

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA EL PROYECTO  
CORTADA 3800 – QUENAMARI, U.M. SAN RAFAEL – MINSUR”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. OMAR CHOQUE VELARDE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO DE MINAS**

**PROMOCIÓN 2012 - II**

**PUNO - PERÚ**

**2016**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

**“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA EL PROYECTO  
CORTADA 3800 – QUENAMARI, U.M. SAN RAFAEL – MINSUR.”**

**PRESENTADA POR:  
Bach. OMAR CHOQUE VELARDE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO DE MINAS.**

**APROBADA POR LOS SIGUIENTES JURADOS:**

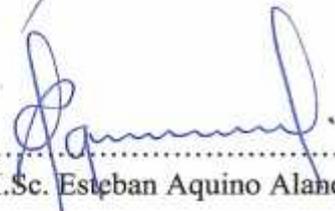
**PRESIDENTE**

:

  
.....  
M.Sc. Oscar E. Llanque Maquera

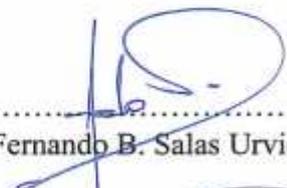
**PRIMER MIEMBRO**

:

  
.....  
M.Sc. Esteban Aquino Alanoca

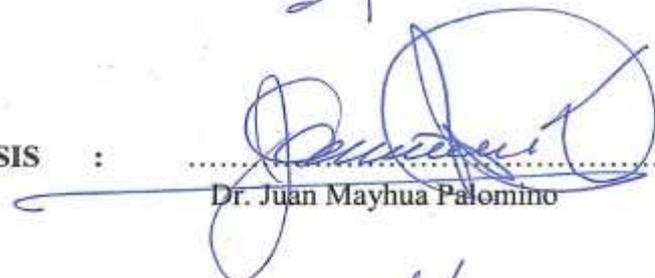
**SEGUNDO MIEMBRO**

:

  
.....  
Dr. Fernando B. Salas Urviola

**DIRECTOR DE TESIS**

:

  
.....  
Dr. Juan Mayhua Palomino

**ASESOR DE TESIS**

:

  
.....  
Ing. Arturo R. Chayña Rodriguez

**Área: Seguridad y salud ocupacional en minería  
Tema: Sistema de ventilación minera**

## DEDICATORIA

*A Dios, ser supremo por darme las fuerzas de voluntad y espiritual para llegar a la meta.*

*A mis padres Ubaldo y Faustina quienes han sido el soporte y mi guía para seguir adelante, a pesar de los obstáculos que se han presentado en mi vida siempre están presente conmigo apoyándome incondicionalmente en cada paso de mi vida siempre están a mi lado.*

*Como olvidar a mis Hijas Dánae, Nayely y mi esposa Neyder Soledad, por ser fuente de inspiración y superación que me llenan de energías positivas para seguir adelante y escalar un peldaño más en mi vida profesional.*

*A mis hermanos Elver y Emerson, quienes me dieron fuerzas para seguir adelante y apoyándome en cada momento de mi vida.*

*Omar Choque Velarde*

## AGRADECIMIENTO

*Mi gran agradecimiento a Dios que día a día me ilumina para seguir adelante con mis estudios y darme el trabajo con la cual llevo el pan de cada día a mi familia, por brindarme salud y conocimiento que son las herramientas básicas para luchar en la vida.*

*Agradezco a mis padres y hermanos quienes fueron el pilar fundamental en el desarrollo y formación profesional.*

*Un agradecimiento muy especial a la Universidad Nacional del Altiplano Puno, a la Facultad de Ingeniería de Minas que es mi segunda casa para mi formación profesional, en especial a los docentes porque fueron los precursores de mi aprendizaje y formación profesional, a todos muchas gracias.*

*Mi reconocimiento a mi presidente de jurado el M.Sc. Ing. Oscar E. Llanque Maquera, el primer miembro de jurado Ing. Esteban Aquino Alanoca y el segundo miembro de jurado el Ing. Fernando B. Salas Urviola, por sus acertadas observaciones y las sugerencias para el desarrollo y culminación del estudio de Investigación.*

*A la compañía Minera San Rafael – MINSUR, que permitió realizar el presente estudio y continuar con mi formación profesional.*

## ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN.....	11
INTRODUCCIÓN .....	12

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática.....	13
1.2. Formulación del problema.....	14
1.2.1. Pregunta general.....	14
1.2.2. Preguntas específicas .....	14
1.3. Objetivos de la Investigación.....	15
1.3.1. Objetivo general.....	15
1.3.2. Objetivos específicos .....	15
1.4. Justificación. ....	15
1.5. Limitaciones del estudio .....	15
1.6. Viabilidad del estudio .....	16

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación.....	17
2.2. Marco teórico.....	18
2.2.1. Ventilación.....	18
2.2.2. Ventilación subterránea .....	20
2.2.3 Tipos de ventilación.....	21
2.2.4 Ventilación natural.....	21
2.2.5. Ventilación mecánica.....	22

2.2.6. Requerimiento de aire .....	22
2.2.6.1 Requerimiento de aire por el personal .....	23
2.2.6.2. Requerimiento por el polvo en suspensión: .....	24
2.2.6.3. Requerimiento por temperatura: .....	24
2.2.6.4. Requerimiento por diseño de labor .....	24
2.2.7. Sistemas de ventilación.....	25
2.2.7.1. Ventilación impelente .....	25
2.2.7.2. Ventilación aspirante .....	25
2.2.7.3. Ventilación impelente con apoyo aspirante .....	26
2.2.8. Tipos de ventiladores .....	27
2.2.8.1. Ventilador centrífugo .....	27
2.2.8.2. Ventilador axial.....	28
2.2.9. Flujo de aire .....	30
2.2.10. Flujo de aire en paralelo.....	30
2.2.11. Flujo de aire en serie .....	31
2.3. Hipótesis .....	32
2.3.1 Hipótesis general.....	32
2.3.2. Hipótesis específicos.....	32

### CAPÍTULO III

#### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

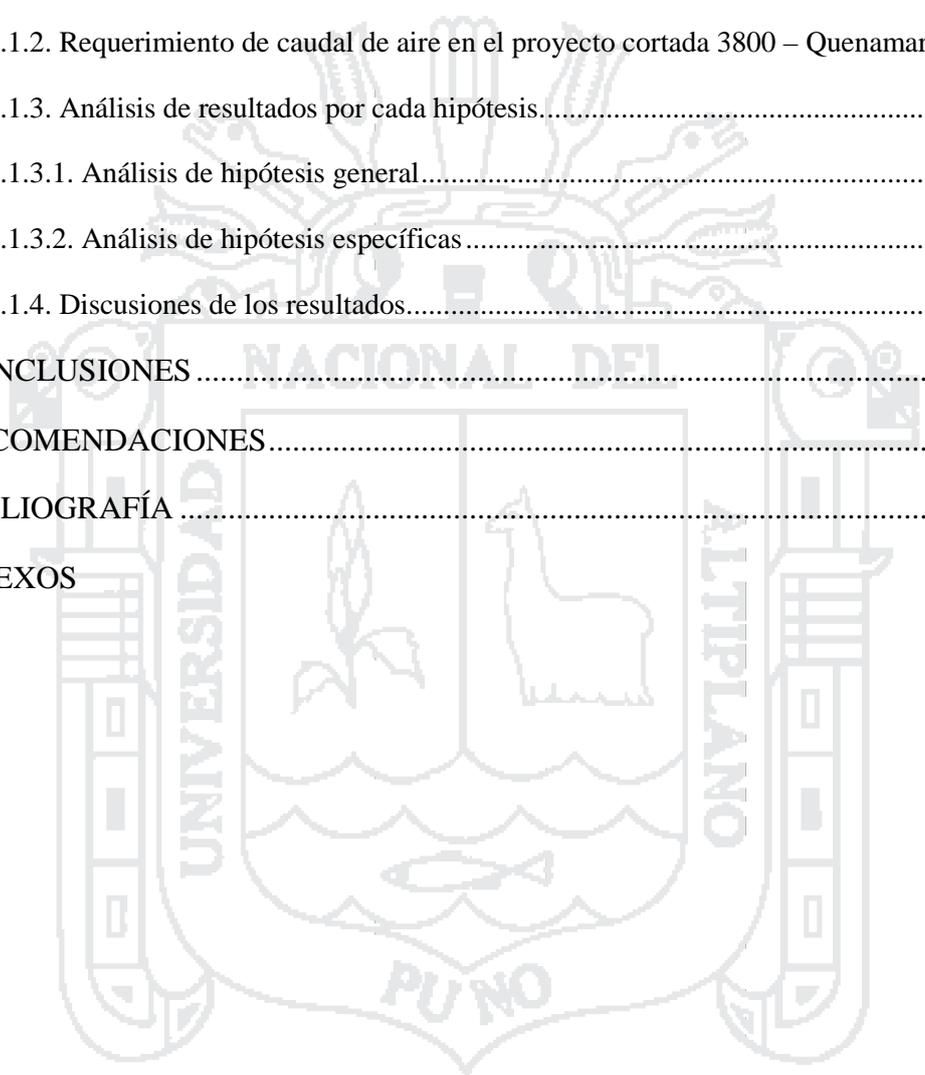
3.1. Método de la Investigación.....	33
3.2. Población y muestra .....	33
3.2.1. Población. ....	33
3.2.2. Muestra. ....	33
3.3. Métodos técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	34
3.3.1. Técnicas .....	34
3.3.1.1. Mapeo de ventilación.....	34

3.3.1.2. Dimensionamiento del proyecto cortada 3800 – quenamari.....	35
3.3.1.3. Medición de flujos de aire.....	37
3.3.1.4. Sistema ensariado de los ventiladores axiales de 30 cfm.....	40
3.3.1.5. Colocado de cortinas de retorno de aire.....	46
3.3.2. Instrumentos para la recolección de datos .....	49
3.3.2.1. Altaír 5X MSA.....	49
3.3.2.2. Equipo autocontenido de msa.....	50
3.3.2.3. Trajes encapsulados y/o hermetizados.....	51
3.3.2.4. Anemómetro kestrel.....	52
3.4. Procedimientos de recolección de datos .....	53
3.4.1. Método de barrido.....	53
3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	54
3.6. Operacionalización de variables .....	54
3.6.1. Variable independiente:.....	54
3.6.2. Variable dependiente .....	54
3.7. Ámbito de estudio.....	55
3.7.1 Ubicación.....	55
3.7.2. Accesibilidad.....	56
3.7.3. Clima y vegetación .....	57
3.7.4. Hidrografía.....	57
3.8. Geología.....	57
3.8.1. Geología regional.....	57
3.8.2. Geología local .....	59
3.8.3. Mineralogía.....	60
3.8.4. Mineralización y paragénesis.....	61
3.8.5 Reservas mineras .....	62

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Calculo para la optimización del sistema de ventilación para el proyecto cortada 3800 – Quenamari, UM. San Rafael – MINSUR .....	63
4.1.1. Calculo del caudal de aire .....	63
4.1.2. Requerimiento de caudal de aire en el proyecto cortada 3800 – Quenamari.....	67
4.1.3. Análisis de resultados por cada hipótesis.....	68
4.1.3.1. Análisis de hipótesis general.....	68
4.1.3.2. Análisis de hipótesis específicas .....	75
4.1.4. Discusiones de los resultados.....	76
CONCLUSIONES .....	78
RECOMENDACIONES.....	79
BIBLIOGRAFÍA .....	80
ANEXOS	



## ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 02.01. Límites máximos permisibles para la salud del trabajador.....	19
- Tabla 02.02. Distribución de personal.....	23
- Tabla 03.01. Características del ventilador REMOVEX.....	40
- Tabla 03.02. Costo de adquisición de los ventiladores de 30000 cfm.....	46
- Tabla 03.03. Costo de cambio de mangas de ventilación.....	46
- Tabla 03.04. Operacionalización de variables.....	54
- Tabla 04.01. Proceso de optimización del sistema del circuito de ventilación.....	64
- Tabla 04.02. Evolución del caudal de aire.....	65
- Tabla 04.03. Resumen de evolución del caudal de aire.....	66
- Tabla 04.04. Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 Quenamari, antes de realizar el sistema de ventilación óptima.....	69
- Tabla 04.05. Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 Quenamari, mes febrero.....	69
- Tabla 04.06. Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 Quenamari, mes marzo.....	70
- Tabla 04.07. Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 Quenamari, mes abril.....	70
- Tabla 04.08. Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 Quenamari, mes mayo.....	71
- Tabla 04.09. Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 Quenamari, mes junio.....	71
- Tabla 04.10. Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 Quenamari, mes julio.....	72
- Tabla 04.11. Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 Quenamari, mes agosto.....	72
- Tabla 04.12. Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 Quenamari, mes setiembre.....	73
- Tabla 04.13. Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 Quenamari, mes octubre.....	73
- Tabla 04.14. Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 Quenamari, mes noviembre.....	74
- Tabla 04.15. Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 Quenamari, mes diciembre.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 02.01: Ventilación impelente.....	25
- Figura 02.02: Ventilación aspirante .....	26
- Figura 02.03: Ventilación impelente con apoyo aspirante.....	26
- Figura 02.04: Esquema de ventilador centrífugo .....	27
- Figura 02.05: Tipo de ventilador Centrífugo .....	28
- Figura 02.06: Curvas Típicas para los tipos de ventiladores centrífugos .....	28
- Figura 02.07: Esquema de ventilador centrífugo .....	29
- Figura 02.08: Esquema de ventilador centrífugo .....	29
- Figura 02.09: Curvas típicas para los tipos de ventiladores axiales.....	30
- Figura 02.10: Esquema de ventilación en p Naralelo .....	31
- Figura 02.11: Esquema de ventilación en serie .....	32
- Figura 03.01: Sección de labor.....	36
- Figura 03.02: Monitoreo aplicando método de barrido .....	37
- Figura 03.03: Colocado de mangas de ventilación .....	38
- Figura 03.04: Instalación de mangas de ventilación .....	39
- Figura 03.05: Salida del ventilador enseriado.....	39
- Figura 03.06: Sistema enseriado de ventiladores de 30000 cfm.....	41
- Figura 03.07: Colocado de mangas de ventilación .....	42
- Figura 03.08: Ventilador enseriado .....	43
- Figura 03.09: Ventiladores axial REMOVEX AB de 30000 cfm, instalados en la cortada, 3 ventiladores enseriados.....	44
- Figura 03.10: Circuito de ventilación óptimo de aire fresco y aire viciado .....	47
- Figura 03.11: Combinación entre ventilación impelente y ventilación aspirante y cortinas de rebote.....	48
- Figura 03.12: Altaír 5X y su equipo calibrador .....	50
- Figura 03.13: Equipo autocontenido de MSA .....	51
- Figura 03.14: Traje encapsulado .....	52
- Figura 03.15: Anemómetro Kestrel.....	53
- Figura 03.16: Ubicación Mina San Rafael.....	56
- Figura 03.17: Mapa geológico del distrito minero San Rafael .....	59
- Figura 03.18: Sección longitudinal de Minera San Rafael .....	60
- Figura 03.19: Minera San Rafael, ubicación de reserva de mineral .....	62
- Figura 04.01: Evolución del caudal de aire de acuerdo a la optimización del circuito de ventilación en el tiempo.....	65

## RESUMEN

El presente trabajo de Investigación titulado: **“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA EL PROYECTO CORTADA 3800 – QUENAMARI, U.M. SAN RAFAEL – MINSUR.”**, cuyo objetivo fue determinar el diseño de un sistema y método de ventilación adecuado, para optimizar el sistema de ventilación en el Proyecto Cortada 3800 – Quenamari, U.M. San Rafael – MINSUR; La cortada Quenamari es considerado Labor de alto riesgo debido al abandono de sus operaciones por más de dos años y también es una labor ciega, para lo cual se debe cumplir el plan de trabajo del proyecto cortada Quenamari de acuerdo al anexo 8, del presente trabajo de Investigación; De acuerdo al Decreto Supremo 055 – 2010 – EM se tomaran en cuenta los límites máximos permisibles en interior mina que en ningún caso la velocidad del aire debe ser no menor a 20 metros por minuto ni superior a 250 metros por minuto en las labores de explotación, exploración, incluido en desarrollo, para lo cual el requerimiento de aire fresco para la cortada es de  $66 \text{ m}^3/\text{m}$  . por guardia en la cortada se tiene tres guardia para lo cual se multiplica por las tres guardias que sale un total de  $198 \text{ m}^3/\text{m}$  . es el requerimiento de aire fresco para la cortada, En un inicio con ventiladores de 15000 cfm no se logra obtener los resultados esperados como se muestra en el cuadro 4.2 de los resultados, de tal manera se instala el primer ventilador de 30000 cfm también se diseña el método de ventilación combinado entre, ventilación impelente y aspirante más colocado de cortinas herméticas que ayudan en el rebote del aire fresco, y se mejora la ventilación a partir del mes de marzo como se observa en la Tabla 04.02, en la curva se identifica la evolución del caudal de la ventilación que finalmente se estabiliza en el mes de diciembre en velocidad promedio de 3.16 m/s ó  $1420 \text{ m}^3/\text{m}$  de caudal de aire fresco que ingresa al enseriar los 3 ventiladores y finaliza la rehabilitación del proyecto cortada 3800 – Quenamari, teniendo a favor  $1222 \text{ m}^3/\text{m}$  de aire fresco, dicho valor compensa con el gradiente geotérmico que se presenta en el trayecto de la cortada, con lo que se cumple la hipótesis planteada; en la parte final llegamos a la conclusiones y recomendaciones para el presente trabajo de Investigación.

**Palabras Claves:** Ventilación, Control y Flujo de aire.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad toda mina necesita de acuerdo al D.S. – 055 – 2010 – E.M. Perú un departamento de ventilación que evalúe el sistema de ventilación de la mina, ya sea de forma natural y con el apoyo de ventilación artificial y/o mecánica, de tal manera se ejecuta la optimización del sistema de ventilación del **PROYECTO CORTADA 3800 – QUENAMARI, U.M. SAN RAFAEL – MINSUR**, el objetivo de la optimización es proporcionar al personal que labora en dicha labor condiciones termo ambientales apropiadas de acuerdo al estándar y generar condiciones seguras para realizar buen trabajo y evitar la fatiga y deshidratación del personal y por ende evitar que las operaciones mineras bajen su eficiencia de productividad y rentabilidad.

La evaluación y optimización por las indicaciones dadas se ha estructurado el contenido del trabajo en: Capítulo I. Planteamiento del problema, relacionado con la descripción de la realidad problemática sobre la deficiencia de ventilación en El Proyecto Cortada 3800 – Quenamari U.M. San Rafael – MINSUR; Capítulo II. Marco Teórico, consiste en las bases teóricas referidos a la ventilación, diagnósticos de los circuitos de ventilación de aire fresco como también de aire viciado y como también que tipos de ventilación a utilizar en la optimización del circuito de ventilación, tipos de ventiladores y requerimiento de aire por persona; Capítulo III. Metodología de la Investigación, la metodología empleada para la ejecución del presente trabajo se planifico realizando trabajos de campo (monitoreo de agentes químicos y físicos en la Cortada 3800 – Quenamari) y gabinete así mismo se describe los instrumentos de muestreo utilizadas en la medición de flujos de aire, y enseriado de los ventiladores a utilizar más el colocado de cortinas de rebote de aire que ayuda a la optimización del circuito de ventilación; Capítulo IV. Exposición y análisis de resultados, las estaciones de monitoreo están en todo el trayecto de la cortada 3800 – Quenamari, en los cuales se ejecutó el monitoreo correspondiente, antes de ejecutar la optimización del circuito de ventilación y después de la optimización del mismo, luego con los datos obtenidos se realiza los cálculos correspondientes y se compara con el antes Dé y después Dé, obteniendo resultados favorables de la optimización del circuito de ventilación del proyecto cortada 3800 – Quenamari, como se muestra en el cuadro estadístico de la Tabla 04.02.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Descripción de la realidad problemática

En la actualidad el Proyecto Cortada 3800 – Quenamari, U.M. San Rafael – MINSUR, que está ubicado en el Nivel 3800, el cual es una labor en proceso de rehabilitación, en cuyo ambiente de trabajo se evidencia la presencia de agentes químicos como físicos, debido al abandono de sus operaciones por más de 2 años, del mismo modo temperaturas elevadas más de 30 °C, y en determinadas horas de trabajo se elevan, superando los LMP (límites máximos permisibles), estas condiciones limitan al personal que labora en dicho proyecto a realizar sus trabajos con eficiencia para cumplir con las actividades de rehabilitación de la Cortada 3800 – Quenamari, en vista que el sistema de ventilación con la cual ejecutan los trabajos es deficiente, de tal manera no logran evacuar y remover el aire viciado y las partículas en suspensión (físicos) y agentes químicos (aire viciado).

En los últimos años, la estadística minera de accidentes mortales manifiesta que un 30% de todos, es por gases en mina (Gaseamiento del Personal). Por tal motivo en el presente trabajo de Investigación titulado: Optimización del sistema de ventilación para el Proyecto Cortada 3800 – Quenamari, U.M. San Rafael – MINSUR; cuya finalidad se trata de optimizar el sistema de ventilación; a fin de garantizar una buena ventilación, y el confort del personal que labora en la Cortada 3800–Quenamari, no solo en términos de temperaturas y concentraciones de oxígeno, sino también en función de la dilución de los gases generados por las voladuras y cuadros de madera podridos en labores abandonadas,

también los gases producidos por la combustión de motores diésel de los equipos en interior mina.

En la U.M. San Rafael – MINSUR, se cuenta con circuitos de ventilación de aire fresco, que es ingresado de superficie con ventiladores de gran magnitud por chimeneas realizados de nivel a nivel por RB (Raise Boring) y que llegan al nivel 3800 débilmente, del mismo modo se tiene circuito de aire viciado que extraen hacia superficie con ventiladores de gran potencia.

La mina san Rafael que tiene muchos años en operación, tiene defectos en sus circuitos de ventilación, generando corto circuito entre aire fresco con aire viciado, para lo cual nuestro estudio estará ligado a la optimización del circuito de ventilación explícitamente en la cortada 3800 – Quenamari, de tal manera se podrá salvaguardar la integridad física y salud ocupacional del personal que labora en interior mina, exactamente en el Proyecto Cortada 3800 – Quenamari.

## **1.2. Fformulación del problema**

### **1.2.1. Pregunta general**

- ¿Cuál es el diseño adecuado del Sistema y Método de Ventilación, para optimizar el Sistema de Ventilación del Proyecto Cortada – 3800, U.M. San Rafael – MINSUR?

### **1.2.2. Preguntas específicas**

- ¿Cuál será el Diseño adecuado del Sistema de Ventilación, para Optimizar el sistema de ventilación en el Proyecto Cortada 3800 – Quenamari, U.M. San Rafael – MINSUR?
- ¿Cuál será el Método de Ventilación adecuado, para optimizar el sistema de ventilación en el Proyecto Cortada 3800 – Quenamari, U.M. San Rafael – MINSUR?

### **1.3. objetivos de la Investigación.**

#### **1.3.1. Objetivo general**

- Determinar el diseño de un sistema y método de ventilación adecuado, para Optimizar el sistema de ventilación en el Proyecto Cortada 3800 – Quenamari, U.M. San Rafael – MINSUR.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar el diseño de un sistema de ventilación adecuado, para optimizar el sistema de ventilación en el Proyecto Cortada 3800 – Quenamari, U.M. San Rafael – MINSUR.
- Determinar el método de ventilación adecuado para optimizar el sistema de ventilación en el Proyecto Cortada 3800 – Quenamari, U.M. San Rafael – MINSUR.

