

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



**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE  
VENTILACIÓN DE LAS LABORES DE EXPLORACIÓN  
EN EL PROYECTO SAN GABRIEL CIA. DE MINAS  
BUENAVENTURA S.A.A.”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. MARCO FREDY FLORES ARONI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PROMOCIÓN 2014**

**PUNO - PERÚ**

**2017**

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

**TESIS**

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DE  
LAS LABORES DE EXPLORACIÓN EN EL PROYECTO SAN  
GABRIEL CIA. DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.”**

**PRESENTADA POR:**

Bach. MARCO FREDY FLORES ARONI

A la Dirección de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad  
Nacional del Altiplano, para optar el título de Ingeniero de Minas.

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFIRMADO POR:

PRESIDENTE : .....  
M.Sc. ING. HENRY TAPIA VALENCIA

PRIMER MIEMBRO : .....  
Dr. ING. FERNANDO SALAS URVIOLA

SEGUNDO MIEMBRO : .....  
ING. RAFAEL ARTURO CHAYÑA RODRIGUEZ

DIRECTOR DE TESIS : .....  
M.Sc. ING. ESTEBAN MARIN PAUCARA

ASESOR DE TESIS : .....  
M.Sc. ING. LUCIO QUEA GUTIERREZ

**Área:** Ingeniería de Minas.

**Tema:** Servicios Auxiliares Requeridos en Operaciones Mineras.

PUNO – PERÚ

2017

## DEDICATORIA

Al todopoderoso, por sus bendiciones, iluminando siempre mi camino, quien me dio la inteligencia y fuerza necesaria para poder lograr uno de mis grandes propósitos de mi vida

A los artífices de mi persona en mente y alma, a los que me brindaron y me brindan a pesar de las adversidades su apoyo, material, espiritual y moral; para los cuales cada triunfo mío es alegría suya y cada fracaso su tristeza, a quienes supieron guiarme para una buena formación y darme en todo momento su cariño, apoyo y comprensión, a mis queridos padres:

A mis hermanos: *Eusebia, Mario, Nancy, Juan*; que juntos son una pieza muy importante en mi formación personal y profesional.

Marco Fredy

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Alma Mater, Universidad Nacional del Altiplano Puno, a los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas quienes me brindaron sus conocimientos y experiencias a través de mis años de estudio, los cuales perduraran en mi vida profesional.

Al proyecto San Gabriel Cía. de Minas Buenaventura S.A.A. que me permitió realizar la presente investigación y continuar con mi formación profesional.

Gracias a Dios por guiar mis pasos diariamente, permitiéndome aprender de mis errores con entereza y aplomo; a mis padres que con su amor, perseverancia y comprensión apoyaron a que sea consecuente con mis ideales y firme con mis decisiones; a mis hermanos por su amor y amistad.

Marco Fredy

**ÍNDICE GENERAL**

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
ÍNDICE GENERAL .....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABLAS .....	v
LISTA DE ANEXOS.....	vi
RESUMEN .....	vii
INTRODUCCIÓN .....	viii

**CAPÍTULO I****PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

1.1. Descripción de la realidad problemática.....	4
1.2. Formulación del problema .....	5
1.2.1. Pregunta general .....	5
1.2.2. Preguntas específicas .....	6
1.3. Objetivos de la investigación .....	6
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivos específicos .....	6
1.3.3. Justificación de la investigación .....	6

**CAPÍTULO II****MARCO TEÓRICO**

2.1. Antecedentes de la investigación .....	8
2.2. Marco teórico de la investigación .....	10
2.2.1. Ventilación de minas .....	10
2.2.2. Ventilación subterránea .....	12

2.2.3. Tipos de ventilación.....	13
2.2.4. Máquinas ventiladoras .....	15
2.2.5. Clasificación de ventiladores .....	15
2.2.6. Sistemas de ventilación.....	17
2.2.7. Circuitos de ventilación .....	20
2.3. Cálculo de cantidad de aire .....	24
2.4. Marco conceptual.....	27
2.4.1. Ventilación natural en el proyecto minero San Gabriel.....	27
2.4.2. Ventilación mecánica en el proyecto minero San Gabriel.....	28
2.4.3. Selección del ventilador principal.....	28
2.4.4. Selección del ventilador auxiliar.....	29
2.4.5. Diseño de sistema de ventilación en el proyecto minero San Gabriel.....	30
2.5. Diseño geométrico en el proyecto minero San Gabriel .....	31
2.5.1. Trazo geométrico en el proyecto minero San Gabriel .....	32
2.5.2. Sección transversal en el proyecto minero San Gabriel .....	33
2.5.3. Labores subterráneas en el proyecto minero San Gabriel.....	34
2.5.4. Software Ventsim .....	37
2.6. Formulación de hipótesis .....	41
2.6.1. Hipótesis general.....	41
2.6.2. Hipótesis específicos.....	41

### **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

3.1. Diseño metodológico .....	42
3.2. Población y muestra.....	42
3.3. Operacionalización de variables .....	43

3.3.1. Variable independiente (VI) .....	43
3.3.2. Variable dependiente (VD) .....	43
3.4. Técnicas de recolección de datos .....	43
3.5. Instrumentos de muestreo .....	45
3.6. Técnicas de simulación para el procesamiento del sistema de ventilación .....	45
3.6.1. Proceso de modelización .....	45

## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

4.1. Aspectos generales.....	49
4.2. Geología.....	50
4.2.1. Aspectos físicos .....	52
4.2.2. Clima y meteorología.....	53
4.2.3. Calidad del aire .....	57
4.2.4. Niveles de ruido .....	58
4.2.5. Operaciones unitarias.....	59
a. Perforación .....	59
b. Voladura.....	60

## CAPÍTULO V

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Dimensionamiento de las labores de exploración.....	65
5.2. Alternativas de dimensionamiento de chimeneas del sistema ventilación .....	67
5.2.1. Alternativa I.....	69
5.2.2. Alternativa II.....	70
5.2.3. Alternativa III .....	72

5.3. Fase I: Cálculo de la ventilación a corto plazo para la rampa principal del proyecto San Gabriel .....	74
5.3.1. Modelación del sistema de ventilación .....	74
5.3.2. Requerimiento de cantidad de aire.....	75
5.3.3. Selección del ventilador primario .....	79
5.4. Fase II: Cálculo para la ventilación de mediano y largo plazo de las labores de exploración en el proyecto San Gabriel .....	82
5.4.1. Modelación del sistema de ventilación .....	82
5.4.2. Requerimiento de cantidad de aire.....	83
5.4.3. Determinación del ventilador para chimenea RB .....	87
CONCLUSIONES .....	91
RECOMENDACIONES .....	92
FUENTES DE INFORMACIÓN .....	93
BIBLIOGRAFÍA .....	93
ANEXOS .....	95

**LISTA DE FIGURAS**

- Figura 2.1: Ventilación impelente.
- Figura 2.2: Ventilación aspirante.
- Figura 2.3: Diagrama equivalente en serie.
- Figura 2.4.a: Diagrama equivalente en paralelo.
- Figura 2.4.b: Diagrama equivalente en paralelo simplificado.
- Figura 2.4.c: Diagrama equivalente en paralelo final.
- Figura 2.5: Configuración de los trazos geométricos.
- Figura 5.1: Dimensiones de sección y áreas disponibles.
- Figura 5.2: Sección 4,5 m x 4,5 m.
- Figura 5.3: Arreglo general alternativa I – Proyecto San Gabriel.
- Figura 5.4: Resultados obtenidos alternativa I.
- Figura 5.5: Arreglo general alternativa II – Proyecto San Gabriel.
- Figura 5.6: Resultados obtenidos alternativa II.
- Figura 5.7: Arreglo general alternativa III – Proyecto San Gabriel.
- Figura 5.8: Resultados obtenidos alternativa III.
- Figura 5.9: Curva de relación ( $\text{m}^3/\text{s}$ )/kW.
- Figura 5.10: Esquema de ventilación de rampa principal.
- Figura 5.11: Curva de operación del ventilador Airtec VAV-54-26,5-1 750-I-A.
- Figura 5.12: Curva de operación del ventilador Airtec VAV-54-26,5-1 750-I-A.
- Figura 5.13: Esquema de ventilación del proyecto.
- Figura 5.14: Curva de operación del ventilador Airtec VAV-72-30-1 150-I-B.
- Figura 5.15: Curva de operación del ventilador Airtec VAV-72-30-1 150-I-B.
- Figura 5.16: Vista general del proyecto y ubicación de chimeneas.

**LISTA DE TABLAS**

- Tabla 2.1: Longitudes de los trazos del diseño.
- Tabla 2.2: Características geométricas de la rampa de acceso.
- Tabla 4.1: Distancia aproximada al proyecto a los diferentes centros poblados.
- Tabla 4.2: Parámetros de voladura en roca tipo III B y IV A.
- Tabla 4.3: Selección y rendimiento del cargador frontal.
- Tabla 4.4: Selección y rendimiento del volquete.
- Tabla 5.1: Dimensionamiento de chimeneas de ventilación I.
- Tabla 5.2: Dimensionamiento de chimeneas de ventilación II.
- Tabla 5.3: Dimensionamiento de chimeneas de ventilación III.
- Tabla 5.4: Resumen de alternativas.
- Tabla 5.5: Resistencias para rampa principal por cada 100 m de longitud.
- Tabla 5.6: Promedio de parámetros meteorológicos.
- Tabla 5.7: Personal que labora en proyecto San Gabriel.
- Tabla 5.8: Caudal de aire requerido para los equipos LHD.
- Tabla 5.9: Resistencias para diferentes tipos de ramales.
- Tabla 5.10: Personal que labora en proyecto San Gabriel.
- Tabla 5.11: Caudal de aire requerido para los equipos LHD.
- Tabla 5.12: Ubicación de salida de chimeneas y pique en superficie.

**LISTA DE ANEXOS**

- Anexo 01: Límites de exposición ocupacional para agentes químicos.
- Anexo 02: Ventilador axial, ventilador centrífugo.
- Anexo 03: Valores límite de referencia para estrés térmico.
- Anexo 04: Plano de ubicación de proyecto San Gabriel.
- Anexo 05: Malla de perforación 4,5 m x 4,5 m.
- Anexo 06: Parámetros meteorológicos.
- Anexo 07: Importación de labores a partir de un archivo (dxf).
- Anexo 08: Plano unifilar de ventilación con Ventsim.
- Anexo 09: Plano isométrico del proyecto San Gabriel.
- Anexo 10: Plano unifilar del proyecto San Gabriel.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado: *Diseño y simulación del sistema de ventilación de las labores de exploración en el proyecto San Gabriel Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.*, realizado en el distrito de Ichuña y Lloque, Provincia de General Sánchez Cerro, de región Moquegua, el año 2016, cuyo objetivo es diseñar y simular el sistema de ventilación de las labores de exploración de la mina con los datos ingresados al software Ventsim. Para el dimensionamiento de las chimeneas ventilación hicieron diversas simulaciones numéricas mediante el software Ventsim, que está controlado por el flujo de aire por cada kW consumido ( $\text{m}^3/\text{s}/\text{kW}$ ), donde se adoptaron parámetros físicos y geométricos como: Formas de túneles, tipo de roca, áreas, resistencias, factor de fricción y factores de choque. Para este propósito se simularon tres posibles alternativas, de la cual, se determinó el diámetro y ubicación más óptimo de las chimeneas de ventilación. (CHI-1: 2,1 m, CHI-2: 2,1 m, CHI-3: 2,1 m, CHI-4: 7,0 m) de diámetro, todo estos construidos con equipo Raise Boring. Con la finalidad de determinar el sistema de ventilación óptima se presentan dos fases: Fase I: Cálculo de la ventilación a corto plazo para la rampa principal, el requerimiento es de  $50,45 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $3027 \text{ m}^3/\text{min}$ ). El ventilador principal se instalará en superficie, con dos mangas de ventilación, el cual será una instalación impelente, con un motor de 55 HP, que será capaz de inyectar aire por cada manga en promedio  $26,75 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $56680 \text{ cfm}$ ). Fase II: Cálculo para la ventilación de mediano y largo plazo, el requerimiento es de  $205,15 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $12309 \text{ m}^3/\text{min}$ ). El ventilador se instalará en la superficie de la corona de cada chimenea, con un motor de 53 HP, que será capaz de extraer en promedio  $70,80 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $150000 \text{ cfm}$ ).

