 3: Escaleras metálicas**

Las escaleras metálicas son colocadas al centro en el piso de la labor.

Las escaleras son dobladas en un extremo formando así un gancho mediante el cual se colocara en los anclajes.

Las escaleras cortan con 8 peldaños separados a 30cm entre sí.

Las escaleras cortan con un ángulo espaciador (del mismo material que la escalera) que será soldada a la mitad de su longitud en ambos parantes, y dar espacio del piso a la escalera para poder sostenerse bien de los peldaños.

**Fuente: ATR contratistas S.A.C**

**Tabla N° 4: Puntales de descanso**

La distancia vertical requerida por seguridad, entre puntales de descanso será de 5.00 m. Se considera la distancia máxima de la luz entre puntal a puntal.

Las patillas para el colocado o topeado de los puntales se hará en roca firme a una profundidad efectiva mínima de 1”.

Sobre los puntales se colocarán tablas tanto en el piso como en el techo (descansos).

**Fuente: ATR contratistas S.A.C**

**Tabla N° 5: Disposición de los servicios auxiliares**

La disposición de los servicios con tubería de agua, aire y ventilación (3ra línea) estarán dentro del espacio formado entre la caja y el puntal, más no dentro del camino.

La tercera línea debe estar a una distancia de 5 m., del tope.

El cordón de seguridad o sogá, deberá ser 1” de diámetro, y estará amarrado a un anclaje y estar en buen estado.

Fuente: ATR contratistas S.A.C

**Tabla N° 6: Taladros de Servicios**

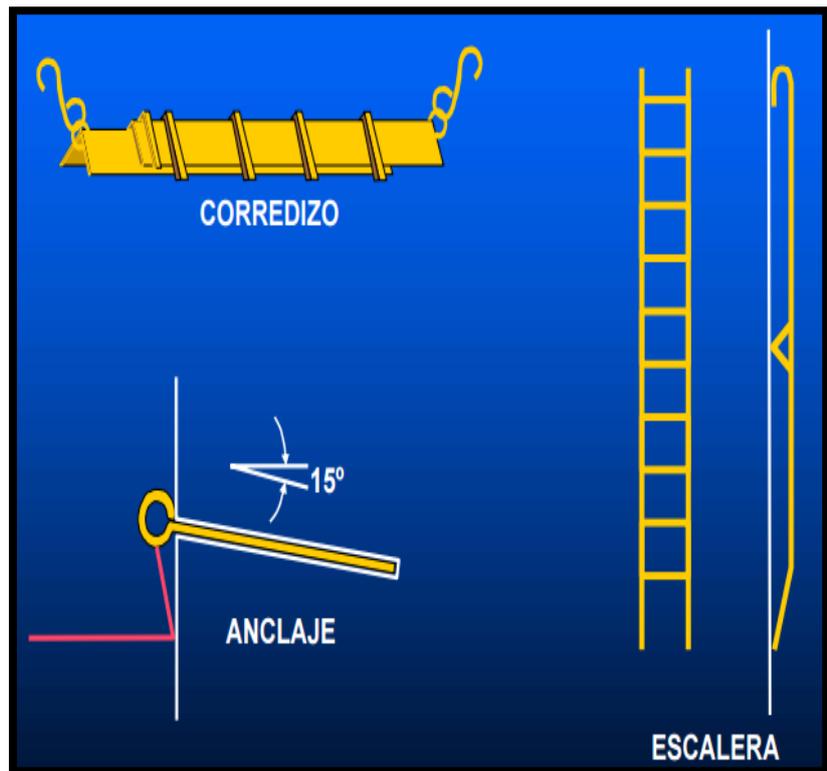
Estos se harán tanto para los anclajes y para las escaleras con una inclinación de 15° por debajo de la horizontal y con una profundidad de 50 a 60cm.

Fuente: ATR contratistas S.A.C

**2.2.4.2. Elementos de sistema PEM**

El sistema comprende los siguientes elementos Metálicos.

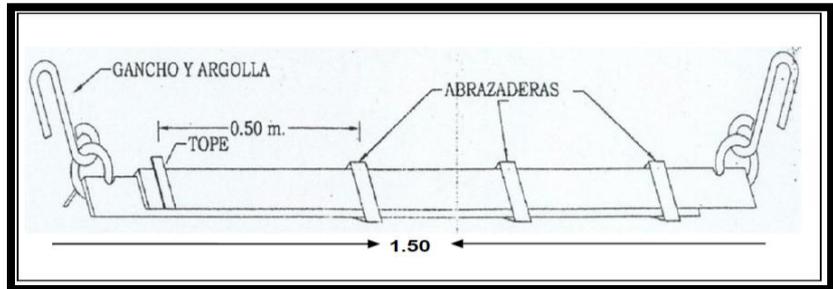
**Figura N° 2: Elementos del Sistema PEM**



Fuente: Elaboración de ATR Contratistas SAC.

Corredizos de una Plataforma Metálica.

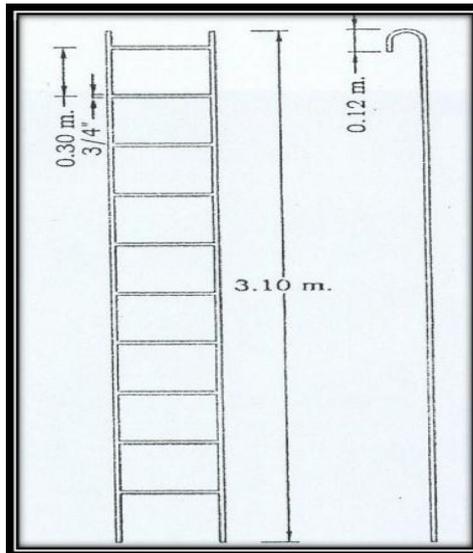
**Figura N° 3: Corredizos de metal**



Fuente: Elaboración de ATR Contratistas SAC.

Escalera Metálica.

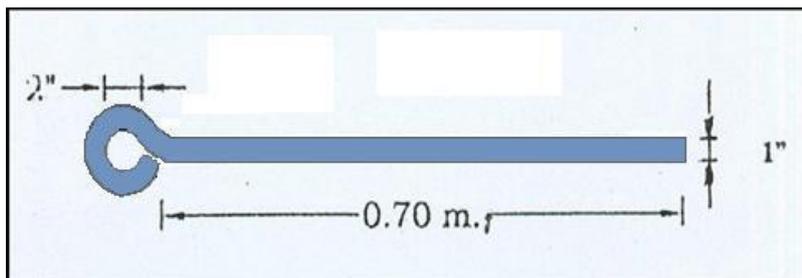
**Figura N° 4: Escalera de metal**



Fuente: Elaboración de ATR Contratistas SAC.

Anclaje Metálico

**Figura N° 5: Anclaje de metal**



Fuente: Elaboración ATR Contratistas SAC.

### 2.2.4.3. Transporte e instalación de la máquina perforadora en chimeneas PEM

**Tabla N° 07: Equipo de protección personal**

Casco tipo sombrero con su respectivo barbiquejo.
Mameluco con cinta reflectiva.
Botas con punta de acero.
Guantes de cuero.
Lentes de seguridad.
Respirador anti polvo.
Protector de oídos.
Correa portalámparas.
Lámpara minera.
Arnés de seguridad con su respectiva línea de anclaje.

**Fuente: (García, 2008)**

**Tabla N° 08: Equipo/herramientas/materiales**

Máquina perforadora con su respectiva barra de avance.
Lubricadora.
Aceite.
Soga de Nylon de 1/2" y/o 3/4".
Cinta Band It.
Equipo de comunicación constante.

**Fuente: (Rosales, 2008)**

**Tabla N° 09: Procedimiento**

Al pie de la chimenea se debe colocar un letrero de “no ingresar hombres trabajando”.
Con la ayuda de la soga se iza la máquina, barra de avance y la lubricadora, hasta la nueva plataforma de trabajo.
Verificar el estado de las tuberías y mangueras de agua y aire, reparar fugas si las hubiera.
Sopletear para eliminar los detritos y conectar a la máquina con las válvulas cerradas usando la cinta Band It.
Verificar el contenido de aceite de la lubricadora, suministrarle la cantidad necesaria en caso estuviese vacía.
Poner los materiales y la soga a buen recaudo.

**Fuente: (Rosales, 2008)**

#### 2.2.4.4. Perforación en chimeneas PEM

**Tabla N° 10: Equipo de protección personal**

Casco tipo sombrero con su respectivo barbiquejo.
Mameluco con cinta reflectiva.
Botas con punta de acero.
Guantes de cuero.
Lentes de seguridad.
Respirador anti polvo.
Protector de oídos.
Ropa de jebe (casaca y pantalón)
Correa portalámparas.
Lámpara minera.

**Fuente: (García, 2008)**

**Tabla N° 11: Equipo/ herramientas/ materiales**

Máquina perforadora (jackleg)
Barrenos de 2', 4' y 6' con sus respectivas brocas.
Gamarrilla.
Flexometro.
Guiadores.
Pintura roja.
Saca barreno.
Saca broca.
Barretillas de Aluminio de 4' y 6'.
Soga de Nylon de ½" y/o ¾".

**Fuente: (López, 2012)**

**Tabla N° 12: Procedimiento**

Revisar y ponerse correctamente su EPP completo.
Ubicar el punto de dirección, inclinación y marcar el trazo de perforación a aplicarse.
Ubicar al alcance el juego de barrenos y herramientas necesarias.
Iniciar la perforación del frente con el patero.
El ayudante debe estar atento a desatar las rocas que puedan haberse movido por efectos de la perforación, desatar inmediatamente si es necesario dejando de perforar.
Completar los taladros con pasadores de 4 y/o 6 pies según sea necesario.
Finalizado la perforación del frente perforar los taladros de servicios con barreno de 2 pies, del tope a 1,5 m. Y con una inclinación no menor de 15°.

A la orden del maestro el ayudante bajara a cerrar las válvulas tanto de aire como de agua.
Desinstalar la máquina, accesorios y ponerlos a buen recaudo.
Bajar el juego de barrenos y colocarlos en porta herramientas.

Fuente: (López, 2012)

#### 2.2.4.5. Encebado en chimeneas PEM

Tabla N° 13: Procedimiento

La zona de trabajo debe reunir las condiciones de seguridad.
El personal debe estar entrenado para este tipo de trabajo.
Los cebos deben prepararse obligatoriamente solo después de terminada la perforación.
Coger las primas y un número igual de cartuchos de dinamita y ubicarse en un lugar separado del resto de los explosivos.
Usar siempre un punzón de madera o cobre para hacer los orificios a los cartuchos.
No usar fulminantes con guía defectuosa ni menor de 7 pies.
No se debe cortar un cartucho que tenga fulminante adentro.
Colocar letrero de peligro.

Fuente: (Ahumada, 2012)

#### 2.2.4.6. Voladura en chimenea PEM

Tabla N° 14: Procedimiento:

El maestro y ayudante deben de subir los explosivos y accesorios que previamente han sido preparados.
Proceder al carguío con ayuda del atacador.
Concluido el carguío se procede al amarre del sistema de encendido, dejando listo para el chispeo.
Desinstalar las plataformas para protegerlos del disparo.

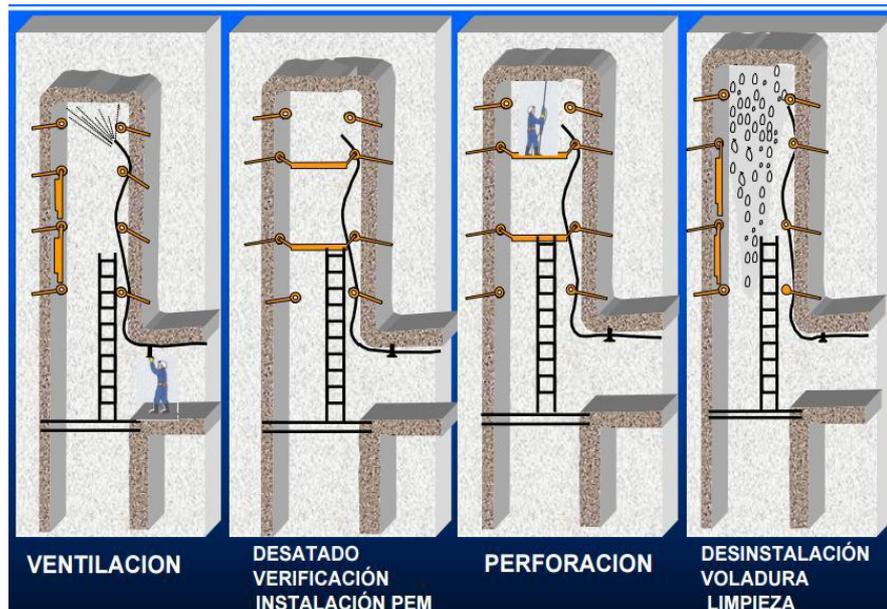
Retirar todo el material sobrante y otros que puedan ser afectados por el disparo.
Realizar orden y limpieza en el pie de la chimenea, dejando cada cosa en un lugar apropiado.
Coordinar con el supervisor y las labores vecinas para la hora del disparo.
Abrir las válvulas del sistema de ventilación auxiliar (tercera línea), luego después del chispeo.