### **1.4. Justificación.**

El presente trabajo de Investigación ejecutado en la empresa San Rafael – MINSUR, sobre la Optimización del sistema de ventilación para el Proyecto Cortada 3800 – Quenamari; se justifica en la medida de que se da solución al problema de ventilación, para los trabajos de rehabilitación del Proyecto Cortada 3800 – Quenamari, el cual se suministra aire limpio y/o fresco, del mismo modo para liberar el aire viciado y contaminado producto del abandono de las operaciones por más de dos años.

Cabe señalar que dicha labor es ciega; y del mismo modo también nos ayuda a bajar la temperatura elevada que sobrepasa los LMP (Límites Máximos Permisibles), mejorando las condiciones de trabajo, asimismo notando en los trabajadores el mejor desempeño en las tareas y trabajos rutinarios encomendadas, consecuentemente minimizando las enfermedades ocupacionales y maximizando la productividad de la empresa.

### **1.5. Limitaciones del estudio**

Las limitaciones que se tuvo durante el proceso de Investigación fueron principalmente la escasez de bibliografía sobre los casos similares, antecedentes de la Investigación, así como la desconfianza de la información recelosa por parte la empresa Minera.

### 1.6. Viabilidad del estudio

El proyecto es viable en vista de que las fuentes de datos para este proyecto se obtendrán de los distintos departamentos de Cía. Minera, páginas de Internet, bibliografía propia del autor y bibliotecas especializadas.

La viabilidad misma del estudio que debemos tomar en cuenta es la disponibilidad de recursos financieros, humanos y materiales que determinaran en última estancia los alcances de la Investigación (Rojas 1981), es decir debemos preguntarnos realistamente ¿Puede llevarse a cabo esta Investigación? Y ¿Qué tiempo tomara realizarla? Estos cuestionamientos son parcialmente importantes cuando se sabe de ante mano que se dispondrá de pocos recursos para efectuar la Investigación.

Es viable, por que daremos solución a un problema latente y de prioridad en las operaciones de San Rafael – MINSUR, que es la Ventilación, de tal manera mejorar el confort de los trabajadores y maximizar las operaciones de rehabilitación del proyecto cortada 3800 – Quenamari.

Para realizar el presente trabajo de Investigación se cuenta con recursos financieros, humanos y materiales, existe la disponibilidad de materiales y fuentes de información, gráficos y fotos de los ventiladores elaborados en la empresa minera, reportes estadísticas específicos del rendimiento de dichos ventiladores que están en interior mina, planta, servicios auxiliares así como también informaciones de la investigaciones realizadas en el tema de la seguridad minera que constituyen aporten valiosos e importantes que han consolidado el presente trabajo de Investigación.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### **2.1. Antecedentes de la Investigación.**

(Agüero Zarate & Alvarez Ticllasuca, 2012) Aplica la combinación del sistema de ventilación natural y el sistema de ventilación mecánico y consiste en determinar, evaluar la influencia de la ventilación natural y mecánica en el diseño del sistema de ventilación mixta en la Galería principal, Galería 635W, Galería 800W y crucero del nivel 1950 en la Mina Calpa, debido a que existe aire viciado 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, humedad alta; el desconocimiento de los reglamentos, normas y consignas establecidas específicamente por los trabajadores mineros.

(Fidel Julio Hidalgo Mendieta, 1991) Aplica las más recientes consideraciones tecnológicas que se debe tener en cuenta en el diseño de ventilación de una mina subterránea polimetálica (Ag, Pb y Zn) ubicado a 5000 msnm, con cuerpos mineralizados muy ricos y que están a 350 m. debajo del túnel principal de transporte y acceso con la superficie.

En la minería subterránea, la ventilación de minas, es solo uno de los diversos factores que inciden en la productividad minera. Convirtiéndose este servicio minero en una exigencia de primera prioridad para la aplicación de cualquier método de explotación elegido. Por esta razón los ingenieros a cargo de la ventilación en sus diseños deben garantizar el ingreso de aire fresco a toda la mina en forma natural y/o inducida

impulsados por ventiladores principales de gran capacidad y distribuir aire racionalmente, de tal manera que garantice condiciones termo – ambientales óptimas.

(Rodríguez Delgado, 2008) Aplica la tecnología en el tema de la ventilación en minería subterránea y (Gerardo Chamberg Orihuela, 2013) ha ido evolucionando debido a los diferentes factores que se han ido generando, tales como los cambios en los métodos de explotación, lejanía entre los portales de ventilación y los puntos finales de consumo del aire en interior mina, operación de equipos diésel, implicando este último un incremento en la concentración de los contaminantes altamente tóxicos para la vida humana.

La mina con las características que mencionaremos adelante, al igual que otras en nuestro país, en sus inicios inyectaba el aire fresco hasta el nivel de producción mediante chimeneas de inyección principal conectadas directamente al nivel de producción utilizando ventiladores axiales de baja capacidad (40 HP ó 50 HP), que suministran un caudal máximo aproximado de 25000 CFM y la distribución del aire fresco al interior se hacía por medio de mangas o ductos, que no garantizaban su buen manejo y distribución en las áreas demandantes de este recurso.

(Gerardo Chamberg Orihuela, 2013) Enmarca en el desarrollo de una propuesta para el sistema de ventilación en la mina Animas de la Unidad Productiva San Cristóbal según registro en el ministerio de energía y minas del Perú que es llamada comúnmente minas Caylloma de Minera Bateas SAC.

La propuesta es el planteamiento de un sistema de ventilación (adquisición de ventiladores y excavación de chimeneas) para un nivel de producción mayor al actual (de 1,200 tpd a 1,600 tpd) aplicando, variadores de velocidad, sistema de control bajo fibra óptica y consola de control, cuyo tiempo estimado asciende a dos años con una inversión de USD 692,297.

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Ventilación**

La ventilación en toda labor minera deberá ser con aire limpio de acuerdo a las necesidades del personal, los equipos y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido

que pudiera afectar la salud del trabajador, todo sistema de ventilación en la actividad minera, en cuanto se refiere a la actividad minera, en cuanto se refiere a la calidad de aire, deberá mantenerse dentro los límites máximos permisibles (LMP):

**Tabla 02.01.** Límites máximos permisibles para la salud del trabajador

Límites máximos permisibles	
Polvo inhalable	10m /m <sup>3</sup> .
Polvo respirable	3 m /m <sup>3</sup> .
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	Mínimo 19.5 % y máximo 22.5 %
Dióxido de carbono	Máximo 9000 m /m <sup>3</sup> . Ó 5000
Monóxido de carbono	Máximo 29 m /m <sup>3</sup> . ó 25 ppm.
Metano (N <sub>2</sub> )	Máximo 5000 ppm
Hidrogeno sulfurado	Máximo 14 m /m <sup>3</sup> . ó 10 ppm.
Gases Nitrosos (N <sub>2</sub> )	Máximo 7 m /m <sup>3</sup> . ó 3 - 5 ppm.
Gases Nitrosos (NO)	25 ppm.
Anhídrido Sulfuroso	Máximo 5 ppm, mínimo 2 ppm.
Aldehídos	Máximo 5 ppm
Hidrogeno (H)	Máximo 5000 ppm.
Ozono	Máximo 0.1 ppm.

**Fuente:** Autor de tesis

Teniendo en consideración lo estipulado en el reglamento de seguridad y salud ocupacional aprobado por el Ministerio de Energía y Minas en el Decreto Supremo 055 – 2010 – EM, se tomara en cuenta lo siguiente:

En todas las labores subterráneas se mantendrá una circulación de aire limpio y fresco en calidad suficiente de acuerdo con el número de personas, con el total de HPs de los equipos con motores de combustión interna así como para la dilución de los gases que permitan contar en el ambiente de trabajo con un mínimo de 19.5 % y un máximo de 22.5 % de oxígeno, cuando las minas se encuentran hasta 1500 metros sobre el nivel del mar, en lugares de trabajo, la cantidad mínima de aire necesaria por hombre será de 3 metros cúbicos por minuto, en otras altitudes las cantidades de aire será de acuerdo con la siguiente escala:

- De 1500 a 3000 metros aumentara en 40%, será igual a  $4m^3/m$  .
- De 3000 a 4000 metros aumentara en 70%, será igual a  $5m^3/m$  .
- Sobre los 4000 metros aumentara en 100%, será igual a  $6m^3/m$  .

En caso de emplearse equipo diésel, la cantidad de aire circulante no será menor de 3 metros cúbicos por minuto por cada HP que desarrollen los equipos, en ningún caso la velocidad del aire debe ser no menor a 20 metros por minuto ni superior a 250 metros por minuto en las labores de explotación incluido el desarrollo, preparación y en todo lugar donde haya personal trabajando, cuando se emplee ANFO u otro agentes de voladura la velocidad de aire no será menor de 25 metros por minuto.

Cuando la ventilación natural no sea capaz de cumplir con lo antes señalado, deberá emplearse ventilación mecánica, instalando ventiladores principales, secundarios o auxiliares según las necesidades. (Agüero Zarate & Alvarez Ticllasuca, 2012), (Decreto Supremo Nro. - 055 - 2010 - EM, 2010).

(Novitzky, 1962) Se considera lo fundamental las propiedades físicas del aire y aerodinámica minera, dentro de él tenemos propiedades físicas del aire y parámetros básicos del aire, en lo cual se considera que en la ventilación de minas se utiliza el peso específico estándar:

$$P.E. = 1.2 \frac{k}{m^3}$$

Que es el peso de  $1 m^3$  de aire, con la presión de 1 atm; Temperatura de  $15^\circ$  y la humedad de 60%, las resistencias de las labores mineras al movimiento de aire se divide arbitrariamente en 3 tipos como resistencia de rozamiento de aire contra las paredes de la labor y de las partículas entre sí, resistencias locales y resistencias frontales.

### 2.2.2. Ventilación subterránea

La ventilación en una mina subterránea es el proceso mediante el cual se hace circular por el interior de la misma el aire necesario para asegurar una atmosfera respirable y segura para el desarrollo de los trabajos, la ventilación se realiza estableciendo un circuito para la circulación del aire a través de todas las labores. Para ello es indispensable que la mina tenga dos labores de acceso independientes: Dos pozos, dos socavones, un pozo y un socavón, en las labores que solo tienen un acceso (por ejemplo, una galería en avance) es necesario ventilar con ayuda de una tubería, la tubería se coloca entre la entrada a la

labor y el final de la labor, esta ventilación se conoce como secundaria, en oposición a la que recorre toda la mina que se conoce como principal, los ventiladores son responsables del movimiento del aire, tanto en la ventilación principal como en la secundaria. Generalmente los ventiladores principales se colocan en el exterior de la mina, en la superficie. (De La Cuadra I, 1974)

### 2.2.3 Tipos de ventilación

Se puede clasificar en dos grandes grupos:

- Ventilación natural.
- Ventilación mecánica.

Dentro de los tipos de ventilación de una mina existe la ventilación mixta o combinada como es impelente y aspirante, en la impelente el ventilador impulsa el aire al interior de la mina o por la tubería, en el caso de aspirante el ventilador succiona el aire del interior de la mina por la tubería y lo expulsa al exterior, el flujo requerido será calculado:

- De acuerdo por número de personas.
- De acuerdo por polvo en suspensión.
- De acuerdo por aumento de temperatura.
- De acuerdo por consumo de explosivos.

### 2.2.4 Ventilación Natural

Es el flujo natural de aire fresco que ingresa al interior de una labor sin necesidad de equipos de ventilación, en una galería horizontal o en labores de desarrollo, en un plano horizontal no se produce movimiento de aire, en minas profundas, la dirección y el movimiento del flujo de aire, se produce debido a las siguientes causas: diferencias de presiones, entre la entrada y salida. La diferencia de temperaturas durante la estación. (Mallqui, 1981).

(Ramirez, 2005) menciona:

- En una mina que cuente con labores horizontales hasta verticales existirá una diferencia de peso entre aire superficial y del interior, equivale a la altura “H”.
- En verano, el aire en la chimenea se encuentra a menor temperatura que en superficie y por lo mismo es más denso, ejerciendo presiones sobre el aire de la

galería obligando a que el flujo ingrese por la chimenea y salga por la galería.

Pero por noche es difícil predecir.

- En el invierno se invierte el proceso. En otras estaciones difíciles de predecir.

### **2.2.5. Ventilación mecánica:**

Es la ventilación secundaria y son aquellos sistemas que haciendo uso de ductos y ventiladores auxiliares ventilan áreas restringidas de las minas subterráneas, empleando para ello los circuitos de alimentación de aire fresco y de evacuación del aire viciado que le proporcione el sistema de ventilación general.

El caudal de aire es la cantidad de aire que ingresa a la mina y que sirve para ventilar labores, cuya condición debe ser que el aire fluya de un modo constante y sin interrupciones, el movimiento de aire se produce cuando existe una alteración del equilibrio: diferencia de presiones entre la entrada y salida de un ducto, por causas naturales (gradiente térmica) o inducida por medios mecánicos. (Ramírez H. J. (2005) ventilación de Minas. “módulo de capacitación técnico ambiental”. (Chaparra Perú).

Reglas de ventiladores:

- La presión requerida es directamente proporcional a la longitud.
- La presión es directamente proporcional al perímetro.
- La potencia requerida es directamente proporcional al cubo de la velocidad o volumen.
- La presión requerida es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad o volumen. (Mallqui, 1981).

### **2.2.6. Requerimiento de aire**

Las necesidades de aire en el interior mina, se determina en base al número de personas, polvo en suspensión, aumento de temperatura y consumo de explosivos además de conocer el método de explotación, para determinar el requerimiento de aire total se utiliza los siguientes parámetros operacionales.

**2.2.6.1 Requerimiento de aire por el personal**

Los objetivos a cumplir con respecto al personal es proporcionar  $5m^3/m$  . por cada persona, debido a la corrección por altitud de 3800 m.s.n.m., a la que se encuentra el Proyecto Quenamari.

$$Q = n * q$$

**Donde:**

$Q$  = Caudal total para “n” personas que trabajen en interior mina ( $m^3/m$  .)

$q$  = Caudal mínimo por persona ( $6m^3/m$  .) En alturas mayores a 4000 msnm.

$n$  = Número de personas en el lugar.

Calculando  $Q$

$$Q = 1 * 6m^3/m$$

$$Q = 6 m^3/m \text{ , caudal necesario por guardia..... (2.1)}$$

Para la cortada se tiene tres guardias:

$$Q = 6 * 3 m^3/m$$

$$Q = 18 m^3/m \text{ , es el caudal que se requiere en la cortada..... (2.2)}$$

**Tabla 02.02.** Distribución de personal

Descripción	Cantidad guardia A	Cantidad guardia B	Cantidad guardia C
Jefe de mina	1	0	0
Administrador	0	1	0
Jefe de guardia	1	1	1
Prevencionista de riesgos	1	0	0
Maestro perforista	2	2	2
Ayudante perforista	2	2	2
Motorista	1	1	1
Ayudante motorista	1	1	1
Mecánico	1	1	1
Electricista	1	1	1
Chofer	1	1	1
<b>Total/guardia. (* 3 guardias)</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>10</b>

**Fuente:** Autor de tesis

### 2.2.6.2. Requerimiento por el polvo en suspensión:

El criterio más aceptado es hacer pasar una velocidad de aire determinado por las áreas contaminadas y arrastrar el polvo a zonas donde no cause problemas.

De acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional DS – 055 – 2010 – EM en el Art. 236, literal (n) nos indica; que la concentración promedio de polvo respirable en la atmosfera de la mina, a la cual el trabajador está expuesto, no será mayor a  $3 \text{ m} / \text{m}^3$ . de aire.

Así también la ventilación en los espacios indicados deberá cumplir con el estándar de velocidad del aire de veinte (20) metros por minuto con una cantidad de aire establecido en el literal (e) del artículo 236 del presente reglamento. (Decreto Supremo Nro. - 055 - 2010 - EM, 2010).

### 2.2.6.3. Requerimiento por temperatura:

De acuerdo a lo establecido en el Reglamento De Seguridad Y Salud Ocupacional DS – 055 – 2010 – EM en el Art. 236 nos indica que las labores subterráneas mantendrá una circulación de aire limpio y fresco en cantidad y calidad suficiente de acuerdo al número de trabajadores. Y el concepto de temperatura efectiva es el resultado de la combinación de tres factores; temperatura, humedad relativa y velocidad del aire que expresa un solo valor de grado de confort termo ambiente.

En la Guía N° 02 de dicho reglamento obtenemos la medición de Estrés Térmico (calor) deberá realizarse según el método descrito en la guía mencionada, para la medición de estrés térmico.

### 2.2.6.4. Requerimiento por diseño de labor

Circuito de ventilación en serie se caracteriza por que la corriente de aire se mueve sin ramificación, por lo que el flujo permanece constante, en este caso todas las galerías se conectan extremo a extremo.

Propiedades:

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = \dots = Q_N$$

$$H_L = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + \dots + H_N$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_N$$

Circuito de ventilación en paralelo, las labores se ramifican en un punto, en dos o varios circuitos que se unen en otro punto, la característica básica de las uniones en paralelo, es que las caídas de presión de los ramales que la componen son iguales, independientemente.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + \dots + Q_N$$

$$H_L = H_1 = H_2 = H_3 = H_4 = \dots = H_N$$

$$\frac{1}{\sqrt{R}} = \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \frac{1}{\sqrt{R_3}} + \frac{1}{\sqrt{R_4}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_N}}$$

Fuente: Howard L. Hartman 1992 (Hartman, 2012)

### 2.2.7. Sistemas de ventilación

#### 2.2.7.1. Ventilación impelente

El aire entra al frente del fondo de saco a través de la tubería, impulsando por ventiladores, y desplaza la masa de aire viciado hacia la corriente principal de aire, a través de la galería. Este es el sistema predominado usado en la mayoría de las minas (Ver Figura 02.01).

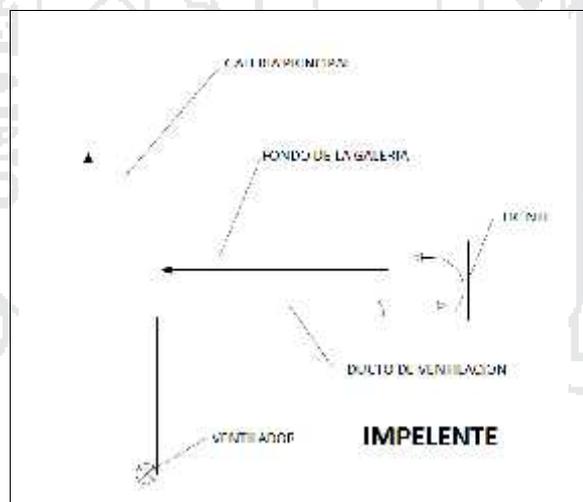


Figura 02.01: Ventilación impelente. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. (1989)

Fuente: Manual de Ventilación de minas. Pág. 81 Lima – Perú.

#### 2.2.7.2. Ventilación aspirante

En este método el aire contaminado del frente es succionado a través del conducto debido a la depresión creada por ventiladores situados en ambos puntos de extremo. Este aire es

evacuado en la corriente de ventilación principal, procedente de la cual entra aire limpio a través de la galería o ducto de ventilación (Ver Figura 02.02).

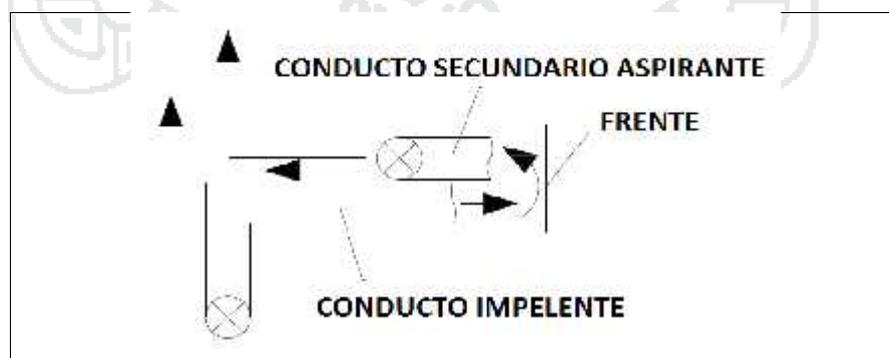


**Figura 02.02:** Ventilación aspirante. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. (1989)

**Fuente:** Manual de ventilación de minas. Pág. 81 Lima – Perú.

### 2.2.7.3. Ventilación impelente con apoyo aspirante

Impelente con apoyo aspirante, forma parte de los sistemas mixtos también llamados sistema solapado, utiliza un ventilador auxiliar de refuerzo, situado frente a la labor, y con un tramo de conducto de poca longitud. Estos sistemas combinan las ventajas de cada sistema, consiguiendo el mejor efecto de ventilación en situaciones concretas de minería, son posibles dos configuraciones en función de que la línea principal sea la aspirante o la impelente, una línea impelente con solape aspirante consta de un sistema impelente principal con una instalación auxiliar aspirante, cuya función por lo general es la de recoger y evacuar el polvo generado del frente (Ver Figura 02.03).



**Figura 02.03:** Ventilación impelente con apoyo aspirante. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. (1989)

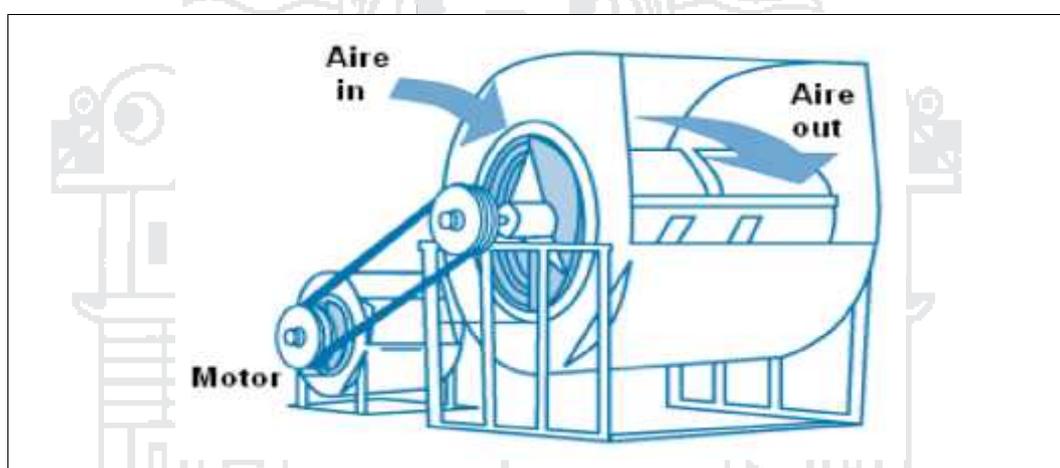
**Fuente:** Manual de Ventilación de minas. Pág. 81 Lima – Perú.

### 2.2.8. Tipos de ventiladores

- Ventilador Centrifugo
- Ventilador Axial

#### 2.2.8.1. 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 (Ver Figura 02.04).



**Figura 02.04:** Esquema de ventilador centrífugo

**Fuente:** Autor de tesis

- **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.
- **Ventilador con álabes curvados hacia atrás:** A diferencia de los anteriores tienen mejor rendimiento y el nivel de ruido es bajo.
- **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 en la Figura 02.05 los esquemas de los tipos de ventiladores centrífugos: a) ventilador con álabes curvados hacia adelante, b) ventilador con álabes

curvados hacia atrás, c) ventilador con álabes radiales. Y en la Figura 02.06 las performances típicas para cada tipo de ventilador centrífugo.