## INTRODUCCIÓN

Es muy importante resaltar la atención que actualmente prestan las gerencias de operaciones de las empresas mineras, a los estudios de ventilación de minas; con el doble objetivo de suministrar condiciones termo-ambientales correctas en todas las labores subterráneas y mejorar la productividad. Cualquier sistema de ventilación tiene la función de llevar a los lugares de trabajo, las cantidades de aire suficientes para diluir los contaminantes, mantener la temperatura, humedad y contenido de oxígeno dentro de los límites deseados. En los problemas de ventilación existen dos aspectos generales: el primero se refiere a los requerimientos señalados por la ley de minería y el segundo a las condiciones técnicas y económicas de la ventilación. Actualmente se está desarrollando la labor principal de acceso para alcanzar el dominio profundo del cuerpo y teniendo en cuenta la futura explotación. Cuando se acometa la explotación, es posible que el sistema de ventilación actual no sea suficiente para mantener los requerimientos de aire en cuanto a calidad y cantidad para el correcto desarrollo de los trabajos. Por lo tanto, para asegurar la compatibilidad y flexibilidad del sistema de ventilación con la futura extensión de la mina, se abordarán y estudiarán dos fases mediante el paquete de simulación Ventsim. El presente trabajo de investigación está constituido por los siguientes: Capítulo I: El problema de investigación constituido por el planteamiento del problema, relacionado con la descripción de la realidad problemática sobre los efectos que causa la adopción debe implicar la mejora la calidad de aire de la empresa minera. Capítulo II: Fundamentos teóricos de la investigación, se esboza el marco teórico a través del marco histórico, bases teóricas que describen cada una de las variables en estudio, el marco conceptual referido al sustento de las leyes de los gases perfectos y principios relacionados sobre el conocimiento y aplicación de la ventilación de minas para mejorar la calidad de aire en las labores mineras. Capítulo III: Planteamientos

metodológicos; La metodología empleada para la ejecución de esta investigación, se planificó considerando trabajos de campo y de gabinete. El trabajo de campo nos proporcionó la siguiente información; dimensionamiento de la sección de la galería, velocidad de aire en la zona en trabajo, temperatura ambiental en los diferentes puntos de medición. La hipótesis, la identificación, la clasificación de las mismas, la operacionalización de la hipótesis, las variables e indicadores, el tipo, el nivel, método, diseño, técnicas, instrumentos y fuentes de recolección de datos, el procesamiento y análisis de los datos recolectados, análisis e interpretación de resultados, se describe la experiencia de campo, el procesamiento de la información; la contratación de las hipótesis. Capítulo IV: Describe la ubicación y accesibilidad del proyecto minero, así también menciona la geología tanto regional como local, los aspectos físicos como son: Fisiografía, geomorfología, clima y meteorología: Temperatura del aire, humedad relativa, precipitación, calidad de aire, niveles de ruido. El ciclo de perforación, voladura, carguío y acarreo. Capítulo V: Se refiere a la exposición y análisis de resultados; donde se detalla los resultados obtenidos en base a la simulación con el software Ventsim, el presente trabajo de investigación es un aporte al tema de aplicación de la ventilación de minas a nivel de la pequeña y mediana minería, y puede ser un referente para seguir siendo investigado por otros investigadores. Por último, en la parte final las conclusiones y recomendaciones del estudio, la bibliografía referida con sus respectivos anexos.

El autor

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Descripción de la realidad problemática

La ventilación en minería es de suma importancia para mejorar y controlar la calidad de aire, redundara en beneficio de la salud de los trabajadores mineros y funcionamiento óptimo de los equipos mineros y la preservación de los materiales e insumos necesarios para el desarrollo de la actividad minera.

Las empresas mineras han establecido políticas de acercamiento hacia los trabajadores a fin de establecer facilidades que permitan continuar con las operaciones, optando por el modelo de la responsabilidad con el reglamento de seguridad y salud ocupacional, estableciendo de este modo un plan de ventilación adecuada sobre la base de programas de mantenimiento oportuno a los cuales son convenientes realizar la evaluación desde una perspectiva racional.

En el proyecto San Gabriel en su fase de desarrollo y preparación de labores subterráneas tiene la necesidad de determinar el diseño del sistema de ventilación, así mismo analizar la distribución racional de aire limpio requerido por los frentes de desarrollo.

El diseño y simulación del sistema de ventilación de las labores de exploración del proyecto San Gabriel, con el uso del software Ventsim se realizó con la finalidad de determinar cómo se comporta el circuito de ventilación del proyecto, determinar los caudales de aire limpio (ingreso) y aire viciado (salida), la cantidad de aire necesaria de aire para el personal y los equipos que laboran en el proyecto minero.

La falta del análisis de la distribución de dotación de aire limpio en mina de las labores de exploración, ocasionaría la pérdida de vidas humanas, pérdida de equipos mineros, problemas legales a la empresa y otros.

## **1.2. Formulación del problema**

Con la presente investigación pretendemos dar respuesta a las siguientes interrogantes.

### **1.2.1. Pregunta general**

- ¿Cuál es el diseño del sistema de ventilación de las labores de exploración y la simulación del circuito del flujo de aire para el proyecto San Gabriel Cía. de Minas Buenaventura?

### **1.2.2. Preguntas específicas**

- ¿Cómo es el diseño del sistema de ventilación en las labores de exploración para el proyecto San Gabriel Cía. de Minas Buenaventura?
- ¿Cómo es la simulación del circuito del flujo de aire con el software Ventsim para el proyecto San Gabriel Cía. de Minas Buenaventura?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

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

- Elaborar el diseño del sistema de ventilación de las labores de exploración y la simulación del circuito del flujo de aire para el proyecto San Gabriel Cía. de Minas Buenaventura.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Diseñar el sistema de ventilación en las labores de exploración para el proyecto San Gabriel Cía. de Minas Buenaventura.
- Simular el circuito del flujo de aire con el software Ventsim para el proyecto San Gabriel Cía. de Minas Buenaventura.

#### **1.3.3. Justificación de la investigación**

La ventilación de una mina es el proceso continuo de proveer aire fresco y un ambiente laboral seguro y confortable para los hombres, máquinas y operaciones que haya dentro de la mina y evacuar los contaminantes existentes de la mina.

El diseño del sistema de ventilación del proyecto San Gabriel Cía. de Minas Buenaventura, se realiza con la finalidad de diseñar y simular el cálculo de aire limpio requerido en las labores de exploración (rampa de acceso, labor de exploración, cortadas de exploración, estocadas, cámaras de acumulación, cámaras de perforación y chimeneas de ventilación), que nos sirva para encauzar aire limpio o fresco a los lugares de trabajo y evacuar el aire viciado hacia la superficie. Determinar cómo se comporta el circuito de ventilación de la mina, determinar los caudales de aire fresco (ingreso), aire viciado (salida), la cantidad necesaria de aire para personal y los equipos que laboran en interior mina. Determinar la selección y ubicación de las maquinas ventiladoras, tanto principales como auxiliares.

De tal manera que, mejoraran las condiciones de trabajo, asimismo los trabajadores mejoraran en el desempeño en sus tareas y labores encomendadas, consecuentemente se minimizaran las enfermedades ocupacionales, por lo cual brindará mayores resultados en efectividad y productividad de la empresa.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

(Enriquez J., 2011), en su trabajo de investigación titulado, *Evaluación del sistema de ventilación de la Compañía Minera San Ignacio de Morococha - Mina San Vicente, aplicando el Software Ventsim 3.9*, presentado a la coordinación de investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas-UNA-Puno concluye que: “El uso del Software Ventsim 3.9 nos permitió realizar la evaluación del sistema de ventilación de la mina San Vicente, considerando el uso de ventiladores y costo de energía. Durante la evaluación del sistema de ventilación, es importante reducir al mínimo cualquier cambio en el sistema de ventilación, reparar puertas o tapones. Se tiene que mantener la mina lo más estática posible durante el estudio, para que se puedan obtener las mejores y más exactas medidas, evitar el tránsito de equipos y el apagado de ventiladores principales”.

(López C, 2014), en su trabajo de investigación titulado, *Estudio del sistema de ventilación a implementar en la ampliación de una mina metálica mediante el software VentSim*, presentado al departamento de Energía - Universidad de Oviedo – España, en resumen, indica que: “La presente investigación trata sobre la evaluación y dimensionamiento de los equipos de ventilación existentes y a instalar en una mina metálica explotada por el método de Sub-level Caving. Para ello, se utilizó el Software específico de ventilación de infraestructuras subterráneas tanto a tiempo real como para realizar previsiones a futuro”.

(Córdova E., 2012), en su artículo titulado *Estimación de requerimientos de aire en minas que utilizan métodos de Open Stopping*, presentado en North American Ventilation Symposium, 2012, University of Utah, Department of Mining Engineering, en resumen, indica que: “El objetivo principal de este trabajo es el de presentar los pasos requeridos para establecer un sistema de ventilación efectivo (eficiente y seguro) para minas subterráneas explotadas por el método de caserones. El trabajo incluye estimación de requerimientos de aire fresco basados en los equipos utilizados, concentración máxima de contaminantes, regulaciones, infraestructuras, y desarrollos. El trabajo incluye también un resumen de las buenas prácticas desarrolladas en la industria, la descripción de un método de selección de ventiladores primarios, y un procedimiento para seleccionar ventiladores auxiliares. Un ejemplo numérico, resuelto con el programa Ventsim, es usado para ilustrar el procedimiento seguido para determinar las partes más importantes de un sistema de ventilación para minas subterráneas que utilizan este método de explotación”.

(Rueda N, 2012), en su artículo titulado, *Optimización del sistema de ventilación en una mina de gran altura, Compañía Minera Raura*, presentado en North American Ventilation Symposium, 2012, University of Utah, Department of Mining Engineering, en resumen, indica que: “Este proyecto integra el uso de herramientas avanzadas de simulación computacional con análisis teórico y experimental y se desarrolla en tres etapas: diagnóstico, optimización e implementación. En el diagnóstico se determina el estado actual de la ventilación con mediciones en campo de flujo de aire, condiciones ambientales y de operación de los ventiladores. En la optimización se evalúan las diferentes alternativas de redistribución del flujo y de la ubicación de las nuevas chimeneas y ventiladores. En estas dos etapas se utiliza el software Ventsim Visual Avanzado para la simulación de los circuitos de ventilación y complementando con ANSYS CFX, para la simulación de patrones complejos de flujo. La etapa de implementación se encuentra en desarrollo y se espera que termine a finales de 2012”.

## **2.2. Marco teórico de la investigación**

### **2.2.1. Ventilación de minas**

La ventilación en toda labor minera deberá ser con aire limpio de acuerdo a las necesidades del personal, las maquinarias 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 calidad de aire, deberá mantenerse dentro de los límites máximos permisibles. (Ver Anexo 01).

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 Nro. 024-2016-EM, se tomará en cuenta lo siguiente: En todas las labores subterráneas se mantendrá una circulación de aire limpio y fresco en cantidad y 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 % de oxígeno, cuando las minas se encuentren hasta 1 500 metros sobre el nivel del mar, en los lugares de trabajo, la cantidad mínima de aire necesaria por hombre será de 3,0 metros cúbicos por minuto, en otras altitudes las cantidades de aire será de acuerdo con la siguiente escala: (D.S. 024-2016-EM, 2016)

- De 1 500 a 3 000 metros aumentará en 40 %, será igual a 4 m<sup>3</sup>/min.
- De 3 000 a 4 000 metros aumentará en 70 %, será igual a 5 m<sup>3</sup>/min.
- Sobre los 4 000 metros aumentará en 100 %, será igual a 6 m<sup>3</sup>/min.

En caso de emplearse equipo diésel, la cantidad de aire circulante no será menor de tres 3 metros cúbicos por minuto por cada HP que desarrollen los equipos, en ningún caso la velocidad del aire será menor de 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 otros agentes de voladura, la velocidad del 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. (D.S. 024-2016-EM, 2016).

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

Principios de la ventilación es por:

- Dos puntos de diferente presión ( $>P_2$  a  $<P_1$ )
- Diferencia de temperaturas ( $> T^{\circ}2$  a  $< T^{\circ}1$ ), (Novitzky A., 1962)

### 2.2.3. Tipos de Ventilación

#### a. 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. (Ramirez H., 2005).

#### Causas del movimiento de aire:

- En una mina que cuente con labores horizontales hasta verticales existirá una diferencia de peso entre el 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 las noches es difícil predecir. En el invierno se invierte el proceso. En otras estaciones difíciles predecir. (Mallqui T., 1981)

Ejecución del mapeo de ventilación de una mina para determinación del volumen del aire que circula y la evaluación de la ventilación de la mina, la ejecución consiste en ubicarse en las estaciones de la ventilación pre establecidos y determinar el sentido de avance del aire mediante bombilla de humos, similarmente como el levantamiento de ventilación para hacer el balance de aire que ingresa al interior mina. (Giménez P., 2011)

## b. 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. (Ramirez H., 2005).

**Ventilación principal:** Es cuando el flujo principal de aire que enviamos atraviesa toda la mina o todo el circuito y viaja por una galería principal distribuyéndose el aire por ramales o recibiendo de ramales laterales cuando la ventilación es de succión.

**Ventilación secundaria:** Es cuando releva la presión de ventilación en un circuito principal, el cual ha resultado demasiado resistente al ventilador principal debido a su longitud, curvaturas o reducción de áreas y que tiene su técnica de instalación para evitar la circulación, que de otro modo se gasta inútilmente la corriente eléctrica.

**Ventilación auxiliar:** Es cuando se usa para las chimeneas, para los tajos, para los frontones, para pequeños circuitos y especialmente para lugares confinados.

#### 2.2.4. Máquinas ventiladoras

Las máquinas ventiladoras son las que transmite energía a un fluido (aire o gases), produciendo el incremento de presión necesario (presión total) con la que mantener un flujo continuo de dicho fluido.

Para realizar este trabajo el ventilador requiere de una potencia en el eje del motor que lo acciona que viene dada por la expresión:

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Caudal [m}^3/\text{s]} * \text{Presion Total [Pa]}}{n_{\text{ventilador}}[\%]}$$

Cada ventilador definido por su curva característica, que es el lugar geométrico de los puntos de funcionamiento del mismo para cada ángulo de regulación de los alabes. Por tanto, tendremos una curva característica distinta para cada ángulo. El punto de corte de la curva del ventilador con la resistencia del circuito es el punto de funcionamiento del ventilador. (Zitrón, 2010).