Fuente: (Ahumanda, 2012)

### 2.2.5. Secuencia operacional

El ciclo operativo por guardia, requiere de menos tiempo efectivo de trabajo al prescindir de horas-hombre relativos al empleo de madera.

**Figura Nº 6: Secuencia de Operación**



Fuente: Elaboración ATR Contratistas SAC.

#### 2.2.5.1. Ventilación

Es monitoreada desde el nivel de base o del subnivel correspondiente, mediante una línea auxiliar de aire (tercera línea).

#### 2.2.5.2. Desatado

Una vez concluida y comprobada la ventilación se realizar el desatado de rocas, es importante que esta actividad se realice de manera permanente

durante el ciclo de trabajo, teniendo en cuenta la recomendación de geomecánica y la aplicación de la cartilla geomecánica.

#### **2.2.5.3. Verificación y colocación de los elementos metálicos (plataformas, escaleras y anclajes)**

El supervisor y el personal a cargo de la labor deberán verificar rigurosamente el estado real de los elementos metálicos, corrigiendo o reemplazando los averiados, ocurridos como producto de la voladura realizada. Una vez Inspeccionado los elementos PEM, se procede a fijar los anclajes en los taladros previamente perforados a los costados de la chimenea, para finalmente presentar la nueva posición de las plataformas de trabajo, de seguridad, descansos y escaleras.

#### **2.2.5.4. Perforación**

Esta se inicia con la perforación de un nuevo juego de taladros sub horizontales para los anclajes sujetadores de las plataformas y escaleras (4 para la plataforma y 2 para la escalera con inclinación por debajo de la horizontal  $15^\circ$ ). Luego se realiza la perforación semi- vertical de la chimenea.

#### **2.2.5.5. Voladura**

En esta etapa se emplean un sistema integrado de accesorios no eléctricos, con el inicio desde la base o subnivel de las chimeneas desarrolladas en “H”. Previamente se desinstala todo el juego de plataformas.

#### **2.2.5.6. Limpieza**

La limpieza en el nivel de base se efectúa de inmediato, para evitar obstrucciones en la ventilación, atoramiento o campaneos en el flujo del material roto.

### **2.2.6. Análisis de costos de operación de los dos sistemas**

A continuación se dan a conocer los costos de operación considerando la ejecución de chimeneas con el sistema PEM, utilizados en la actualidad en la mina San Rafael.

#### **2.2.6.1. Método con el sistema PEM**

Equipo: Toyo 280- L.

No de taladros: 15.

Profundidad del taladro: 6' = 1 ,83 m.

Avance: 1 ,55 m.

Sección: 5' x 5' = 1 ,5 x 1 ,5 m.

Tabla N° 15: Precio unitario de una chimenea convencional PEM

PRECIOS UNITARIOS CHIMENEA SISTEMA P.E.M.								
SISTEMA		14 X 07						
PARTIDA:	Chimenea de 5 pies x 5 pies			Rendimiento:	1,40	4,59	mt : pie	
DIMENSIONES:	1,50	x	1,50	Longitud barra:	1,83	6	mt : pie	
UNIDAD DE MEDIDA:	ML			Longitud efectiva:	1,65	5,40	mt: pie	
TIPO DE ROCA:	Buena – Muy buena			Eficiencia voladura:	85%			
TIPO DE MATERIAL:	Desmonte – Mineral			No. taladros perforados	14		tal / frente	
DUREZA DE MATERIAL:	Media			No. Taladros disparados	13		tal / frente	
				Pies perforados 38	75,60		pp / disparo	
				Volumen roto:	3,15		m³ / disparo	
				Tonelaje roto:	8.81		ton / disparo	
				Densidad del material:	2,80		ton / m³	
				Hr/Gdia.	10,50		Hr	
Ítem	DESCRIPCIÓN	Cantidad	Incidenia	Unidad	laboral+BBS	Parcial	Subtotal	TOTAL \$.
1.0	MANO DE OBRA							
	Perforista	1	100%	Tarea	88.71	88.71	63.41	211.95
	Ayudante perforista	1	100%	Tarea	80.34	80.34	57.43	
	Bodeguero	1	10%	Tarea	84.52	8.45	6.04	
	Capataz	1	20%	Tarea	130.55	26.11	18.66	
	Jefe de guardia	1	10%	Tarea	223.10	22.31	15.95	
		3,15						
	DESCRIPCIÓN	Cantidad	Unidad	%Incid.	PU (S/.)	Parcial	Subtotal	
2.00	MATERIALES							
	Barilla de acero de 8"			pp	0.29	-	-	35.07
	Barilla de acero de 6"	225.00	75.60	100%	pp	0.29	21.26	
	Brocas descart. 36 mm	69.15	0.00	100%	pp	0.23	-	
	Brocas descart. 38 mm	64.50	75.60	100%	pp	0.22	16.25	
	Manguera de 1" (100m)	1161.00	50.00	5%	ml	1.29	3.23	
	Manguera de ½ (100m)	771.00	50.00	5%	ml	0.86	2.14	
	Aceite de perforación	24.72	0.25	100%	gal	24.72	6.18	
3.00	IMPLEMENTOS HERRAMIENTAS							
	EPP	3.15		Und	8.11	25.55	18.26	25.84
	Herramientas	5%		Und	211.95	10.60	7.57	
4.00	EQUIPOS							
	Perforación con Jack Leg	84.00		pp	0.35	29.16	20.84	42.48
	Cargador Pemberty	1.00		Gda	2.81	2.81	2.01	
	Equipo PEM	1.00		GLOB	17.48	27.46	19.63	
5.00	EXPLOSIVOS							
	Anfo	13	1.30	kg/tal	100%	2.12	22.05	15.76
	Emulnor de 3000 1x7		13.00	car	100%	0.63	8.19	5.85
	Fanel		13.00	und	100%	3.93	51.09	36.52
	Mecha rápida Z18		0.20	und	100%	1.16	0.23	0.17
	Carmex 2.7		2.00	mt	100%	1.98	3.96	2.83
	Cordón detonante		40.00	mt	100%	0.58	23.20	16.58
	Pentacord							77.71
COSTO DIRECTO								315.34
Costos fijos								49.28
Gastos generales								27.73
Utilidad 10%								31.53
COSTO INDIRECTO								108.54
COSTO TOTAL (Con ANFO) U.S. \$ ML								501.59

Fuente: (Charrez, 2015)

En el grafico podemos observar la diferencia que existe entre el método PEM y el método convencional con madera, el resultado es más que evidente, con el sistema convencional el avance en obra es más lento y ofrece una menor producción, a comparación del sistema PEM (plataformas y escaleras metálicas), que en pocos días casi duplica el avance y por ende la producción.

### 2.2.7. Tipos de ventilación

La ventilación en una mina puede ser de 3 tipos:

#### 2.2.7.1. Aspirante

Aspirando gas a una presión inferior a la atmosférica y comprimiéndola hasta la presión atmosférica.

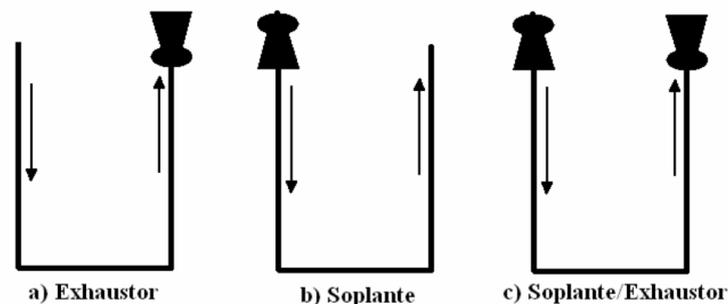
#### 2.2.7.2. Soplante

Aspirando gas a la presión atmosférica y comprimiéndola a mayor presión.

#### 2.2.7.3. Soplante y aspirante

Trabaja al mismo tiempo como las dos anteriores, llamado también combinado.

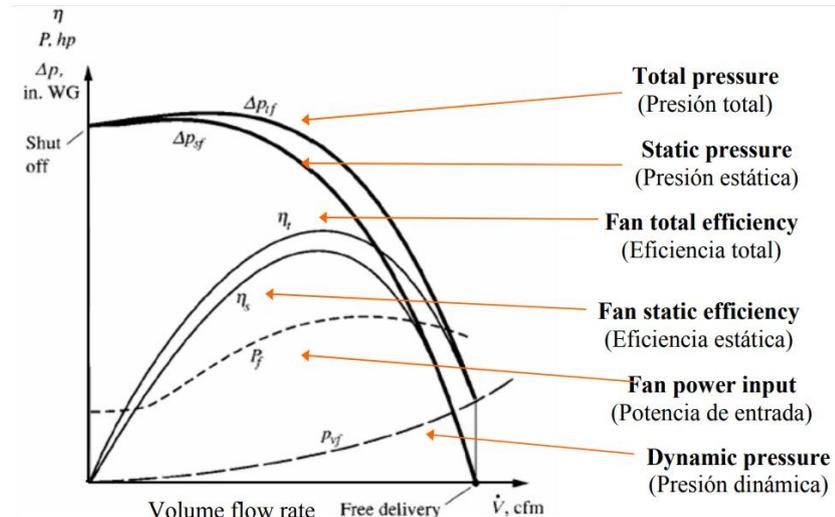
Figura N° 7: Tipos de ventilación



Fuente: (Sutty, 2016)

El ventilador es una turbo máquina cuyo elemento principal es un rotor a través del cual pasa un fluido de forma continua, cambiando este su cantidad de movimiento, proporcionándole un incremento de presión. Los ventiladores se usan principalmente para producir flujo de gases de un punto a otro, también en muchos casos, el gas actúa sólo como medio de transporte de calor, humedad, ó de material sólido como cenizas, polvos, etc.

**Figura N° 08: Las curvas típicas del comportamiento de las variables de un ventilador**



**Fuente: (Sutty, 2016)**

### 2.2.8. Condiciones para instalar un ventilador

Los ventiladores deben ser instalados en casetas incombustibles y protegidos contra derrumbes, golpes, explotación y agentes extraños.

Tener por lo menos dos (2) fuentes independientes de energía eléctrica que, en lo posible, deberán llegar por vías diferentes.

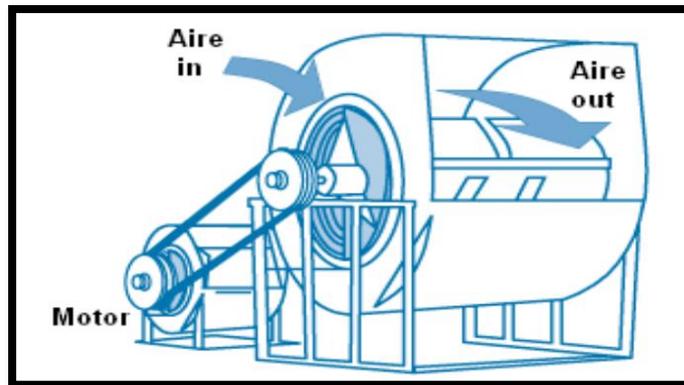
Estar provistos de dispositivos automáticos de alarma para el caso de disminución de velocidad o paradas.

Contar con otras precauciones aconsejables según las condiciones locales para protegerlas.

### 2.2.9. Ventilador centrífugo

Consiste en un rotor encerrado en un envolvente de forma espiral, el aire que entra a través del ojo del rotor paralelo a la flecha del ventilador es succionado y se acelera debido a la fuerza centrífuga y es arrojado contra la envolvente y se descarga por la salida en un ángulo recto a la flecha.

**Figura N° 09: Esquema de un ventilador centrífugo**



Fuente: (Sutty, 2016)

#### 2.2.9.1. Tipos de ventiladores centrífugos

**a) Ventilador con álabes curvados hacia adelante**

Estos ventiladores se caracterizan por su gran número de álabes, tienen un rendimiento bajo, son empleados por el bajo nivel de ruido que presentan.

**b) Ventilador con álabes curvados hacia atrás**

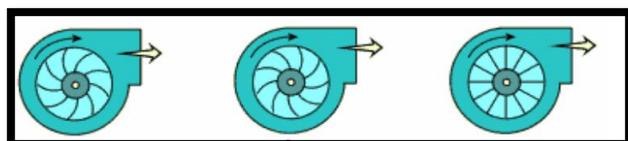
A diferencia de los anteriores tienen mejor rendimiento y el nivel de ruido es bajo.

**c) Ventilador con álabes radiales**

Son mayormente usados por la facilidad con que son eliminados los depósitos sólidos, ya que son menos sensibles a la acumulación de sólidos en las cuchillas.

A continuación se muestra los esquemas de los tipos de ventiladores centrífugos: ventilador con álabes curvados hacia adelante, ventilador con álabes curvados hacia atrás, ventilador con álabes radiales. Y las performances típicas para cada tipo de ventilador centrífugo.