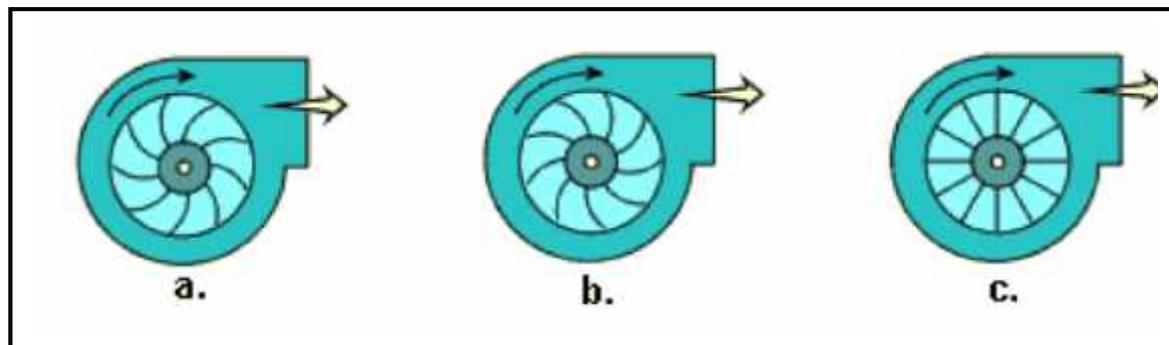


Figura 02.05: Tipo de ventilador Centrífugo

Fuente: Rodriguez Delgado, 2008

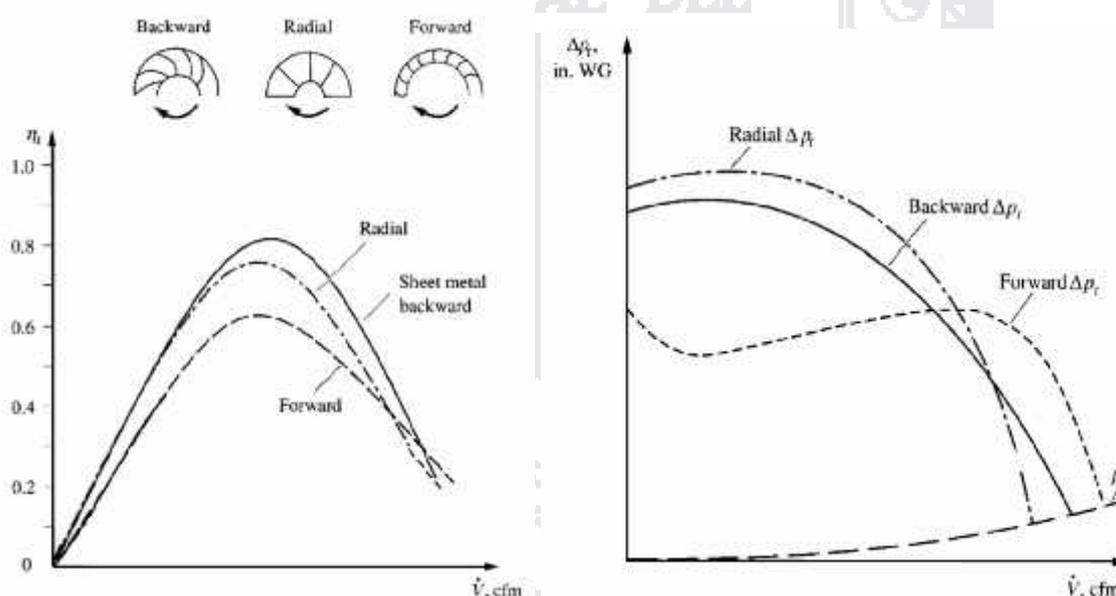
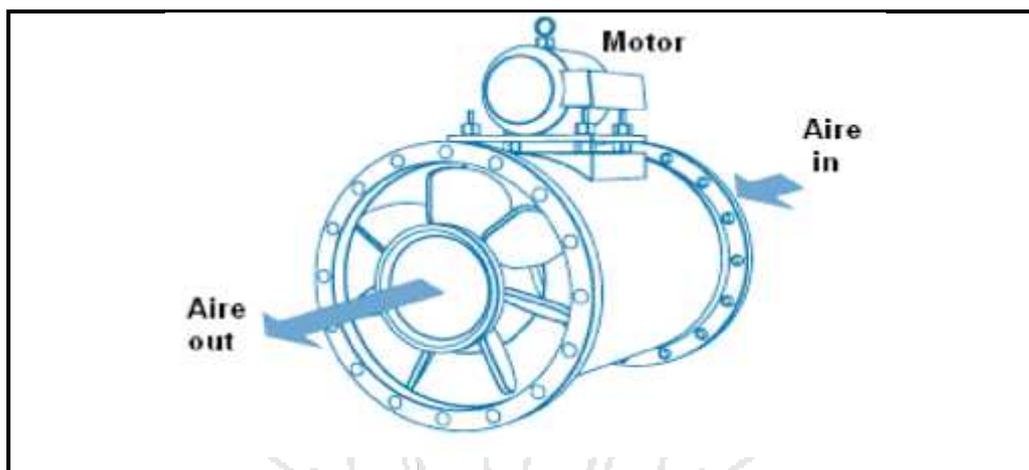


Figura 02.06: Curvas Típicas para los tipos de ventiladores centrífugos.

Fuente: Rodriguez Delgado, 2008

### 2.2.8.2. Ventilador axial

Este de tipo de 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 (Ver Figura 02.07).



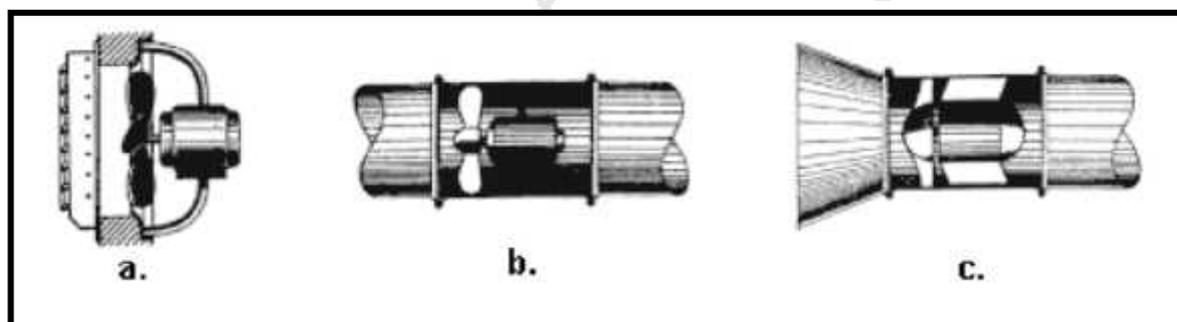
**Figura 02.07:** Esquema de ventilador centrífugo

Fuente: Rodríguez Delgado, 2008

**Existen los tipos de ventiladores axiales como:**

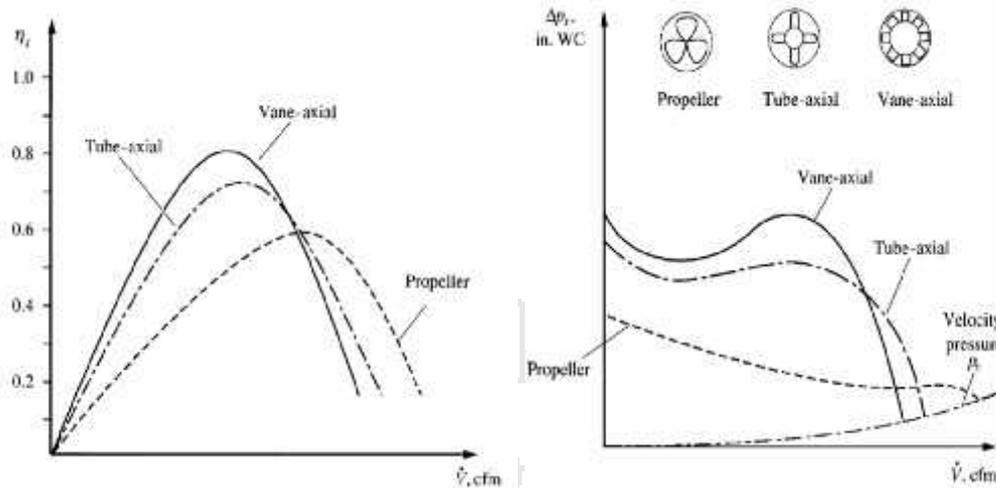
- **Ventilador de hélice:** Consiste en una hélice (impulsor) dentro de un anillo o marco de montaje. La dirección de corriente de aire es paralela a la flecha del ventilador.
- **Ventilador tube-axial:** El impulsor se encuentra dentro de un tubo para orientar el flujo de aire y mejorar el rendimiento.
- **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 en la Figura 02.08 los esquemas de los tipos de ventiladores Axiales: a) ventilador helicoidal, b) ventilador tube-axial, c) ventilador vane-axial y en la Figura 02.09 tenemos las performances típicas para cada tipo de ventilador axial.



**Figura 02.08:** Esquema de ventilador centrífugo

Fuente: Rodríguez Delgado, 2008



**Figura 02.09:** Curvas típicas para los tipos de ventiladores axiales.

Fuente: Rodriguez Delgado, 2008

### 2.2.9. Flujo de aire

El principio fundamental para la generación de flujo en un circuito es la variación de presión entre dos puntos a los cuales es denominado entrada y salida. La diferencia de presión deseada tiene su fuente por la presencia de gradiente térmica o sea agentes mecánicos.

### 2.2.10. Flujo de aire en paralelo

Considerando la teórica de circuitos en paralelo, el flujo en paralelo cumple con el mismo principio, cuyo caudal total es la suma de todos los caudales que convergen al mismo punto, con una diferencia de presión es igual (Ver Figura 02.10).

Para su cálculo estimado se aplica las siguientes ecuaciones:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + \dots + Q_N$$

$$H_L = H_1 = H_2 = H_3 = H_4 = \dots = H_N$$

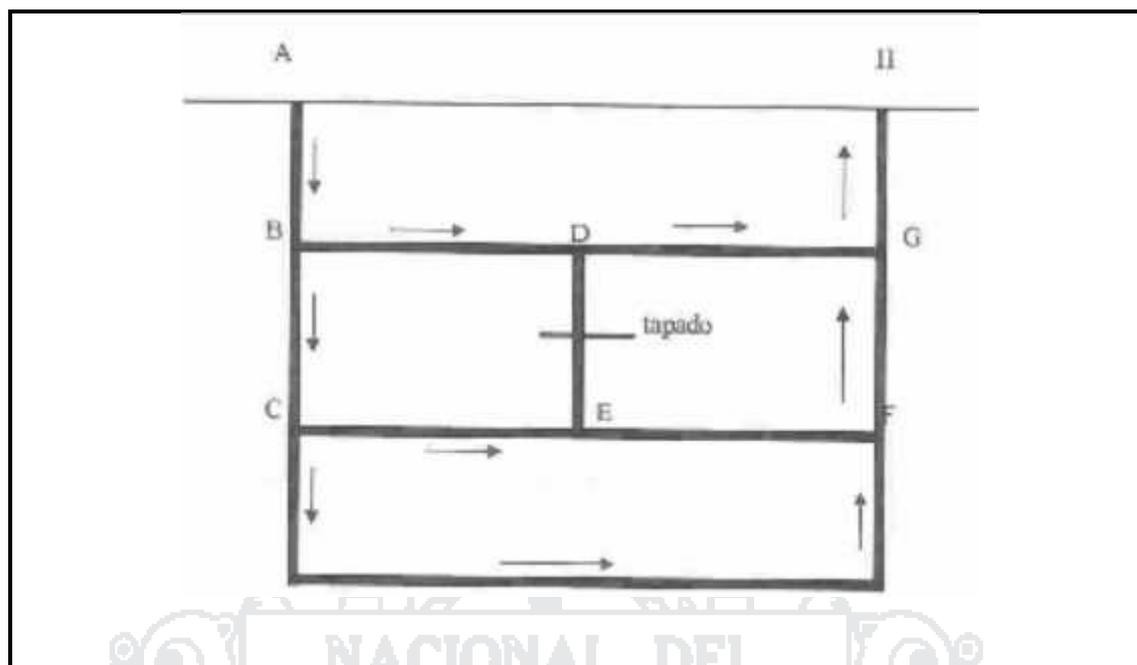
$$\frac{1}{\sqrt{R}} = \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \frac{1}{\sqrt{R_3}} + \frac{1}{\sqrt{R_4}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_N}}$$

Dónde:

Q = caudal en ft<sup>3</sup>/m

H = pérdida de presión en in. Water

R = Resistencia in. -min<sup>2</sup>/ft<sup>6</sup>



**Figura 02.10:** Esquema de ventilación en paralelo

**Fuente:** Howard L. Hartman 1992

### 2.2.11. Flujo de aire en serie

El comportamiento de ventilación en serie está basado en el paso del mismo caudal de aire a través de diversos puntos, cuyas pérdidas se van incrementando por la mayor resistencia que este va adquiriendo en toda la longitud del sistema. (Ver Figura 02.11).

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = \dots = Q_N$$

$$H_L = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + \dots + H_N$$

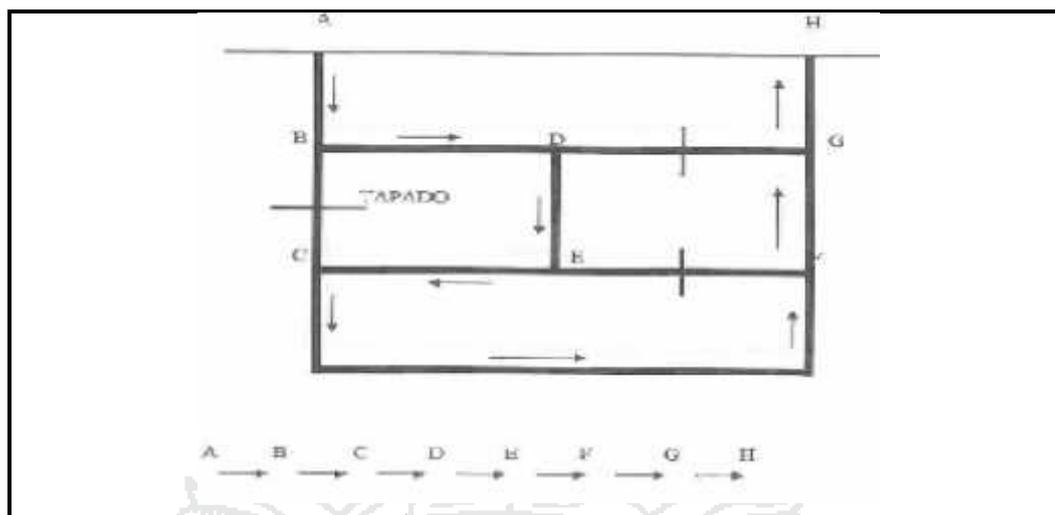
$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_N$$

Donde:

Q = caudal en ft<sup>3</sup>/m

H = pérdida de presión en in. Wáter

R = Resistencia in. - min<sup>2</sup>/ft<sup>6</sup>



**Figura 02.11:** Esquema de ventilación en serie

**Fuente:** Howard L. Hartman 1992

## 2.3. Hipótesis

### 2.3.1 Hipótesis general

- Es posible mejorar el sistema de ventilación actual de la cortada 3800 mediante un sistema enseriado de ventiladores de 30000 cfm, y la combinación entre ventilación impelente y aspirante, proporcionando un diseño apropiado para la optimización del sistema de ventilación del Proyecto Cortada – 3800, U.M. San Rafael – MINSUR, debido a que el sistema y método de ventilación en la actualidad es deficiente.

### 2.3.2. Hipótesis específicos

- Es posible la implementación de un sistema enseriado de ventiladores de 30000 cfm de acuerdo a la distancia óptima de ventilación por cada ventilador que proveerá de aire fresco por el sistema de ventilación, del Proyecto Cortada 3800 – Quenamari, U.M. San Rafael – MINSUR, ya que el diseño del sistema de ventilación actual es deficiente
- Es posible mejorar el método de ventilación actual que es deficiente, mediante la combinación de los métodos de ventilación impelente y aspirante que facilitará la optimización del sistema de ventilación en el Proyecto Cortada 3800 – Quenamari, U.M. San Rafael – MINSUR.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Método de la Investigación

El proyecto de Investigación que se pretende realizar es un estudio Aplicativo y descriptiva, pues trata de resolver los problemas de ventilación del Proyecto Cortada 3800 – Quenamari, U.M. San Rafael – MINSUR. Y demostrar que hay buena ventilación después de mejorar el Sistema de Ventilación en el Proyecto Cortada 3800 – Quenamari.

#### 3.2. Población y muestra

##### 3.2.1. Población.

La población para el presente estudio de Investigación está representada por toda la Mina San Rafael - MINSUR, dentro del cual está el Proyecto Cortada 3800 – Quenamari, U.M. San Rafael – MINSUR. También se solicitará si es que hubiere datos históricos en de los registros existentes en diferentes áreas de la Mina, específicamente del departamento de Ventilación.

##### 3.2.2. Muestra.

La muestra está representada por el Proyecto Cortada 3800 – Quenamari, U.M. San Rafael – MINSUR.

Tomando puntos de referencia a cada 3 metros, desde la progresiva 0+000 metros hasta el final de la labor a rehabilitar que es la progresiva 2+300 metros, la lectura de los equipos de monitoreo utilizados para la obtención de datos en avanzada, para los cálculos a realizar según el avance diario de los trabajos realizados por el personal.

### 3.3. Métodos técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.3.1. Técnicas

Las técnicas utilizadas en la Optimización del sistema de ventilación para el Proyecto Cortada 3800 – Quenamari, U.M. San Rafael – MINSUR, se basan en los siguientes procedimientos:

- Mapeo de ventilación.
- Dimensionamiento del Proyecto Cortada 3800 – Quenamari, para determinar el área y posteriormente hallar el Caudal de aire.
- Medición de flujos de Aire.
- Sistema enseriado de los ventiladores axiales de 30 cfm.
- Colocado de cortinas de retorno de aire.

Todo el procedimiento de recolección de datos se ejecutan siguiendo o cumpliendo el PASSO de la cortada 3800 – Quenamari que está definido en el anexo 10.

##### 3.3.1.1. Mapeo de ventilación.

Esta cortada se trabajó hace aproximadamente 2 años, tiene una longitud aproximada de 2200 metros en línea recta, dentro de las características que se tuvieron durante la construcción se presentaron temperaturas extremas (35 °C) el tipo de ventilación forzado (ventiladores en serie), el personal se transportaba con calesas equipadas para el transporte del personal (locomotora a batería), el aire fresco se trató de mantener siempre en el frente de trabajo, en algunos tramos se tubo presencia de ojos de agua donde hubo buen caudal de agua caliente debido al gradiente geotérmico, por ende esta agua hacia que la temperatura en los frentes de trabajo incremente por tal motivo se entubo para minimizar la temperatura del ambiente.

La limpieza de los frentes de trabajo se realizó con pala neumática, el acarreo se realizó con carros mineros y locomotora como se evidencia que nuestra labor fue y/o es netamente convencional.

Según el diseño se presentó tramos de sección amplia para el cruce de carros mineros, de igual manera los refugios, el sostenimiento se realizó con la aplicación de cimbras y cuadros de madera en algunos tramos.

La sección de la labor es de 2.5x3.0 mts y con cunetas de 0.60x0.50 mts lo cual es entubado con tubo 13 pulgadas protegido con concreto, y por ella drena el agua caliente hasta la rampa principal llegando a una poza de bombeo.

Para el monitoreo se realizará haciendo uso de los equipos autónomos de rescate, los cuales deberán garantizar la no exposición del personal que realice el monitoreo de los agentes químicos presentes en la atmosfera de la labor, para realizar este trabajo se deberá elaborar un Análisis de Trabajo Seguro y el PETAR, ya que contempla potencial de riesgo alto, deberá ser realizado por personal entrenado y calificado.

Se realizará el monitoreo de temperatura, gases y caudales, de acuerdo al protocolo de liberación de área de trabajo, en avanzada se ponen puntos referenciales de monitoreo de agentes químicos y físicos a cada 3 metros.

Se efectuará la construcción de puertas reguladoras de ventilación para el mejoramiento del circuito de ventilación y ayude al rebote del aire fresco que entra por el ducto de ventilación, de tal manera ayude a disipar el aire viciado de manera rápida.

Se efectuara la ventilación de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Prolongar mangas de ventilación en avanzada en tramos de 50 mts. (cocido en los empalmes) asegurando en el hastial.
- El colocado de manga se hará con el personal de brigada y operario utilizando el equipo de autocontenido, ropa impermeable y equipo de monitoreo de gases.
- Dejar ventilando la labor por 02 guardias (01 día), bloqueando el área
- Ingresar monitoreando la labor con el personal autorizado y utilizando el equipo autocontenido.
- Limitar el área crítica, para evitar el contacto con la zona de gases, mantener un margen de seguridad (15 mts) y limitar la zona segura.

### **3.3.1.2. Dimensionamiento del proyecto cortada 3800 – QUENAMARI.**

De acuerdo al historial de nuestra labor, se entiende que fue una labor ciega que tenía una entrada y el mismo también es para salida del personal y de los agentes químicos y físicos que se presenten en la Cortada 3800 – Quenamari.

De acuerdo al pasaporte de labor sacamos las medidas que nos facilitara el cálculo requerido (Ver Figura 03.01).

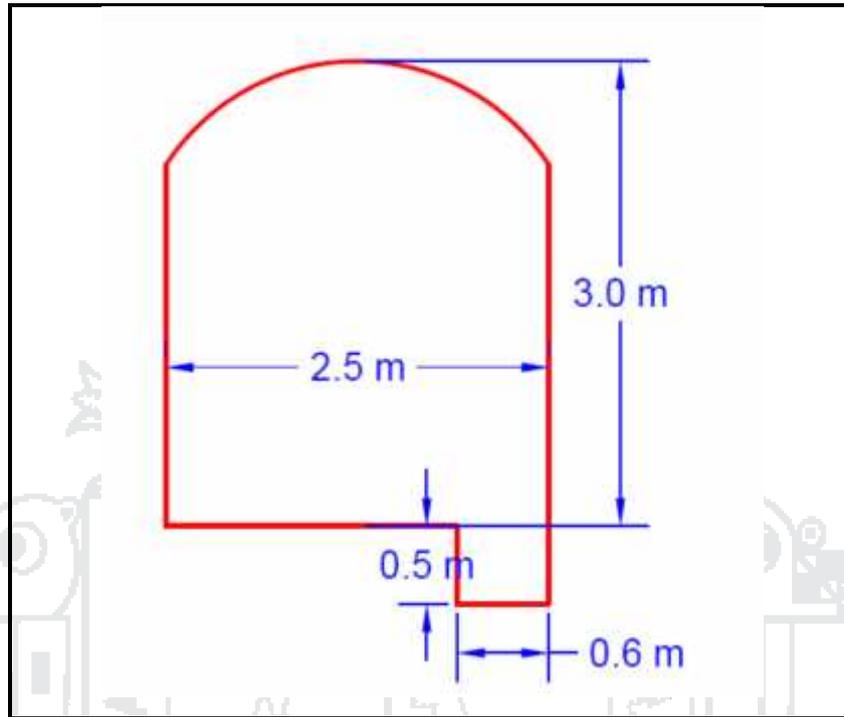
#### **Dimensión de Labor:**

- Ancho de labor = 2.5 metros.
- Altura de Labor = 3.0 metros.