#### 2.2.5. Clasificación de ventiladores

Con el desarrollo de la ciencia aerodinámica, en los años posteriores a la segunda guerra mundial se desarrollaron los primeros ventiladores de flujo axial, es decir, los ventiladores axiales, los cuales son los más utilizados, en la actualidad y a nivel global, para mover grandes caudales de aire en los trabajos subterráneos, operando dichas unidades tanto en mina, como en superficie. Los ventiladores de tipo centrífugo, actualmente son ampliamente utilizados en sistemas de ventilación industrial dado su capacidad de generar altas caídas de presión con caudales relativamente bajos.

Los ventiladores se dividen en el sentido más general en 2 tipos: Ventiladores axiales y centrífugos. Para cada uno de estos tipos se pueden disponer con variedad de posiciones de descarga y distintos tipos de accionamiento del rodete. (Zitrón, 2010).

#### **a. Ventilador axial**

El ventilador axial es de diseño aerodinámico, este tipo de ventilador consiste esencialmente en un rodete alojado en una envolvente cilíndrica o carcasa. La adición de álabes guía, detrás del rotor, convierte al ventilador turbo-axial en un ventilador axial con aletas guía. Puede funcionar en un amplio rango de volúmenes de aire, a presiones estáticas que van de bajas a moderadamente altas y es capaz de desarrollar mayores presiones estáticas que el ventilador centrífugo a la vez que es mucho más eficiente. (Ver Anexo 02). (Zitrón, 2010).

#### **b. Ventilador centrífugo**

El ventilador centrífugo consiste en un rotor encerrado en una envolvente de forma espiral; el aire, que entra a través del ojo del rotor paralelo a la flecha del ventilador, es succionado por el rotor y arrojado contra la envolvente se descarga por la salida en ángulo recto a la flecha; puede ser de entrada sencilla o de entrada doble. Son ventiladores de flujo radial si la trayectoria del fluido sigue la dirección del eje del rodete a la entrada y está perpendicular al mismo a la salida. Si el aire a la salida se recoge perimetralmente en una voluta, entonces se dice que el ventilador es de voluta. (Ver Anexo 02). (Zitrón, 2010).

## 2.2.6. Sistemas de Ventilación

### a. Ventilación impelente

El aire entra al frente del fondo de saco a través de la tubería, impulsado por ventiladores, y desplaza la masa de aire viciado hacia la corriente principal de aire, a través de la galería. Este es el sistema predominante usado en la mayoría de las minas. (Ver Figura 2.1).

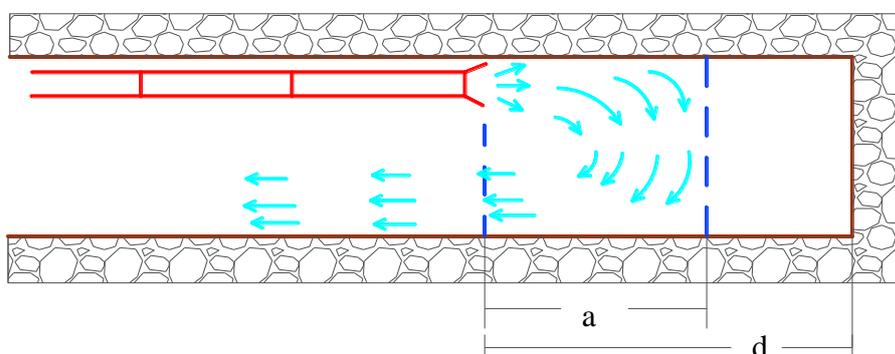


Figura 2.1: Ventilación impelente  
Fuente: (IIMP., 1989)

### Características de la ventilación impelente

Barrido del frente en un sistema impelente la distribución de las líneas de flujo hace que la corriente de aire fresco sea efectiva a mayor distancia desde la salida del conducto que en el sistema aspirante. En frentes con gas, esta corriente causa una mezcla turbulenta con el gas y evita la estratificación de éste.

Ambiente de trabajo y polvo, la velocidad de la corriente de aire incidente produce un efecto refrigerador en el frente. Por otra parte, esta velocidad, da lugar a una suspensión y dispersión del polvo, por lo que en el caso de ambientes muy polvorientos será necesario acoplar un ventilador de refuerzo aspirante. La misión de este ventilador será retirar el polvo del frente y llevarlo a un decantador.

Conductos de ventilación del sistema permite el uso de conductos flexibles no reforzados para cumplir con el caudal calculado, que tienen una superficie interior lisa. Estos conductos son más baratos y manejables y presentan una menor resistencia al paso del aire.

### b. 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 conducto. (Ver Figura 2.2).

La boca de aspiración de la tubería debe situarse muy próxima al frente, pero, aun así, debido a la distribución de las curvas de velocidades de aire en las zonas próximas a la aspiración, este sistema no efectúa en general un buen barrido del frente, por lo que suele ser necesario el uso de la configuración denominada mixta.

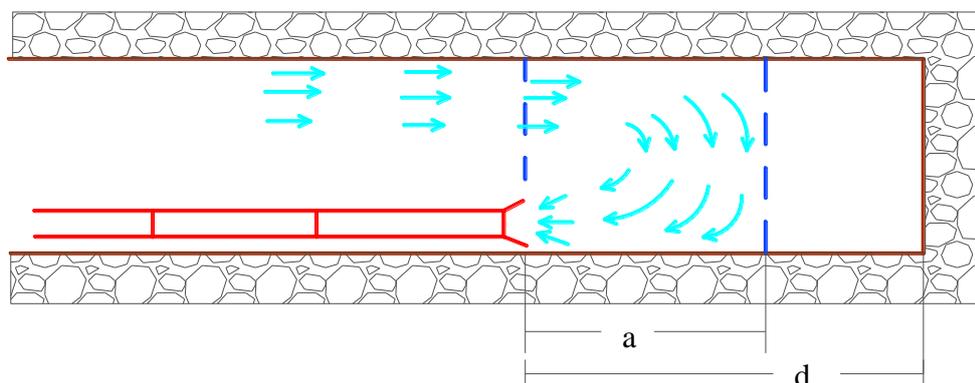


Figura 2.2: Ventilación aspirante  
Fuente: (IIMP., 1989)

La boca de aspiración de la tubería debe situarse muy próxima al frente, pero, aun así, debido a la distribución de las curvas de velocidades de aire en las zonas próximas a la aspiración, este sistema no efectúa en general un buen barrido del frente, por lo que suele ser necesario el uso de la configuración denominada mixta.

### **Características de la ventilación aspirante**

El aire fresco entra a través del conducto, de sección reducida que la galería, luego su velocidad y turbulencia será mucho mayor, y su mezcla con el gas emitido por la galería y el frente mucho más pobre, además según el aire fresco entrante en el sistema aspirante se aproxima a la toma de aire del conducto, el flujo tiende a moverse hacia ella, creando el potencial para la formación de zonas de aire estático en el frente. Por este motivo, un sistema aspirante por sí solo no es capaz, en general, de garantizar un buen barrido del frente, si este es de gran sección o si la tubería de aspiración no está situada en el mismo frente. Por ello, es conveniente adoptar una solución mixta, con un ventilador de refuerzo impelente que cree una turbulencia adecuada para garantizar la dilución del gas.

En el ambiente de trabajo la velocidad de la corriente de aire incidente es menor con lo que disminuye el efecto refrigerador en el frente. La suspensión y dispersión del polvo es también menor. Además, debe considerarse que este ventilador retira el polvo del frente.

El gas generado en el frente circula por la tubería, mientras que por otro conducto circula aire limpio. Este argumento parece que inclinaría la balanza

hacia la ventilación aspirante en el caso de frentes con mucho gas. Pero ha de considerarse que el gas debe circular por la tubería de ventilación y a través de los ventiladores secundarios, el sistema requiere un conducto rígido o un conducto flexible reforzado mediante espiral.

### 2.2.7. Circuitos de ventilación

Las formas como se encuentran interconectadas las galerías dentro de un circuito de ventilación deciden la manera como se distribuir el caudal del aire dentro de ellas y cuál será la depresión del circuito. La mayor o menor complicación en la resolución de un sistema de ventilación está íntimamente ligada a las conexiones de las galerías dentro de él. En ventilación de minas normalmente nos encontraremos con las siguientes uniones de galerías: (Andrade S., 2008)

#### a. Unión en serie.

Se caracteriza por que la corriente de aire se mueve sin ramificaciones, vale decir, si no existen pérdidas, el caudal de aire permanece constante. En cuanto a la resistencia aerodinámica total del sistema es igual a la suma de las resistencias parciales y la depresión total es igual a la suma de las parciales:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n \quad (2.1)$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \dots + R_n \quad (2.2)$$

$$H = H_1 + H_2 + H_3 \dots + H_n \quad (2.3)$$

Dónde:

Q: Caudal o flujo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

R: Resistencia del ducto ( $\text{Ns}^2/\text{m}^8$  ó  $\text{Kg}/\text{m}^7$ ).

H: Caída de presión ( $\text{N}/\text{m}^2$  ó Pa).

Veamos un ejemplo gráfico donde se ha simulado una serie de galerías las cuales van desde la galería "a" hasta la "l", ambas conectadas a la superficie.

En el dibujo se han colocado tapados, que también pueden ser puertas herméticas para guiar en buena forma al aire que recorre el circuito y que cumplan con las características de las uniones en serie. Luego se ha dibujado lo que se conoce como "diagrama equivalente" que no es otra cosa que una simplificación del diagrama general. (Ver Figura 2.3). (Andrade S., 2008).

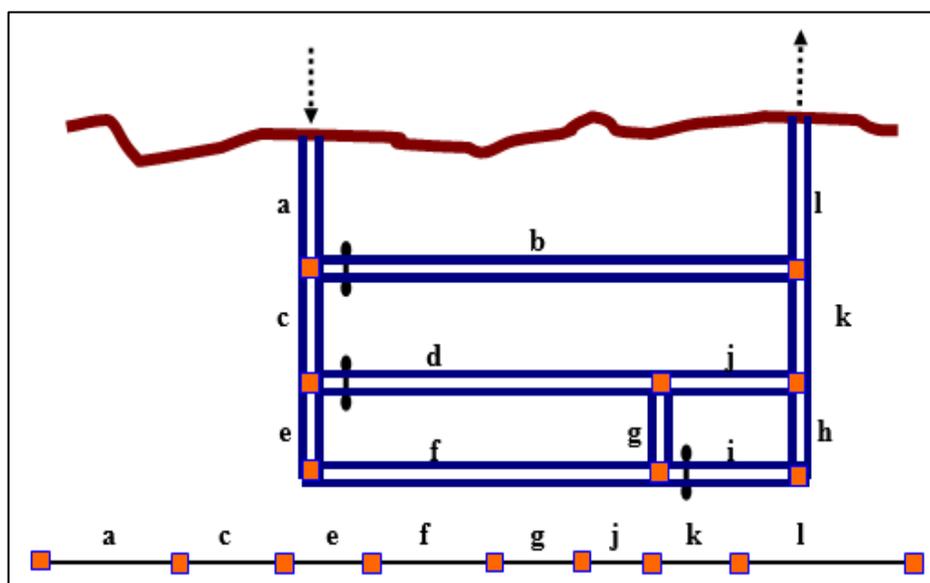


Figura 2.3: Diagrama equivalente en serie

Fuente: (Andrade S., 2008)

Las características del circuito serán:

$$R = R_a + R_b + R_e + R_f + R_g + R_j + R_k + R_l \quad (2.4)$$

$$H = H_a + H_b + H_e + H_f + H_g + H_j + H_k + H_l \quad (2.5)$$

$$Q = Q_a = Q_b = Q_e = Q_f = Q_g = Q_j = Q_k = Q_l \quad (2.6)$$

### b. Unión en paralelo.

En este tipo de unión, las galerías se ramifican en un punto, en dos o más circuitos que se unen en otro punto. Cuando dos o más galerías parten de un punto y en el otro extremo se comunican con la atmósfera, también están en paralelo, ya que los extremos que salen a la superficie se entiende que tienen igual presión, en este caso la unión en paralelo es abierta, siendo cerrada cuando los dos puntos de reunión se encuentran en el interior de la mina. (Ver Figura 2.4.a).