**Figura N° 10: Tipos de ventiladores centrífugos**

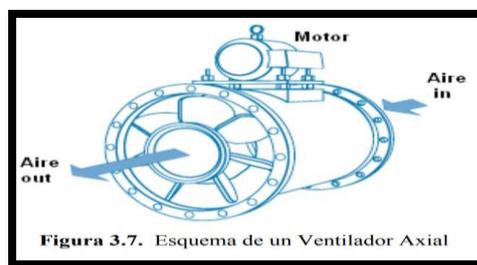


Fuente: (Sutty, 2016)

### 2.2.10. Ventiladores Axiales

En este tipo de ventiladores, el aire ingresa a lo largo del eje del rotor y luego de pasar a través de las aletas del impulsor o hélice es descargado en dirección axial. También se les llama ventiladores de hélice. Ofrece el más alto flujo de aire, su eficiencia esta entre 70 y 80% y son capaces de trabajar a las velocidades más altas, presentan una gama fuerte de inflexión e inestabilidad, producen los niveles más altos de ruidos, son más versátiles y son más baratos. La principal acción del ventilador axial es impartir una aceleración tangencial al aire. Este ventilador consiste esencialmente en una hélice encerrada en una envolvente cilíndrica. Mueven el aire en dirección paralela al eje sobre el que giran las hélices.

**Figura N° 11: Esquema de ventilador axial**



Fuente: (Campillos, 2015)

#### 2.2.10.1. Tipos de ventiladores axiales

##### a) Ventilador con hélice

Consiste en una hélice (impulsor) dentro de un anillo o marco de montaje. La dirección de corriente de aire es paralela a la flecha del ventilador.

##### b) Ventilador tube- axial

El impulsor se encuentra dentro de un tubo para orientar el flujo de aire y mejorar el rendimiento.

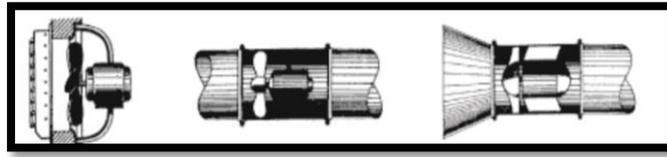
##### c) Ventilador vane- axial

Al igual que el tube-axial excepto por la incorporación de veletas ya sea hacia arriba o abajo del impulsor, se utiliza para reducir la turbulencia y mejorar el rendimiento.

A continuación se muestra, los esquemas de los tipos de ventiladores axiales: ventilador helicoidal, ventilador tube-axial,

ventilador vane-axial. Y tenemos las performances típicas para cada tipo de ventilador axial.

**Figura N° 12: Performances típicas del ventilador axial**



**Fuente: (Campillos, 2015)**

### 2.2.11. Los problemas más comunes de los ventiladores y sus posibles causas

**Tabla N° 16: Capacidades y presión abajo de las nominales causas:**

La resistencia total del sistema es más alta que la calculada.
La velocidad es demasiado baja.
Las compuertas y aspas radiales de entrada no ajustan adecuadamente.
Condiciones insuficientes de entrada o salida.
Filtraciones de aire en el sistema.
Rotor dañado.
Sentido incorrecto de rotación.
Rotor montado al revés en la flecha.

**Fuente: (Campillos, 2015)**

**Tabla N° 17: Vibraciones y ruido Causas:**

Mal alineamiento del rotor.
Base de cimentación inestable.
Materiales extraños sobre el rotor que causan desequilibrio.
Rotor o motor dañados.
Pernos o tornillos fijos, rotos o sueltos.
Rotor o motor desequilibrados.
El ventilador entrega más de la capacidad nominal.
Compuertas o aletas radiales de entrada flojas.
Velocidad demasiado alta o el ventilador gira en dirección errónea.
Vibración transmitida al ventilador desde otro punto o fuente.

Sobrecarga de la fuente motriz Causas:
Velocidad demasiada alta.
Descarga que sobrepasa la capacidad, debido a que la resistencia existente del sistema es más baja que la original nominal.
Densidad del gas por encima del valor de diseño.
Empaque demasiado apretado o defectuoso.
Sentido de rotación erróneo.
Mal alineamiento.
El rotor pega o roza contra la envolvente.
Bobinado del motor defectuoso.

**Fuente: (Campillos, 2015)**

Por las características y ventajas que ofrece el ventilador axial tipo Vane axial es el recomendado para el proceso de ventilación minera, por lo cual el proceso de selección del ventilador estará enfocado en este.

## 2.2.12. Costos fijos

### 2.2.12.1. Dentro de los costos fijos tenemos

El costo de excavación dependerá de la sección a excavar además de su longitud.

Luego el costo total fijo será:

$$C = C_v + C_{ex}$$

C= Costos

C<sub>v</sub>= costo de compra del ventilador

C<sub>ex</sub>= costo de excavación

El costo total fijo es una inversión que debe de retornar en un número de años a un determinado interés anual. El monto de retorno depende principalmente del tiempo de vida del ventilador y de la producción diaria de mineral.

Dentro de los costos fijos el problema es determinar el tamaño óptimo y económico de las galerías, raice boring o piques para el paso del aire, la cual debe cumplir con las siguientes condiciones. Tener las condiciones adecuadas de tipo de roca con la finalidad de no tener problemas en la excavación y disminuir los costos de sostenimiento.

Si fuera una galería se debe precisar las dimensiones, específicamente el alto en función de los equipos que van a perforar y de los que realizaran la limpieza, y sobre este alto calcular el diámetro manga de ventilación adecuada para enviar un volumen de aire requerido en el frente de avance sin que la manga sea dañada por los equipos.

Escoger un ventilador que perita la succión o envío del flujo a una eficiencia no muy costosa si no moderada.

Saber elegir el factor de fricción de la mina a fin de que este no sea tan alto, de lo contrario dará una mayor pérdida de presión de aire.

### **2.2.13. Costos de operación**

El costo de ventilación en su mayor parte es representado por el costo de energía eléctrica consumida.

Los costos de operación son reflejados principalmente por el número de HP en trabajo, consumidos por el motor en Kw, energía que puede ser producida por petróleo o hidroeléctrica y costosa o barata respectivamente. Este costo está regido principalmente por la mayor o menor resistencia que ofrece la mina y por la mayor o menor eficiencia del ventilador.

También son incluidos dentro de los costos operacionales el costo de mantenimiento de los motores y ventiladores, el costo de conservación y mantenimiento mensual y anual de las galerías principales de aire y salida de aire contaminado, además del costo del personal encargado del mantenimiento, regulado, supervisión y de planeamiento de la ventilación de mina.

#### **2.2.13.1. Dentro de los costos de operación tenemos**

El principal factor que influye en los costos operacionales es la resistencia ( $H_f$ ) o caída de presión de una galería, que, a su vez dependen del perímetro, longitud de galería, aspereza de la roca y área de la sección.

La resistencia de la mina va incrementar el consumo de energía de un ventilador, por lo tanto, a mayor resistencia, mayor potencia de

trabajo en BHP (fuerza para vencer todo), mayor consumo de energía y mayores costos operacionales.

$$BHP = \frac{\text{Resistencia} * \text{Caudal de aire}}{6350 * \text{eff. ventilador}}$$

Luego el costo operacional (Co) estará dado por:

$$Co = BHP * \text{Costo energía}$$

### 2.2.13.2. Costo operacional anual de un motor

Para realizar el cálculo es necesario conocer el HP nominal del motor, las horas de trabajo del ventilador al mes y el costo de energía.

Así podemos calcular el costo operacional de un motor ventilador de las siguientes características:

Motor de 190 HP

Motor trabajando unas 634 horas/mes

El costo de energía 0.05US\$/Kw-hr

**Número de horas trabajadas en un año:**

$$\text{Numero de horas} = 634 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} * 12 \text{mes} = 7608 \frac{\text{Hr}}{\text{año}}$$

**Costo de energía:**

$$\text{Costo energía} = 190 \text{Hp} * 0.746 \frac{\text{Kw}}{\text{Hp}} * 0.05 \frac{\text{US\$}}{\text{Kw.Hr}} = 7.087 \frac{\text{US\$}}{\text{Hr}}$$

**Costo de operación anual**

$$Co = 7.087 * 7608 = 53917.896 \text{ US\$}$$

**Costo de operación mensual**

$$Co \text{ mensual} = 53917.896 \text{ US\$} / 12 = 4493.158 \text{ US\$}$$

### 2.2.14. Costos operacionales de ventiladores instalados y la velocidad del aire en mangas

El costo operacional de un circuito de ventilación principal por galerías o de un sistema de ventilación por magas en mina que recorren chocando contra codos de 90° o curvas angulosas en galerías es más costoso operacionalmente que un circuito en galerías o magas rectas, porque hay

que agregar una longitud adicional a la longitud de las mangas por efecto de los choques que ocasionan las curvas de la galería o manga.

El costo operacional de un circuito de ventilación principal es función de la fuerza o energía eléctrica que consume el motor que mueve al ventilador para trasladar un peso de aire desde el ingreso por la boca-mina hasta la salida de la mina.

Para poder ingresar al cálculo del costo operacional de ventilación de ventiladores instalados en mina es importante conocer las ecuaciones de caídas de presión y la ecuación de consumo de fuerza al freno.

$$\text{Resistencia} = \frac{K * W * P * (L + Lc) * v^2}{0.075 * 5.2A}$$

$$BHP_{mina} = \frac{\text{Resistencia} * \text{Caudal de aire}}{6350 * \text{eff. ventilador}}$$

Donde la potencia del motor está definido por:

$$BHP_{mina} = C_k * V^3$$

Que nos dice que conociendo el factor de fricción, densidad del aire, perímetro, longitud y longitud de curvas y la eficiencia del ventilador, el BHP depende de la velocidad al cubo.

Esto dice que a mayor velocidad dentro de la galería o de la manga de ventilación, el consumo de la fuerza eléctrica sube al cubo de la velocidad aplicada al diseño; para enviar un determinado volumen de aire incrementando el consumo y costo de corriente eléctrica por año o por mes.

Se ahí que para transportar al aire, o los gases de los disparos se deben de aplicar velocidades adecuadas entre 2400 a 3000 Ft/m, a fin de no tener mucha resistencia y no tener un excesivo consumo de energía.

#### 2.2.15. Disminución de costos dentro de las galerías de la mina

Usar mejor las ventilaciones naturales durante determinadas horas del trabajo en la mina

Evitando resistencias al flujo de aire en las galerías por donde viaja aire, esto es inspeccionando diariamente en las galerías, chimeneas y piques que no presenten resistencia; como, acumulaciones de materiales, rumas de madera, carros o scoop dejados en la vía principal, es decir que haya retiro de obstáculos.

Hacer circuitos más cortos y de menor resistencia e independientes al instalarlos ventiladores.

Determinar el diámetro más económico de las galerías y chimeneas.  
Saber que duplicar la cantidad de aire pasa por la galería como resultado que se multiplique por 4 la resistencia de esta y consecuentemente los costos.

Usando ventiladores auxiliares en lugares en que se usen equipos diésel en vez de estar haciendo trabajar en este lugar la acción del ventilador principal.

Bajando la cantidad de aire que circula por la mina empleando equipos eléctricos en vez que diésel o bajando la velocidad del aire en determinados tramos de galería por desquiches para reducir la resistencia de la longitud de galería.

#### **2.2.16. Disminución de costos en los ventiladores**

Evitando cambios de dirección del sentido de flujo en curvas de 90° o de pronunciada curvatura que ocasiona pérdidas y mayor consumo de energía para vencer estos.

Mediante la selección del ventilador o del tamaño adecuado de un conducto por el cual pasara un determinado flujo de aire, si compro un ventilador de alta eficiencia su costo es alto e invierto mas capital, pero sus costos operativos por consumo de corriente son bajos. A la inversa, si compro o instalo un ventilador de baja eficiencia, su costo es bajo y necesito poca inversión pero su costo de operación por consumo de corriente será muy elevado.

#### **2.2.17. Disminución de costos por medidas eléctricas**

Un ventilador instalado con un variador de velocidad o con un motor de 2 o 3 velocidades permite tener menores revoluciones y menor volumen de succión en las operaciones de perforación y disparo y puede trabajar en mayores revoluciones después del disparo, en la limpieza, el transporte y extracción del mineral es decir:

Instalando variadores de velocidad o RPM se baja el volumen de succión o de insuflado del ventilador y por ende la resistencia y el BHP y consecuentemente el ahorro de energía.

Midiendo el amperaje, voltaje y factor de potencia en las cajas de arranque de los ventiladores para conocer el consumo de corriente y ver si el círculo de aire al cual asiste el ventilador es altamente resistente por tener un amperaje sobrecargado para ir a mejorar el círculo interno de ella mina.

#### **2.2.18. Costo total de ventilación de una mina**

El costo total anual de ventilación está dado por la amortización anual y el costo de operación anual.

### **2.3. Hipótesis**

El resultado del análisis comparativo determina que la ampliación de la chimenea es el sistema de ventilación de menor costo.

## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

### 3.1. Operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERATIVA	DIMENSIONES	INDICADORES
Sistema de ventilación	Tiene como función principal el suministro de aire fresco con el objeto de lograr condiciones ambientales y termo-ambientales adecuadas para todo el personal que labore en faenas mineras subterráneas, como también para atender la operación de diversos equipos e instalaciones subterráneas.	La construcción de la chimenea se realizara con plataformas y escaleras metálicas, donde la utilización de la madera será en un porcentaje mínimo por ser sistema metálico. El ventilador será utilizado para producir el movimiento del aire en el sub- nivel 076, con presiones estáticas que van de bajas a altas y es capaz de desarrollar mayores presiones estáticas que el ventilador centrífugo a la vez que es mucho más eficiente.	De la chimenea	<ul style="list-style-type: none"> <li>• % O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub></li> <li>• Caudal m<sup>3</sup>/s</li> <li>• Metros.</li> <li>• Velocidad del aire</li> </ul>
			Del ventilador	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kw/h</li> <li>• Caudal m<sup>3</sup>/s</li> <li>• Velocidad del aire</li> <li>• % O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub></li> </ul>

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERATIVA	INDICADORES
Costos	Costos de ampliación para la chimenea con el sistema PEM, y para la compra del ventilador axial de 10000 CFM.	Los costos de la construcción de la chimenea según el sistema PEM, dependen del área de construcción, herramientas, explosivos, perforación, mano de obra, madera, escaleras metálicas, mantenimiento de la perforadora.  Los costos dependen del tipo del ventilador axial, manga del ventilador, instalación, mantenimiento.	El costo será en moneda nacional (Nuevos soles)

### 3.2. Diseño de investigación

La investigación es no experimental, porque no existe manipulación de las variables independientes. Transversal porque los datos se recolectaron en un momento único y el propósito es describir las variables y se analiza los resultados. Descriptivo ya que se analiza e interpreta cada una de las variables para tener un resultado de causa – efecto en un momento específico.

Estudio	T1
M	O

Dónde:

M: Muestra

O: Observación

### 3.3. Unidad de estudio

La construcción de la chimenea con el sistema PEM versus la compra del ventilador axial de 10000 CFM en la mina subterránea.

### 3.4. Población

El sistema de ventilación de una mina subterránea.

### 3.5. Muestra

Sistema de ventilación del sub nivel 076.

### 3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

Se realizó un monitoreo de las principales actividades en sub- nivel 076 ejecutadas para obtener datos específicos como la calidad del macizo rocos, el polvo después de la voladura, la humedad y la corriente de aire que es necesario para la investigación.

Para empezar necesitamos darle solución al sistema de ventilación del sub-nivel 076 para mejorar las condiciones de trabajo por lo consecuente mejorar la producción, revisamos un proyecto de investigación donde realizan el estudio de construcción de chimeneas por el sistema PEM donde los costos de la construcción son menores a los de la construcción de chimeneas por el sistema convencional; otra opción es comprar un ventilador axial de 10000cfm para ventilar el sub- nivel con la cotización más adecuada para la empresa. Con la finalidad de hacer una comparación de costos y elegir la mejor opción para ventilar.

Software de Microsoft Office, donde se utilizaron los programas Word, Excel, para la elaboración del informe y el procesamiento de los datos y el acceso a internet, para la búsqueda de información referencial.

Recursos de oficina, como lápices, lapiceros y papel para el registro de la información durante las entrevistas y el proceso de observación directa. Además, un computador para la elaboración del informe.

Los instrumentos utilizados son los siguientes:

- Flexómetro, para medir las dimensiones del frente de trabajo.
- Cuaderno de apunte, para cálculos matemáticos.
- Anemómetro LUTRON ELECTRONIC ENT. CO., LTD.

Modelo: AM -4206

Serial N°: AF.22414

Es un instrumento digital que sirve para medir la velocidad del aire que ingresa a interior mina así como la temperatura registrada en estos puntos, luego por conversión se lleva al caudal determinado en m<sup>3</sup>/min.

La recopilación de la información se hizo en gabinete y en el campo con la lectura dada por el Anemómetro y con recopilación de planos isométricos de levantamientos anteriores y actualizados. Siguiendo a la beta para la extracción del mineral la profundidad de la mina aumenta, por lo que las necesidades de aire aumentan de acuerdo a la altura de sub- nivel, número de trabajadores, tipo de gases y HPs de las máquinas. Siguiendo la propuesta de la investigación se tomaron mediciones de aire estableciendo los puntos de monitoreo en los dos niveles que actualmente trabaja la mina; en el primer, segundo y tercer nivel. Las mediciones se realizaron progresivamente, tanto de día como de noche, las mediciones de flujo de aire se hicieron en bocaminas, chimeneas, etc.

### **3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos**

Efectuados los cálculos en la oficina de seguridad, en lo referente a velocidades y caudales en cada punto, cálculos de balances por niveles y zona.

Se elaboraron cálculo del caudal de aire requerido, registros de ventilación por nivel, balance del caudal de aire para ventilación por niveles, balance del caudal de aire para ventilación de mina y plano isométrico.

Para determinar la velocidad del aire para la ventilación dentro del circuito se tomaron medidas, lo cual se muestra en los cuadros respectivos adjuntos. Se observa que la velocidad del aire varía en promedio de 16.8 m/min. (Chimenea corta no transitable) a 96 m/min. (Crucero 955 SE, labor principal) en galerías y cruces principales, labores de exploración y desarrollo. La mayor parte del flujo de salida de aire es evacuado por el tercer nivel, donde mayormente existen labores comunicadas a superficie. Además siendo las condiciones termo ambientales en mina el flujo natural de aire en la Mina Los Pircos se ve favorecido por la variable gradiente geotérmica que ofrece permanente existencia de diferencia de temperatura entre las labores subterráneas y la superficie, además que las conexiones a superficie y entre niveles están a diferente altitud, esto permite la renovación continua del aire que es desplazado de las zonas inferiores de la Mina.

El flujo natural del aire varía a lo largo del año, no pudiendo detenerse, ya que nunca la temperatura en el exterior llega a ser igual a la que existe en el interior de la Mina. Este fenómeno se da con los cambios estacionales y también ocurre en el transcurso de un día o entre el día y la noche. En interior mina en general la temperatura mantiene relativa estabilidad durante todo el año, con promedios que van de 15 °C a 24 °C de temperatura media.

Todo esto nos indica que se mantiene durante el año un ambiente templado debido a lo cual la densidad del aire es mayor en la superficie y menor en las labores subterráneas, originándose un tiro natural dirigido desde la bocamina hacia los niveles superiores y hacia la superficie a través de las chimeneas y labores mineras comunicadas.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS

### 4.1. Análisis técnico del sistema de ventilación actual

#### 4.1.1. Velocidad del aire para ventilación

Para determinar la velocidad del aire para la ventilación dentro del circuito se tomaron medidas, lo cual se muestra en los cuadros respectivos adjuntos. De los resultados obtenidos se observa que la velocidad del aire varía en promedio de 16.8 m/min. (Chimenea corta no transitable) a 96 m/min. (Crucero 955 SE, labor principal) en galerías y cruceros principales, labores de exploración y desarrollo.

La mayor parte del flujo de salida de aire es evacuado por el tercer nivel, donde mayormente existen labores comunicadas a superficie.

#### 4.1.2. Cálculo del caudal de aire en el circuito de ventilación

El cálculo se realizó multiplicando la velocidad del aire para ventilación por la sección de la labor, cuyos valores se muestran en los cuadros siguientes.

$$Q = V(m/s) * A(m^2) * 60 = (m^3/min)$$

El flujo natural de aire en la mina se ve favorecido por la variable gradiente geotérmica que ofrece permanente existencia de diferencia de temperatura entre las labores subterráneas y la superficie, además que las conexiones a superficie y entre niveles están a diferente altitud, esto permite la renovación continua del aire que es desplazado de las zonas inferiores de la Mina.

El flujo natural del aire varía a lo largo del año, no pudiendo detenerse, ya que nunca la temperatura en el exterior llega a ser igual a la que existe en el interior de la Mina. Este fenómeno se da con los cambios estacionales y también ocurre en el transcurso de un día o entre el día y la noche.

En interior mina en general la temperatura mantiene relativa estabilidad durante todo el año, con promedios que van de 15 C a 24 °C de temperatura media. Todo esto nos indica que se mantiene durante el año un ambiente templado debido a lo cual la densidad del aire es mayor en la superficie y menor en las labores subterráneas, originándose un tiro natural dirigido desde la bocamina hacia los niveles superiores y hacia la superficie a través de las chimeneas y labores mineras comunicadas.

#### 4.1.3. Cálculo del caudal requerido

Para este cálculo se ha considerado lo estipulado en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería vigente, considerando el 40 % adicional de

“corrección por altura sobre los 1,500 m.s.n.m.”. Para el caso del personal se considera 4 m<sup>3</sup>/min. (Hombre /guardia).

**Tabla N° 18: Cuadro correspondiente a la corrección del caudal por altitud.**

m.s.n.m.	m <sup>3</sup> /min
1500	3
1500 a 3000	4
3000 a 4000	5
> 4000	6

**Elaborado por los investigadores**

**Tabla N° 19: Cantidad de aire para los trabajadores en el primer nivel.**

CANTIDAD DE PERSONAL INGRESANTE AL PRIMER NIVEL		
TOTAL TRABAJADORES	GUARDIA	CAUDAL REQUERIDO (m <sup>3</sup> /min.)
16	2	64

**Elaborado por los investigadores**

#### 4.1.4. Control del caudal para ventilación

Para este control se tomó medidas del caudal en las labores dentro del circuito de ventilación por donde ingresa el aire fresco a la Mina y por donde sale el aire contaminado. Resumen - balance que involucra a los niveles existentes. El ingreso del aire está en + 6.42 % con relación a la salida del mismo, margen dentro del técnicamente en uso general y según menciona el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería que indica que la diferencia de caudales no debe exceder el 10%.

#### 4.1.5. Balance del caudal de aire

Consideramos los niveles en actual operación, donde el personal realiza su labor diaria.

**Tabla N° 20: Cantidad de aire que se requiere en el primer nivel.**

BALANCE DEL CAUDAL DE AIRE POR GUARDIA EN LA MINA					
CONSUMO	TRABAJADORES/ GUARDIA	CAUDAL REQUERIDO (m <sup>3</sup> /min.)	CAUDAL INGRESANTE (m <sup>3</sup> /min.)	CAUDAL SALIENTE (m <sup>3</sup> /min.)	BALANCE %
NIVEL 2050	6	24	994.38	973.53	2.1
NIVEL 2000	18	72	947.64	834.46	11.94
NIVEL 1950	16	64	626.4	595.42	4.94
TOTAL	40	160	2568.42	2403.41	6.42

Elaborado por los investigadores

Se observa que se cuenta con un + 6.42 % por encima del caudal requerido de acuerdo a lo exigido por el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.

**Tabla N° 21: Cálculo de requerimiento de aire fresco**

CALCULO DE REQUERIMIENTO DE AIRE FRESCO	
1 <sup>er</sup> Nivel- 2 <sup>do</sup> Nivel- 3 <sup>er</sup> Nivel	
INGRESE LOS SIGUIENTES DATOS:	
	METROS
Ancho (m)	2.1
Altura (m)	2.4
Altura del arco (m)	0
Área (m <sup>2</sup> )	5.04
Área real	5.04
Perímetro (m)	9
Longitud de la Labor (m)	500
REQUERIMIENTO DE AIRE EN LA MINA	
CAUDAL POR NUMERO DE PERSONAL Y ALTITUD	
Altitud de la mina (m)	2 000
Altitud (m)	2 000
Número de personas que trabajan	40
Caudal (m <sup>3</sup> /min) $Q = N \cdot q \cdot (1 + \%)$	160
CAUDAL PARA LA DILUCION GASES CONTAMINANTES	
Número de labores	9
Explosivo utilizado	D
Caudal (m <sup>3</sup> /min) $Q = A \cdot V \cdot m$	907.2
CAUDAL POR EL NUMERO DE EQUIPOS DIESEL	
Total de HP en equipos	0
Caudal (m <sup>3</sup> /min) $Q = q_e \cdot n$	0
CAUDAL PARA LOGRAR LA TEMPERATURA EFECTIVA	
Veloc. Para lograr T <sup>o</sup> efect. De 30°C (m/min)	20
Caudal (m <sup>3</sup> /min) $Q = A \cdot V_e \cdot m$	907.2
CAUDAL TOTAL (m <sup>3</sup> /min)	
Factor de corrección : 15 % (por fugas de aire)	296.16
CAUDAL DE AIRE FRESCO REQUERIDO (m <sup>3</sup> /min)	
CFM	8 0181.14

**Elaborado por los investigadores**

**Tabla N° 22: Balance del caudal de aire para ventilación**

BALANCE DEL CAUDAL DE AIRE PARA VENTILACIÓN MINA			
INGRESO DEL AIRE		SALIDA DEL AIRE	
LUGAR	Q m <sup>3</sup> /min	LUGAR	Q m <sup>3</sup> /min
NIVEL 2 050	994.38	NIVEL 2 050	973.53
NIVEL 2 000	947.64	NIVEL 2 000	834.46
NIVEL 1 950	626.4	NIVEL 1 950	595.42
<b>TOTAL</b>	<b>2568.42</b>		<b>2403.41</b>
<b>VARIACIÓN</b>	<b>165.01</b>		<b>-165.01</b>
	( + 6.42 %)		( - 6.42 %)

**Elaborado por los investigadores**

El ingreso de aire es de 2568.42 m<sup>3</sup>/min. que significa 90,699.64 pies<sup>3</sup>/min. (CFM) superior a los 80,181.14 pies<sup>3</sup>/min. (CFM).