#### **Cuneta:**

- Ancho = 0.6 metros.

➤ Profundidad = 0.5 metros.



**Figura 03.01:** Sección de labor

Fuente: Autor de tesis

Realizando las operaciones matemáticas se obtiene:

$$\begin{aligned}
 A &= S \quad \text{ónd } L &= B * A \\
 A &= S \quad \text{ónd } L &= 2.5 \text{ m} * 3.0 \text{ m} \\
 A &= S \quad \text{ónd } L &= 7.5 \text{ m}^2 \quad \text{----- (3.1)}
 \end{aligned}$$

Para hallar el volumen de Proyecto cortada 3800 – Quenamari:

$$V_t = S \quad \text{ónd } L \quad b \quad L \quad d \quad l_t \quad \text{----- (3.2)}$$

Dónde: De los datos del pasaporte del proyecto se obtiene.

$$L \quad d \quad L = 2 \quad m \quad \text{----- (3.3)}$$

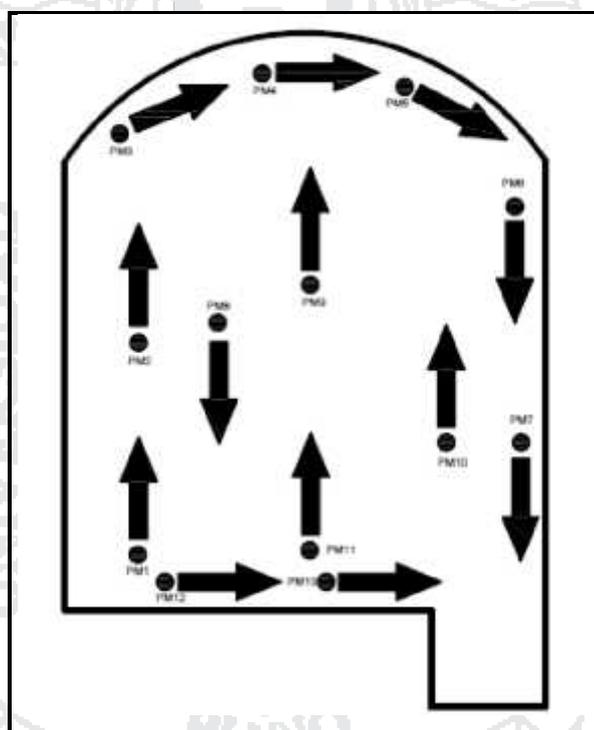
3.1 y 3.3 reemplazamos en 3.2:

$$\begin{aligned}
 V_t &= 7.5 \text{ m}^2 \quad 2 \quad m \\
 V_t &= 15.0 \text{ m}^3 \quad \text{----- (3.4)}
 \end{aligned}$$

### 3.3.1.3. Medición de flujos de aire.

Para la medición de la velocidad del aire se aplicó el método de Barrido utilizando el anemómetro Kestrel y equipo Altaír 5X, este método consiste en circular el aparato a lo largo de la sección, efectuando un barrido lo más amplio y completo posible. Requiere que el anemómetro acumule los valores y de una medida integrada (Ver Figura 03.02).

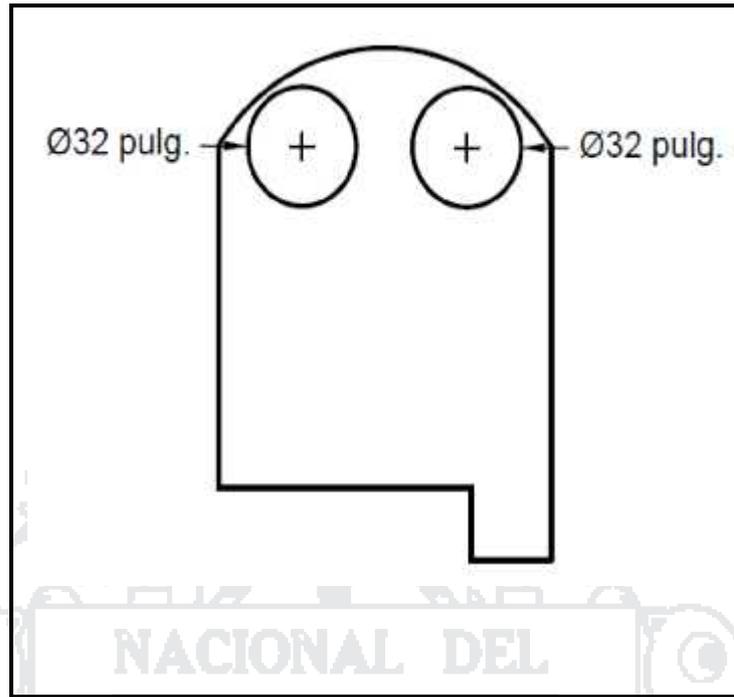
Una variable de este método es lo que actualmente se está empleando en la mina, para tener en cuenta la diferente velocidad que presenta la corriente de aire entre el centro de la Cortada y la periferia de la misma, se puede tomar como una buena aproximación a la velocidad media real el siguiente método ver Tabla 04.04 hasta la Tabla 04.15.



**Figura 03.02:** Monitoreo aplicando método de barrido

**Fuente:** Autor de tesis

En el proyecto cortada 3800 – Quenamari, el circuito de alimentación de aire fresco se realizara vía ductos de ventilación (mangas de ventilación de 32 pulgadas de diámetro), para el cual se toma los puntos de monitoreo a la salida de la manga de ventilación (Ver Figura 03.03, Figura 03.04, Figura 03.05), en avanzada al punto de operación donde realizan los trabajos de rehabilitación.



**Figura 03.03:** Colocado de mangas de ventilación.

**Fuente:** Autor de tesis

$$A = S \quad \text{ón } d \quad M \quad = \pi r^2$$

$$A = S \quad \text{ón } d \quad M \quad = \pi \left( \frac{0.8}{2} m \right)^2$$

$$A = S \quad \text{ón } d \quad M \quad = 0.5 \, m^2 \quad \text{----- (3.5)}$$

Para hallar el volumen de la manga de todo el trayecto de la cortada:

$$V_t = S \quad \text{ón } d \quad M \quad L \quad d \quad l_i \quad \text{----- (3.6)}$$

Reemplazando 3.3 y 3.5 en 3.6:

$$V_t = 0.5 \, m^2 \cdot 2 \, m$$

$$V_t = 1.0 \, m^3 \quad \text{----- (3.7)}$$



**Figura 03.04:** Instalación de mangas de ventilación

**Fuente:** Autor de tesis



**Figura 03.05:** Salida del ventilador enseriado

**Fuente:** Autor de tesis

### 3.3.1.4. Sistema Enseriado de los ventiladores axiales de 30 cfm.

Los ventiladores axiales, expulsan el aire en la misma dirección a su eje de rotación de las aspas. En cambio, los ventiladores centrífugos toman el aire en la misma dirección y por ello, suele ser el preferido en instalaciones donde haya que colocar conductos.

Existen tres tipos diferenciados de ventiladores axiales: los ventiladores helicoidales, tubulares y tubulares con directrices.

Los más utilizados para la ventilación, son los ventiladores axiales de tipo helicoidales. El uso de éste tipo de ventiladores en instalaciones industriales, viene determinada por su alto rendimiento.

Según la normativa UNE 100250, estos ventiladores deben llevar incorporada una rejilla de protección. Así, las hélices del aparato quedan totalmente protegidas ante cualquier peligro externo, en la Tabla 03.01 observaremos las características del ventilador REMOVEX.

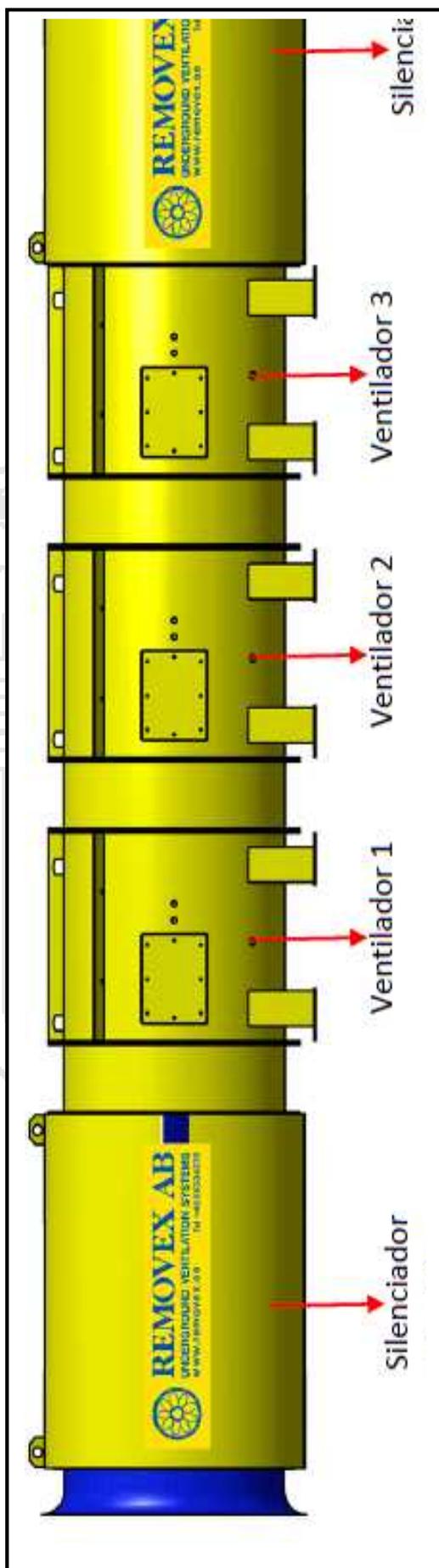
**Tabla 03.01.** Características del ventilador Removex

<b>Características del ventilador de 30000 cfm REMOVEX</b>	
Ventilador	30,000 cfm (14.2 m <sup>3</sup> /s)
Motor	Brook crompton
Potencia eléctrica	75 KW
Eficiencia	80%
Velocidad de giro	3571 rpm
Voltaje/Frecuencia/PH	440 V / 60 Hz
Diámetro de ventilador	100mm
Angulo de los alabes	36°
Caudal	30,000 cfm (14.2 m <sup>3</sup> /s)
Presión total	2838 Pa (11.4 in c.H <sub>2</sub> O) x 3
Altitud	4500 m.s.n.m - 28 °C
Densidad de aire (kg/mt <sup>3</sup> )	0,75 kg/m <sup>3</sup>
Nivel de ruido	85 dBA (a 7 metros de distancia)

**Fuente:** Autor de tesis

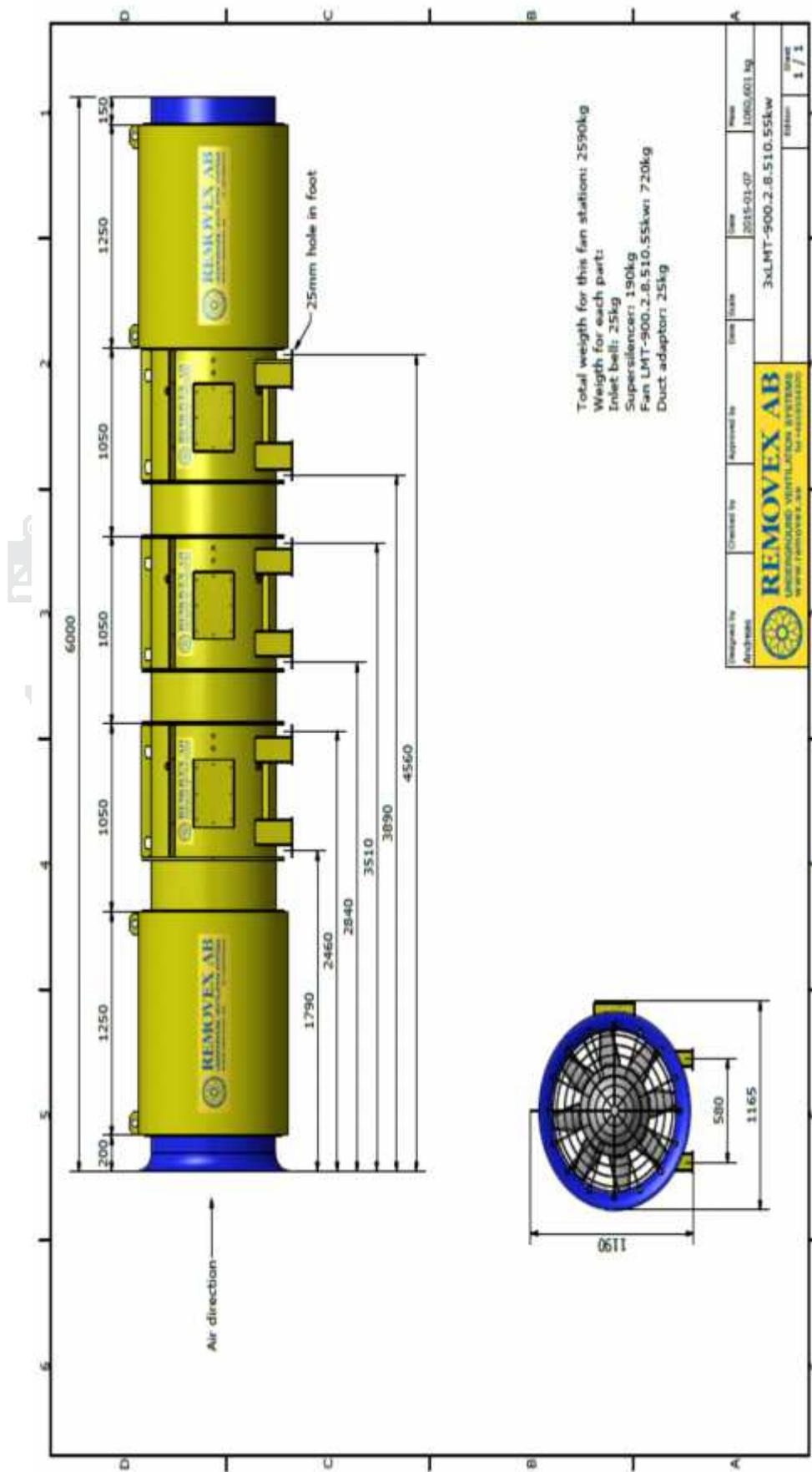
**Diseño de Enseriado de los ventiladores de 30000 cfm (3 unidades):**

Los ventiladores serán instalados de acuerdo al requerimiento de aire en la labor, cada ventilador tiene una distancia optima de trabajo, los tres ventiladores enseriados



**Figura 03.06:** Sistema enseriado de ventiladores de 30000 cfm.

Fuente: Catalogo de REMOVEX, JJ MINING



**Figura 03.07:** Colocado de mangas de ventilación.  
 Fuente: REMOVEX; JMINIG

Se muestra a continuación las imágenes de los ventiladores axiales REMOVEX AB de 30000 cfm, instalados en la cortada, 3 ventiladores enseriados, así como se ven en la Figura 03.08 y Figura 03.09



**Figura 03.08:** Ventilador enseriado

**Fuente:** Autor de tesis



**Figura 03.09:** Ventiladores axial REMOVEX AB de 30000 cfm, instalados en la cortada, 3 ventiladores enseriados.

**Fuente:** Autor de tesis

**Resistencia específica:**

La resistencia específica, es la resistencia que opone el paso del aire de una labor. Está dado por la siguiente formula:

$$R = \frac{K P L}{5.2 A^3} \text{----- (3.8)}$$

**Donde:**

R: Resistencia (Pulg. – min<sup>2</sup>/ft<sup>6</sup>)

K: Factor de Fricción (lb – min<sup>2</sup>/ft<sup>4</sup>)

P: Perímetro (ft)

L: Longitud (ft)

A: Área (ft<sup>2</sup>)

**Formula de Atkinson:**

Entre las pérdidas de presión estadísticamente la fricción representa de un 70 a 90 % de todas las perdidas. Para elegir

$$P_D = \frac{K P L V^2}{A}$$

$Q = V A$  Donde:

Reemplazando se tiene:

$$P_D = \frac{K P L Q^2}{A^3} \text{----- (3.9)}$$

**Donde:**

Pd: Caída de Presión (Pa)

K: Factor de Fricción (Kg/m<sup>3</sup>)

P: Perímetro (m)

L: Longitud (m)

V: Velocidad (m/s)

A: Área (m<sup>2</sup>)

La adquisición de los ventiladores se efectuara relativo al avance de la rehabilitación del Proyecto cortada 3800–Quenamari, hasta culminar la rehabilitación de 2300 metros de rehabilitación, es decir a cada 700 metros abastece con buen caudal de aire fresco en la cortada en la Tabla 03.02 se observa el costo de adquisición del ventilador REMOVEX.

Componentes	Modelo	Potencia (Kw)	Precio Unitario (USD)	Cantidad	Total Precio (USD)
<b>1) VENTILADORES: 30,000 CFM - 03 VENTILADORES EN SERIE PARA 4000 METROS DE LONGITUD</b>					
Ventilador	LMT-900.2.8.560.75 kW	75kW	24.118,60	3	72.355,80
Silenciadores	GSC 900.1200.120		3.871,92	2	7.743,84
Campana de entrada	GIB 900		1.001,90	1	1.001,90
Adaptador de ducto	GDA 900		751,42	1	751,42
Estrella Triangulo	SDS75	75kW	4.300,00	3	12.900,00
<b>TOTAL POR 03 VENTILADORES EN SERIE - STOCK LIMA (USD)</b>					<b>94.752,96</b>

**Tabla 03.02.** Costo adquisición de los ventiladores de 30000 cfm.

Fuente: San Rafael – MINSUR

**Costo de cambio de mangas de ventilación de 30’’ a 32’’ de diámetro:**

Las mangas de ventilación cumple un papel importante en la Optimización del sistema de ventilación del Proyecto cortada 3800 – Quenamari, Al realizar el cambio de manga de 30’’ por la de 32’’ y la calidad de la manga de ventilación permitirá el mejoramiento del caudal de aire que ingrese a la cortada, para ello se efectúa una cotización y aprobación de la compra de mangas de ventilación Ignifugas, que a continuación se detalla el costo de las mangas en la Tabla 03.03.

**Tabla 03.03.** Costo de cambio de mangas de ventilación.

Diámetro	Calidad	Secciones	Precio Unitario (USD)	Cantidad en metros	Total Precio (USD)
<b>2) MANGAS DE VENTILACION FLEXIBLES "IGNIFUGAS" INCLUYE ZIP-JOINTS Y GANCHOS DE SUSPENSION - 500 GR</b>					
Ø42"	Airolite FR-RSX	20m	17,50	0	0,00
<b>Accesorios - Mangas de Reparación de 1, 3 y 5 metros</b>					
Ø42"	SRS211	1m	61,00		0,00
Ø42"	SRS213	3m	125,49		0,00
Ø42"	SRS215	5m	191,53		0,00
<b>TOTAL STOCK LIMA (USD)</b>					<b>0,00</b>

Fuente: San Rafael - MINSUR

**3.3.1.5. Colocado de cortinas de retorno de aire.**

De acuerdo al plan de rehabilitación y monitoreo de agentes químicos y físicos, se realiza un estudio con los datos obtenidos de al monitoreo que se realiza a diario en la cortada 3800, para optimizar el sistema de ventilación y que el área de influencia donde el personal ejecuta sus trabajos programados estén en mejores condiciones, se colocan cortinas en lugares estratégicos para ayudar a disipar las partículas en suspensión como los gases presentes en la Cortada, bajo el efecto rebote.