La característica básica de las uniones en paralelo es que las depresiones de los ramales que la componen son iguales, independiente del largo, resistencia y cantidad de aire.

$$H = H_1 = H_2 = H_3 \dots \dots \dots = H_n \quad (2.7)$$

El caudal total del sistema en galerías en paralelo, es igual a la suma de los caudales parciales.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots \dots \dots + Q_n \quad (2.8)$$

La raíz cuadrada del valor recíproco de la resistencia aerodinámica del circuito, es igual a la suma de las raíces cuadradas de los valores recíprocos de las resistencias aerodinámicas parciales. (Andrade S., 2008)

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots\dots\dots + \frac{1}{R_n} \quad (2.9)$$

Veamos el esquema que usamos en las uniones en Serie:

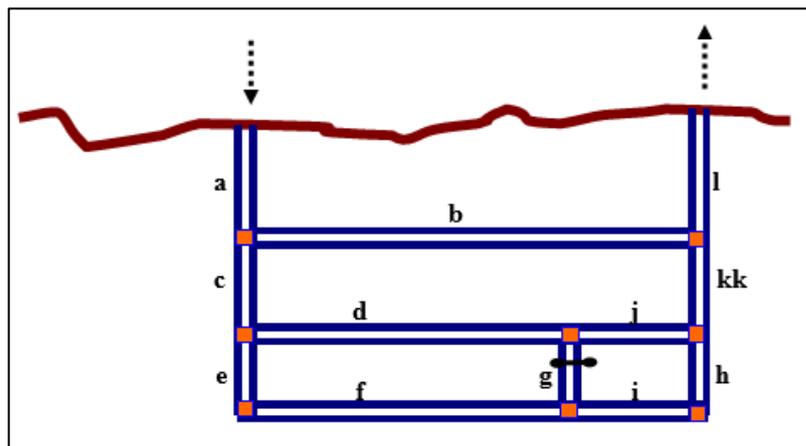


Figura 2.4.a: Diagrama equivalente en paralelo  
Fuente: (Andrade S., 2008)

Hemos cambiado los tapados o puertas para formar circuitos en paralelo, eliminando el paso de aire por la galería "g". El diagrama equivalente quedaría como se muestra en la Figura 2.4.b

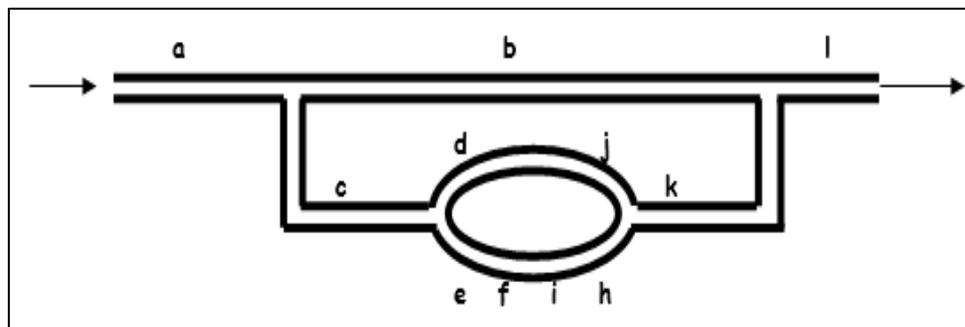


Figura 2.4.b: Diagrama equivalente en paralelo simplificado  
Fuente: (Andrade S., 2008)

Este sistema se resuelve reduciendo primeramente las paralelas  $(d + j)$  y  $(e + f + i + h)$  resultando una galería equivalente "m"; se reducen las paralelas  $(b)$  con  $(c + m + k)$ , resultando "n". Finalmente tenemos una unión equivalente en serie, como se muestra en la Figura 2.4.c.

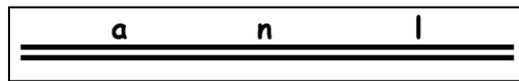


Figura 2.4.c: Diagrama equivalente en paralelo final

Fuente: (Andrade S., 2008)

### 2.3. Cálculo de cantidad de aire

La cantidad de aire requerido se refiere al caudal de aire limpio necesario para satisfacer las demandas globales de la mina. Los principales factores que afectan la demanda de aire son: personal, equipos diésel, humos de voladuras y temperatura efectiva. Es importante tener en cuenta que no es suficiente garantía ingresar el aire total que la mina necesita, se debe garantizar que este caudal de aire es limpio y llega a los diferentes niveles y frentes de trabajo. Uno de los objetivos del proyecto es zonificar la mina en circuitos de ventilación que permitan optimizar el consumo de energía, así como minimizar los problemas relacionados con fugas de aire y recirculación.

Las necesidades de aire en el interior de la mina, se determinará 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 utilizan los siguientes parámetros operacionales.

**a. Requerimiento de aire por el personal**

Los objetivos a cumplir con respecto al personal es proporcionar 6 m<sup>3</sup>/min, por cada persona, debido a la corrección por altitud de 4 800 m.s.n.m., a la que se encuentran el proyecto minero.

$$Q_1 = n \times q \quad (2.10)$$

Dónde:

$Q_1$  : Cantidad de aire necesario para el personal (m<sup>3</sup>/min).

$n$  : Número de personas presentes en la mina por turno.

$q$  : Cantidad de aire mínimo requerido por persona (m<sup>3</sup>/min).

**b. Requerimiento de aire por equipo diésel**

Para equipos diésel la norma peruana especifica 3 metros cúbicos por minuto de aire por cada HP que desarrollen los equipos. Se reconoce como límite superior para concentración de CO en el tubo de escape las 500 ppm, lo que obliga a mantener en buen estado los motores de la mina.

$$Q = K \times N \quad (2.11)$$

Dónde:

$Q$  : Cantidad de aire requerido para uso de equipos diésel (m<sup>3</sup>/min).

$K$  : 3,0 (m<sup>3</sup>/min). Cantidad de aire necesario por cada HP.

$N$  : Número de HP de los equipos que trabajan en la mina.

### c. Requerimiento por temperatura

En el artículo 248 del presente reglamento, indica que: En ningún caso la velocidad del aire será menor de veinte (20) metros por minuto ni superior a doscientos cincuenta (250) metros por minuto en las labores de explotación, incluido el desarrollo, preparación y en todo lugar donde haya personal trabajando. Cuando se emplee explosivo ANFO u otros agentes de voladura, la velocidad del aire no será menor de veinticinco (25) metros por minuto.

En la Guía N° 2 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. (Ver Anexo 03 de los valores límites de referencia para el estrés térmico).

### d. Requerimiento de aire por humos de voladuras

Es el método principal en las minas metalíferas; también se utiliza en hulleras con gran consumo de explosivo. Se basa en dos valores: 1) formación de 0,040 m<sup>3</sup> de productos tóxicos por la explosión 1 Kg de explosivo; 2) Tiempo de ventilación no mayor de 30 min, con excepción de explosiones en masa. Para el cálculo de este caudal, se emplea la siguiente relación empírica:

$$Q = \frac{100 \cdot a \cdot A}{d \cdot t} \quad (2.12)$$

Dónde:

Q : Caudal de aire requerido por consumo de explosivo detonado, (m<sup>3</sup>/min).

A : Cantidad de explosivo detonado, equivalente a dinamita 60 % (Kg).

- a : Volumen de gases generados por cada Kg. de explosivo 0,04 (m<sup>3</sup>/Kg de explosivo).
- d : Porcentaje de dilución de gases en la atmosfera 0,008 %.
- t : Tiempo de dilución de los gases (minutos); generalmente, este tiempo no es mayor de 30 minutos, cuando se trata de detonaciones corrientes.

El valor a se toma como norma general de la guía metodológica de proyectos de ventilación de 2 008. El valor “d” depende del explosivo que se use. Igualmente, este valor se toma de la guía de seguridad minera y varía entre un rango de 0,008 % y 0,01 %.

## **2.4. Marco conceptual**

### **2.4.1. Ventilación natural en el proyecto minero San Gabriel**

La ventilación natural en la mina es la determinación de volumen de aire o caudal, velocidad de aire, temperatura, humedad relativa, caída de presión de ventilación natural que ingresa al interior mina.

En una mina que cuente con labores horizontales y verticales existirán una diferencia de temperatura entre el aire superficial y del interior, en verano el aire en la chimenea se encuentra a menor temperatura que en superficie y por lo mismo ejerce presión sobre el aire de la galería obligando a que el flujo ingrese por la chimenea y salga por la galería. Por las noches es difícil predecir, en el invierno se invierte el proceso y en otras estaciones es difícil predecir.

#### **2.4.2. Ventilación mecánica en el proyecto minero San Gabriel**

Con el fin asegurar una dotación adecuada de aire fresco en los diferentes frentes de trabajo donde se concentrarán las labores, el equipo y el personal, se considera que el sistema de ventilación más adecuado será una instalación impelente con los ventiladores instalados inicialmente en el exterior de la bocamina de acceso a la rampa principal.

Dado que el caudal de aire limpio que se requiere impulsar al frente de trabajo es relativamente alto, será necesario colocar en la parte superior del túnel dos ductos de ventilación de mayor diámetro posible, con el fin de minimizar la presión que habrá que aplicar para impulsar el aire y por lo tanto la potencia que consumirá los ventiladores.

#### **2.4.3. Selección del ventilador principal**

El ventilador principal del sistema se selecciona utilizando el programa Ventsim Visual. Este es un programa basado en un modelo gráfico o red de ventilación y utilizado para determinar la distribución balanceada de caudales y presiones de aire en la mina. El modelo gráfico que cuenta es una colección de nudos y ramales usados para emular los diferentes conductos de aire en la mina incluyendo las entradas principales, labores intermedias y salidas de aire. En este modelo, cada ramal o pasaje de aire es representado por dos nudos (entrada y salida) y una resistencia fija, calculada usando la ecuación de Atkinson y las dimensiones físicas de cada pasaje incluyendo su diámetro, longitud y tipo de revestimiento (rugosidad de la superficie interna). Además de una resistencia, un frente activo requiere de otro parámetro de identificación, el caudal requerido.

Este es el volumen de aire limpio que deber ser circulado por el frente para remover o diluir los contaminantes generados. La distribución balanceada de aire en la mina es alcanzada reiterando las leyes de Kirchhoff para diferentes requerimientos de aire y diferentes presiones del ventilador. Un modelo económico es alcanzado seleccionando un ventilador cuyo punto de operación, además de satisfacer los requerimientos del caudal de aire, minimiza el consumo total de energía eléctrica.

#### **2.4.4. Selección del ventilador auxiliar**

En minas mecanizadas, ventiladores auxiliares son utilizados para proveer de aire limpio a frentes ciegos, y tajos en desarrollo o en producción. En muchas minas la utilización de estos equipos representa más del 50 % de la energía eléctrica consumida. En general, un sistema de ventilación auxiliar consiste de tres elementos: uno o más ventiladores, ductos de ventilación, y acoples. Los ventiladores pueden ser de tipo axial o centrífugo. Los ventiladores axiales son preferidos para trabajos de desarrollo tales como galerías y rampas, y los centrífugos para profundización de pozos. Los ductos pueden ser rígidos o flexibles. Los ductos flexibles o mangas son utilizados en un sistema de ventilación soplante (presión positiva) y acoplados en serie a la salida del ventilador, y los ductos rígidos (metálicos o de fibra) en un sistema aspirante (presión negativa). Su instalación requiere de un equipo especial. Los acoples, incluyendo los reductores, sirven para unir los ductos entre sí y el conjunto de estos al ventilador. Para alcanzar rendimientos aceptables, es imprescindible tener una instalación adecuada. Acoples mal instalados son fuentes de pérdidas de aire (fugas).

#### 2.4.5. Diseño de sistema de ventilación en el proyecto minero San Gabriel

El diseño del sistema empieza con la estimación del caudal requerido para el frente de trabajo ( $Q_0$ ) y termina con el cálculo de la presión del ventilador ( $PT$ ). El caudal requerido depende del volumen de contaminantes generados en el frente y los límites permisibles adoptados en la mina. Para un diseño adecuado, el caudal de aire en la galería primaria ( $QT$ ) debe ser por lo menos de 1.5 a 2 veces el caudal requerido (Thorp, 1982). Con este principio se evita el problema de recirculación del aire contaminado. La presión del ventilador es calculada utilizando la ecuación de Bernoulli:

$$PT = P + (1 + x) P_v \quad (2.13)$$

Donde  $P$  es la presión estática,  $P_v$  la presión dinámica, y  $x$  es un coeficiente usado para representar las pérdidas de presión por obstrucciones y cambios de dirección del aire (coeficiente de choque). La presión estática es calculada de la ecuación de Atkinson como sigue:

$$P = R * Q^2 \quad (2.14)$$

$$R = \frac{k * \rho * L}{A^3} \quad (2.15)$$

Donde:

$P$  : Caída de Presión, Pa

$R$  : Resistencia del ducto,  $Ns^2/m^8$

$Q$  : Caudal del ventilador,  $m^3/s$

$K$  : Coeficiente de fricción,  $kg/m^3$

Per : Perímetro del ducto, m

L : Longitud del ducto, m

A : Área transversal del ducto, m<sup>2</sup>

Para un diseño preliminar es común utilizar uno de los siguientes valores:

Ducto flexible liso (manga): 0,0022 kg/m<sup>3</sup>

Ducto flexible reforzado: 0,0041 kg/m<sup>3</sup>

Ducto metálico (nuevo): 0,0028 kg/m<sup>3</sup>

El sistema de ventilación deberá ser capaz de impulsar el caudal mínimo requerido en el frente de trabajo, que cuando el tramo alcance su longitud máxima, estará ubicado a 500 m del portal, además se deberá instalar un ventilador por cada manga.

## 2.5. Diseño geométrico en el proyecto minero San Gabriel

El objetivo de la construcción de las excavaciones propuestas es la exploración del yacimiento Chucapaca, habiéndose definido el trazo del eje teniendo en consideración la configuración del yacimiento. El proyecto incluye la rampa de acceso, labor de exploración, las cortadas de exploración y las estocadas o brazos que se harán desde la rampa hacia el norte con el fin de extraer material para futuras pruebas, así como, las cortadas desde las rampas hacia el sur con el fin de establecer cámaras de perforación para la ejecución de sondajes.