**4.1.6. Interpretación del circuito de ventilación**

Se dispone de dos ventiladores de 10,000 CFM, se utilizan en cruceros ciegos de este nivel, para lograr una ventilación luego de la voladura.

En el tercer nivel, laboran 6 trabajadores y el aire ingresa por las galerías 978 SE, 114 SE y 985 SE, fluye con dirección SE y NW; en su recorrido sube por las chimeneas 125, 991, 953, 988, 017. 002, 010, todas las chimeneas están comunicadas a superficie; por estas chimeneas ingresa el flujo de aire a los tajos, que ya han sido explotados, también ingresa aire por la Galería 050 cuyo flujo se dirige a los tajos 065, 107, 039. En la parte alta del tercer nivel, ingresa aire por los subniveles 046 y 039. El flujo de aire contaminado sale por las chimeneas comunicadas a superficie y mayormente sale por la bocamina Crucero 910. El recorrido es un típico sistema de ventilación natural en “L” con ligeras variantes. El balance del caudal de aire arroja + 2.10 %.

En el segundo nivel, laboran 18 trabajadores, el flujo de aire ingresa por el Ch. 955 SE, dirigiéndose por la galería principal Gal. 900 y la Galería 543, este flujo sube por las chimeneas de servicios que están habilitadas como son las chimeneas 022, 960. 997, 016, 033. Ingresas aire por el Ch. 454 que llega a la Galería 543, sube por las chimeneas 109 y 446, baja por el Pique 074 y el Pique Inclinado 073. También ingresa aire por la Chimenea Corta 272 de la Gal. 900, el flujo sube por la Chimenea 150.

El balance de caudal está determinado en + 11.94%.

En el primer nivel, laboran 16 trabajadores, el aire proveniente del Cx. 454 y de la Galería 900 ingresa por el Pique 074 y Pique 073 hacia los subniveles 074 y 069, saliendo el aire contaminado por las chimeneas 075 y 069.

Se tendría que disponer de un ventilador de 10,000 CFM ubicado en el Pique 076. Siendo el balance de caudal de aire arroja + 4.94 %.

## 4.2. Estudio económico de la ampliación de la chimenea

**Tabla N° 23: Datos para el cálculo de diseño de la malla de voladura**

Sección de la Chimenea	: 1.5m x 1.5m		
Característica de la roca	: Dura		
Peso Específico de la roca	: 2.5 ton/m <sup>3</sup>		
Se empleara una perforadora	: Stoper		
Longitud del barreno	: 5 pies		
Tipo de arranque	: Corte Quemado		
	Taladros paralelos		
Φ de broca de perforación	: 38 mm		
Eficiencia de operación	: 90%		
Explosivos			
	1 1/8" x 8"	1 1/8" x 8"	1 1/8" x 8"
	SEMEXSA	SEMEXSA	SEMEXSA
Medidas	80%	65%	60%
Peso neto caja(kg)	25	25	25
Densidad del explosivo(g/ )	1.18	1.12	1.08

### 4.2.1. Cálculos técnicos de voladura

#### 4.2.1.1. Cálculo del área de la sección

Área de la Labor = Área cuadrada

$$\text{Área} = (1.5\text{m}) (1.5 \text{ m})$$

$$\text{Área} = 2.25 \text{ m}^2$$

#### 4.2.1.2. Cálculo del número de taladros

$$N^{\circ} \text{ de Taladros} = \frac{4\sqrt{s}}{dt} + ks$$

Valores para la roca de dura: dt= 0.5 y k= 2 (Valores de Tabla)

$$Nro\ tal = \frac{4\sqrt{2.25m^2}}{0.5} + (2)(2.25m^2) = 16$$

Números de taladros son 16 en el frente más 1 taladro de alivio.

Total del número de taladros en el frente = 17.

#### 4.2.1.3. Cálculo de la cantidad de dinamita por disparo (factor de carga lineal)

Factor de Carga Lineal según la ecuación de Calvin Konya

$$dc = \frac{(SG_{explosivo})(D_{taladro})^2(\pi)}{4000}$$

Dónde:

dc = Factor de Carga Lineal (Kg/m)  
 SGexplosivo = Densidad del Explosivo (g/cm<sup>3</sup>)  
 Dtaladro = Diámetro del Taladro (mm)

Como el explosivo de taladros es el Semexsa 65, entonces usamos este explosivo para calcular el factor de carga lineal y posteriormente el **FACTOR DE POTENCIA**.

Factor de Carga Lineal para **SEMEXSA 65**:

#### Datos del Semexsa 65%:

-Densidad: 1.12 g/cm<sup>3</sup>  
 -Φ y longitud del explosivo:  
 28x200mm (1 1/8" x 8")

$$dc = \frac{(1.2g/cm^3)(28mm)^2(\pi)}{4000} = 0.69kg/m$$

#### 4.2.1.4. Cálculo del volumen volado

Vol. volado = (sección del frente)(avance)(eficiencia de perforación)

$$Vol. volado = (2.25m^2)(5\ pies) \left(\frac{0.3048}{1pie}\right) (0.9) = 3.08m^3/disparo$$

Volumen por disparo = 3.08m<sup>3</sup>/disparo

#### 4.2.1.5. Cálculo del total de movimiento de tierra

$$\text{Ton. total} = (\text{volumen volado})(\text{peso específico de la roca})$$

$$\text{Ton. total} = (3.08\text{m}^3) \left( \frac{2.5\text{Tn}}{\text{m}^3} \right) = 7.7 \frac{\text{Ton}}{\text{disparo}}$$

#### 4.2.2. Cálculo de burden y espaciamiento

$$D_h = 38 \text{ mm}$$

dh = diámetro equivalente

N= No hay porque es Corte Quemando, entonces  $D_h = dh = 38 \text{ mm}$

##### 4.2.2.1. Cálculo de todos los Burden's máximos

###### a) Cálculo del Burden 1:

$$B_1 = 1.5 (dh)$$

$$B_1 = 1.5 (3.8\text{cm})$$

$$B_1 = 5.7 = 6\text{cm}$$

###### b) Cálculo de espaciamiento 1:

$$s_1 = B_1 \sqrt{2}$$

$$s_1 = 6\text{cm}(\sqrt{2}) = 8.48 \cong 8.5\text{cm}$$

###### c) Cálculo de Burden 2:

$$B_2 = B_1(\sqrt{2})$$

$$B_2 = 6\text{cm}(\sqrt{2}) = 8.48 \cong 8.5\text{cm}$$

###### d) Cálculo de espaciamiento 2:

$$s_2 = 1.5(B_2)(\sqrt{2})$$

$$s_2 = 1.5(8.5\text{cm})(\sqrt{2})$$

$$s_2 = 18\text{cm}$$

###### e) Cálculo de Burden 3:

$$B_3 = 1.5(B_2)(\sqrt{2})$$

$$B_3 = 1.5(8.5)(\sqrt{2})$$

$$B_3 = 18\text{cm}$$

Este burden tendrá una variación, para mejorar la geometría de la malla de voladura.

**f) Espaciamiento 3:**

$$s_3 = 1.5(B_3)(\sqrt{2})$$

$$s_3 = 1.5(18\text{cm})(\sqrt{2})$$

$$s_3 = 38\text{cm}$$

Este espaciamiento tendrá una variación, para mejorar la geometría de la malla de voladura.

**4.2.3. Distribución de talado por explosivo**

**4.2.3.1. Calculamos la carga de explosivo por cada taladro (para Semexa 65%)**

$$q_{proms65\%} = (d_c)(\text{longitud del taladro neto})$$

Donde:

$D_c$  = factor de carga lineal = 0.69 kg/m

Para este caso consideramos Taco = 0.5m (1/3 de la longitud del taladro)

$$q_{proms65\%} = (0.69\text{kg/m})((5 \times 0.3048) - 0.5\text{m})$$

$$q_{proms65\%} = 0.70\text{kg/taladro}$$

Cálculo de la cantidad de cartuchos

para cada taladro: Datos del cartucho

del SEMEXSA 65%:

Diámetro del cartucho : 28mm (1 1/8")

Longitud del cartucho : 200mm (8")

Densidad del explosivo : 1.12 g/cm<sup>3</sup>

**4.2.3.2. Cálculo de la masa (peso) del SEMEXSA 65%**

$$\text{Área} = \pi r^2$$

Donde:

$r$  = Diámetro del explosivo / 2

Reemplazando:

$$\text{Área} = \pi(1.4\text{cm})^2 = 6.16\text{cm}^2$$

Volumen del cartucho

$$V = LA = \pi r^2(\text{longitud del cartucho})$$

$$V = (6.16\text{cm}^2)(20\text{cm})$$

$$V = 123\text{cm}^3$$

Entonces calculamos la masa (peso) del SEMEXSA 65%:

$$\varphi = \frac{m}{v}$$

Dónde:

$\varphi$  = Densidad del Explosivo

M = Masa del explosivo

v = Volumen del Cartucho

Reemplazando datos en la  
ecuación:

$$\frac{1.12\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{m}{123\text{cm}^3}$$

Despejando, obtenemos la masa:

$$m = \left(\frac{1.12\text{g}}{\text{cm}^3}\right)(123\text{cm}^3)$$

$$m = 138\text{g}/\text{cartucho}$$

Finalmente se calcula los cartuchos por taladro:

*Nro de cartuchos*

$$= \frac{q_{\text{prom s56\%prom}}}{\text{peso del explosivo}}$$

Reemplazando datos:

*Nro de cartuchos*

$$= \frac{0.85\text{kg}}{\frac{138\text{g}}{\text{cartucho}}} \times 100$$

***Nro de cartuchos = 6 cartuchos por taladro***

#### 4.2.3.3. Cálculo del factor de carga

$$Q_{s65\%total} = (q_{prom\ s65\%prom})(\text{número de taladros})$$

$$Q_{s65\%total} = \left(\frac{0.70kg}{\text{taladro}}\right)(17\text{taladros})$$

$$Q_{s65\%total} = \frac{11.9kg}{\text{disparo}}$$

Factor de carga:

$$Fp = \frac{11.7kg/\text{disparo}}{7.7\text{Ton}/\text{disparo}}$$

$$Fp = 1.52kg/\text{ton}$$

#### 4.2.4. Costo de la chimenea 150 por metro lineal

**Tabla N° 24: Datos de la chimenea**

U. M Metros	Altura	Largo	Ancho	Tipo de roca
	50	1.5	1.5	Buena

Elaborado por los investigadores

**Tabla N° 25: Datos de trabajadores**

MANO DE OBRA	HORAS				TOTAL
	PERSONAL	TRABAJADAS	S/ HORA		
Perforista	1	3	15.83		47.49
Ayudante de perforación	1	3	7.5		22.5
Instalados PEM	1	2	9.17		18.34
Ayudante de instalación	1	2	6.04		12.08
Almacenero	1	6	5.42		32.52
Capataz	1	6	11.25		67.5
Supervisor	1	6	27.08		162.48
Prevencioncita	1	6	20.83		124.98
			TOTAL		487.89

Elaborado por los investigadores

**Tabla N° 26: Costos de materiales**

MATERIALES	MEDIDA	UNIDAD	P.U S/.	TOTAL
Acero Estructural	10"X4"	2	36.5	73
Varilla de acero	1/2 "	5	21.8	109
Madera para plataforma	tablas 30cm 1.5m	6	9.8	58.8
Brocas	38mm	3	10.7	32.1

Manguera de 1"	100m	1	35	35
Aceite para máquina de perforación	250 ml	1	35	35
Clavos	2"	1 millar	38	38
			Total	380.9

**Elaborado por los investigadores**

**Tabla N° 27: Costos de equipos**

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PU S/. Día
Perforadora Stoper	Alquilada	1	80
Buggie para construcción	Propio	3	0
TOTAL			80

**Elaborado por los investigadores**

**Tabla N° 28: Costos de herramientas manuales**

HERRAMIENTAS MANUALES	CATIDAD	COSTO	S/. DÍA
Herramientas manuales	5	5.37	26.85
TOTAL			26.85

**Elaborado por los investigadores**

**Tabla N° 29: Costo de explosivos**

Explosivo	%	Dimensión	Kg x		s/ x Cart
			Cart/Caja	Cart	
Semexsa	65	(1 1/8" x 8")	316	0.08	5.06
Exadit	45	(1 1/8"x8")	276	0.08	5.25