En la cortada se realiza protocolo de liberación de área de trabajo, que consiste en monitorear un cierto tramo de la cortada, dependiendo de las condiciones del terreno para luego bloquear en el punto final de la apertura de área y colocar una cortina

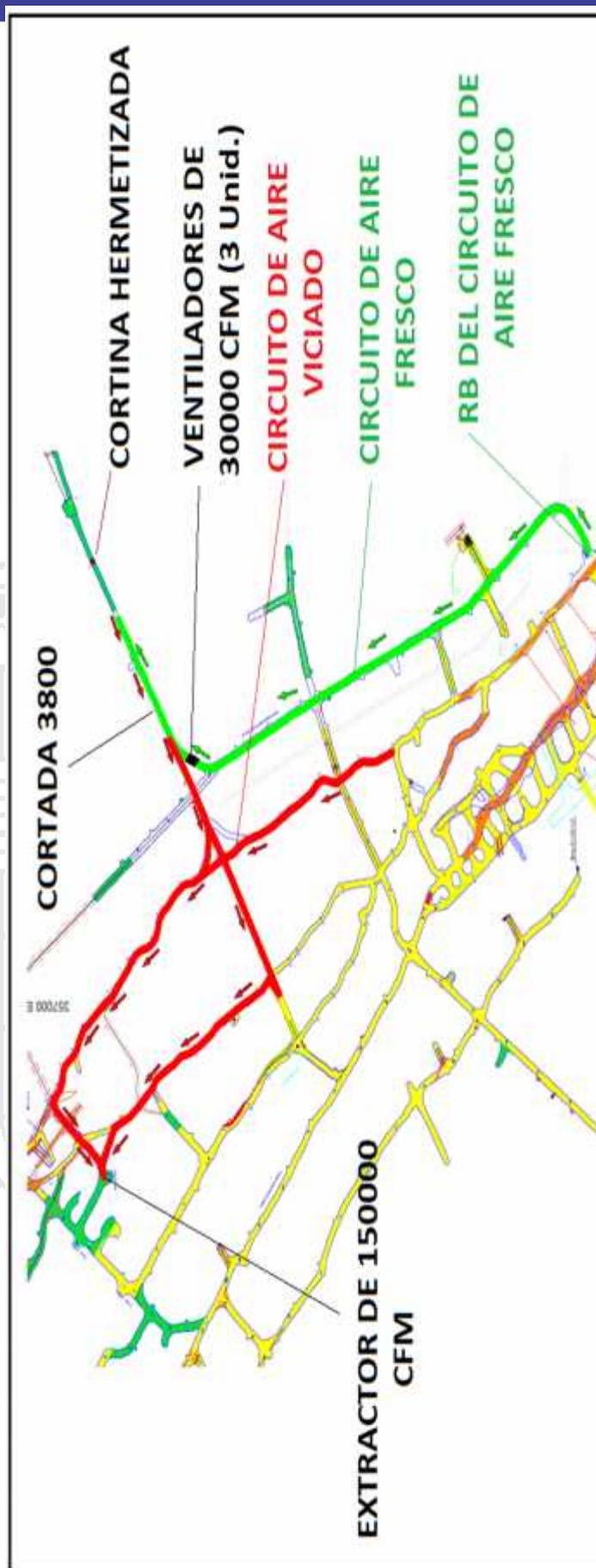


Figura 03.10: Círculo de ventilación óptimo de aire fresco y aire viciado

Fuente Autor de tesis

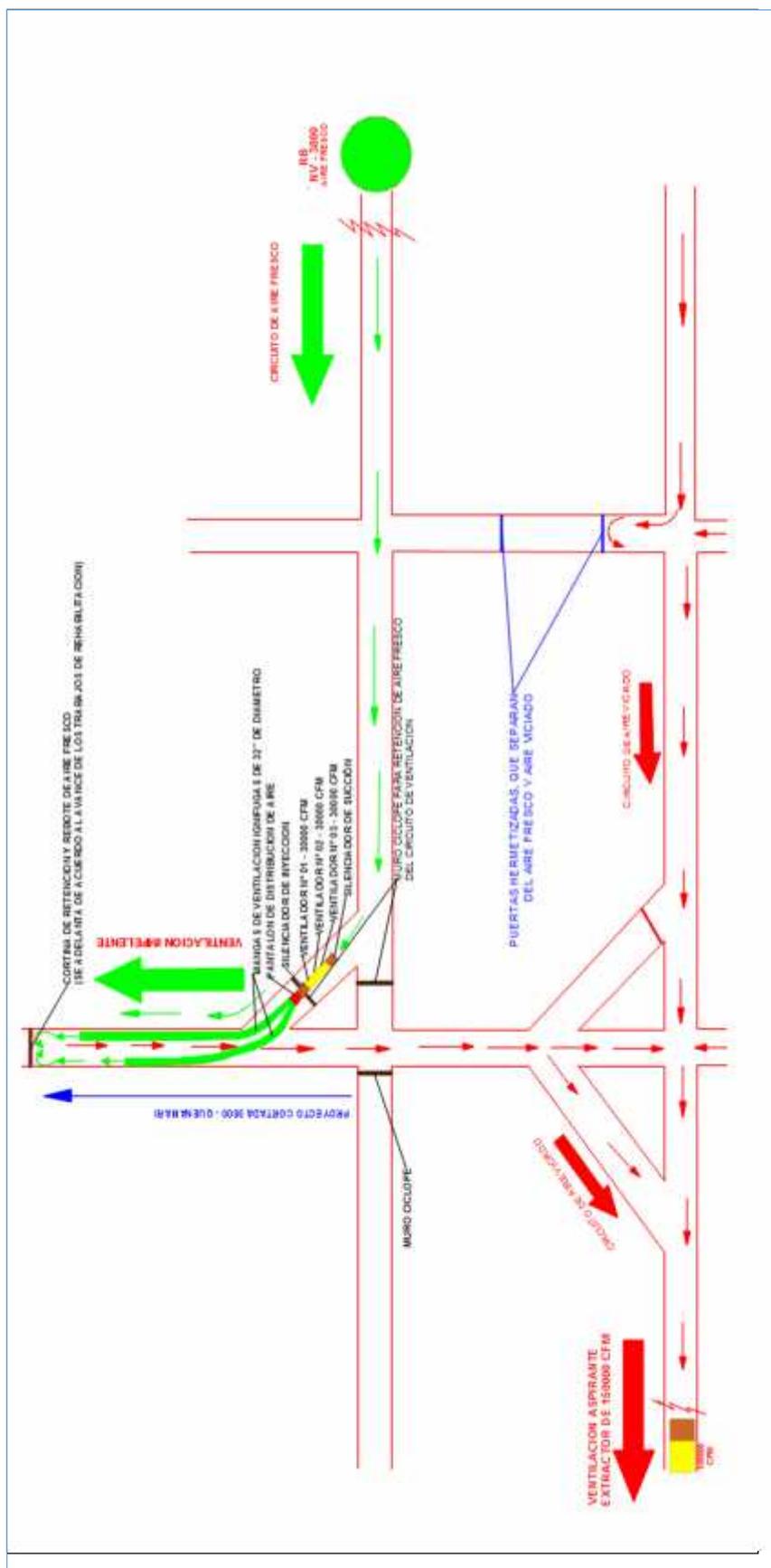


Figura 03.11: Combinación entre ventilación impelente y ventilación aspirante y cortinas de rebote.

FUENTE: Autor de tesis

Para optimizar el circuito de ventilación del Proyecto Cortada 3800 – Quenamari, se debe realizar una combinación de los tipos de ventilación, en este caso aremos la combinación de Ventilación Impelente con Ventilación Aspirante y utilizaremos Cortinas de rebote de aire, tal como se muestra en la Figura 03.11.

Para el método de ventilación Impelente, utilizaremos 3 ventiladores de 30000 cfm, enseriados de acuerdo a la caída del caudal, para los primeros 800 metros utilizaremos un ventilador, y posterior a ello enseriaremos el segundo ventilador que nos dará un tramo de ventilación óptima de 1700 metros entre los dos ventiladores, y finalmente enseriamos el tercer ventilador, con el cual culminaremos la rehabilitación que es un tramo de 2200 metros.

Para el método de ventilación Aspirante, utilizaremos un ventilador extractor con capacidad de 150000 cfm que está ubicado en el nivel 3800, que absorberá los agentes químicos y físicos presentes en la cortada, dichos agentes serán absorbidos al circuito de aire viciado, que posteriormente será expulsado hacia superficie por chimeneas RB y acoplados en superficie a dos ventiladores extractores de 250000 cfm que está ubicado en Umbral ver: Anexo 3.

### **3.3.2. Instrumentos para la recolección de datos**

Para la recolección de datos en esta Investigación se utilizó los siguientes equipos e instrumentos, en caso si suscitara alguna eventualidad se sigue la respuesta para emergencias AESA, que está en el Anexo 9.

#### **3.3.2.1. Altaír 5X MSA.**

El detector multigases ALTAIR 5 debe ser utilizado por personal calificado y debidamente capacitado. Ha sido diseñado para realizar un monitoreo de riesgo para:

- Evaluar la exposición potencial de un trabajador a vapores y gases tóxicos, así como también el nivel bajo de oxígeno.
- Determinar el monitoreo de las cantidades de vapor y de gas apropiadas para un lugar de trabajo.

El detector multigases Altaír 5 puede estar equipado para detectar:

- Gases combustibles y determinados vapores de combustible.
- Atmosferas ricas o deficientes en oxígeno.
- Gases tóxicos específicos para los cuales se instala un sensor

Si bien el instrumento puede detectar hasta el 25% de oxígeno en el aire ambiente, se aprueba para un uso de hasta el 21% de oxígeno solamente. (Ver Figura 03.12).



**Figura 03.12:** Altaír 5X y su equipo calibrador

**Fuente:** Autor de tesis

### 3.3.2.2. Equipo autocontenido de MSA.

Los equipos autónomos son de protección respiratoria de circuito cerrado, que permite al personal que lo usa respirar mediante la manguera y mascarilla que se ajusta a la cara y queda bien adherido a la piel, el tiempo que dura es depende del ritmo de respiración del personal, que es más de 30 minutos aproximadamente.

Los equipos autónomos de protección respiratoria de MSA, han sido diseñados para ser duraderos y requerir poco mantenimiento. Con la finalidad de adecuarse a todas las aplicaciones y presupuestos, los SCBA de MSA, son configurados y ensamblados conforme a los requerimientos del usuario final.

Para facilitar los pedidos, MSA ha dispuesto algunas configuraciones estándar que cumplen satisfactoriamente los requerimientos del mercado. (Ver Figura 03.13).



**Figura 03.13:** Equipo autocontenido de MSA

**Fuente:** Autor de tesis

### 3.3.2.3. Trajes encapsulados y/o hermetizados.

La ropa de protección química protege al operador contra químicos tóxicos por un tiempo limitado. Sin embargo hay que mencionar que no hay ningún traje que proteja al operador contra todos los químicos peligrosos o contra todo tipo de peligros potenciales en un incidente con materiales peligrosos, actualmente no hay material disponible que sea una barrera eficaz contra la exposición química prolongada.

Existen 2 tipos de trajes encapsulados valvulares y no valvulares. Los trajes valvulares, cubren totalmente al usuario, sin aberturas que dejen entrar producto al interior del traje.

También cubren todo el equipo que lleva o usa dentro del traje, protegiendo contra toda exposición.

Los trajes valvulares herméticamente encapsulados para gases, traen un cierre que los sella y un velcro que protege el cierre. (Ver Figura 03.14).



**Figura 03.14:** Traje encapsulado

Fuente: Autor de tesis

#### **3.3.2.4. Anemómetro kestrel.**

El anemómetro es un equipo de vital importancia para la obtención de datos y poder realizar el estudio del trabajo de Investigación, el anemómetro que se utiliza en la unidad de trabajo es el Anemómetro Kestrel el cual nos permite obtener datos como la velocidad del aire en la labor, temperatura, humedad relativa. Dichos datos serán almacenados en una base de datos y poder realizar los cálculos requeridos del estudio, de tal manera tomar las medidas correctivas para poder seguir mejorando el sistema de ventilación de la cortada 3800. (Ver Figura 03.15).



**Figura 03.15:** Anemómetro Kestrel

**Fuente:** Autor de tesis

### 3.4. Procedimientos de recolección de datos

Los datos recolectados se obtiene del campo, el monitoreo se ejecuta a diario tomando como puntos de referencia a cada 3 metros desde el inicio del Proyecto Cortada 3800, y se toma puntos de monitoreo a cada 300 metros a lo largo del trayecto de la Cortada 3800 desde la progresiva 0+000 metros hasta el final de la rehabilitación de la cortada progresiva 2+300 metros aproximadamente, de los cuales aplicando el promedio para la muestra representativa de oxígeno, temperatura y entre otros.

#### 3.4.1. Método de barrido:

Consiste en circular el equipo de monitoreo de gases, y anemómetro a lo largo de la sección, efectuando un barrido lo más amplio y completo posible. Requiere que el anemómetro y equipo Altaír acumule los valores y de una medida integrada.

### 3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se utilizó diferentes programas de minería para ejecutar los siguientes cálculos:

- Hojas de calculo
- Base de datos
- Graficadores: AutoCAD y Excel, etc.

### 3.6. Operacionalización de variables

#### 3.6.1. Variable independiente:

- Diseño del sistema de ventilación óptimo
- Tipos de ventiladores
- Diámetro de manga de ventilación
- Densidad del aire

#### 3.6.2. Variable dependiente:

- Optimización del sistema de ventilación proyecto cortada 3800 – Quenamari, (Ver Tabla 03.04)

**Tabla 03.04.** Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	ESCALA DE MEDICION
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Longitud de labor.</li> <li>➤ Sección de labor.</li> <li>➤ Diseño del sistema de ventilación óptimo.</li> <li>➤ Tipos de ventiladores</li> <li>➤ Diámetro de manga de ventilación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ventiladores axiales</li> <li>➤ Diferencia de temperatura</li> </ul>	Psi, CFM
		°C
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Diámetro de mangas</li> <li>➤ Velocidad del aire</li> <li>➤ Caída del flujo de aire</li> <li>➤ Área de labor</li> <li>➤ Distancia de labor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Pulgadas</li> <li>➤ m/s</li> <li>➤ kg/m<sup>3</sup></li> <li>➤ m<sup>2</sup></li> <li>➤ m- lineales</li> </ul>
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Optimización del sistema de ventilación Proyecto Cortada 3800 – Quenamari.</li> </ul>	Ventiladores aspirantes e impelentes. Mangas de ventilación. Velocidad del aire	ft <sup>3</sup> /s ó (CFM)
		<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Pulgadas</li> <li>➤ m/s</li> </ul>

**Fuente:** Autor de tesis

### 3.7. Ámbito de estudio

#### 3.7.1 Ubicación

La mina San Rafael, propiedad de MINSUR S.A., está ubicada en el departamento de Puno, en el nevado Quenamari de la Cordillera de Carabaya y un segmento de la cordillera Oriental, a una altitud de 4 500 m.s.n.m. Esta es la única mina de estaño en el Perú y la segunda en producción a nivel mundial, después de P.T. Tima, de Indonesia.

San Rafael produce actualmente 2 730 t/d con 4,80 % de estaño y 960 950 TM por año y 67,440 TM de concentrados de estaño con 62,4% de ley, en una compleja planta de tratamiento que recupera el 90,98% de estaño.

San Rafael está en las estribaciones occidentales de la Cordillera de Carabaya, en un segmento de la Cordillera Oriental del sureste peruano (Ver Figura 03.16).

En el nevado Quenamari se encuentran dos minas: San Rafael y Quenamari. La mina San Rafael está en el SW del nevado San Bartolomé de Quenamari (5299 m.).

La mina Quenamari está al SE del nevado San Francisco de Quenamari (5997 m); pertenece al distrito de Ajoyani, provincia de Carabaya dpto. De Puno y es propiedad de minera Carabaya S.A. En la actualidad está arrendada a MINSUR S.A.

Políticamente se ubica en el distrito de Antauta, provincia de Melgar, Dpto. de Puno.

Coordenadas geográficas:

- 70°19' longitud Oeste
- 14°14' latitud Sur

Coordenadas U.T.M.

- 357 730 E
- 8 426 570 N



**Figura 03.16:** Ubicación Mina San Rafael.

**Fuente:** Autor de tesis

### 3.7.2. Accesibilidad.

Se cuenta con los siguientes accesos:

Por carretera desde:

- Lima – Arequipa (1 000 Km.)
- Arequipa – Juliaca (280 Km.)

A partir de la ciudad de Juliaca existen tres rutas distantes en aproximadamente 180Km.

- a. Juliaca – Pucará – Asillo – San Rafael,

- b. Juliaca – Azángaro – San Rafael y
- c. Juliaca – Ayaviri – Santa Rosa – Nuñoa – San Rafael

La mina es accesible directamente desde Lima por vía Aérea en un viaje de dos horas y desde Lima Juliaca durante una hora, luego por carretera en un viaje de 265 Km, o sea cuatro horas.

### **3.7.3. Clima y vegetación**

El clima es frío todo el año, más fuerte en los meses de invierno austral, pero es caluroso durante los días de verano.

No hay agricultura, la vegetación es escasa y pobre, y generalmente está restringida a un pasto de altura conocido como Ichu. Abundan las llamas, alpacas y otros auquénidos.

### **3.7.4. Hidrografía**

El agua se encuentra en los nevados en pequeñas lagunas glaciares y en el río Antauta, principal colector y afluente del río Carabaya.

## **3.8. Geología**

### **3.8.1. Geología regional**

La geología regional ha sido estudiada por Laubacher (1978) y Kontak (1984).

En la región abunda una gruesa secuencia marina del Paleozoico Inferior, como las lutitas de la formación San José, de edad Ordoviciano Medio; las lutitas, areniscas y cuarcitas de la formación Sandia, de Devónico-Silúrico, que han sufrido los efectos de la tectónica comprensiva herciniana temprana.

Rocas del Paleozoico Superior han sufrido los efectos de la tectónica comprensiva herciniana final, representada por areniscas y lutitas del grupo Ambo, de edad Missisipiana; lutitas y calizas del grupo Tarma, de edad Pensilvaniana, y calizas del grupo Copacabana, de edad Pérmico Inferior.

El tectonismo anterior fue seguido por un levantamiento continental que dió origen a los sedimentos continentales y volcanismo del grupo Mitu, de edad Pérmico Medio a Superior, sobre los cuales se depositaron secuencias calcáreas, arenosas y lutíticas del Cretáceo.

Las rocas paleozoicas de la Cordillera de Carabaya fueron instruidas por rocas peraluminosas de los plutones Limacpampa, Limbani, Aricoma y Coasa, agrupados en el batolito de Coasa, de edad Triásica.

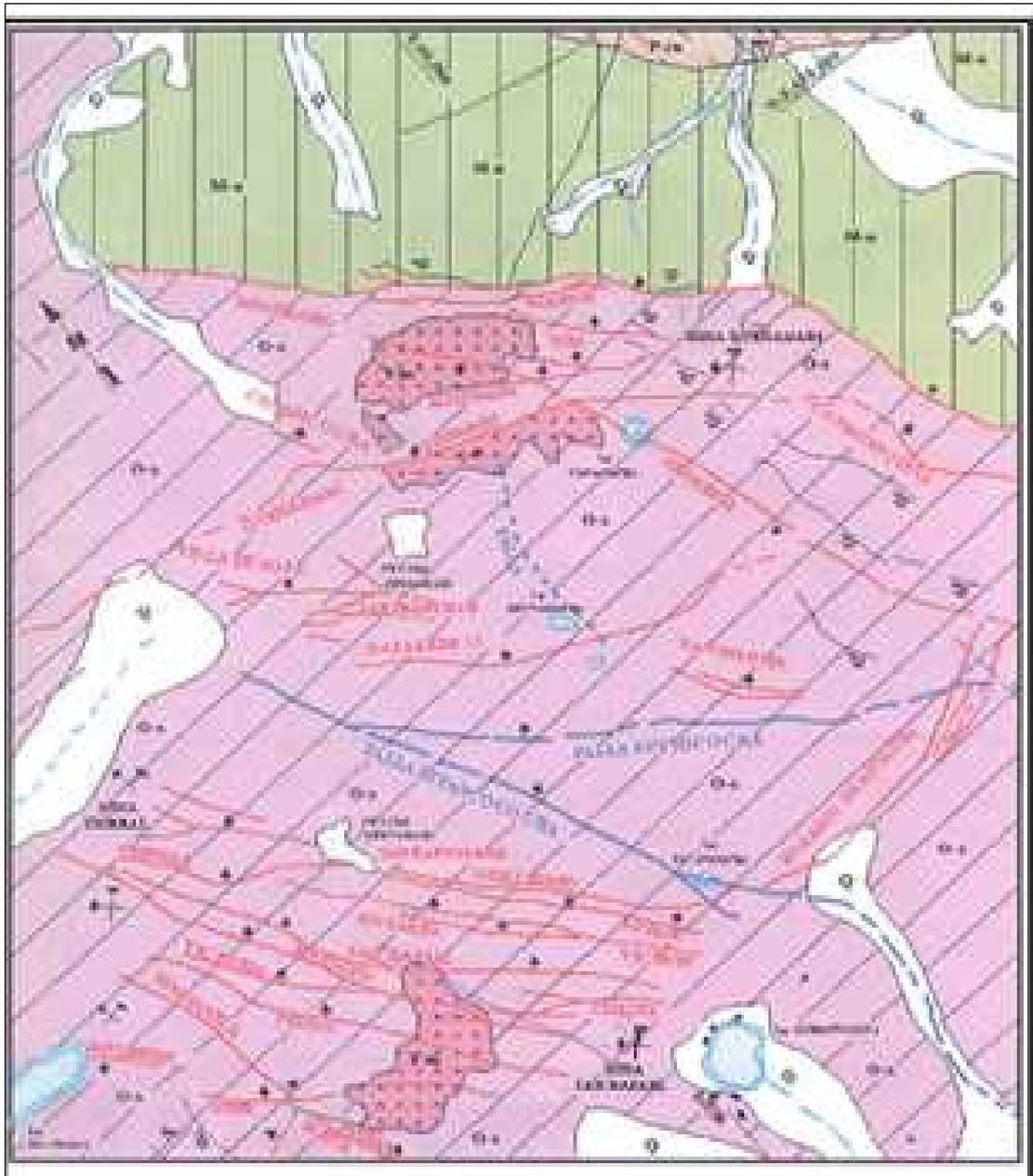
Hacia el noreste se encuentra un plutón de sienita nefelínica peraluminoso y volcánicos peralcalinos, ambos del Jurásico; así mismo, el complejo San Gabán (Kontak 1 991).

En la depresión del Crucero y en las estribaciones de la Cordillera o precordillera de Carabaya existen rocas ígneas extrusivas e hipabisales del terciario.

Las rocas extrusivas comprenden lavas y piroclásticos, basaltos, shoshonitas, riocitas y riolitas del tipo S, además, intrusitos hipabisales peraluminosos emplazados entre los 22 Ma y 26 Ma, del Oligoceno Superior-Mioceno Inferior.

Otro tipo de rocas comprende piroclásticos e hipabisales riolíticos fuertemente peraluminosos, con biotita, sillimanita, moscovita, andalucita, turmalina, que fueron emplazados entre 6,5 Ma y 17 Ma del mioceno inferior (Sandeman, 1 997).

Los intrusitos triásicos y terciarios forma parte del dominio magmático del arco interior de la Cordillera oriental, la que ha tenido una evolución diferente al dominio magmático del arco principal de la Cordillera occidental (Clark, 1 984), (Ver Figura 03.17).

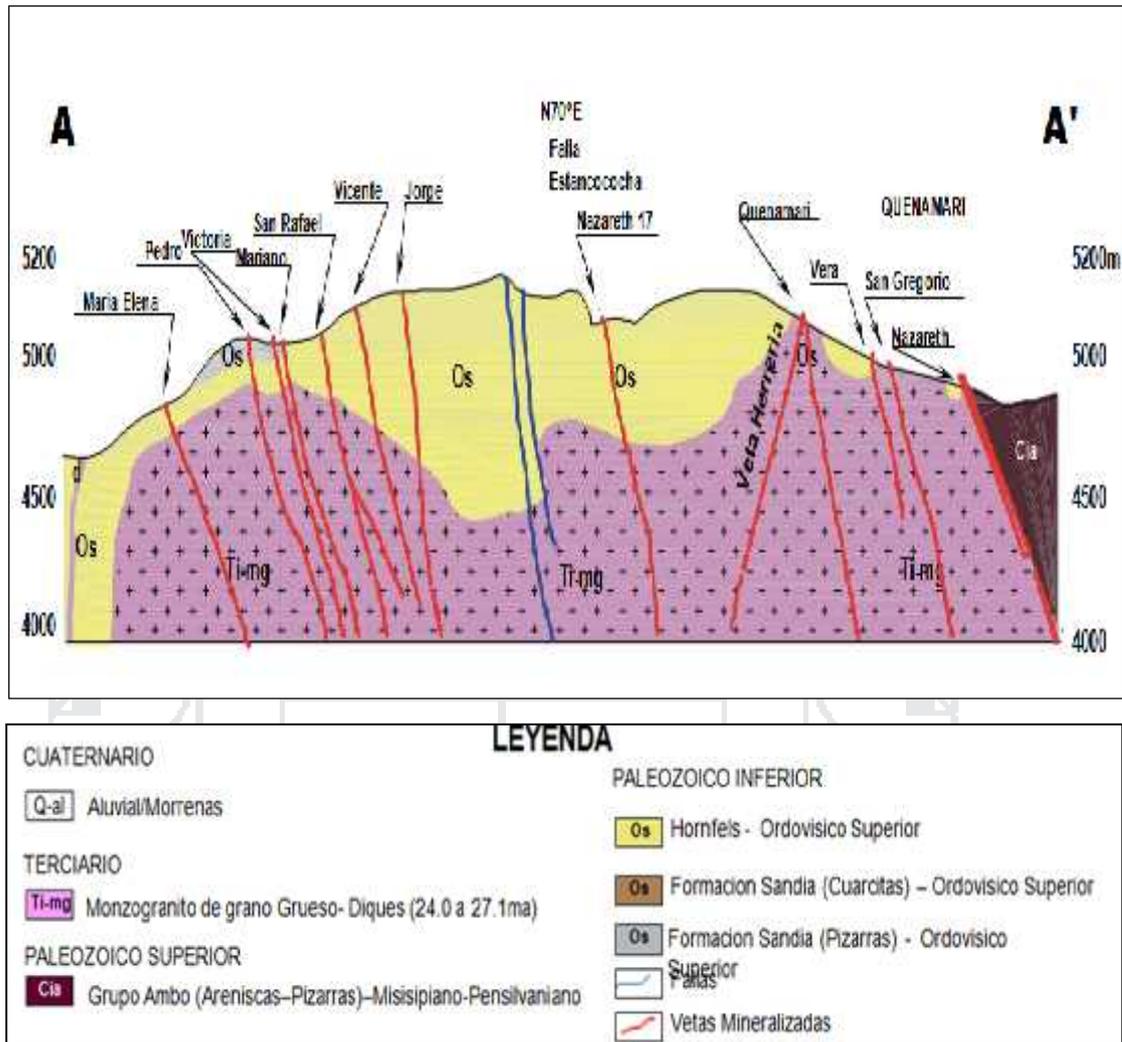


**Figura 03.17:** Mapa geológico del distrito minero San Rafael.

**Fuente:** San Rafael – MINSUR

### 3.8.2. Geología local

Las filitas y cuarcitas de la formación Sandia han sido instruidas por dos stocks graníticos terciarios, en los alrededores se encuentran rocas del Paleozoico Superior (Ver Figura 03.18)



**Figura 03.18:** Sección longitudinal de Minera San Rafael.

Fuente: Autor de tesis

### 3.8.3. Mineralogía

Los principales minerales hipogénicos de mena son: casiterita, estannita y chalcopirita, en menor proporción bismutina y plata (posiblemente en tetraédrica).