### 2.5.1. Trazo geométrico en el proyecto minero San Gabriel

El trazo geométrico ha sido agrupado en dos sectores: La labor y la rampa de acceso. El primer sector, tiene 507 m de longitud con una gradiente de 12 %; mientras que el segundo sector, denominado Rampa Principal de Acceso, tiene 880 m de longitud con dirección Sur-Este con una pendiente negativa de 12 % para facilitar la movilización de los equipos.

También existen otros componentes tales como las cortadas de exploración, estocadas, cámaras de carguío y perforación.

Considerar que cada 100 m, de avance en cada labor desarrollada, se deberán construir las cámaras de acumulación y carguío, esta última contará con una rampa de (7,5 % de pendiente) para la ubicación del Scoop que llenará el camión con el material de las labores. (Ver Figura 2.5).

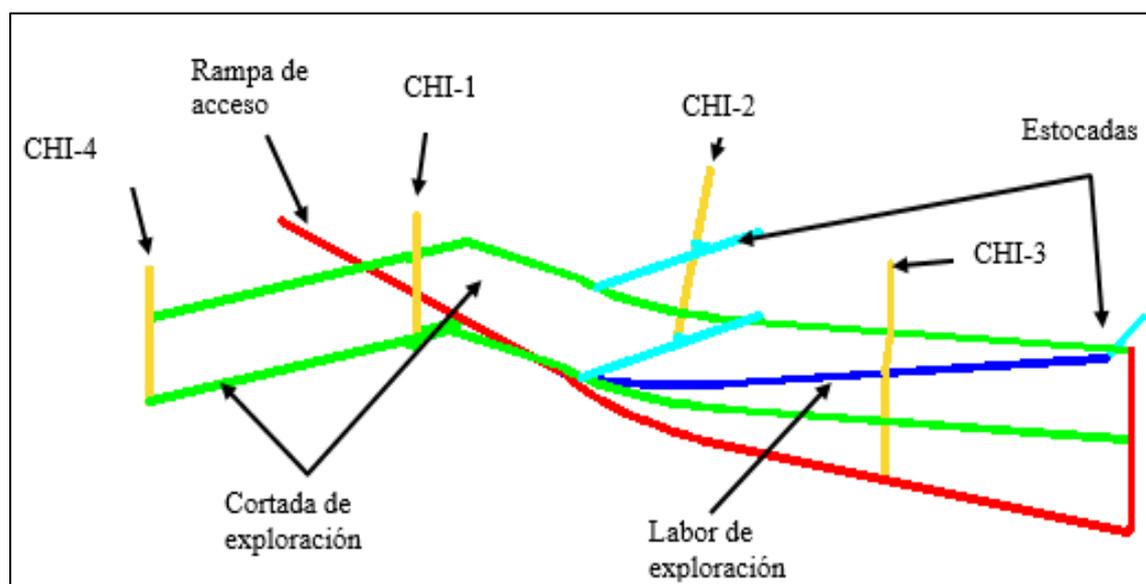


Figura 2.5: Configuración de los trazos geométricos

Fuente: INSIDEO

### 2.5.2. Sección transversal en el proyecto minero San Gabriel

En el dimensionamiento de la sección transversal de la galería, se ha tenido en cuenta los siguientes factores: características de los equipos que se utilizarán en la excavación, diámetro de los ductos de ventilación, espacio para las instalaciones, equipamiento y calidad del macizo rocoso.

Por razones de facilidad constructiva y estabilidad de la excavación de la galería, la galería propuesta tiene una sección de forma tipo baúl de 4,5 m de ancho por 4,5 m de altura. Las aberturas consideradas para la evaluación geomecánica en función del tipo de excavación son dadas en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1**

#### Longitudes de los trazos del diseño

Tipo de labor	Longitud (m)	Pendiente (%)
Rampa	880,00	-12
Labores de exploración	507,00	12
Labores	678,00	0
Cortadas de exploración	1206,00	0
Chimenea 1	80,00	100
Chimenea 2	134,00	65
Chimenea 3	222,00	100
Chimenea 4	140,00	90
Estocadas	520,00	0
Cruceros	152,00	0

Fuente: INSIDEO

### 2.5.3. Labores subterráneas en el proyecto minero San Gabriel

El desarrollo de las labores subterráneas de exploración tiene los siguientes objetivos:

- Proporcionar mayores detalles sobre la ubicación y distribución espacial de los cuerpos de mineralizados del yacimiento.
- Proporcionar una adecuada plataforma de perforación para los sondajes diamantinos que se ejecutarán desde las cámaras de perforación, de modo que se pueda generar nueva información que permita ampliar el conocimiento de los cuerpos mineralizados presentes.
- Realizar el mapeo detallado de las estructuras geológicas y sus efectos en la distribución de la mineralización económica del yacimiento.

Para ello se realizarán labores subterráneas de exploración que se iniciarán a una altitud de 4888 m. Se estima que el desarrollo de las labores subterráneas será completado principalmente a través de zonas que a la fecha se definen como no mineralizadas desde la perspectiva económica (roca estéril), alcanzando una longitud aproximada de 4,5 km, siguiendo un rumbo sureste, cuyas características se describen a continuación:

#### **a. Rampa de acceso:**

Esta rampa tendrá una longitud aproximada de 880 m y mantendrá una pendiente negativa de 12 %, contando con tres tramos (recto, semi-curva y recto). Por razones de facilidad constructiva y estabilidad geomecánica, la rampa de acceso tendrá una sección transversal tipo baúl o en forma de arco de 4,5 m de ancho por 4,5 m de alto.

El diseño de la sección ha considerado las características de los equipos que se utilizarán en la excavación, diámetros de los ductos de ventilación, espacio para las instalaciones, equipamiento y calidad del macizo rocoso. (Ver Tabla 2.2).

**Tabla 2.2**

**Características geométricas de la rampa de acceso**

Tramo	Rampa de acceso	Pendiente (%)	Cota superior (m)	Cota inferior (m)	Longitud
Recto	Cota: 4 802-4 760	-12	4 802	4 760	353,00
Semi-curva	Cota: 4 760-4 738	-12	4 760	4 738	180,00
Recto	Cota: 4 738-4 698	-12	4 738	4 698	347,00
<b>Total (m)</b>					880,00

Fuente: INSIDEO

**b. Labor de exploración:**

Esta labor tendrá una longitud aproximada de 507 m y mantendrá una pendiente positiva de 12 %, la cual se empezará a desarrollar como una bifurcación desde la rampa de acceso luego de sus primeros 352 m de avance, tendrá una sección transversal tipo baúl o en forma de arco de 4,5 m de ancho por 4,5 m de alto.

**c. Cortadas de exploración:**

Desde la labor de exploración se desarrollarán dos cortadas de exploración que tendrán una longitud total de aproximadamente 1 206 m con una pendiente nula. Las cortadas de exploración tendrán una sección transversal tipo baúl o en forma de arco de 4,5 m de ancho por 4,5 m de alto.

**d. Estocadas:**

Desde las cortadas de exploración hacia el norte, en total se realizarán dos estocadas para la extracción de muestras de mineral para futuras pruebas, que tendrán una longitud total de aproximadamente 520 m con una pendiente nula.

**e. Cámaras de acumulación y carguío:**

Cada 100 m de avance de cada labor subterránea se construirán estas cámaras para acumular de manera temporal el material excedente que se vaya generando para su posterior traslado hacia el DME. Cada una de estas cámaras tendrá tres tramos con una pendiente positiva de 1 a 7,5 %, de modo que se facilite el carguío del material excedente a los camiones volquete.

**f. Cámaras de perforación:**

Se habilitarán nueve cámaras de perforación para el desarrollo de perforaciones diamantinas exploratorias, que tendrán una sección transversal tipo baúl o en forma de arco de 7,0 m de ancho por 7,0 m de altura, y una pendiente positiva de 2 %. En el ingreso a cada cámara se contará con una poza de sedimentación de 2,5 m de largo por 1,0 m de ancho y 0,7 m de profundidad; la cual tendrá cunetas, una rejilla en la parte superior y que permitirá el manejo de los fluidos de perforación.

**g. Chimeneas de ventilación:**

Se habilitarán tres chimeneas de ventilación de extracción de aire, con diámetros de 2,1 m cada uno respectivamente y una tercera chimenea de ingreso de caudal de aire de diámetro de 7,0 m.

#### 2.5.4. Software Ventsim

El software Ventsim simula redes de ventilación en donde incluye puntos de operación de los ventiladores, cantidad de flujos de aire y pérdidas de fricción por fricción muy similares a los del sistema real.

##### a. Descripción del software Ventsim

Cada uno de los aspectos básicos del programa posee una función necesaria para hacer que los modelos de ventilación sean más fáciles de comprender, lo que reduce la probabilidad de error. Los gráficos tridimensionales representan de manera precisa los tamaños, las formas y las ubicaciones de los conductos de ventilación.

Los colores representan diversos tipos de datos (por ejemplo, temperatura o presión). Las flechas animadas muestran tanto la velocidad como la dirección de los caudales. Luego, al eliminar o reducir la necesidad de rastrear una gran cantidad de datos en forma de texto, los modelos de ventilación se pueden analizar y validar de manera mucho más rápida que mediante los métodos tradicionales.

Ventsim Visual entrega un conjunto de utilidades íntimamente relacionadas para analizar los flujos de ventilación, calor, contaminantes además de aspectos financieros de la ventilación de una mina.

Construido en base al éxito y la experiencia de quince años de implementación de Ventsim en más de 800 lugares, Ventsim Visual va un paso más allá en su enfoque para la simulación y el análisis de ventilación minera.

## **b. Características del software Ventsim**

### **Pantalla**

Los ductos de ventilación sólidos se muestran en dimensiones y formas reales que permiten una rápida evaluación de si tales dimensiones están dentro de lo esperado.

La vista en perspectiva también permite visualizar más de cerca partes específicas del modelo, a la vez de que otras partes se pueden ocultar u oscurecer según la distancia. En modelos muy grandes y sobrecargados esto puede ayudar a clarificar significativamente los datos esperados.

### **Animación**

Se dice que una imagen dice más que mil palabras. Una animación, por consiguiente, dice más que mil imágenes. Las animaciones de Ventsim Visual muestran una característica esencial de la forma que tiene el programa de presentar datos complejos.

Al animar las flechas de flujo, los ventiladores y las fuentes de calor y enfriamiento, Ventsim Visual es capaz de mostrar una gran cantidad de datos de manera tal de que el cerebro humano pueda visualizarlos e interpretarlos rápidamente.

Los flujos animados muestran la dirección y la velocidad relativa en todos los conductos al interior de una mina, potencialmente, con miles de conductos de ventilación.

Los ventiladores animados muestran si están encendidos o apagados. Al mismo tiempo, los colores atraen la atención del usuario hacia rangos específicos de datos.

### **Base de datos de elevaciones (niveles)**

Ya no se necesita una elevación desde la superficie. Cualquier conducto de ventilación puede conectarse a la superficie, en cualquier punto de la mina, haciendo clic en conectar a la superficie en el cuadro de edición. Ventsim Visual calculará, automáticamente, qué extremo es el que se conecta, basándose en el extremo libre disponible.

### **Conductos de ventilación**

Ya no es necesario conectar un conducto de ventilación a otro ya que ahora es posible mantenerlo con un extremo abierto, como podría ser el caso de un túnel ciego en proceso de explotación.

Ya que esto aún puede causar problemas no detectados por el usuario (tales como conductos sin unir como se desea), el programa alertará de tales problemas durante la simulación.

### **Datos**

Existen cerca de setenta (90) tipos diferentes, todos los cuales se pueden mostrar en la pantalla en forma de texto, en una planilla de cálculo o en un espectro de colores. Esto crea una interfaz potente, pero potencialmente confusa.

Para simplificar las cosas, Ventsim Visual utiliza un formulario de control administrador de visualización, el cual ayuda a analizar y detectar cambios en

los datos y colores en pantalla de manera rápida. Se puede acceder a ambos controles desde el menú ver, o desde la barra de herramientas.

### **Coordenadas**

Ventsim ha variado su enfoque de coordenadas hacia uno nororiental, más convencional. Las direcciones relativas de dichas coordenadas en pantalla, pueden ser cambiadas en el menú Ajustes.

Ventsim Visual permite coordenadas con punto decimal, lo que permite una ubicación más precisa de los conductos de ventilación. Aunque esto tendrá poco efecto en los caudales de ventilación, remueve el efecto de "diente de sierra".

### **Editar y visualizar información**

El Cuadro de edición ahora representa una poderosa herramienta de edición y de despliegue de información referida a los conductos de ventilación dentro de una red.

Dicho cuadro se puede dejar abierto permanentemente, y se actualizará con la información proveniente del conducto seleccionado en los modos de visualización, edición y adición. Este también se actualizará después de la simulación, con los últimos resultados.

### **Gráficos de referencia**

Ventsim Visual® permite el uso de gráficas 3D externas de referencia en el programa, como diagramas funcionales, terrenos de superficie, yacimientos, desarrollo real e infraestructura de la mina.

## **2.6. Formulación de hipótesis**

### **2.6.1. Hipótesis general**

Con la elaboración del diseño del sistema de ventilación de las labores de exploración y la simulación del circuito del flujo de aire permitirá aprovechar el flujo de aire calculado para el proyecto San Gabriel Cía. de Minas Buenaventura.