**Elaborado por los investigadores**

**Tabla N° 30: Costo por dos disparos al día**

Explosivo	Kg x		TAL/	S/. DÍA	
%	s/ x Cart	Kg x Cart	TALADRO	DISPARO	
Semexsa					
65	5.06	0.08	0.7	32	1 416
TOTAL					1 416

**Elaborado por los investigadores**

**Tabla N° 31: Costo de accesorios**

COSTO DE				
ACCESORIOS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Cordón detónate 3p	M	4.06	0.5	2.03
Fulminante N°6	U	4	0.4	1.6
TOTAL				3.63

Elaborado por los investigadores

**Tabla N° 32: Costo por metro lineal de la construcción de la chimenea**

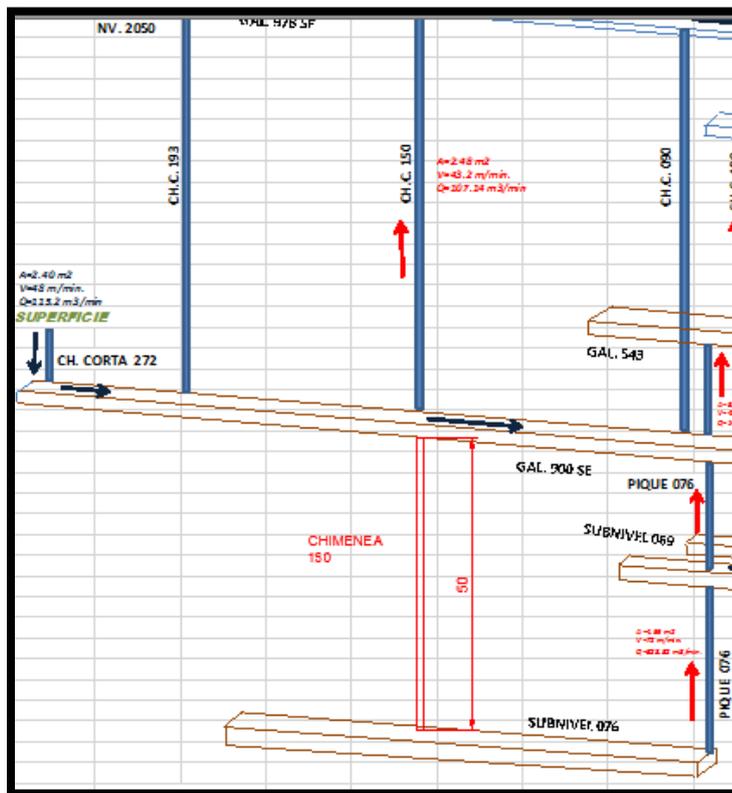
COSTO TOTAL	2395.27
METROS DE AVANCE POR DÍA	3
COSTO DE AVANCE POR M	798.42

Elaborado por los investigadores

La construcción de la chimenea se terminará en 25 días.

Siendo el costo total para la construcción de la chimenea con el Sistema PEM es de 39 921 soles.

**Figura N°13: Diagrama isométrico con la construcción de la chimenea**



Elaborado por los investigadores

#### 4.3. Estudio económico de la compra del ventilador

##### 4.3.1. Cálculos de costos de compra del ventilador, mantenimiento del ventilador, costos por consumo de energía eléctrica y costo de mangas de ventilación.

###### a) Costos fijos para compra del ventilador de 10000 CFM ubicado en el nivel 076.

Tipo de ventilador:

Ventilador Modelo AVM-540 – 350 – 10 1000CFM

Costo en US \$ 5 858.87

Costo de la compra del ventilador (Cv): S/19 334.3

###### b) Costo de mantenimiento del ventilador axial

Todas las semanas durante una hora, un electricista y su ayudante revisan el ventilador y le dan su respectivo mantenimiento, con una incidencia de:

Incidencia:  $(1/8) \cdot (1/6) \cdot 100\% = 2.08\%$

**Tabla N° 33: Costos de mantenimiento del ventilador axial**

COSTOS DE MANTENIMIENTO	US \$
Costo de mano de obra por tarea	63.23
Costo por implemento de seguridad y herramientas	1.52
<b>Total</b>	<b>64.75</b>

**Elaborado por los investigadores**

Para una incidencia de 2.08%/ tarea:

$64.75 \cdot 2.08\% = \text{US\$ } 1.3468 / \text{Día} \cdot 360 = \text{US\$ } 484.848$  en un año.

Tipo de cambio de moneda 3.30 a soles.

Costo de mantenimiento del motor en soles en un año: 1 600.00.

###### c) Costo por consumo de energía eléctrica

Se determina por medio de las potencias de los ventiladores.

**Tabla N° 34: Potencia del ventilador en kW**

Cantidad	Potencia a 2250 m.s.n.m. (HP)	Potencia a 2250 m.s.n.m. (kW)
1	37.56	28.008

**Elaborado por los investigadores**

El costo de la energía es de S/ 1.23 kW/h

Costo de energía: S/ 1.23 /kW -hr \* (28.008 kW -hr) = S/ 34.45 hr.

Diariamente trabajando un promedio de 5 hr.

Costo de energía: S/34.45/hr \* 5 hr/día = S/ 172.25/día

S/ 172.25\*30 =S/ 5 167.5/ mes.

S/ 172.25\*360 = S/ 62 010.00 / año.

**d) Costo por manga de ventilación**

**Tabla N°35: Costo de la manga de ventilación**

Diámetro de man	Metro	Costo US\$ /m	Costo US\$
18"	100	4.2	420
Tipo de cambio	3.3		
Coto total	1386		

**Elaborado por los investigadores**

Calculo de costo anual para comprar el ventilador, costo de mantenimiento, costo de electricidad y el costo de la manga de ventilación.

**e) Resultado de los cotos de la compra de ventilador, mantenimiento, costo de electricidad y costo de las mangas de ventilación**

Calculo de costo al mes y anual para comprar el ventilador, costo de mantenimiento, costo de electricidad y el costo de la manga de ventilación.

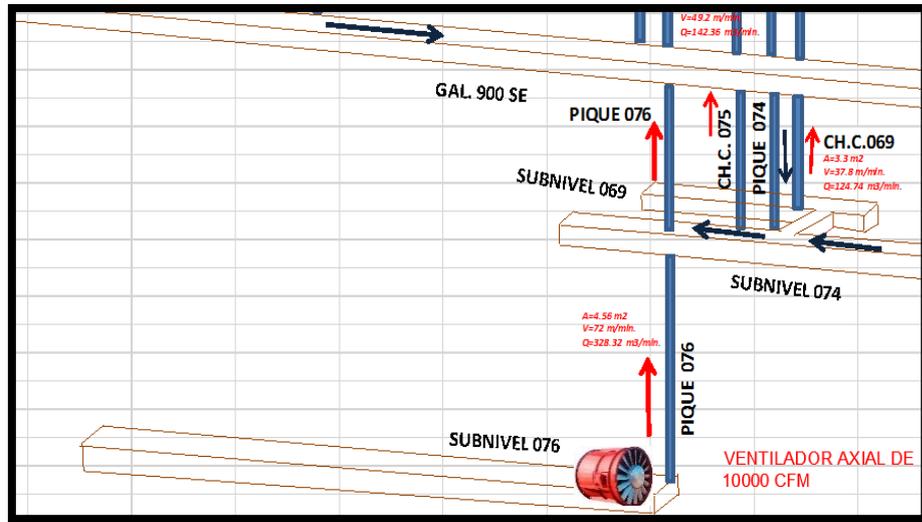
Costo al mes:

**Costo total = 19 334.30 + 133.3 + 5 167.5 + 1 386 = S/ 26 021.1**

Costo al año:

**Costo total = 19 334.30 + 1,600.00 + 62 010.00 + 1386 = S/ 84 330.30**

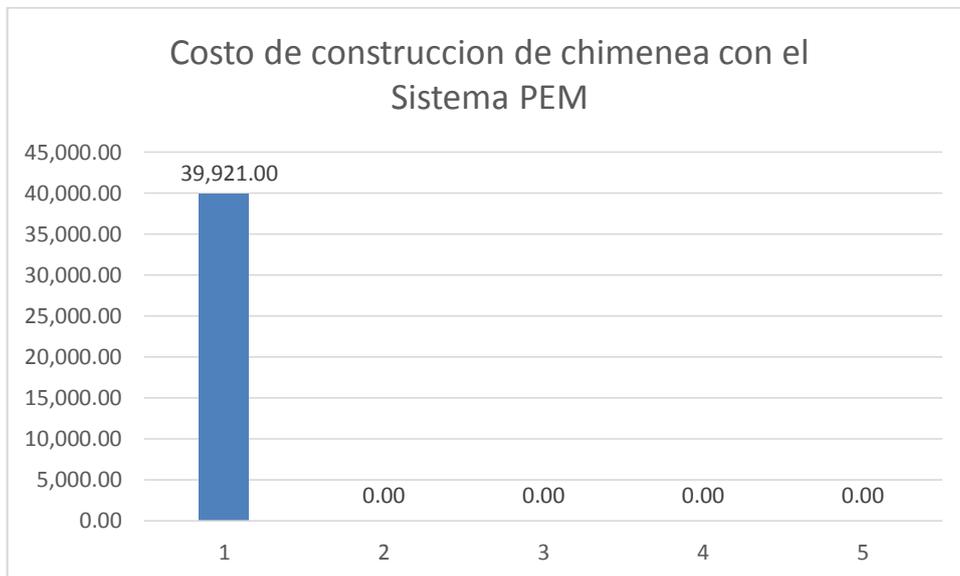
**Figura N°14: Diagrama isométrico con el ventilador axial**



Elaborado por los investigadores

#### 4.4. Comparación de costos entre la ampliación de la chimenea y la compra del ventilador

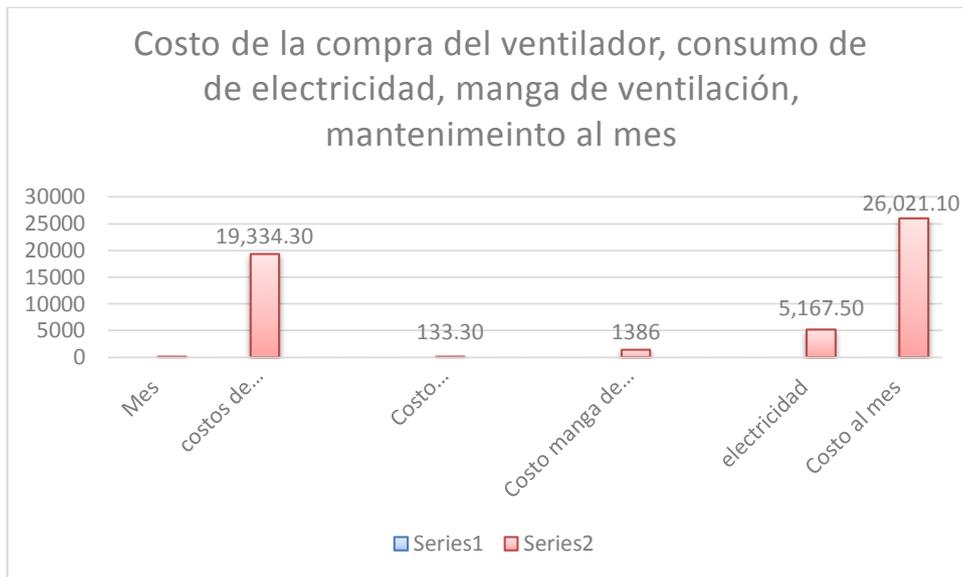
**Gráfico N° 01: Costo de la construcción de la chimenea**



Elaborado por los investigadores

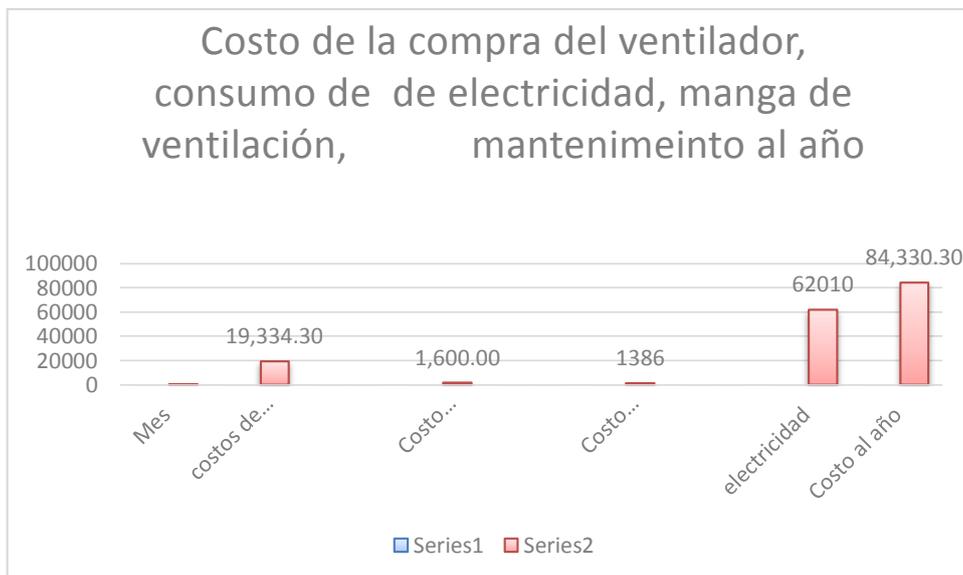
El gráfico representa la construcción de la chimenea, se denota que en el primer mes se termina la construcción de la chimenea y el costo es 39 921 soles.