Otros minerales son: valmorfito, esfalerita, galena enargita, estibina, chelita, wolframita.

Los minerales de ganga son: cuarzo clorita, silice, piritita, arsenopirita, Turmalina, calcita, fluorita, marcasita, pirrotita, rodocrosita, siderita y adularia.

Minerales secundarios por oxidación o por enriquecimientos supergénicos son: bornita, calcocina, covelita, cuprita, malaquita, cobre nativo, acantita en una ganga goética, limonita, pirolusita, piromelano. Estos fueron abundantes en la parte superior de las vetas San Rafael y Quenamari.

#### 3.8.4. Mineralización y paragénesis

La secuencia de mineralización de la veta San Rafael es compleja porque existen varias etapas en las que el cuarzo, clorita, casiterita y chalcopirita fueron repetidamente precipitados. Esta mineralización es similar a las vetas de Sn-CU de Cornwall-Devon, Inglaterra. (Clark 1983), Palma (1981) distinguió 4 etapas de mineralización:

Primera etapa: Vetas de cuarzo-turmalina. Esta etapa no tiene valores económicos, las temperaturas de homogenización de las inclusiones fluidas varían entre 385°C y las salinidades entre 38 y 60 % de NaCl equivalente en peso.

Segunda etapa: Casiterita botroidal-cuarzo-clorita. Esta es la más importante etapa de la mineralización de San Rafael. La casiterita botroidal está formada por agregados formados por la precipitación de una o más capas de casiterita y es llamada estaño mader (Woodtin), siendo de color marrón claro a marrón, en esta etapa hay también abundante clorita cuarzo, y cantidades menores de chalcopirita, wolframita, shelita y arsenopirita. A menudo se encuentra clorita finamente intercalada con casiterita botroidal. En algunos casos, la casiterita botroidal está recubierta por una fina capa de un mineral de color amarillo claro llamado valamorfita, las temperaturas de homogenización de las inclusiones fluidas varían entre 220°C a 400°C y las salinidades entre 5 a 18 % de NaCl equivalente en peso.

Tercera etapa: Chalcopirita-estaño aguja-cuarzo-clorita. Es la etapa principal de los sulfuros, con chalcopirita asociada con esfalerita, galena, pirita, arsenopirita, pirrotita, estannita, fluorita, bismuto nativo, clorita, cuarzo, adularia y poca casiterita. La casiterita acicular (neddletin) está en agregados radiales, clorita y cuarzo son los minerales de ganga más abundantes, (Kontak 1984) sostiene que en una etapa final de esta mineralización la homogenización de las inclusiones fluidas varía entre 210°C-420°C y la salinidad entre 18 % de NaCl equivalente en eso.

Cuarta etapa: Vetas de cuarzo-calcita. Vetas de cuarzo o de cuarzo y calcita, las últimas con trazas de chalcopirita y alteración cloritica. Estas vetas son de pocos cm. a 12 cm. o más de potencia, las temperaturas de homogenización varían entre 190°C a 290°C y las salinidades entre 1 y 5 % de NaCl equivalente en peso.

### 3.8.5 Reservas mineras

Los recursos mineros se hallan concentrados en dos tipos de formaciones: Vetas y cuerpos de mineral. Las vetas forman sistemas conjugados de fracturas, las más conocidas con rumbo NW- SE y buzamientos hacia el NE son las vetas Quenamari, San Rafael, Mariano, y Jorge. Las reservas actuales alcanzan 12 414,435 TM de minerales con una Ley promedio de 4,70 % de Sn.

A continuación se observa en la Figura 03.19 el clima y ambiente de la empresa Minera San Rafael en donde se halla las reservas minerales.



**Figura 03.19:** Minera San Rafael, ubicación de reserva de mineral.

**Fuente:** Autor de tesis

## CAPÍTULO IV

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. Cálculo para la optimización del sistema de ventilación para el proyecto cortada 3800 – Quenamari, U.M. San Rafael – MINSUR

##### 4.1.1. Cálculo del caudal de aire

El caudal de aire que circula por el Proyecto Cortada 3800 – Quenamari, o a través de una sección transversal calculamos mediante la ecuación de continuidad de flujo que es:

$$Q = V \cdot A$$

Donde:

Q = Caudal de aire (m<sup>3</sup>/min.).

V = Velocidad promedio en una determinada estación (m/min.).

A = Área, sección transversal al flujo de aire (m<sup>2</sup>).

El cálculo de caudales del flujo de aire en el Proyecto Cortada 3800 – Quenamari se muestra en la Tabla 04.01, los cuales nos indican muestras de la estaciones de monitoreo en todo el trayecto de la cortada 3800, a cada 50 metros y de todo el año que duro la rehabilitación y se muestra mejora **antes de** y **después de**, realizar la optimización del circuito de ventilación del proyecto cortada 3800 – Quenamari.

En la Tabla 04.03 veremos un resumen del resultado de la optimización del flujo de aire obtenido de esta forma se enriquecerá aún más el trabajo realizado hasta el mes de culminación.

Como se evidencia en la Tabla 04.01, antes de realizar lo planteado en el título del proyecto que es optimizar el circuito de ventilación del proyecto cortada 3800 – Quenamari, que es en los primeros meses del presente año, los agentes químicos y físicos presentan dificultades en el proceso de ejecutar los trabajos de rehabilitación, el personal sufre de agotamiento y temperatura elevadas, ya que no se cuenta con el oxígeno que está estipulado en el DS – 055 – EM 2010, que es de 6 m<sup>3</sup>/s, que es en nuestro caso de acuerdo a la altura, todo estos percances se tiene hasta el mes de marzo. (Ver Tabla 04.01)

**Tabla 04.01.** Proceso de Optimización del Sistema del circuito de ventilación

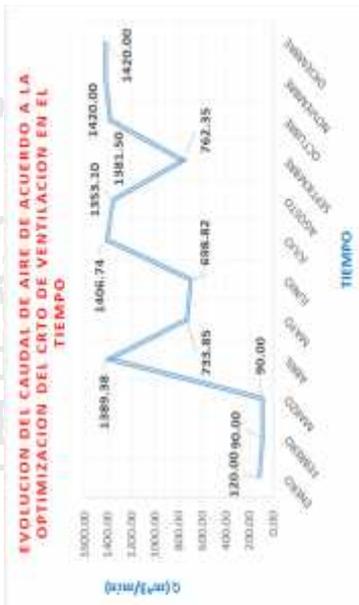
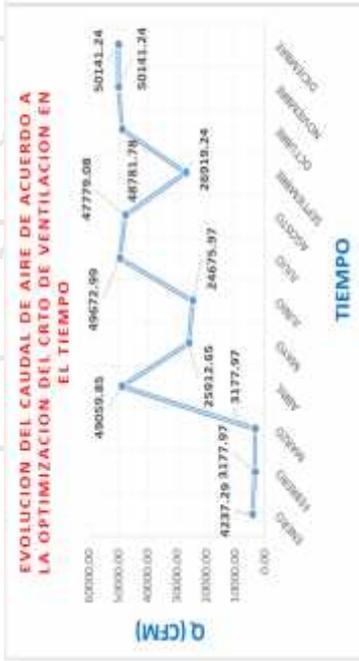
 PROCESO DE OPTIMIZACION DEL SISTEMA DEL CIRCUITO DE VETILACION DE LA CORTADA 3800 QUENAMARI		ANTES DE REALIZAR EL SISTEMA DE DE OPTIMIZACION DEL CIRCUITO DE VENTILACION, SE VENTILA CON UN VENTILADOR DE 15000 CFM.			SE MEJORA EL SISTEMA DEL CRTO DE VENTILACION, SE INSTALA EL 1er. VENTILADOR DE 30000 CFM.			SE INSTALA EL 2do. VENTILADOR DE 30000 CFM, HACIENDO UN TOTAL DE 60000 CFM, DOS VENTILADORES ENSERIADOS.			SE INSTALA EL 3er VENTILADOR DE 30000 CFM, CON ELLO SE COMPLETA EL ENSERIADO DE LOS 3 VENTILADORES, OPTIMIZANDO EL CRTO DE VENTILACION, CON 90000 CFM DE CAPACIDAD.						
		ENERO	FEBRERO	MARZO	PROMEDIO	ABRIL	MAYO	PROMEDIO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	PROMEDIO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
		P0+100	P0+150	P0+250		P0+350	P0+600		P0+800	P1+100	P1+400		P1+650	P1+950	P2+200	P2+200	
		E3	E4	E6	E8	E13	E17	E23	E29	E34	E40	E45	E45				
MONITOREO CON EQUIPO ALTAIR 5X	Oxigeno(O2)	20.4	20.8	20.8	20.67	20.8	20.8	20.80	20.8	20.8	20.8	20.80	20.8	20.8	20.8	20.8	20.80
	Metano (CH4)	0	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0.00
	Monóxido de Carbono (CO)	13	13	10	12.00	8	0	4.00	7	0	0	2.33	0	0	0	0	0.00
	Gases Nitrosos (NO2)	0	0.6	0.4	0.33	0.1	0	0.05	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0.00
	Dióxido de Carbono (CO2)	0.15	0.14	0.14	0.14	0.09	0.07	0.08	0.17	-0.15	0.09	0.04	0.05	0.07	0.06	0.06	0.06
	Acido Sulfhidrico (H2S)	0	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0.00
MONITOR. A NEMOMETR	Veloc. aire (m/s)	0.3	0.4	0.4	0.37	5.2	3.5	4.35	2.9	7.5	5.4	5.27	3.7	7.6	12.7	12.7	9.18
	Temperatura. T°C	29	29	29	29.00	27	27.9	27.45	28.3	29.1	30.4	29.27	30.1	26.7	22.6	22.6	25.50
	H.Relatv. HR %	93	91	92	92.00	91	91.8	91.40	94.1	92.1	91.5	92.57	93.1	91.6	65	65	78.68

Fuente: Autor de tesis

En el mes de abril cambia el panorama del área de trabajo, en vista que se instala el primer ventilador de 30000 cfm, y el caudal de aire mejora considerablemente como se observa en la Tabla 04.02 con sus respectivos gráficos estadísticos que se muestran a continuación:

**Tabla 04.02.** Evolución del caudal de aire

PROCESO DE OPTIMIZACIÓN DEL CIRCUITO DE VENTILACION	ESTACION DE MONITOREO, CADA 50 METROS																		CAUDAL DE AIRE			
	VELOCIDAD PROMEDIO																		Area Labor	Q	Q	
	$\frac{m^3}{seg}$																		$(m^2)$	$\frac{m^3}{min}$	(CFM)	
PROGRESIVA P0+000 P0+050 P0+100 P0+150 P0+200 P0+250 P0+300 P0+350 P0+400 P1+050 P1+100 P1+150 P1+200 P2+050 P2+100 P2+150 P2+200	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E18	E19	E20	E41	E42	E43	E44	E45					
ESTACION	0.3	0.2	0.3															0.27	16.00	7.50	120.00	4237.29
ENERO																		0.20	12.00	7.50	90.00	3177.97
FEBRERO	0.2	0.1	0.1	0.4														0.20	12.00	7.50	90.00	3177.97
MARZO	0.2	0.2	0	0.1	0.3	0.4												3.09	185.25	7.50	1389.38	49059.85
ABRIL	2.7	3.1	2.6	2.6	2.9	3.2	2.4	5.2										1.63	97.85	7.50	733.85	25912.65
MAYO	1.3	1.4	1.4	1.3	1.8	1.5	1.4	1.3	1.4									1.55	93.18	7.50	698.82	24675.97
JUNIO	1.3	1.4	1.4	1.3	1.8	1.5	1.4	1.3	1.4									3.13	187.57	7.50	1406.74	49672.99
JULIO	2.7	3.1	2.6	2.6	2.9	3	2.8	2.7	2.7									3.01	180.41	7.50	1353.10	47779.08
AGOSTO	2.5	2.5	2.8	2.8	2.7	2.9	3.1	3.1	2.9									1.69	101.65	7.50	762.35	26919.24
SEPTIEMBRE	1.8	1.8	1.9	1.7	1.8	1.5	1.6	1.6	1.6									3.07	184.20	7.50	1381.50	48781.78
OCTUBRE	2.8	2.7	2.9	2.9	3.1	3.1	2.9	2.8	2.9	3.2	3.1	7.6						12.7	716.33	7.50	1420.00	50141.24
NOVIEMBRE	2.9	3.2	3.1	3	3.1	3.2	3.1	2.9	2.8	2.5	2.6	2.8	3.1	3.1	3.4	3.8		12.7	716.33	7.50	1420.00	50141.24
NOVIEMBRE	2.9	3.2	3.1	3	3.1	3.2	3.1	2.9	2.8	2.5	2.6	2.8	3.1	3.1	3.4	3.8		12.7	716.33	7.50	1420.00	50141.24
NOVIEMBRE	2.9	3.2	3.1	3	3.1	3.2	3.1	2.9	2.8	2.5	2.6	2.8	3.1	3.1	3.4	3.8		12.7	716.33	7.50	1420.00	50141.24
NOVIEMBRE	2.9	3.2	3.1	3	3.1	3.2	3.1	2.9	2.8	2.5	2.6	2.8	3.1	3.1	3.4	3.8		12.7	716.33	7.50	1420.00	50141.24
NOVIEMBRE	2.9	3.2	3.1	3	3.1	3.2	3.1	2.9	2.8	2.5	2.6	2.8	3.1	3.1	3.4	3.8		12.7	716.33	7.50	1420.00	50141.24
NOVIEMBRE	2.9	3.2	3.1	3	3.1	3.2	3.1	2.9	2.8	2.5	2.6	2.8	3.1	3.1	3.4	3.8		12.7	716.33	7.50	1420.00	50141.24



Fuente: Autor de tesis.

En la Tabla 04.02. Se nota claramente cómo evoluciona el circuito de ventilación óptimo, los gráficos estadísticos demuestran que en los picos elevados se instala los ventiladores, a medida que el personal ejecuta los trabajos de rehabilitación la curva tiende a descender debido a la distancia del ducto de ventilación con respecto al punto de la zona de ventiladores, tal como se muestra en la Tabla 04.03 el resumen de evolución del caudal de aire.

**Tabla 04.03.** Resumen de evolución del caudal de aire

 <b>PROCESO DE OPTIMIZACION DEL CIRCUITO DE VETILACION</b>	<b>PROGRESIVA</b> ESTACION	<b>VELOCIDAD PROMEDIO</b>		<b>Area Labor</b> (m <sup>2</sup> )	<b>CAUDAL DE AIRE</b>	
		$\left(\frac{m}{s}\right)$	$\left(\frac{m}{min}\right)$		$\left(\frac{m^3}{min}\right)$	(CFM)
					Q	Q
ANTES DE REALIZAR EL SISTEMA DE OPTIMIZACION DEL CIRCUITO DE VENTILACION, SE VENTILA CON UN VENTILADOR DE 15000 CFM.	ENERO	0.27	16.00	7.50	120.00	4237.29
	FEBRERO	0.20	12.00	7.50	90.00	3177.97
	MARZO	0.20	12.00	7.50	90.00	3177.97
SE MEJORA EL SISTEMA DEL CRTO DE VENTILACION, SE INSTALA EL 1er. VENTILADOR DE 30000 CFM.	ABRIL	3.09	185.25	7.50	1389.38	49059.85
	MAYO	1.63	97.85	7.50	733.85	25912.65
SE INSTALA EL 2do. VENTILADOR DE 30000 CFM, HACIENDO UN TOTAL DE 60000 CFM, DOS VENTILADORES ENSERIADOS.	JUNIO	1.55	93.18	7.50	698.82	24675.97
	JULIO	3.13	187.57	7.50	1406.74	49672.99
	AGOSTO	3.01	180.41	7.50	1353.10	47779.08
SE INSTALA EL 3er VENTILADOR DE 30000 CFM, CON ELLO SE COMPLETA EL ENSERIADO DE LOS 3 VENTILADORES, OPTIMIZANDO EL CRTO DE VENTILACION, CON 90000 CFM DE CAPACIDAD.	SEPTIEMBRE	1.69	101.65	7.50	762.35	26919.24
	OCTUBRE	3.07	184.20	7.50	1381.50	48781.78
	NOVIEMBRE	3.16	189.33	7.50	1420.00	50141.24
	DICIEMBRE	3.16	189.33	7.50	1420.00	50141.24



Fuente: Autor de tesis

**4.1.2. Requerimiento de caudal de aire en el Proyecto cortada 3800 – Quenamari.**

$$Q = n \cdot q$$

Donde:

$Q$  = Caudal total para “n” personas que trabajen en interior mina ( $m^3/m$  )

$q$  = Caudal mínimo por persona ( $6m^3/m$  ) En alturas mayores a 4000 msnm.

$n$  = Número de personas en el lugar.

**Tabla 02.02.** Distribución de personal

Descripción	Cantidad Guardia A	Cantidad Guardia B	Cantidad Guardia C
Jefe de Mina	1	0	0
Administrador	0	1	0
Jefe de Guardia	1	1	1
Prevencionista de Riesgos	1	0	0
Maestro Perforista	2	2	2
Ayudante Perforista	2	2	2
Motorista	1	1	1
Ayudante Motorista	1	1	1
Mecánico	1	1	1
Electricista	1	1	1
Chofer	1	1	1
<b>Total/guardia. (* 3 guardias)</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>10</b>

Fuente: Autor de tesis

$$Q = 1 \cdot 6m^3/m$$

$$Q = 6 \cdot m^3/m \text{ , caudal necesario por guardia.}$$

$$1 \text{ cl} = 0.0 \cdot m^3/s.$$

$$1 \text{ cl} = 0.0 \cdot m^3/m$$

$$\text{Entonces: } Q = 6 \cdot \frac{m^3}{m} \cdot \left( \frac{1 \text{ cl}}{0.0 \cdot m^3} \right)$$

$$Q = 2 \cdot 5 \text{ cl}$$

Debido a que nuestra labor es netamente convencional solo requerimos este caudal de aire.

Como en la cortada trabajamos tres guardias en total de aire requerido en la cortada es de:

$$Q = 6 \quad 3 \text{ m}^3/\text{m}$$

$$Q = 1 \quad \text{m}^3/\text{m}$$

Entonces:

$$Q = 1 \quad \frac{\text{m}^3}{\text{m}} \cdot \left( \frac{1 \text{cl}}{0.0 \quad \text{m}^3} \right)$$

$$Q = 6 \quad .5 \text{ cl} \quad .$$

### 4.1.3. Análisis de resultados por cada hipótesis.

#### 4.1.3.1. Análisis de Hipótesis general:

“Es posible mejorar el sistema de ventilación actual de la cortada 3800 mediante un sistema enseriado de ventiladores de 30000 cfm, y la combinación entre ventilación impelente y aspirante, proporcionando un diseño apropiado para la optimización del sistema de ventilación del Proyecto Cortada – 3800, U.M. San Rafael – MINSUR, debido a que el sistema y método de ventilación en la actualidad es deficiente.”

De tal manera los resultados obtenidos al implementar el sistema enseriado de ventiladores y para demostrar y defender esta hipótesis general se consolida con los siguientes cuadros, donde se observa que el aire fresco ha mejorado notablemente desde el cuarto mes del año, debido a la implementación del sistema enseriado de ventiladores a razón de los primeros tres meses que fue caótico la ventilación, este sistema enseriado de ventiladores tiene como fortaleza la combinación de los métodos de ventilación impelente y aspirante, ayuda notablemente a la velocidad del aire como se demuestra en las Tablas 04.04 hasta la Tabla 04.15, y con ello mejora el caudal de aire fresco, que finalmente se corrobora con el cuadro de análisis estadístico que se encuentra en la Tabla 04.02 donde las curvas determinan que a final de año se estabiliza la ventilación y el caudal de aire fresco. Con esto demostramos que si se logró optimizar el sistema de ventilación de la cortada 3800 – Quenamari.

Para obtener la base de datos se proveerá de formatos para el monitoreo de agentes químicos y físicos con equipo Altaír 5X, y el equipo Anemómetro Krestel, que es lecturado y anotados en el formato del **Anexo 4**, también observamos los datos recolectados por mes. (Ver las Tabla 04.04 hasta la Tabla 04.15)

**Tabla 04.04.** Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 – Quenamari, antes de realizar el sistema de ventilación óptimo.

		PROYECTO CORTADA 3800 - QUENAMARI				PROMEDIO
		ESTACION DE MON				
		P0+000	P0+050	P0+100		
<b>MES ENERO</b>		<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>		
MONITOREO CON EQUIPO ALTAIR 5X	Oxígeno(O2)	20.4	20.3	20.4		20.37
	Metano (CH4)	0	0	0		0.00
	Monóxido de Carbono (CO)	13	12	13		12.67
	Gases Nitrosos (NO2)	0	0	0		0.00
	Dióxido de Carbono (CO2)	0.14	0.15	0.15		0.15
	Acido Sulfhídrico (H2S)	0	0	0		0.00
MONITOR. ANEMOMETR	Veloc.aire (m/s)	0.3	0.2	0.3		0.27
	Temperatura. T°C	28	29	29		28.67
	H.Relatv. HR %	89	92	93		91.33

Fuente: Autor de tesis

**Tabla 04.05.** Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 – Quenamari, mes de febrero

		PROYECTO CORTADA 3800 - QUENAMARI				PROMEDIO
		ESTACION DE MONITOREO				
		P0+000	P0+050	P0+100	P0+150	
<b>MES FEBRERO</b>		<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>	
MONITOREO CON EQUIPO ALTAIR 5X	Oxígeno(O2)	20.8	20.8	20.8	20.8	20.80
	Metano (CH4)	0	0	0	0	0.00
	Monóxido de Carbono (CO)	11	13	13	13	12.50
	Gases Nitrosos (NO2)	0.5	0.5	0.6	0.6	0.55
	Dióxido de Carbono (CO2)	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
	Acido Sulfhídrico (H2S)	0	0	0	0	0.00
MONITOR. ANEMOMETR	Veloc.aire (m/s)	0.2	0.1	0.1	0.4	0.20
	Temperatura. T°C	27	28	28	29	28.00
	H.Relatv. HR %	89	89	90	91	89.75

Fuente: Autor de tesis

**Tabla 04.06.** Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 – Quenamari, mes de marzo.

		PROYECTO CORTADA 3800 - QUENAMARI							PROMEDIO
		ESTACION DE MONITOREO							
		P0+000	P0+050	P0+100	P0+150	P0+200	P0+250		
		E1	E2	E3	E4	E5	E6		
MONITOREO CON EQUIPO ALTAIR SX	Oxígeno(O2)	20.4	20.4	20.8	20.8	20.8	20.8	20.67	
	Metano (CH4)	0	0	0	0	0	0	0.00	
	Monóxido de Carbono (CO)	9	8	8	8	9	10	8.67	
	Gases Nitrosos (NO2)	0.4	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.30	
	Dióxido de Carbono (CO2)	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	
	Acido Sulfhídrico (H2S)	0	0	0	0	0	0	0.00	
MONITOR. ANEMOMETR	Veloc.aire (m/s)	0.2	0.2	0	0.1	0.3	0.4	0.20	
	Temperatura. T°C	27	27	27	28	29	29	27.83	
	H.Relatv. HR %	89	89	90	90	92	92	90.33	

Fuente: Autor de tesis

**Tabla 04.07.** Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 – Quenamari, Después de realizar el sistema de ventilación óptimo, más la cortina de rebote, desde mes de Abril.