### **2.6.2. Hipótesis específicos**

El diseño del sistema de ventilación en las labores de exploración permitirá calcular el caudal de aire necesario para el proyecto San Gabriel Cía. de Minas Buenaventura.

La simulación del circuito del flujo de aire con el software Ventsim permitirá calcular la selección de máquinas ventiladores para el proyecto San Gabriel Cía. de Minas Buenaventura.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. Diseño metodológico

El presente estudio es tipo descriptivo porque se ha determinado las características de los fenómenos observados en la realidad detalladamente en la zona.

El diseño de la investigación es de tipo experimental y evaluativo, por lo que se ha diseñado y simulado el sistema de ventilación de las labores de exploración del proyecto San Gabriel Cía. de Minas Buenaventura.

#### 3.2. Población y muestra

##### a. Población

La población está constituida por las labores de exploración en el proyecto San Gabriel Cía. de Minas Buenaventura, ubicado en el distrito de Ichuña, provincia de Sánchez Cerro, región Moquegua.

## **b. Muestra**

La muestra está conformada por la rampa de acceso, labor de exploración, cortadas de exploración, estocadas y chimeneas del proyecto San Gabriel.

### **3.3. Operacionalización de variables**

#### **3.3.1. Variable independiente (VI)**

Diseño del sistema de ventilación de las labores de exploración para el proyecto San Gabriel Cía. de Minas Buenaventura.

#### **3.3.2. Variable dependiente (VD)**

Simulación del circuito del flujo de aire con el software Ventsim para el proyecto San Gabriel Cía. de Minas Buenaventura.

### **3.4. Técnicas de recolección de datos**

Las técnicas utilizadas para el diseño y simulación del sistema de ventilación de las labores de exploración en el proyecto San Gabriel Cía. de Minas Buenaventura S.A.A., son las siguientes:

#### **a. Mapeo de parámetros meteorológicos**

Para la toma de los parámetros meteorológicos en los puntos de monitoreo, se consideran 07 estaciones de monitoreo y se considera el promedio de las 05 muestras tomadas. La ejecución del mapeo de parámetros meteorológicos consistió en ubicarse en el punto de monitoreo pre-establecidas, determinar la

dirección del viento, humedad relativa, presión atmosférica, temperatura a nivel del suelo, velocidad del viento.

**Operacionalización de variables**

VARIABLES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
V. INDEPENDIENTE Diseño del sistema de ventilación de las labores de exploración para el proyecto San Gabriel Cía. de Minas Buenaventura.	- Área de la labor - Presión atmosférica - Humedad relativa	m <sup>2</sup> Pa Porcentaje (%)
V. DEPENDIENTE Simulación del circuito del flujo de aire con el software Ventsim para el proyecto San Gabriel Cía. de Minas Buenaventura.	- Caudal de aire - Dirección y velocidad de aire	m <sup>3</sup> /s Ingreso (+), salida (-) m/s

**b. Cálculo de áreas**

El espacio disponible para acomodar los ductos de ventilación está controlado por la altura del equipo de mayores dimensiones que se vaya a emplear, que en el caso de la sección de 4,5 m x 4,5 m. Para calcular el área de la labor se considera el ancho y altura.

$$\text{Area} = \text{Base} * \text{Atura}$$

Estos datos quedan registrados como fijos hasta observar un cambio considerable en la sección de la estación. Se asume que estas dimensiones son las de toda la labor.

Para el caso de las 3 chimeneas de ventilación y pique, el área se calculará de la siguiente manera:

$$\text{Area} = \pi * \frac{d^2}{4}$$

### **3.5. Instrumentos de muestreo**

Registro de dato con estacion meteorologica.

### **3.6. Técnicas de simulación para el procesamiento del sistema de ventilación**

#### **3.6.1. Proceso de modelización**

##### **a. Programa Ventsim**

La simulación de la red de ventilación se ha llevado a cabo con el programa Ventsim. La evaluación del circuito se basa en la metodología de cálculo y resolución de redes de Hardy Cross, un método de tipo iterativo utilizado para el ajuste de caudales hasta obtener una solución válida con un margen de error acotado.

##### **b. Posibilidades de Ventsim**

Como herramienta de trabajo, Ventsim ofrece las siguientes posibilidades:

1. Simular y proporcionar el reparto de caudales en minas existentes y no existentes.
2. Predecir tendencias en el comportamiento general del circuito de ventilación de manera previa a la ejecución de un desarrollo planificado.

3. Herramienta de ayuda en la planificación a corto y largo plazo de los requerimientos y necesidades de ventilación.
4. Asistencia en el proceso de selección de ventiladores principales y secundarios, conductos, tuberías y otros accesorios del sistema de ventilación, como puertas y reguladores.
5. Análisis económico de distintas opciones.
6. Simulación de tendencias de propagación de gases contaminantes, humo y polvo para simulación de situaciones de emergencia y evacuación.

### **c. Procedimiento de modelización con Ventsim**

Un modelo de Ventsim se crea sobre una base de datos a obtener a partir de las campañas de medición de ventilación, de las características geométricas de los desarrollos mineros y de las especificaciones técnicas de equipos. El usuario procede de la siguiente manera:

1. Introducir o importar a Ventsim las especificaciones, dimensiones y geometría de los desarrollos mineros que forman parte del circuito de ventilación (longitudes, secciones transversales, perímetro de las secciones, coeficientes de rozamiento de las superficies, geometría, etc.).
2. Chequeo previo a la simulación, es decir: asegurarse de que se han introducido correctamente los datos geométricos y de dimensiones, que las entradas y salidas de aire están operativas y que las pérdidas de carga en puntos singulares han sido incluidas en las características de la correspondiente rama.
3. Fijar el/los caudales/es de entrada que se han medido en la mina.

4. Proceso de calibración del sistema: Modificar las resistencias teóricas introducidas/calculadas hasta ajustar el caudal circulante por las ramas de manera que sea fiel a los datos obtenidos en las mediciones de la mina.

5. Introducir las curvas de los ventiladores principales.

6. Comprobar que la curva de funcionamiento introducida en el sistema corresponde con el punto de trabajo real del ventilador.

#### **d. Diseño del diagrama unifilar (2D)**

Se realiza un diagrama unifilar para representar los diferentes niveles y labores de la mina considerando las estaciones de muestreo con sus áreas, velocidades, caudal. El unifilar no considera las longitudes reales.

#### **e. Ingreso de la topografía digitalizada**

Contar con planos en planta de los diferentes niveles en el AutoCad.

Dibujar líneas en el centro de la labor que representaran las longitudes de los ramales. Recabar información de distancia entre nodos, coordenadas de nodos y áreas de los ramales (áreas promedias). También incluir el tipo de roca y sostenimiento que aplican por ramal.

Grabar los niveles en planta en forma separada, no juntar en un solo archivo toda la data, separar las chimeneas y rampas en diferentes archivos. Depuraré nuevamente los ramales innecesarios.

Los ramales generados en CAD en la extensión (dwg) lo grabamos con la extensión (dxf).

#### **f. Importación de datos al software Ventsim**

Se tiene que crear una base de datos de los ventiladores y los niveles principales de la mina. Una vez que se tiene los ramales del sistema de ventilación en un archivo con la extensión (dxf), se procede a la importación de los datos en el software Ventsim. Se detalla en las ventanas los pasos para la importación.

## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

#### 4.1. Aspectos generales

##### a. Ubicación

Políticamente, el proyecto se encuentra ubicado en los distritos de Ichuña y Lloque, provincia de General Sánchez Cerro, región Moquegua, a aproximadamente 835 km de Lima y 136 km de la ciudad de Moquegua (distancias en línea recta), abarcando terrenos de las comunidades campesinas Santa Cruz de Oyo Oyo, Maycunaca y Antajahua, comunidad campesina Corire y comunidad campesina Santiago de Chucapaca, a una altitud que varía entre 4 400 y 5 100 m. (Ver Anexo 04).

70,59°          longitud Oeste

16,22°          latitud Sur

## b. Accesibilidad

Existen dos alternativas de acceso al proyecto por vía terrestre. La primera alternativa es a través de la ruta: Puno – Titire – Ichuña y tiene un recorrido total de 174 km. La segunda ruta es a través de la vía Juliaca – Titire – Ichuña, cuyo tramo es de 219 km. (Ver Tabla 4.1).

**Tabla 4.1**

### Distancia aproximada al proyecto a los diferentes centros poblados

Centro poblado	Distancia al proyecto (Km)	
Moquegua	136	
Puno	124,6	
Titire	40,6	
Palca	7,1	
Chaclaya	3,8	
Distrito de Ichuña	8,3	
Distrito de Lloque	22,5	
C.C. Corire	3,5	
C.C. Santa Cruz de Oyo Oyo, Maycunaca y Antajahua	6,6	
C.C. Santiago de Chucapaca	5,6	
Centroides (Coordenadas UTM – Datum WGS84, zona 19S)	Este (m)	332 743,5
	Norte (m)	8 207 029,4

Fuente: INSIDEO

## 4.2. Geología

La configuración geológica de la zona de estudio comprende rocas del mesozoico de origen sedimentario pertenecientes al grupo Yura, que han sido instruidas por una roca riolítica del terciario, intrusiones sub-volcánicas riolítica y un complejo de brecha diatrema.

### a. Geología regional

Tanto la geología regional como los aspectos geológicos de la zona que se describen en este informe, fueron proporcionados por Gold Fields.

La exploración se realizó en cuatro zonas mineralizadas del depósito: Chucapaca, Katrina, Katrina Este y Canahuire, las mismas que se encuentran dentro de los grupos de Lagunillas y Yura formado por calizas del jurásico inferior y medio, con cuarcitas y esquistos del Jurásico inferior y el mioceno vulcanogénico del grupo Tacaza.

El grupo Yura comprende cinco formaciones, que de mayor a menor se conocen como: Puente, Cachíos, Labra, Gramadal y Hualhuani. Las tres últimas han sido reconocidas en el área del proyecto Chucapaca (Gold Fields, 2011):

- La formación Labra: Compuesta de areniscas, areniscas cuarcíticas, gris, pizarra carbonosa negro y lutitas. Ésta es la formación más antigua de la zona.
- La formación gramadal sobreyace a la formación Labra. Consiste en capas de margas grises oscuras. La secuencia se intercala con capas delgadas de color gris claro y areniscas calcáreas de color gris oscuro. Niveles fosilíferos de rocas carbonatadas negras ocurren intercalados con la formación Gramadal.
- La formación Hualhuani se superpone a la formación Gramadal. Consiste en cuarcitas de color blanco, de grano medio a grueso con intercalación de lutitas negras carbonosas en horizontes, así como limolitas de color gris verdoso.

Esta secuencia sedimentaria fue intruída por el complejo de domos Chucapaca, que está compuesto por varios domos riolíticos y por un complejo de diatrema, compuesto de varias brechas con características de facies distintas. Los depósitos

cuaternarios están representados por depósitos de morrena, que cubren grandes áreas de los flancos de los valles.

### **b. Geología local**

La configuración geológica de la zona Canahuire está conformada principalmente por rocas sedimentarias del Mesozoico pertenecientes al Grupo Yura, las que han sido intruidas por domos riolíticos e intrusiones subvolcánicas riolíticas terciarias que presentan un complejo de brechas tipo diatrema, tal como se muestra esquemáticamente en la columna estratigráfica que se incluye a continuación (Gold Fields, 2011).

## **4.2.1. Aspectos físicos**

### **a. Fisiografía**

El área de estudio se encuentra entre 4 000 y 5 100 m de altitud. En general corresponde a una divisoria de cuencas, donde se han identificado procesos geomorfológicos fluviales, fluvioglaciares y de origen tectónico. Las elevaciones mayores del área de estudio se encuentran en el área central y occidental (Cerros Chucapaca, Machuyoc, Pachacutec e Icho Ccollo).

Hacia el sur del área del proyecto se presenta un relieve más suave en el que se encuentran pequeñas lagunas, siendo las más importantes: Pescococha, Mate Cocha y Yanasalla. En el área de estudio se han identificado paisajes como i) sistemas de montañas, ii) sistemas de colinas y lomadas, iii) altiplanicie, y iv) fondos de valle.

## **b. Geomorfología**

El área de estudio está conformada por una variedad de litologías que corresponden a unidades lito estratigráficas, cuyo origen va desde el Paleozoico hasta el Terciario, así como cobertura cuaternaria. Un patrón determinante a nivel regional corresponde a la presencia de la superficie Puna, la cual se ha formado durante el período Terciario como consecuencia de la orogenia andina. Adicionalmente esta zona ha sido fuertemente modelada por la erosión glaciaria durante el período Pleistocénico lo que ha definido la morfología de las planicies onduladas; y durante el período Holoceno, por la acción erosiva de los ríos principalmente aquellos pertenecientes a la cuenca del Pacífico.

Los procesos geomorfológicos presentes en el área de estudio corresponden al proceso fluvial, fluvio-glaciario y de origen tectónico.

### **4.2.2. Clima y meteorología**

Para la caracterización climática se utilizó la información de la estación meteorológica Ichuña, perteneciente al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), y de dos estaciones meteorológicas automáticas y un pluviómetro instalados en las inmediaciones del área del proyecto, pertenecientes a CMB (Katrina, Canahuire y Corire).