**Gráfico N° 02: Costo de la compra del ventilador, y electricidad en un mes**



Elaborado por los investigadores

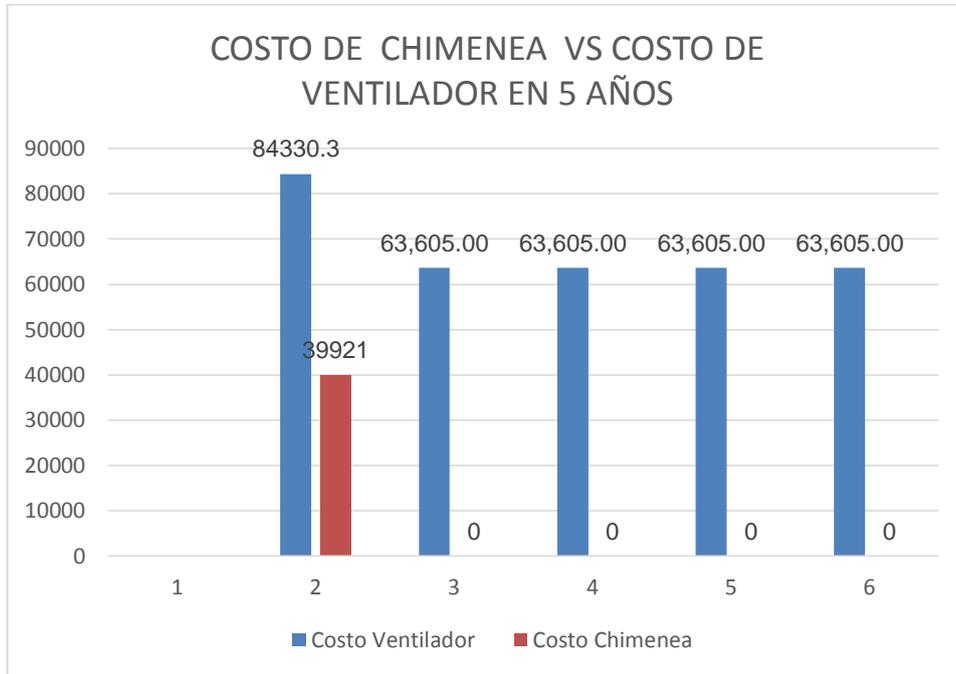
**Gráfico N° 03: Costo de la compra del ventilador, y electricidad en un año**



Elaborado por los investigadores

Los costos son individuales por la adquisición del ventilador, su costo de mantenimiento, el costo de la manga de la ventilación y el costo de la electricidad; se observa que el mayor costo es de la electricidad sumando todos los costos es 84 330.30 soles en un año, para colocar un ventilador en el sub- nivel 076.

**Gráfico N° 04: Costo de la compra del ventilador vs la construcción de la chimenea  
 con el sistema PEM y el costo en 5 años**



**Elaborado por los investigadores**

Se detalla la diferencia de los costos de la construcción de la chimenea con secciones de 1.50m x 1.50m versus la compra del ventilador de 10000 CFM. Además se representa en un rango de 5 años de los cuales los costos de ventilación son menor de la inversión inicial pero el costo sigue ya que el ventilador necesita electricidad para funcionar.

## CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

En la mina subterránea, necesita de una mejor ventilación para el sub-nivel 076, así que se toma en cuenta al número de personas, tipo de gases después de la explotación para encontrar el caudal adecuado para ventilar el sub- nivel. Se hacen los cálculos de costo unitario de la construcción de la chimenea por metro lineal, también se hace el cálculo de costo de la compra del ventilador, mantenimiento, costo de energía eléctrica y costo de manga de ventilación, y se hace una comparación con el fin de determinar los costos de menor inversión para la empresa.

Charrez (2015) en la tesis “Alternativa de construcción de chimeneas con el sistema plataforma y escaleras metálicas P.E.M. vs. Convencional con puntales de madera, E.E. AESA S.A.C. mina San” sostuvo que la secuencia operacional del sistema de plataformas y escaleras metálicas tiene una mejor ejecución de chimeneas, teniendo en cuenta los PETS y estándares de trabajo e identificando los peligros y riesgos para un mejor control de operación en ejecución de chimeneas reduciendo costo en un 23% en relación a la ejecución de chimeneas con madera; eliminando 35,5 metros cúbicos de volumen de madera. Lo cual se demuestra en la tabla N° 17 y tabla N° 18.

Para la construcción de la chimenea con el sistema PEM tiene muchas ventajas que se deben a las condiciones y parámetros de construcción, la chimenea a construir en la empresa minera tiene una distancia de 50 metros, que es la chimenea 150 para conectar con el sub-nivel 076. La construcción se haría en 25 días siendo la ventilación natural óptima para llenar de aire el sub-nivel 076 que se demuestra en la tabla N° 26.

Sutty (2016) en su operación fue necesaria la colocación de dos ventiladores: uno con capacidad de 25000 CFM y el otro de 15000 CFM para cubrir la necesidad de aire, en cuanto al rendimiento del personal antes de la instalación se realizaba 3 viajes en un tiempo de 3:45 min. Acarreando 13.8 TM, después de la instalación se realiza 4 viajes en un tiempo de 4:10 min, acarreando así 18.4 TM. Aumentando su rendimiento en 4.6 TM/guardia. Además con el diseño y la instalación de un circuito de ventilación se minimizó la recirculación de aire viciado en nuestras operaciones.

La ventilación mecánica que es la compra ventilador axial de 10000 CFM, el costo de manga, el costo de mantenimiento y el costo de energía eléctrica sería mucho más eficaz para diluir el aire viciado, extraer gases contaminantes y ventilar después de la voladura pero los costos son más elevados. Disminuyendo el tiempo de ventilar en el frente, habría más horas de trabajo pero no compensa con el costo de la electricidad que se denota en la tabla N° 31.

Los costos más elevados en el sistema de ventilación de la construcción de la chimenea son los explosivos, como la roca es dura o competente según los estudios geomecánicos se necesita un explosivo de mayor densidad en esta investigación evaluamos las dinamitas semexsa 65% que se denota en la tabla N°23 y tabla N°24.

Los costos más elevados en la compra del ventilador es el consumo de energía eléctrica, ya que es necesario para el funcionamiento del ventilador y solo se trabaja 5 horas al día y los cálculos de los costos se denotan en la tabla N° 31.

Demostrando la hipótesis estudiada que la mejor opción de ventilación es la construcción de la chimenea con el sistema PEM ya que el costo es menor al de la compra del ventilador y no hay depreciación como ocurrirían en la compra del ventilador, otro punto importante es que el ventilador funciona con electricidad y siempre será una inversión pero depende del tonelaje de mineral extraído para que sea rentable.

## CONCLUSIONES

- Los dos sistemas de ventilación satisfacen las necesidades de caudal de aire para los trabajadores. En cuanto a la ventilación más adecuada para el sub nivel 076 es la ventilación natural ya que el costo es mucho menor a comparación de la ventilación mecánica. Pero la ventilación mecánica será mejor que la ventilación natural porque evita la recirculación de partículas en suspensión (polvo), y disminuyendo tiempo al ventilar después de la voladura. Pero los costos son muy elevados en cuanto a la energía eléctrica.
- Se concluye que en los niveles en actual operación la velocidad del flujo de aire para ventilación varía en promedio de 24 m/min. a 96 m/min. en labores horizontales y en promedio de 14.4 m/min. (chimenea antigua intransitable) a 90 m/min. en labores verticales. En los niveles en actual operación el caudal de aire para ventilación que ingresa a la Mina varía en promedio de 50.4 m<sup>3</sup>/min. a 512.64 m<sup>3</sup>/min, lo que en el balance del caudal de aire configura ingreso total de 2 568.12 m<sup>3</sup>/min, superior en 6.42 % al requerido por el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, incluso considerando el aumento en 40 % por cada trabajador (4 m<sup>3</sup>/min.) para labores mineras encima de 1 500 m.s.n.m.
- La ampliación de la chimenea 150 puede seguir verticalmente hacia abajo hasta conectar con el sub nivel 076 para obtener ventilación natural, y se hace el estudio de costos para la construcción de la chimenea de 50 metros con el sistema PEM que es de 39 921 soles.
- El costo de adquisición del ventilador, su mantenimiento (costo anual), el costo de electricidad (costo anual), y costo de mangas suma un monto de 84 330.30 soles.
- La inversión que se realizar construir la chimenea es un solo costos siendo de 39 921 soles, en el caso de la adquisición del ventilador axial el costo del primer mes es 26 0121.1 soles, pero por cada mes el costo sigue, por el consumo de electricidad y del mantenimiento, siendo un costo anual de 84 330.30 soles. La diferencia es de 58 309.2 soles al construir la chimenea de 50 metros.

## RECOMENDACIONES

- Utilizar la información analizada para ventilar el sub nivel 076, manteniendo los tajos con dos accesos como mínimo hacia chimeneas para que haya flujo adecuado de aire. Siendo la ampliación de la chimenea el sistema de ventilación más beneficioso.
- Realizar y mantener actualizado el plano isométrico de la mina donde se aprecie las labores horizontales y verticales. En forma permanente el control del flujo de ventilación de los frentes ciegos (de avance) y de áreas de recirculación, aplicando la ventilación mecánica cuando es necesario y ejecutando los trabajos auxiliares necesarios y a tiempo, principalmente en labores del primer nivel.
- Se recomienda a la mina subterránea la construcción de la chimenea, como el sistema de ventilación principal es “Ventilación Natural, sistema en L”, con inicio en bocaminas y configurado por chimeneas y caminos que comunican de nivel a nivel y a superficie. Se remueve el gas tóxico de los frentes ciegos y es recomendable hacer la construcción de la chimenea 150 para seguir la secuencia de ventilación natural.
- Aun no es necesario la compra del ventilador ya que se analizó y se calculó el caudal de aire para el frente de trabajo, el oxígeno es el adecuado para los trabajadores y para diluir los gases y partículas en suspensión.
- Se le recomienda a la empresa gestionar de manera inmediata la construcción de la chimenea, con los estándares de seguridad antes mencionados. Si se hace un control en el transporte de material que se sacará de la chimenea se terminará la construcción en los 25 días con costo indicado en la investigación.

## REFERENCIAS

- Apaza, E. (2017). *Diseño de malla de voladura de una chimenea convencional en roca dura utilizando la ecuación C. Konya para el cálculo del factor de carga lineal*. (Trabajo de Investigación). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Campirlos, A. (2015). *Optimización y modelización del circuito de ventilación de una mina subterránea*. (Tesis de Titulación). Universidad Politécnica de Madrid, España, Madrid.
- Carabajo, C. (2015). *Diseño del circuito de ventilación de la zona norte de la mina cabo de hornos, ubicada en el distrito aurífero - polimetálico Portovelo – Zaruma*. (Tesis de Titulación). Universidad Central de Ecuador, Quito, Ecuador.
- Carranza, J. (2015). *Mejoramiento en el diseño de chimeneas en minería subterránea con el uso del sistema PEM en la unidad de producción minera Troy SAC*. (Tesis de Titulación). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
- Charrez, F. (2015). *Alternativa de construcción de chimeneas con el sistema plataforma y escaleras metálicas P.E.M. vs. Convencional con puntales de madera, E.E. AESA S.A.C. mina San Rafael*. (Tesis de Titulación). Universidad Nacional de San Agustín De Arequipa, Arequipa, Perú.
- Flores, M. (2017). *Diseño y simulación del sistema de ventilación de las labores de exploración en el proyecto San Gabriel CIA. De Minas Buenaventura S.A.A.* (Tesis de Titulación). Universidad Nacional del Antiplano, Puno, Perú.
- Portilla, R. (2015). *Propuesta técnica de mejora del sistema de ventilación principal de una operación minera subterránea polimetálica – 2015*. (Tesis de Titulación). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Rodríguez, V. (2010). *Diseño del sistema de control para la ventilación de una mina subterránea usando un controlador AC800M*. (Tesis de Titulación). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Sutty, J. (2016). *Influencia de la ventilación mecánica, en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 mina Urano SAC – Puno*. (Tesis de Titulación). Universidad Nacional del Antiplano, Puno, Perú.
- Valle, R. (2017). *Optimización del sistema de ventilación de la mina Charito, compañía minera Poderosa S.A.* (Tesis de Titulación). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Vílchez, W. (2015). *Estudio comparativo de construcción de chimeneas, por método convencional Ch.340 SW y mecanizado con plataforma trepadora Alimak Ch. 480 SW, en la Zona Torre de Cristal de la Compañía Minera Raura S.A.* (Tesis de Titulación). Universidad Nacional Del Centro Del Perú, Huancayo, Perú.