		PROYECTO CORTADA 3800 - QUENAMARI								PROMEDIO
		ESTACION DE MONITOREO								
		P0+000	P0+050	P0+100	P0+150	P0+200	P0+250	P0+300	P0+350	
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
MONITOREO CON EQUIPO ALTAIR SX	Oxígeno(O2)	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.80
	Metano (CH4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	Monóxido de Carbono (CO)	11	11	9	9	9	8	8	8	9.13
	Gases Nitrosos (NO2)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.16
	Dióxido de Carbono (CO2)	0.1	0.1	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
	Acido Sulfhídrico (H2S)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
MONITOR. ANEMOMETR	Veloc.aire (m/s)	2.7	3.1	2.6	2.6	2.9	3.2	2.4	5.2	3.09
	Temperatura. T°C	28	28	28	29	29	30	28	27	28.38
	H.Relatv. HR %	89	89	90	90	91	91	91	91	90.25

Fuente: Autor de tesis

**Tabla 04.08.** Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 – Quenamari, mes de mayo

AES A MAYO		PROYECTO CORTADA 3800 - QUENAMARI													PROMEDIO	
		ESTACION DE MONITOREO														
		PO+000	PO+050	PO+100	PO+150	PO+200	PO+250	PO+300	PO+350	PO+400	PO+450	PO+500	PO+550	PO+600		
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13		
MONITOREO CON EQUIPO ALTAIR 5X	Oxígeno(O2)	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.80
	Metano (CH4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	Monóxido de Carbono (CO)	8	8	8	8	3	3	3	3	4	3	3	0	0	0	4.15
	Gases Nitrosos (NO2)	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0.08
	Dióxido de Carbono (CO2)	0.14	0.15	0.15	0.15	0.11	0.11	0.11	0.11	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.11
MONITOREO ALTIMETRICO	Acido Sulfhídrico (H2S)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	Veloc. aire (m/s)	1.3	1.4	1.4	1.3	1.8	1.5	1.4	1.3	1.4	1.5	1.5	1.9	3.5	1.63	
	Temperatura. T°C	29	29	29	30.2	30.1	29.2	28.7	28.7	28.5	28.7	28.3	27.9	27.9	28.86	
H.Relatv. HR %		90	90	90	90	91.2	91	91.2	91.3	93.5	94.5	94.1	93.7	91.8	91.72	

Fuente: Autor de tesis

**Tabla 04.09.** Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 – Quenamari, mes de junio

AES A JUNIO		PROYECTO CORTADA 3800 - QUENAMARI																PROMEDIO		
		ESTACION DE MONITOREO																		
		PO+000	PO+050	PO+100	PO+150	PO+200	PO+250	PO+300	PO+350	PO+400	PO+450	PO+500	PO+550	PO+600	PO+650	PO+700	PO+750		PO+800	
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17		
MONITOREO CON EQUIPO ALTAIR 5X	Oxígeno(O2)	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.80
	Metano (CH4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	Monóxido de Carbono (CO)	6	6	7	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6.76
	Gases Nitrosos (NO2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	Dióxido de Carbono (CO2)	0.17	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
MONITOREO ALTIMETRICO	Acido Sulfhídrico (H2S)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	Veloc. aire (m/s)	1.3	1.4	1.4	1.3	1.8	1.5	1.4	1.3	1.4	1.5	1.5	1.9	1.8	1.2	1.3	1.5	2.9	1.55	
	Temperatura. T°C	29	29	29	30.2	30.1	29.2	28.7	28.7	28.5	28.7	28.3	29.7	29.7	29.7	29.7	28.3	28.3	29.11	
H.Relatv. HR %		90	90	90	90	91.2	91	91.2	91.3	93.5	94.5	94.1	93.7	93.7	93.7	94.1	94.1	94.1	92.36	

Fuente: Autor de tesis

**Tabla 04.10.** Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 – Quenamari, mes de julio

Fuente: Autor

MES JULIO		ESTACION DE MONITOREO															PROMEDIO		
		PO+300	PO+350	PO+400	PO+450	PO+500	PO+550	PO+600	PO+650	PO+700	PO+750	PO+800	PO+850	PO+900	PO+950	P1+000		P1+050	P1+100
		E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21		E22	E23
MONITOREO CON EQUIPO ALTAIR SX	Oxígeno(O2)	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	
	Metano (CH4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Monóxido de Carbono (CO)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Gases Nitrosos (NO2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Dióxido de Carbono (CO2)	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	
	Acido Sulfhídrico (H2S)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
MONITOREO ANEMOMETRICO	Veloc. aire (m/s)	2.8	2.7	2.7	2.9	2.9	3.1	3.1	2.9	2.8	2.9	3.2	3.1	3	3.1	3.2	3.1	7.5	
	Temperatura. T°C	30.1	29	29.8	30.1	30.3	31.1	30.9	30.1	29.8	30.2	30.1	30.9	31.1	30.8	30.5	30.5	29.1	
	H.Relatv. HR %	91.7	91.8	92.3	92.6	92.8	93.1	93.1	93.5	93.8	93.9	93.9	94.1	94.3	94.1	93.9	92.8	92.1	

de tesis

**Tabla 04.11.** Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 – Quenamari, mes de agosto

MES AGOSTO		ESTACION DE MONITOREO															PROMEDIO		
		PO+600	PO+650	PO+700	PO+750	PO+800	PO+850	PO+900	PO+950	P1+000	P1+050	P1+100	P1+150	P1+200	P1+250	P1+300		P1+350	P1+400
		E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27		E28	E29
MONITOREO CON EQUIPO ALTAIR SX	Oxígeno(O2)	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	
	Metano (CH4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Monóxido de Carbono (CO)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Gases Nitrosos (NO2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Dióxido de Carbono (CO2)	0.09	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	
	Acido Sulfhídrico (H2S)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
MONITOREO ANEMOMETRICO	Veloc. aire (m/s)	2.9	3.1	3.1	2.9	2.8	2.9	3.2	3.1	3	3.1	3.2	3.1	2.9	2.8	2.9	3.1	5.4	
	Temperatura. T°C	30.3	31.1	30.9	30.1	29.8	30.2	30.1	30.9	31.1	30.8	30.5	30.5	31.1	31.1	30.8	30.7	30.4	
	H.Relatv. HR %	92.8	93.1	93.1	93.5	93.8	93.9	93.9	94.1	94.3	94.1	93.9	92.8	91.9	91.9	92.1	91.1	91.5	

Fuente: Autor de tesis

**Tabla 04.12.** Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 – Quenamari, mes de setiembre

MES SETIEMBRE		ESTACION DE MONITOREO															PROMEDIO		
		PO+850	PO+900	PO+950	P1+000	P1+050	P1+100	P1+150	P1+200	P1+250	P1+300	P1+350	P1+400	P1+450	P1+500	P1+550		P1+600	P1+650
		E18	E19	E20	E21	E22	E23	E24	E25	E26	E27	E28	E29	E30	E31	E32		E33	E34
MONITOREO CON EQUIPO ALTAIR SX	Oxígeno(O2)	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	
	Metano (CH4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Monóxido de Carbono (CO)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Gases Nitrosos (NO2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Dióxido de Carbono (CO2)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
MONITOREO A NIVEL METR	Acido Sulfhídrico (H2S)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Veloc. aire (m/s)	1.6	1.7	1.7	1.7	1.5	1.5	1.5	1.7	1.7	1.7	1.5	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8	3.7	
	Temperatura. T°C	30.3	30.3	30.4	30.4	30.4	30.4	31.1	31.1	31.3	31.3	31.6	31.6	31.1	31.5	30.3	30.2	30.1	
	H.Relatv. HR %	92.7	93.3	93.3	93.6	93.6	92.9	92.9	93.1	93.1	93.1	93.5	93.2	93.5	93.8	93.8	93.1	93.1	

Fuente: Autor de tesis

**Tabla 04.13.** Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 – Quenamari, mes de octubre

MES OCTUBRE		ESTACION DE MONITOREO															PROMEDIO		
		P1+150	P1+200	P1+250	P1+300	P1+350	P1+400	P1+450	P1+500	P1+550	P1+600	P1+650	P1+700	P1+750	P1+800	P1+850		P1+900	P1+950
		E24	E25	E26	E27	E28	E29	E30	E31	E32	E33	E34	E35	E36	E37	E38		E39	E40
MONITOREO CON EQUIPO ALTAIR SX	Oxígeno(O2)	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	
	Metano (CH4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Monóxido de Carbono (CO)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Gases Nitrosos (NO2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Dióxido de Carbono (CO2)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	
MONITOREO A NIVEL METR	Acido Sulfhídrico (H2S)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Veloc. aire (m/s)	2.7	2.7	2.7	2.9	2.9	3.1	3.1	3.2	3.1	2.9	2.9	2.7	2.7	3.1	3.2	3.1	7.6	
	Temperatura. T°C	30.3	30.3	30.5	30.5	30.6	30.3	30.6	30.6	30.5	30.5	29.8	29.5	29.3	28.9	28.5	28.4	26.7	
	H.Relatv. HR %	92.9	92.9	93.4	93.8	93.7	93.7	94.1	94.1	94.3	94.8	94.8	95.1	95.1	95	94.3	94.1	91.6	

Fuente: Autor de tesis

**Tabla 04.14.** Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 – Quenamari, mes de Noviembre

MES	ESTACION DE MONITOREO																							
	P1-200	P1-250	P1-300	P1-350	P1-400	P1-450	P1-500	P1-550	P1-600	P1-650	P1-700	P1-750	P1-800	P1-850	P1-900	P1-950	P2-000	P2-050	P2-100	P2-150	P2-200	PROMEDIO		
<b>NOVIEMBRE</b>	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8		
Oxígeno (O2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Metano (CH4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Monóxido de Carbono (CO)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Dióxido de Carbono (CO2)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06		
Acido Sulfidrico (H2S)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Velocidad (m/s)	3.1	3.2	3.1	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7		
Temperatura. T°C	28.9	28.5	28.4	28.3	28.1	27.6	27.5	27.1	26.8	26.7	26.5	26.4	26.1	25.8	24.5	22.6	29.10							
H.Relatv. HR %	95	94.3	94.1	93.7	93.5	93.1	92.8	92.6	92.3	91.7	91.1	90.6	89.3	85.2	70.3	65	91.53							

Fuente: Autor de tesis

**Tabla 04.15.** Medición de velocidades de flujo de aire en el proyecto cortada 3800 – Quenamari, mes de diciembre. (Los trabajos de rehabilitación se concluyen en mes de noviembre, los datos que reflejan son los mismos que el mes de Noviembre).

MES	ESTACION DE MONITOREO																							
	P1-400	P1-450	P1-500	P1-550	P1-600	P1-650	P1-700	P1-750	P1-800	P1-850	P1-900	P1-950	P2-000	P2-050	P2-100	P2-150	P2-200	PROMEDIO						
<b>NOVIEMBRE</b>	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8		
Oxígeno(O2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Metano (CH4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Monóxido de Carbono (CO)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Gases Nitrosos (NO2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Dióxido de Carbono (CO2)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06		
Acido Sulfidrico (H2S)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Velocaire (m/s)	3.1	3.2	3.1	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7		
Temperatura. T°C	28.9	28.5	28.4	28.3	28.1	27.6	27.5	27.1	26.8	26.7	26.5	26.4	26.1	25.8	24.5	22.6	29.10							
H.Relatv. HR %	95	94.3	94.1	93.7	93.5	93.1	92.8	92.6	92.3	91.7	91.1	90.6	89.3	85.2	70.3	65	91.53							

Fuente: Autor de tesis

DONDE:

	PROMEDIO
	SALIDA DE LA MANGA CON AIRE FRESCO
	RETORNO CON AIRE VICIADO AL EXTRACTOR

A continuación se observa la evolución del caudal de aire en la Figura 04.01 de acuerdo a la optimización del criterio de ventilación en el tiempo en este caso recopilado hasta el mes de diciembre tal como se vio en las tablas antes mencionadas.



**Figura 04.01:** Evolución del caudal de aire de acuerdo a la optimización del circuito de ventilación en el tiempo

Fuente: Autor de tesis

#### 4.1.3.2. Análisis de Hipótesis Específicas:

“Es posible la implementación de un sistema enseriado de ventiladores de 30000 cfm de acuerdo a la distancia optima de ventilación por cada ventilador que proveerá de aire fresco por el sistema de ventilación, del Proyecto Cortada 3800 – Quenamari, U.M. San Rafael – MINSUR, ya que el diseño del sistema de ventilación actual es deficiente”.

Para demostrar esta hipótesis específica nos basamos en las características del ventilador axial de 30000 cfm y poder distribuir distancias apropiadas de acuerdo al requerimiento

del caudal de aire fresco, de tal manera poder enseriar los ventiladores, de tal manera mantener el confort de los colaboradores que realizan los trabajos de rehabilitación de la cortada 3800 – Quenamari, el proceso de optimización del sistema de ventilación de la cortada 3800 se detalla en la Tabla 04.02, se demuestra la eficiencia del enseriado de ventiladores con los picos altos y bajos que se observa cada vez que se implementa un ventilador en el sistema del circuito de ventilación optimo como se observa en la Tabla 04.03, cada vez que se instala un ventilador el nivel de caudal aumenta notablemente, y a medida que avanza la rehabilitación y está al borde de su distancia optima de cada ventilador, el nivel de caudal de aire fresco baja y requiere de otro ventilador hasta llegar al final de la rehabilitación donde los niveles de caudal de aire fresco se estabiliza la curva del caudal de aire fresco con respecto al tiempo y distancia

“Es posible mejorar el método de ventilación actual que es deficiente, mediante la combinación de los métodos de ventilación impelente y aspirante que facilitará la optimización del sistema de ventilación en el Proyecto Cortada 3800 – Quenamari, U.M. San Rafael – MINSUR.”

Del mismo modo para optimizar mejor el circuito de ventilación se tuvo que replantear el método de ventilación que fue deficiente, se cambió con la combinación de los métodos de ventilación impelente y aspirante y colocado de cortinas herméticas que ayudan a disipar y realizar un efecto rebote del aire fresco como se muestra en el la Figura 03.10, Figura 03.11 y de tal manera se conserva el aire fresco en el trayecto de la cortada como se evidencia en la Tabla 04.02.

#### **4.1.4. Discusiones de los resultados.**

Según: Bach. Agüero Zarate Henry Oscar y Bach. Álvarez Tiellasuca Helsias, en su Investigación: Influencia de la ventilación natural y mecánica en el diseño del sistema de ventilación de las galerías del nivel 1950 mina Calpa – Arequipa indica: “Para definir apropiadamente el sistema de ventilación, hay que conocer bien la red de ventilación y su dimensionamiento, el caudal necesario y la presión que se genera en la mina serán los datos primordiales para el dimensionamiento de los equipos, por eso, un buen cálculo de la red de ventilación implica un diseño más adecuado de los ventiladores”. Del mismo modo, para realizar el trabajo de Investigación: **“Optimización del sistema de**

**ventilación para el proyecto cortada 3800 – Quenamari, U.M. San Rafael – MINSUR.”** requiere de acumular la mayor cantidad de datos del circuito de ventilación de aire fresco y aire viciado que afecten la Cortada 3800, de tal manera obteniendo los antecedentes y con los planos actuales, teniendo estos datos podremos evaluar y ejecutar el proyecto de Investigación implementando un sistema de ventilación acorde al requerimiento de aire fresco en la cortada, mediante el enseriado de ventiladores de 30000 cfm y cambiando el método de ventilación por el método combinado entre ventilación impelente y aspirante; finalmente se muestran los objetivos realizados y la mejora del sistema de ventilación en la Cortada 3800 – Quenamari.

Según: Bach. Víctor Hugo Rodríguez Delgado, en su trabajo de Investigación: “Diseño del Sistema de Control para la Ventilación de una Mina Subterránea Usando un Controlador AC800M”, en una de sus conclusiones indica: “Con el diseño propuesto se lograra mejorar los estándares de calidad de la 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”.

Al Implementar el trabajo de Investigación **“Optimización del sistema de ventilación para el proyecto cortada 3800 – Quenamari, U.M. San Rafael – MINSUR.”** Se mejoró notablemente el caudal de aire fresco en la Cortada 3800, que a un principio no cumplía los estándares establecidos por la norma peruana que es de 20 m/min velocidad mínima de aire puro que se requiere para poder ejercer un trabajo en interior mina, nuestro promedio a un inicio marcaba 16 m/min la velocidad del aire fresco, cuando implementamos el primer ventilador de 30000 cfm, el caudal mejoro notablemente llegando a 185.25 m/min de velocidad de aire fresco; con esta nueva velocidad de aire fresco cumplimos los estándares de ventilación eficientemente y cumplimos las normas peruanas hablando en caudal de aire fresco el reglamento nos pide de acuerdo a la sección de labor que tenemos en la cortada 3800 es de 7.5 m<sup>2</sup> y la velocidad de aire fresco según el Decreto Supremo 055 – 2010 – EM, es 20 m/min, por lo tanto se requiere 5296.61 cfm de caudal de aire fresco, con el sistema de ventilación optimo se obtiene un caudal de 49059.85 cfm, superando considerablemente lo requerido por las normas nacionales.

### CONCLUSIONES:

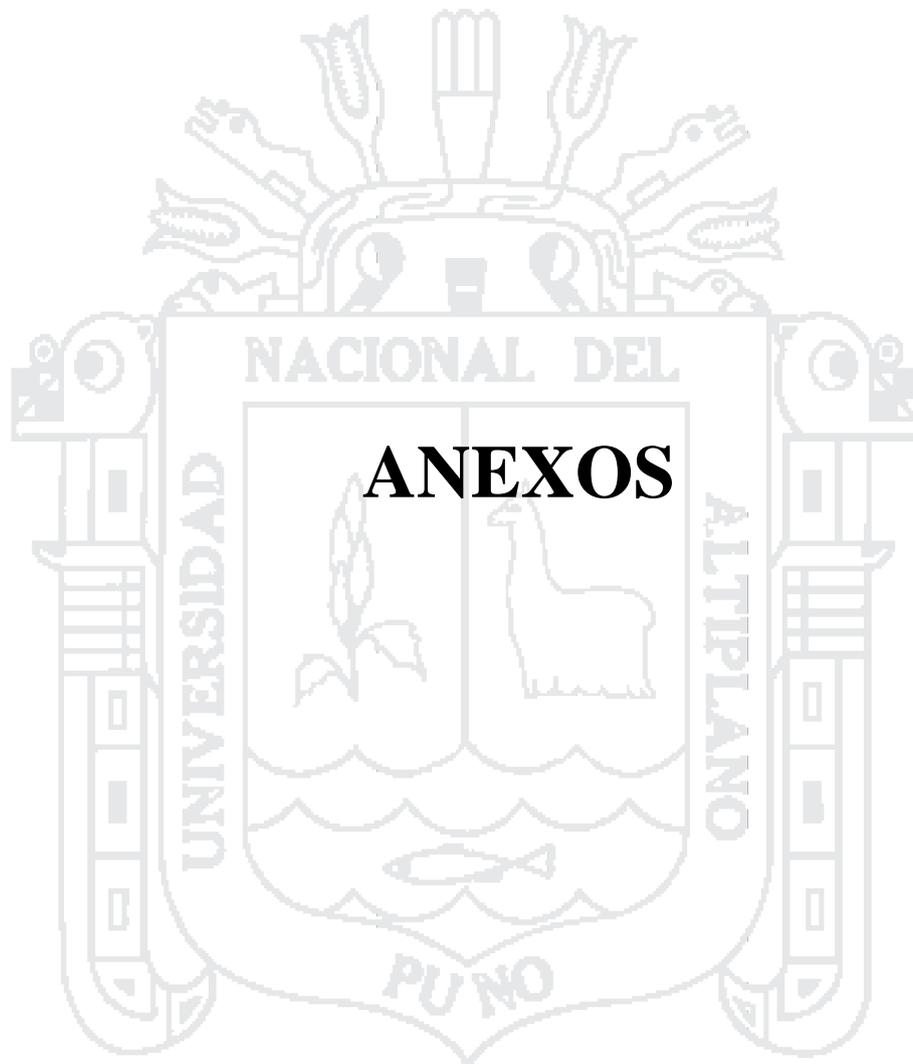
1. La ejecución del sistema enseriado de los ventiladores de 30000 cfm, y la combinación del método de ventilación impelente con ventilación aspirante, más el colocado de cortinas herméticas que sirve de rebote de aire fresco que ayuda a disipar los aires viciados, dieron buenos resultados en la optimización del circuito de ventilación del Proyecto Cortada 3800 – Quenamari, U.M. San Rafael – MINSUR.
2. La distribución de los ventiladores de 30000 cfm en una distancia apropiada de acuerdo a sus características técnicas de los ventiladores, proveen de aire fresco del circuito de ventilación, mediante un sistema con ductos de ventilación, del proyecto cortada 3800 – Quenamari, manteniendo ventilación continua con aire fresco al personal que ejecuta trabajos de rehabilitación, y que aumentó considerablemente su eficiencia operativa de trabajo.
3. Al realizar el enseriado de los 3 ventiladores de 30000 cfm, que sumados hacen un total de 90000 cfm, esta sumatoria de ventiladores nos permite utilizar como un solo ventilador para el método de ventilación impelente, el cual ingresa aire fresco del circuito de ventilación, al punto donde se ejecutan los trabajos de rehabilitación donde se coloca una cortina hermética que sirve como rebote y con ayuda de un ventilador extractor de 150000 cfm ubicado en el NV 3800 que da lugar al método de ventilación aspirante el cual absorbe los aires viciados de la cortada, y lo expulsa mediante el circuito de aire viciado al exterior por columnas de RB que están acoplados en el exterior por ventiladores extractores de 250000 cfm ubicados en umbral (superficie ver Anexo 2), que funciona eficientemente.
4. Todo el proceso de optimización del circuito de ventilación del proyecto cortada 3800 – Quenamari, funciona eficientemente, las mejoras son notables en la ventilación de la cortada, del mismo modo el personal mejoro considerablemente su eficiencia operativa de trabajo, reportando mayor avance en los trabajos de rehabilitación.