#### **a. Temperatura del aire**

De acuerdo con los registros obtenidos en la estación Ichuña, la temperatura mensual media varía entre los 7,3 °C y 11,8 °C, con una temperatura promedio anual de 9,8°C. En la estación Canahuire, la temperatura media mensual varía entre 0,3 °C y 2,7 °C, con un promedio anual de 1,4 °C. La máxima temperatura

media mensual registrada fue de 6,4 °C y la mínima temperatura media mensual corresponde a -4,9 °C. En ambas estaciones se observa un comportamiento estacional de la temperatura mensual media, alcanzando los valores más altos en los meses de Octubre a Abril y los más bajos durante los meses de Mayo a Setiembre.

### **b. Humedad relativa**

La humedad atmosférica reportada en la estación Ichuña presentó un promedio mensual de 70 %, con valores mínimos durante los meses de Octubre y Noviembre, con el valor más bajo en este último mes (62 %), mientras que los máximos valores fueron registrados entre los meses de Enero y Marzo, siendo Febrero el mes con el mayor porcentaje de humedad relativa (79 %).

En el caso de la estación Canahuire, los valores de humedad relativa registrados fueron más bajos en los meses de Mayo a Noviembre (época seca) y los más altos entre Diciembre y Abril (época húmeda), casi alcanzando el 100 % de saturación durante el periodo de lluvias. La humedad atmosférica promedio en la estación Canahuire varía entre 30 % (Julio) y 92 % (Febrero); con un valor promedio anual, a lo largo del periodo de registro, de 54 %. Estos valores indican una correlación con el comportamiento estacional de la temperatura media mensual en la misma estación.

### **c. Precipitación**

#### **Precipitación total mensual**

De los registros de precipitación total mensual de la estación Ichuña (1 965-2 014) se determinó que la precipitación total anual media es de

544,9 mm, con valores que varían desde 236,9 mm en un año seco hasta 874,2 mm en un año húmedo. Para los registros de precipitación de la estación Canahuire (Mayo de 2 010-Junio de 2 013), se observa que durante la época seca se registran los menores valores (hasta 0 mm), mientras que, durante la época húmeda, existen mayores precipitaciones (hasta 100,8 mm). Asimismo, se determinó que la precipitación anual es de 246,9 mm.

#### **Precipitación máxima 24 horas**

En relación a la precipitación máxima en 24 horas, en la estación Ichuña se obtuvieron registros mensuales promedio, de los cuales los mayores y menores fueron 24,4 mm (Enero) y 1,5 mm (Junio), respectivamente. La precipitación máxima en 24 horas en promedio corresponde a 10,9 mm para el periodo de registro. Para el caso de la estación Canahuire, el mayor y el menor promedio de la precipitación máxima en 24 horas fueron respectivamente 14,8 mm (Febrero) y 0 mm (Agosto), mientras que la precipitación máxima en 24 horas promedio anual es de 5,2 mm.

#### **d. Evaporación**

Para la caracterización de la evaporación en el área de estudio ambiental, se cuenta con registros meteorológicos de la estación Ichuña. La evaporación total mensual promedio en esta estación fue de 116,5 mm y la evaporación total anual promedio fue de 1 294 mm.

Del análisis de estos datos se observa que los mayores valores de evaporación mensual se presentan entre los meses de Setiembre y Diciembre, siendo el

máximo valor de 149,9 mm (Octubre), mientras que el mínimo valor mensual promedio fue de 9,4 mm en Junio.

#### **e. Velocidad y dirección del viento**

En la estación Ichuña se observa que el promedio anual de velocidad del viento es de 1,6 m/s. Los mayores valores de velocidades del viento se presentan a partir de mayo hasta noviembre, con una máxima de 4 m/s. La dirección del viento en esta estación es predominantemente oeste (O), además de este (E), aunque ligeramente menores.

Con respecto a la estación Canahuire, en general se observa que las velocidades del viento son mayores a aquellas registradas en la estación Ichuña, siendo la velocidad promedio en el periodo de registro de 4,7 m/s. Asimismo, los niveles más altos de velocidad del viento se presentan entre Julio y Diciembre, con una máxima de 5,7 m/s. La dirección de viento en esta estación es predominantemente suroeste (SO).

#### **f. Radiación solar**

Según el Atlas de Energía Solar del Perú (SENAMHI, 2003), a nivel regional y en el área de estudio ambiental, los valores totales diarios se encuentran aproximadamente entre 5 500Wh/m<sup>2</sup> y 6 000 Wh/m<sup>2</sup>.

Por otro lado, en los registros de la estación Katrina, se observa que el promedio de radiación solar en el periodo de evaluación fue de 5 779 Wh/m<sup>2</sup>, asimismo se observó que el valor máximo de radiación solar registrado fue de 7 194,8 Wh/m<sup>2</sup> en Diciembre; y el valor mínimo registrado fue de 4 570 Wh/m<sup>2</sup> en Febrero.

### 4.2.3. Calidad del aire

Para el análisis de la calidad del aire se contó con resultados de los muestreos y/o monitoreos desarrollados entre los años 2 010 y 2 014; en diez estaciones. A continuación, se describen los resultados del análisis de cada parámetro analizado, los cuales fueron evaluados en todas las estaciones.

#### **Material particulado (PM10)**

Todos los registros de las 10 estaciones se encontraron muy por debajo del estándar nacional de calidad ambiental (ECA) de aire para el periodo de 24 horas de PM10 (150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y promedio anual (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), establecidos mediante el D.S. N° 074-2001-PCM. La mayor concentración se registró en la estación A-4 (87,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en junio de 2 012, seguida por la estación A-2 (56,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en Diciembre de 2 010.

#### **Material particulado (PM2.5)**

Todos los registros se encontraron por debajo el ECA vigente en el momento de la medición a excepción de un único valor. Este valor corresponde a 85,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  registrado en la estación A-4 en junio de 2 012, siendo el ECA de aire para el periodo de 24 horas vigente en ese entonces de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### **Contenido metálico en el material particulado (PM10)**

Las concentraciones de plomo se encuentran muy por debajo del estándar para 24 horas y estándar anual, mientras que, para el arsénico, las concentraciones se encontraron muy por debajo del Nivel Máximo Permisible (NMP) referencial.

## Gases

Ningún valor registrado de  $\text{SO}_2$  excede la concentración correspondiente al ECA vigente actualmente ( $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), ni al anterior ( $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Cabe precisar que las concentraciones más altas de este gas equivalen a datos por debajo del límite de detección ( $<13,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de la metodología empleada en dichos muestreos, mientras que el resto de concentraciones se registraron entre  $< 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (estación AI-05, Noviembre de 2 010).

En cuando al  $\text{NO}_2$ , se observa que ningún valor excede el ECA de aire para 1 hora. Sin embargo, existe un valor que excede el ECA de promedio anual ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) registrado en la estación A-3 ( $107,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en Junio de 2 012. A diferencia de este valor, las demás concentraciones de  $\text{NO}_2$  medidas se encuentran muy por debajo del ECA.

En cuanto al  $\text{CO}$ , todos los promedios de concentración de 8 horas se registraron por debajo del ECA correspondiente ( $10\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), al igual que los registros de concentración máxima, siendo su ECA respectivo de  $30\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De acuerdo a tales resultados se concluye que el entorno de las estaciones de muestreo y por ende del área de estudio ambiental, presenta condiciones de relativa buena calidad de aire.

### 4.2.4. Niveles de ruido

La evaluación de los niveles de ruido fue realizada en las mismas estaciones de muestreo de calidad de aire, entre los años 2 010 y 2 014; donde se determinó el nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación A ( $\text{LAeqT}$ ) para el periodo diurno y nocturno.

Durante el periodo diurno, todos los registros se encontraron por debajo del estándar aplicable a la categoría de zona residencial (60 dB(A)), siendo los máximos registros de 58,6 dB(A) en la estación RU-05 (octubre de 2011), 58,3 dB(A) en la estación RU-01 (Julio de 2011) y 57,7 dB(A) en la estación A-2 (Noviembre de 2012). Por otro lado, en el periodo nocturno, se encontraron nueve (09) valores que sobrepasaron el estándar aplicable para zonas catalogadas como residenciales (50 dB(A)). Estos fueron registrados en las estaciones A-1 (53,8 dB(A)), A-3 (55,4 dB(A)), RU-03 (54,0 y 50,8 dB(A)), RU-05 (60,6 y 50,5 dB(A)), RU-06 (50,3 y 52,3 dB(A)) y KPCP-02 (51,8 dB(A)). Estos excesos pueden deberse al incremento de tránsito de vehículos livianos y pesados, a actividades de exploración del proyecto y a condiciones meteorológicas tales como ráfagas de viento.

De acuerdo a los resultados de niveles de ruido diurno y nocturno registrados, se concluye que el área de estudio ambiental es de calidad ambiental media para zonas residenciales, ya que se observan valores que exceden el ECA para el periodo nocturno.

#### **4.2.5. Operaciones unitarias**

##### **a. Perforación**

Se realizará la barrenación (perforación) de los taladros para voladura de manera mecanizada siguiendo el diseño de la malla de perforación. Para esta actividad se utilizarán equipos jumbo electro-hidráulico de un brazo, con barras de perforación de 12 y 14 pies de longitud con brocas de 48 mm para los taladros a ser cargados y 90 mm para los taladros de alivio. (Ver anexo 05).

Para la barrenación se utilizará agua para el enfriamiento y lubricación de la broca, lo que generará una cantidad mínima de agua excedente considerando las dimensiones de los taladros de perforación. El agua excedente de la barrenación y cómo será manejada, lo cual se describe a continuación: Una vez que el equipo jumbo se posiciona en el frente de avance, empieza a realizar taladros de barrenación para la voladura, generando un volumen mínimo de agua excedente.

En general el agua excedente que discurra quedará retenida en la base del frente de avance, dado su mínimo volumen, y a que, debido a la pendiente negativa de determinadas labores, se tiene una especie de área húmeda entre la base la rampa y de la pared del frente de avance. El agua excedente que quede retenida en la base de la labor será recirculada por medio de mangueras y/o por cunetas hacia las pozas del sistema de drenaje, pudiendo ser reutilizada.

#### **b. Voladura**

Para las voladuras se utilizará dinamita amoniaca, junto con emulsiones (8, 6 y 4), detonadores y accesorios de voladura.

Las emulsiones 8 y 6 son de alta velocidad de detonación y están indicadas para detonar todos los taladros, excepto los perimetrales y pre-perimetrales; mientras que la emulsión 4 es la de menor velocidad de detonación y será una alternativa para detonar los taladros perimetrales de recorte. Asimismo, se emplearán detonadores antiestáticos no eléctricos. El detonador para los taladros de arranque y los accesorios de voladura serán de periodo corto, mientras que los detonadores para los demás taladros serán de periodo largo. Se detonará el

menor número de taladros por período de retardo, práctica que ayudará a reducir la vibración producida por la voladura. (Ver Tabla 4.2).

**Tabla 4.2**

**Parámetros de voladura en roca tipo III B y IV A**

Concepto	Unidad	Roca tipo III B	Roca tipo IV A
		Cantidad	
Disparos por día/frente	---	1	1
Taladros vacíos	c/u	1 de 102 mm	1 de 102 mm
Taladros cargados	c/u	42 de 51 mm	40 de 51 mm
Total taladros	c/u	43	41
Longitud taladro	m	3,3	2,4
Eficiencia en disparo	%	95 %	95 %
Avance por disparo	m	3,14	2,28
Área sección	m <sup>2</sup>	19,3	19,3
Detonadores	c/u	42	40
Carga total	Kg	72	43,44
Volumen	m <sup>3</sup>	60,46	43,97
Factor de potencia	Kg/m <sup>3</sup>	1,21	0,99

Fuente: INSIDEO

**c. Carguío y acarreo**

Luego de producido el arranque de la roca, se procederá al traslado o acarreo del material volado hacia el depósito de desmonte, para lo cual se utilizarán cargadores frontales de bajo perfil conocidos LHD (Load – Haul – Dump) en conjunto con camiones volquetes convencionales 6,0 m x 4,0 m o camiones de bajo perfil.

Los parámetros importantes para la selección del cargador es la capacidad de acarreo por viaje, peso específico de la roca, factor de esponjamiento y el factor de llenado de la cuchara. El cargador seleccionado deberá ser compatible con la

geometría de la excavación y con camiones volquetes a emplearse, siendo lo usual que pueda llenarse la tolva de estos en tres o cuatro pasadas. En los siguientes cuadros se muestran los tipos de equipos seleccionados y sus rendimientos estimados. (Ver Tabla 4.3).