## ANEXOS

### Anexo N° 01

#### MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Problema	Hipótesis	Variables	Objetivos	Diseño de la investigación
<p><b>Formulación del problema:</b></p> <p>¿Cuál es el resultado del análisis comparativo entre la ampliación de una chimenea y el uso de un ventilador axial en una mina subterránea?</p>	<p><b>Hipótesis general:</b></p> <p>El resultado del análisis comparativo determina que la ampliación de la chimenea es el sistema de ventilación de menor costo.</p>	<p><b>Variables independiente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sistema de ventilación</li> </ul> <p><b>Variables dependiente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Costos</li> </ul>	<p><b>Objetivo general:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Realizar el análisis comparativo entre la ampliación de la chimenea y el uso de un ventilador axial.</li> </ul> <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Realizar un análisis técnico del sistema de ventilación actual.</li> <li>➤ Analizar el estudio económico de la ampliación de la chimenea.</li> <li>➤ Analizar el estudio económico de la compra del ventilador.</li> <li>➤ Comparación de costos entre la ampliación de la chimenea y la compra del ventilador.</li> </ul>	<p><b>Población:</b></p> <p>El sistema de ventilación de una mina subterránea.</p> <p><b>Muestra:</b></p> <p>Sistema de ventilación del sub nivel 076.</p> <p><b>Diseño de la investigación:</b></p> <p>La investigación es no experimental, transversal, descriptivo.</p> <p><b>Instrumentos de recolección de datos:</b></p> <p>Microsoft office: Word, Excel. Anemómetro. Flexómetro.</p>

**Anexo N° 02: PUNTOS DE MONITOREO DE CAUDALES DE AIRE EN LA MINA SUBTERRÁNEA**

LABOR	NIVEL	T °C	Área	V (m/s)	V(m/min.)	Q (m3/min.)	ESTADO	TOTAL	
BOCAMINA GAL. 114	NV. 2050		15	4.2	0.68	40.8	171.36	ENTRADA	
BOCAMINA GAL. 978 SE	NV. 2050		15	5.58	1.2	72	401.76	ENTRADA	
BOCAMINA GAL. 985 SE	NV. 2050		16	5	0.7	42	210	ENTRADA	994.38
BOCAMINA 050	NV. 2050		15	3.4	0.5	30	102	ENTRADA	
BOCAMINA 046	NV. 2050		15	2.1	0.4	24	50.4	ENTRADA	
BOCAMINA 039	NV. 2050		15	2.18	0.45	27	58.86	ENTRADA	
BOCAMINA CX 955	NV. 2000		15	5.34	1.6	96	512.64	ENTRADA	
BOCAMINA CX 454	NV. 2000		15	4.1	1.3	78	319.8	ENTRADA	947.64
CHIMENEA CORTA 272	NV. 2000		16	2.4	0.8	48	115.2	ENTRADA	
PIQUE 074	NV. 1950		18	3.6	0.7	42	151.2	ENTRADA	626.4
PIQUE 073	NV. 1950		17	5.28	1.5	90	475.2	ENTRADA	
CHIMENEA 960	NV 2000		20	2.8	0.48	28.8	80.64	SALIDA	
CHIMENEA 997	NV 2000		18	2.4	0.44	26.4	63.36	SALIDA	
CHIMENEA 016	NV 2000		18	3.2	0.7	42	134.4	SALIDA	
CHIMENEA 033	NV 2000		18	3	0.4	24	72	SALIDA	834.46
CHIMENEA 446	NV. 2000		19	3.4	0.8	48	163.2	SALIDA	
CHIMENEA 109	NV 2000		20	3.4	0.85	51	173.4	SALIDA	
CHIMENEA 022	NV. 2000		18	2.8	0.24	14.4	40.32	SALIDA	
CHIMENEA 150	NV 2000		20	2.48	0.72	43.2	107.14	SALIDA	
CHIMENEA 125	NV 2050		19	2.25	0.36	21.6	48.6	SALIDA	973.53
CHIMENEA 953	NV 2050		18	2.4	0.41	24.6	50.04	SALIDA	

<b>CHIMENEA 010</b>	NV 2050	16	2.8	0.28	16.8	47.04	SALIDA	
<b>CHIMENEA 002</b>	NV 2050	19	3	0.41	24.6	75	SALIDA	
<b>CHIMENEA 017</b>	NV 2050	18	3	0.4	24	72	SALIDA	
<b>CHIMENEA 988</b>	NV 2050	18	3	0.41	24.6	73.8	SALIDA	
<b>CHIMENEA 991</b>	NV 2050	18	2.4	0.4	24	57.6	SALIDA	
<b>CHIMENEA 038</b>	NV. 2050	15	2.25	0.39	23.4	52.65	SALIDA	
<b>CHIMENEA 065</b>	NV. 2050	21	2.4	0.4	24	57.6	SALIDA	
<b>CHIMENEA 050</b>	NV. 2050	18	3.2	0.5	30	96	SALIDA	
<b>BOCAMINA CX. 910</b>	NV 2050	15	5.2	1.1	66	343.2	SALIDA	
<b>CHIMENEA 075</b>	NV. 1950	18	3.3	0.82	49.2	142.36	SALIDA	
<b>CHIMENEA 069</b>	NV. 1950	16	3.3	0.63	37.8	124.74	SALIDA	595.42
<b>PIQUE 076</b>	NV. 1950	24	4.56	1.2	72	328.32	SALIDA	

**Anexo N° 03: COTIZACIÓN DE LA COMPRA DE UN VENTILADOR**



**INDUSTRIAS Y SERVICIOS "EL TIGRE" S.A.**  
 DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN VENTILACIÓN SUBTERRÁNEA  
 SECTOR INDUSTRIAS

**SISTEMA DE VENTILACIÓN: VENTILADOR 10 000 CFM MOTOR KOHLER**

**RESUMEN DE USO DE VENTILADORES - CON TABLEROS**

Consumo de motores

Frentes	Item	Cantidad	Precio de venta	Precio sub total	Por equipo	Por frente
Frente de 50 mts	<i>AVM-540 – 350 – 10</i>					
	MOTOR: KOHLER	1		U.S.\$ 5.858,87	KOHLER	KOHLER
	Tablero tipo estrella triangulo 40 HP	1	0	0		
				<b>Tota U.S.\$ 5.858,87</b>		

**RESUMEN DE USO DE PRODUCTOS**

Frentes	Item	Cantidad	Precio de venta	Precio sub total
Frente de 50 mts	Mangas de ventilacion de 18" JL-70 FR(1x1)	70	294	20.580,00
	Cable de Manga de Ventilazion/ m	70	4.2	294
				<b>Total U.S.\$ 314,58.00</b>

**Anexo N° 04: MEDICIÓN DE AIRE CON EL ANEMÓMETRO**



**Anexo N° 05: BOCAMINA**



**Anexo N° 06: COTIZACIÓN**

**Ktperú**  
Klimatechnik s.a.c

Industria Aerotérmica

Lima, 04 de octubre de 2018

Atención: **SR. EDINSON FUENTES FLORES**

Celular: 961824820  
E-mail: [e.de.seam@outlook.es](mailto:e.de.seam@outlook.es)

Referencia: Sistema de Extracción Axial Tubular

**COTIZACIÓN N° 2018-11944**

1. **Extractor Axial:** Por suministro de Un (01) Extractor Axial, hélice con aletas regulables, forma aerodinámica, tipo AIR FOIL de aluminio especial LM-06 tratado térmicamente, carcasa de acero estructural A-36, arenado al blanco y recubierto con base y acabado epóxico, equipado con motor blindado 220 / 380 / 440 V, 60 Hz, aislamiento clase "F", protección IP55, con las siguientes características:

Modelo:	AVM-1000-450-12
Tipo:	Axial Tubular
Marcas:	Ktperú
Caudal:	42000 CFM
Presión Total a Nivel del Mar y 20° C:	4.35" c.a.
Consumo a Nivel del Mar y 20° C:	32 BHP
Presión Total a 1800 m.s.n.m. y 20° C:	3.65" c.a.
Consumo a 1800 m.s.n.m. y 20° C:	29.82 BHP
Accionamiento:	Directo
Motor Trifásico:	40 HP-1750 RPM (WEG)
Diámetro de Hélice:	1065 mm.
Tamaño Carcasa:	Ø 1073 mm. (42 1/4")
Nivel de Ruido:	82 - 84 dBA con Silenciador

Incluye:

- Rueda Guía Uniformizador de Flujo
- Pies de Montaje, Desmontable
- Carro de Succión con Malla Electro soldada de Protección
- Ventana de Inspección
- Protocolo de Pruebas
- Curva de Performance del Equipo
- Reparte de Balanceo
- Manual de Operación y Funcionamiento
- Caja de Conexión Exterior
- Sellado de Caja Batera
- Embalaje de Madera
- Pruebas de Funcionamiento en Nuestro Taller con Supervisor del Cliente.

Precio: USD 6,930.00 + IGV

2. **Cono Difusor:** Fabricado completamente en acero estructural A-36, para conexión de extractor axial y ducto rígido del sistema existente con brida y contrabrida.

Precio: USD 610.00 + IGV

**Ventilación Industrial – Aire Acondicionado – Refrigeración**  
Calle Los Estampados s/a, Mz. 12, Lt. 16, Parque Industrial, Villa EL Salvador  
Teléfono: 291-4349, RPM: 8998452484, Email: 998374366, RPC: 954180435  
Web: [www.klimatechnik.com](http://www.klimatechnik.com), E-mail: [ventas@klimatechnik.com](mailto:ventas@klimatechnik.com)

**Ktperú**  
Klimatechnik s.a.c

Industria Aerotérmica

3. **Silenciadores:** Adaptables para extractor axial uno para colocarse en la succión y otro a la salida, carcasa exterior en acero estructural A-36, 2 mm. espesor y ducto interior de plancha galvanizada perforada 1/16", aislamiento con lana de vidrio antisonora, arenado al blanco y recubierto con base y acabado epóxico, con los siguientes tamaños:

	SUCCIÓN	SALIDA
Modelo:	SC-1073/2200	SC-1073/1100
Tamaño:	Ø 1273 x 2200 mm. largo	Ø 1273 x 1100 mm. largo
Incluye:	- Brida para Conexión a Ventilador - Patas de Anclaje - Cáncamo de Izaje - Embalaje de Madera	- Brida para Conexión a Ventilador - Patas de Anclaje - Cáncamo de Izaje - Embalaje de Madera

Precio: USD 4,700.00 + IGV

**Precio Total: USD 12,240.00 + IGV**

Forma de Pago : 60% con Orden de Compra  
40% Contra Entrega

Plazo de Entrega : 20 Días Útiles

Garantía : 01 Año

Validez de la Oferta : 30 Días Calendario

Atentamente,

Ing. German Vasquez P.  
C.P. 39692  
KLIMATECHNIK S.A.C.

**Ventilación Industrial – Aire Acondicionado – Refrigeración**

**Anexo N° 7: MANTENIMIENTO: LUBRICACIÓN DE RODAMIENTOS PARA VENTILADORES AXIALES**

Equipo		Rodamientos			
Código	Denominación	d (int.)	(dxn)	Frecuencia de re-lubricación	
1003 512 FN	Axial a Transmisión KE Hélice Plástica			Horas	Meses
1003 513 CS	Axial KET 350/4 P 0,33 T20 UC	20	29000	1000 a 2000	3 a 6
1003 514 CS	Axial KEM 350/4 P 0,33 T20 UC	20	29000	1000 a 2000	3 a 6
1003 515 CS	Axial KET 450/4 P 0,5 T20 UC	20	29000	1000 a 2000	3 a 6
1004 516 CS	Axial KEM 450/4 P 0,5 T20 UC	20	29000	1000 a 2000	3 a 6
1004 517 CS	Axial KET 550/4 P 1 T30 UC	30	43500	1000 a 2000	3 a 6
1005 518 CS	Axial KEM 550/4 P 1 T30 UC	30	43500	1000 a 2000	3 a 6
1005 519 CS	Axial KET 650/4 P 2 T30 UC	30	43500	1000 a 2000	3 a 6
1006 520 CS	Axial KEM 650/4 P 2 T30 UC	30	43500	1000 a 2000	3 a 6
1006 521 CS	Axial KET 750/4 P 4 T30 UC	30	43500	1000 a 2000	3 a 6
1007 522 CS	Axial KET 850/6 P 2 T30 UC	30	28500	1000 a 2000	3 a 6
1007 523 CS	Axial KET 850/6 P 4 T40 UC	40	41200	1000 a 2000	3 a 6
1008 524 CS	Axial KET 850/4 P 7,5 T40 UC	40	58800	1000 a 2000	3 a 6

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

- ESSO Beacon 325
- Shell Oil – Alvania Grease R3
- Esta tabla también se utiliza para los Ventiladores Axiales a Transmisión KE con Hélice de Aluminio (familia 1003 525 FN)

**ANEXO N° 8: PARTES DE VENTILADOR AXIAL**