**RECOMENDACIONES:**

1. A medida que se aprueben los proyectos de rehabilitar las galerías o empezar otro proyecto, evaluar la posibilidad de enseriar más ventiladores o en su defecto realizar cámaras de acumulación de aire y realizar el mismo proceso de optimización enseriando ventiladores de acuerdo a la necesidad.
2. Para fines posteriores se recomienda dar mantenimiento programado, de los ventiladores y de los ductos de ventilación, debido al desgaste por el tiempo de trabajo y presión de aire en todo el trayecto de la cortada, para que el aire llegue eficientemente al final del tramo de la cortada.
3. Se recomienda colocar más cortinas de direccionamiento de aire viciado en todo el circuito de ventilación del nivel 3800 para que absorba mejor el ventilador extractor, y mantener la cortada limpia de agentes químicos y físicos.
4. Mejorar el diseño del circuito de ventilación de la cortada 3800, y que dicho mejoramiento involucre a las labores vecinas de operación mina, donde todo el nivel 3800 se mantenga limpio de gases y materia en suspensión.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Agüero Zarate, h. o., & Alvarez Tiellasuca, h. (2012). influencia de la ventilacion natural y mecanica en el diseño del sistema de ventilacion de las galerias del nivel 1950 mina Calpa Arequipa. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Andrade, g. s. (2008). servicio nacional de geologia y mineria. Chile: servicio nacional de geologia y mineria.
- De la cuadra i, l. (1974). curso de laboreo minero. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Decreto Supremo nro. - 055 - 2010 - em. (2010). reglamento de seguridad y salud ocupacional. reglamento de seguridad y salud ocupacional.
- Fidel Julio Hidalgo Mendieta. (1991). ventilacion de minas catuba, Hada y Esperanza. Lima - Peru: CIA. minera raura s. a.
- Fidel Julio Hidalgo Mendieta. (1991). ventilacion de minas catuba, Hada y Esperanza. Lima - Peru: Universidad Nacional de Ingenieria.
- Gerardo Chambergo Orihuela. (2013). propuesta de un sistema de ventilacion, aplicando tecnologias de informacion y manejo de escenarios tecnico economico en la unidad productiva san cristobal, de minera bateas sac. Lima - Peru: bateas.
- Gerardo Chambergo Orihuela. (2013). propuesta de un sistema de ventilacion, aplicando tecnologias de informacion y manejo de escenarios tecnico economico en la unidad productiva san cristobal, de la minera bateas sac. Lima: Universidad Nacional de Ingenieria.
- Hartman, h. l. (2012). mina de ventilacion y aire acondicionado.
- Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. (1989). manual de ventilacion de minas. manual de ventilacion de minas, 81.
- j., r. h. (s.f.). chaparra. Mallqui. (1981). ventilacion de minas. Huancayo.
- Novitzky, a. (1962). ventilacion de minas. Chile.
- Ramirez. (2005). ventilacion de minas. chaparra - Perú: modulo de capacitacion tecnico ambiental.
- Rodriguez Delgado, v. h. (2008). diseño del sistema de control para la ventilacion de una mina subterranea usando un controlador ac800m. Lima - UNI.





Anexo 02: Factores de Fricción para vías de ventilación de una mina

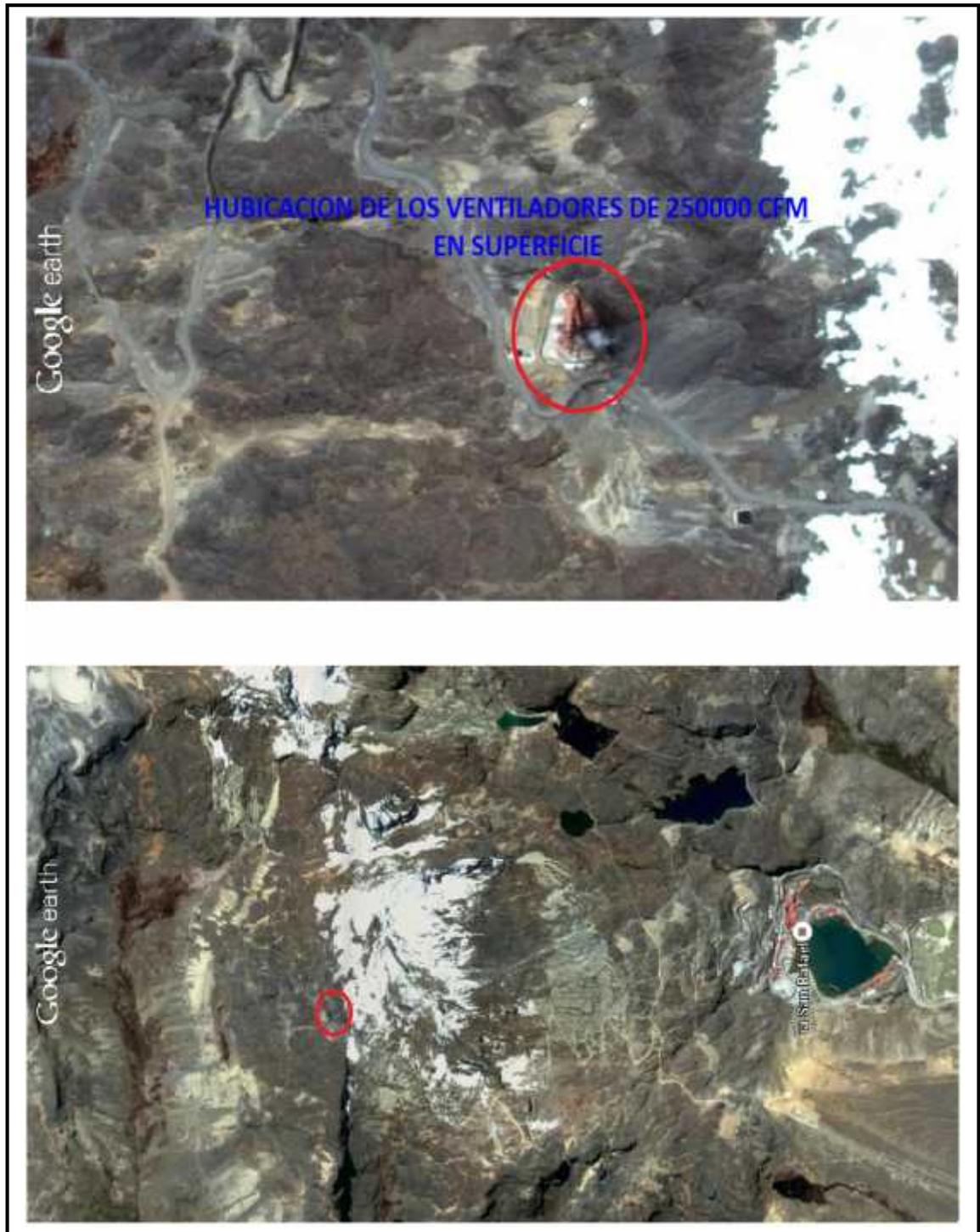
TABLE 5.1 Friction Factor *K* for Noncoal Mine Airways and Openings  
Values of *K* × 10<sup>m</sup>\*

Type of Airway	Irregularities of Surfaces, Areas, and Alignment	Straight						Sinuous or Curved									
		Clean		Slightly Obstructed		Moderately Obstructed		Slightly Obstructed		Moderately Obstructed		Slightly Obstructed		Moderately Obstructed			
		Values	(Basic Values)	Obstructed	Slightly Obstructed	Obstructed	Moderately Obstructed	Clean	Obstructed	Slightly Obstructed	Obstructed	Moderately Obstructed	Clean	Obstructed	Slightly Obstructed	Obstructed	
Smooth lined	Minimum	10	15	20	25	25	20	25	30	35	35	25	30	35	40	45	50
	Average	15	20	25	30	30	25	30	35	40	40	30	35	40	45	50	55
	Maximum	20	25	30	35	35	30	35	40	45	45	35	40	45	50	55	60
Sedimentary rock	Minimum	30	35	40	45	45	40	45	50	55	55	45	50	55	60	65	70
	Average	55	60	65	70	70	65	70	75	80	80	70	75	80	85	90	95
	Maximum	70	75	80	85	85	80	85	90	95	95	85	90	95	100	105	110
Timbered (5-ft centers)	Minimum	80	85	90	95	95	90	95	100	105	105	95	100	105	110	115	120
	Average	95	100	105	110	110	105	110	115	120	120	110	115	120	125	130	135
	Maximum	105	110	115	120	120	115	120	125	130	130	120	125	130	135	140	145
Igneous rock	Minimum	90	95	100	105	105	100	105	110	115	115	105	110	115	120	125	130
	Average	145	150	155	160	160	155	160	165	170	170	160	165	170	175	180	185
	Maximum	195	200	205	210	210	205	210	215	220	220	210	215	220	225	230	235

Source: McElroy (1935).  
\* To provide correct values of *K*, the numerical values obtained from the table are multiplied by 10<sup>-m</sup> and units of lb-min<sup>2</sup>/ft<sup>4</sup> attached. *K* is based on standard air specific weight (*w* = 0.0750 lb/ft<sup>3</sup>). Recommended values are in *italics*. To convert *K* to SI units (kg/m<sup>3</sup>), multiply table values by 1.855 × 10<sup>6</sup>.

Fuente: Autor de tesis.

**Anexo 03:** Ubicación de los ventiladores de 250000 CFM en superficie



**Fuente:** Autor de tesis

Anexo 04: Cartilla de gases presentes en mina

**INTERVENCIÓN** **S I G** **CENCO**

**GASES PRESENTES EN MINA**

GASES	SIMBOLO	LMP	Gravedad Especifica (aire= 1)Kg/m <sup>3</sup>
Monóxido de Carbono	CO	25 ppm	0.97
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	5000 ppm	1.53
Gases Nitrosos	NO	5 ppm	2.62
Anhidrido Sulfuroso	SO <sub>2</sub>	5 ppm	2.26
Acido Sulfúrico	H <sub>2</sub> S	10 ppm	1.19
Metano	CH <sub>4</sub>	5 Vol %	0.555
<b>OXIGENO</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	<b>19.50%</b>	<b>1.105</b>

**RECUERDE CUANDO LOS VALORES SUPEREN LOS LIMITES PERMISIBLES DE LOS DIFERENTES GASES ABANDONE INMEDIATAMENTE LA ZONA DE TRABAJO**

**Monóxido de carbono:** Es un gas incoloro, insípido y ligeramente más liviano que el aire, su presencia en las minas se debe a los disparos, a los incendios subterráneos y al empleo de motores de combustión diesel.

**Dióxido de Carbono:** Se trata de un gas incoloro con sabor ligeramente ácido es generado en las minas por las personas, los incendios, las explosiones, y en algunos yacimientos por la composición geológica de sus rocas.

**Gases Nitrosos:** Son producidos en las minas por el empleo de explosivos. **CO** equipos con motores de combustión, la toxicidad de estos gases, se debe a que al absorberse en la humedad contenida en los pulmones dan lugar a la formación de ácidos nítricos y nítricos.

**Anhidrido Sulfuroso:** Gas incoloro, tóxico, inflamable, más pesado que el aire y con fuerte olor a sulfuro. Se forma por la combustión de minerales con alto contenido de azufre, en incendios subterráneos y por los algarros en minas que contienen sulfuros.

**Acido Sulfúrico:** Es un gas incoloro, con características ácidas e fuerte picado. Es tóxico e inflamable. Se expone cuando la concentración está entre 1 y 44 partes la mucosa de los ojos y las vías respiratorias atacando así mismo al sistema nervioso.

**Metano:** Es uno de los gases inflamables más comunes encontrados en las minas de carbón en el Perú que contiene materias orgánicas. Se produce en las minas, al ser un producto de desecho de la respiración de los animales que se encuentran en las minas.

**CO<sub>2</sub>**  
**NO<sub>2</sub>**

SSOMA - QUENAMARI

Fuente: Autor de tesis

Anexo 05: Cartilla de uso de equipo Autorrescatador

**SSMA** **S I G**

**USO DE AUTORESQUADADOR**

1.- Si la bota protectora está cubriendo al auto rescatador retírala.

2.- Libere el auto rescatador presionando y empujando la palanca roja.

3.- Hasta que el sello de garantía se rompa.

4.- Con sus dedos pulgar e índice, apriete la palanca roja y jale con fuerza hacia arriba.

5.- Quite la cubierta del contenedor y lentes.

6.- Jale el arnés para la cabeza y el respirador hacia afuera del contenedor.

**NOTA: Tiempo estimado para retirarse 30 min.**  
SSOMA - QUENAMARI

7.- Separe el clip nasal de la pieza bucal.

8.- Inserte la pieza bucal dentro de la boca y muéstrala firmemente.

9.- Cierre los labios fuertemente alrededor de la pieza bucal.

10.- Separe las almohadillas del clip nasal y posícionelas en los orificios manuales.

11.- Cuando suelte, la presión de las almohadillas sellara el puente nasal.

12.- Quite el casco y pléguese el arnés, la correa detrás de la cabeza y la banda sobre la frente.

13.- Colóquese suavemente el casco.

14.- Antes de ingresar debe asegurarse que el auto rescatador por cualquier falla no se quite.

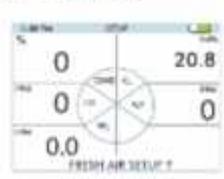
Fuente: Autor de tesis

Anexo 06: Cartilla de uso del Equipo ALTAIR 5X – MSA

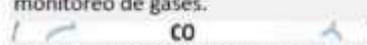


**USO DE EQUIPO ALTAIR 5X**

- 1.- Encienda el instrumento con el botón **[⏻]**, en una área donde el aire este limpio y no contaminado.
- 2.- El instrumento realiza un autodiagnóstico y, a continuación, pasa a la configuración de aire limpio, durante el diagnostico el Instrumento comprueba si hay sensores ausentes.



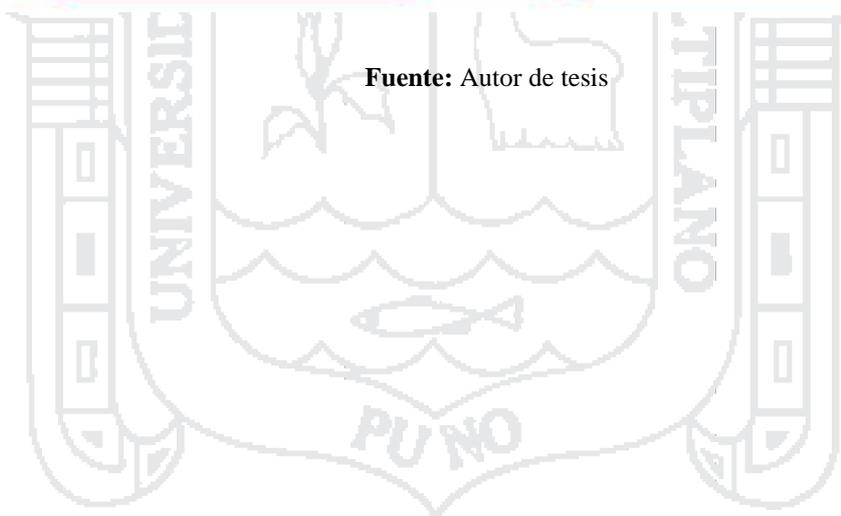
- 3.- Verifique que las lecturas indiquen que no hay gases presentes, y apunrar dichas lecturas en el formato de monitoreo de gases.



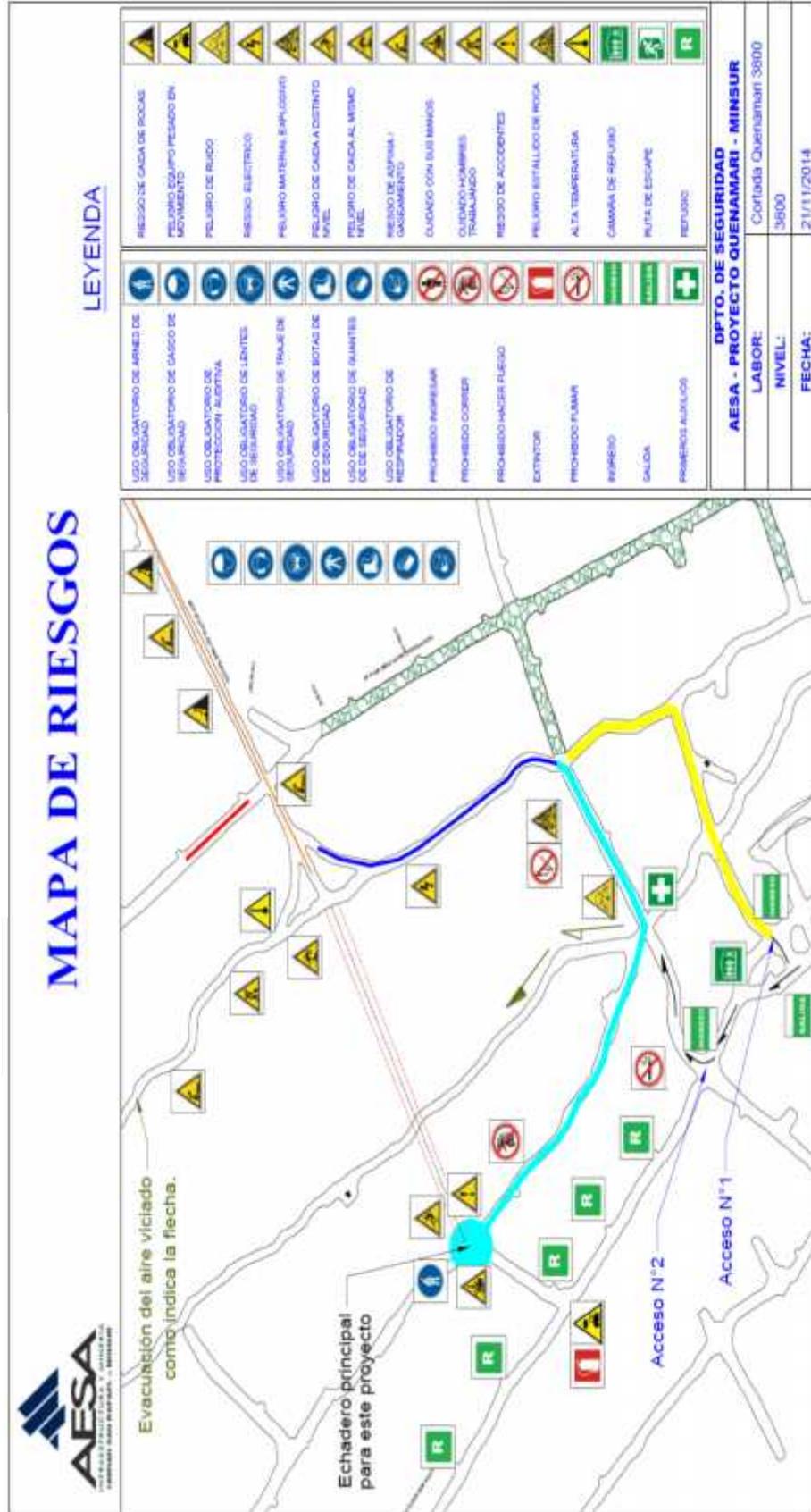
- 4.- Los sensores activaran las alarmas cuando detecten gases fuera de los LMP, si fuera así evacue de inmediato a una zona ventilada.
- 8.- Si el equipo se apaga y/o se agota su batería en pleno monitoreo, proceda a evacuar de inmediato.
- 9.- Para apagar el instrumento, mantenga presionado el botón **[⏻]** durante más de un segundo.

SSOMA - QUENAMARI

Fuente: Autor de tesis

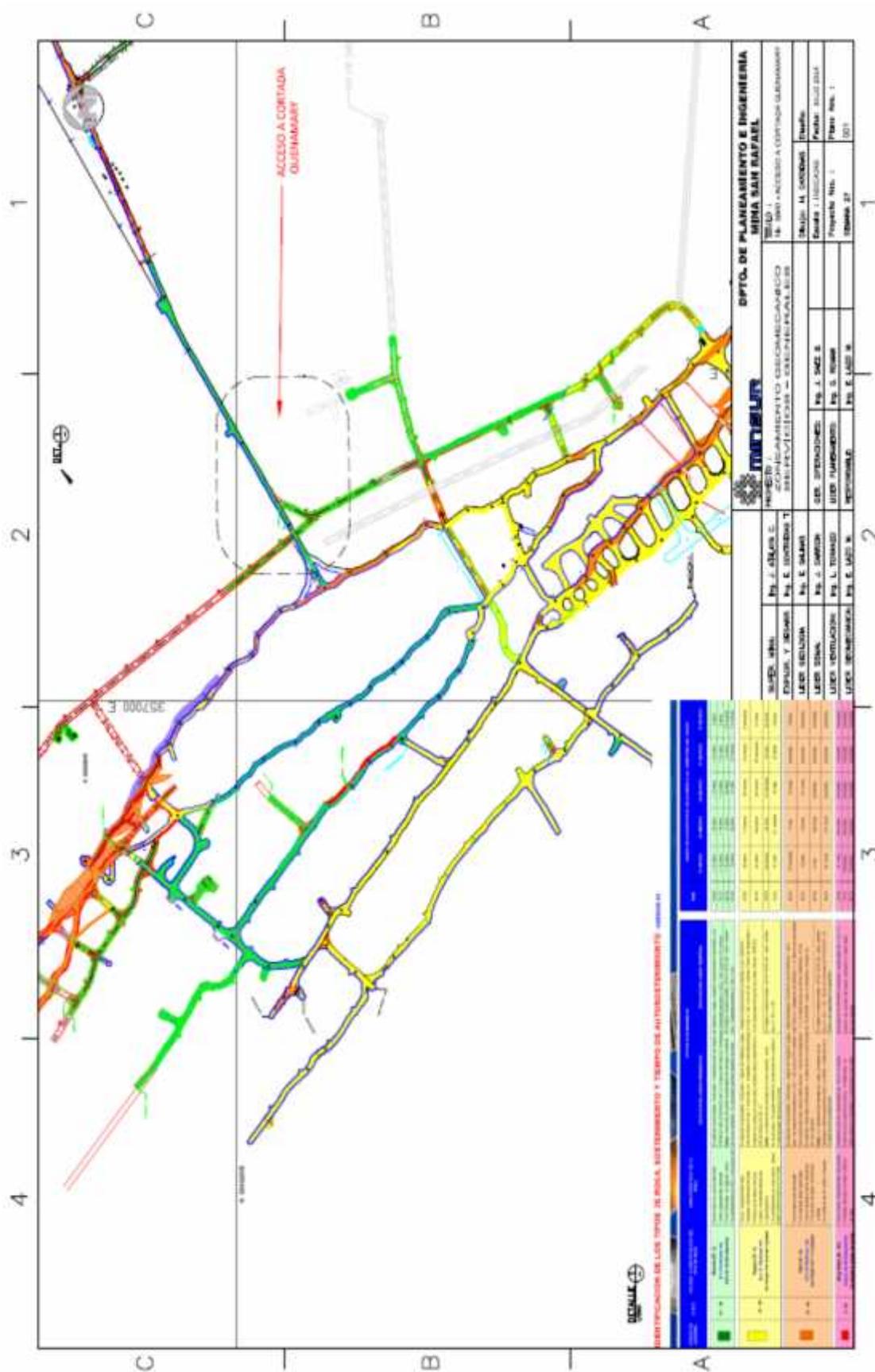


Anexo 07: Mapa de riesgo cortada 3800.



Fuente: Autor de tesis

Anexo 08: Plano Geomecánico



Fuente: Autor de tesis