**Tabla 4.3**
**Selección y rendimiento del cargador frontal**

<b>Marca: Atlas Copco</b>	
<b>Modelo: ST1030</b>	
Peso específico del material in-situ (t/m <sup>3</sup> )	2,5
Esponjamiento estimado	35 %
Peso específico del material fragmentado (t/m <sup>3</sup> )	1,85
Factor de llenado de cuchara	0,9
Capacidad de cuchara elegida (t/yd <sup>3</sup> )	6,0
Capacidad de acarreo por ciclo (t)	7,65
Condiciones de trabajo	Promedio
Distancia de acarreo promedio (km) (máx. 12 % pendiente)	0,15
Velocidad promedio de acarreo-ida (km/h)	7,0
Velocidad promedio de acarreo-retorno (km/h)	10,0
Tiempo de acarreo ida y vuelta (min)	2.2
Tiempo fijo carga, maniobra descarga (min)	1,5
Tiempos adicionales	1,8
Tiempo total por ciclo (min)	5,5
Minutos por hora	50
Ciclos/hr	9,1
<b>Rendimiento horario (t/h)</b>	<b>96,5</b>
Costo horario (US\$/h)	55
Costo unitario (US\$/h)	0,79

Fuente: INSIDEO

Tabla 4.4

## Selección y rendimiento del volquete

<b>Marca: Volvo</b>	
<b>Modelo: FMX</b>	
Peso específico del material in-situ ( $t/m^3$ )	2,5
Esponjamiento estimado	35 %
Peso específico del material fragmentado ( $t/m^3$ )	1,9
Factor de llenado de cuchara	90 %
Capacidad de tolva elegida ( $m^3$ )	17
Capacidad de acarreo por ciclo (t)	28,3
Condiciones de trabajo	Promedio
Distancia de acarreo promedio (km)	3,00
Velocidad promedio de acarreo-ida (km/h)	10
Velocidad promedio de acarreo-retorno (km/h)	14
Numero de pases de cuchara para llenar tolva	4
Tiempo por pase (min)	3,9
Tiempo para cargar la tolva (min)	15,6
Tiempo variable ida (min)	18,0
Tiempo variable retorno (min)	12,9
Tiempo local por ciclo (min)	46,5
Numero efectivos por hora	50
Ciclos/hr	1,1
<b>Producción por hora (t/h)</b>	<b>30,5</b>
Costo horario (US\$/h)	65
Costo unitario (US\$/h)	2,13
Numero de volquetes requeridos	2

Fuente: INSIDEO

Se seleccionó un Scoop de 6  $yd^3$ ) y un volquete de 20 tn de capacidad. El Scoop podrá llenar la tolva del volquete en 4 pasadas y este último llevará el material volado a un botadero ubicado aproximadamente a 600 m de la bocamina de la rampa de acceso.

Para el carguío del material a la tolva del volquete por medio del cargador frontal, será necesario instalar cámaras de carguío a cada 100 metros a lo largo de la galería, con la finalidad de minimizar la distancia de acarreo del cargador frontal.

## CAPÍTULO V

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 5.1. Dimensionamiento de las labores de exploración

Con el fin de asegurar una dotación adecuada de aire fresco en los frentes de trabajo donde se concentrarán las labores el equipo y el personal se considera que el sistema de ventilación más adecuado será una instalación impelente con los ventiladores impulsores instalados inicialmente en el exterior de la bocamina para evitar la recirculación del aire al inicio de las labores.

Dado que el caudal de aire limpio que se requiere impulsar al frente de trabajo es relativamente alto, será necesario colocar en la parte superior del túnel dos ductos flexibles de ventilación del mayor diámetro posible, con el fin de minimizar la presión que habrá que aplicar para impulsar el aire y por lo tanto la potencia que consumirán los ventiladores. El espacio disponible para acomodar los ductos de ventilación está controlado por la altura del equipo de mayores dimensiones que se vaya a emplear que en el caso de la sección de 4,5 m x 4,5 m sería la del camión volquete 6,0 m x 4,0 m.

Para efectos de dimensionamiento de los ductos de ventilación se considerará que la altura ocupada por los equipos de mayores dimensiones será de 3,0 m, tal como se muestra a continuación. (Ver Figura 5.1).

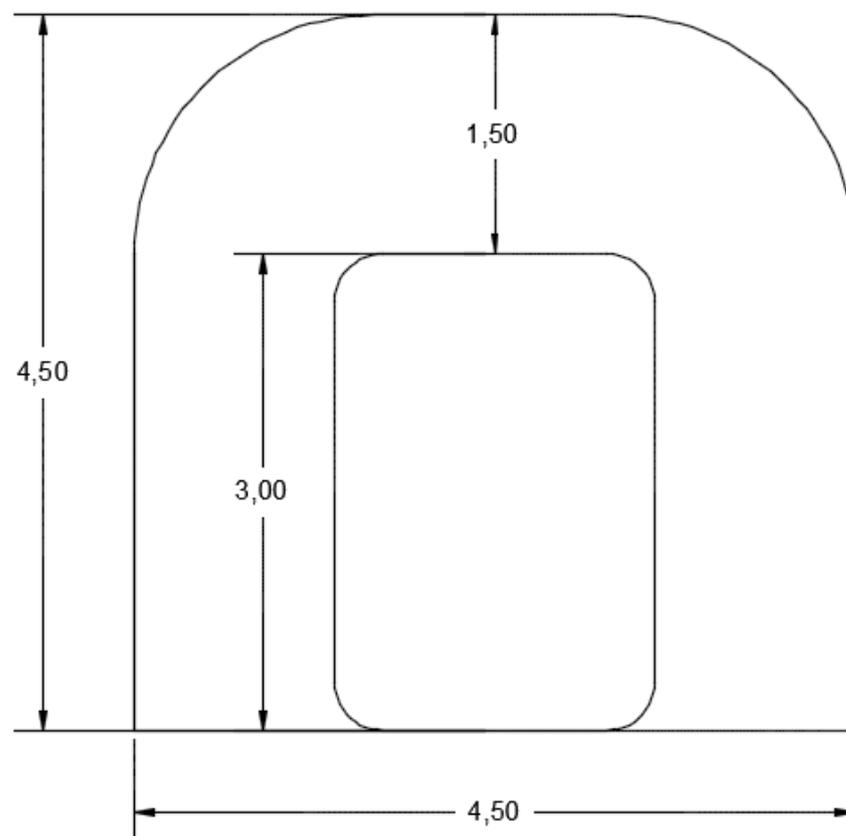


Figura 5.1: Dimensiones de sección y áreas disponibles  
Fuente: Elaboración propia

Dado que se requiere contar con un espacio libre adicional de aproximadamente 50 mm para poder acomodar la línea de ventilación en la bóveda del túnel, para una sección de 4,5 m x 4,5 m se dispondría de 1 450 mm (57”).

La mejor disposición que se podría lograr para acomodar los ductos en la sección de 4,5 m x 4,5 m. Utilizando las dos líneas de manga de ventilación queda de la siguiente manera. (Ver Figura 5.2)

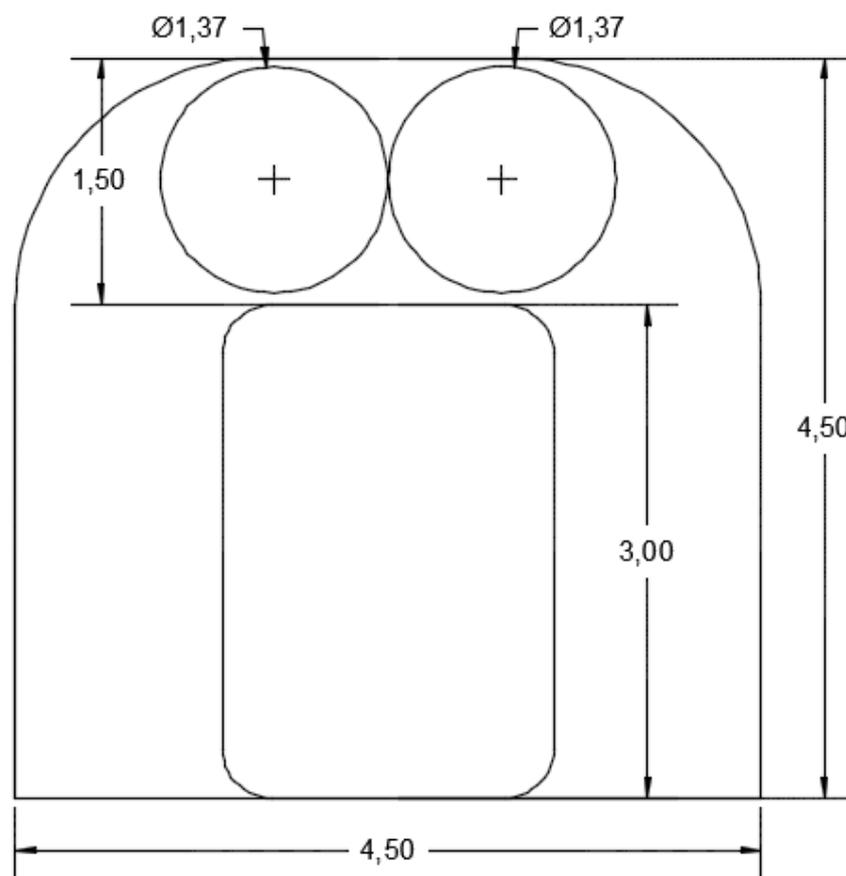


Figura 5.2: Sección 4,5 m x 4,5 m.

Fuente: Elaboración Propia

## 5.2. Alternativas de dimensionamiento de chimeneas del sistema ventilación

Una vez determinado el área de la sección de las labores de exploración del proyecto San Gabriel, podemos seleccionar el diámetro y ubicación más óptima de las chimeneas de ventilación, en base a parámetros de flujo de aire por cada kW consumido ( $\text{m}^3/\text{s}/\text{kW}$ ).

Para este propósito se simulará con una ventiladora que tomaremos como una referencia con caudal de  $70,8 \text{ m}^3/\text{s}$  (150 000 cfm).

I. Construcción de chimeneas, ubicación de las máquinas ventiladoras extractoras y de tiro natural, cuyas características son. (Ver Tabla 5.1).

Tabla 5.1

**Dimensionamiento de chimeneas de ventilación I**

Chimenea	Diámetro (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Descripción
CH-1	7,0	38,5	Ingreso natural
CH-2	1,8	2,5	Extractor
CH-3	1,8	2,5	Extractor
CH-4	1,8	2,5	Extractor

Fuente: Elaboración propia

II. Construcción de chimeneas, ubicación de las máquinas ventiladoras extractoras y de tiro natural, cuyas características son. (Ver Tabla 5.2).

Tabla 5.2

**Dimensionamiento de chimeneas de ventilación II**

Chimenea	Diámetro (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Descripción
CH-1	2,4	4,5	Extractor
CH-2	7,0	38,5	Ingreso natural
CH-3	2,4	4,5	Extractor
CH-4	2,4	4,5	Extractor

Fuente: Elaboración propia

III. Construcción de chimeneas, ubicación de las máquinas ventiladoras extractoras y de tiro natural, cuyas características son. (Ver Tabla 5.3).

**Objetivo principal**

El objetivo principal del desarrollo de las alternativas es la búsqueda de un sistema con un menor uso de energía eléctrica e incrementa la cantidad de aire, representando un menor costo operativo.

Tabla 5.3

**Dimensionamiento de chimeneas de ventilación III**

Chimenea	Diámetro (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Descripción
CH-1	2,1	3,5	Extractor
CH-2	2,1	3,5	Extractor
CH-3	2,1	3,5	Extractor
CH-4	7,0	38,5	Ingreso natural

Fuente: Elaboración propia

**5.2.1. Alternativa I**

Para el desarrollo de la primera alternativa, se consideró la construcción de 03 chimeneas de ventilación de 1,8 m de diámetro y un pique de 7,0 m de diámetro. Instalación y simulación con un ventilador extractor de 70,8 m<sup>3</sup>/s (150 000 cfm) en la corona de cada RB, para cubrir el requerimiento de la ventilación a largo plazo. (Ver Figura 5.3 y 5.4).

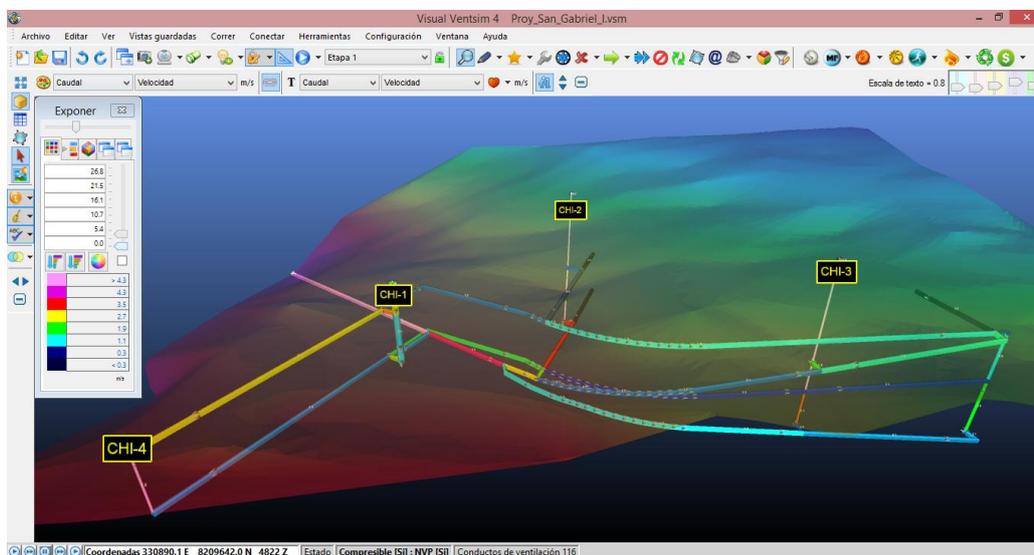


Figura 5.3: Arreglo general alternativa I – Proyecto San Gabriel  
Fuente: Estudio de ventilación de minas, proyecto San Gabriel

RESUMEN DE LA RED DEL SISTEMA	
Flujo de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Conductos de ventilación	
Longitud total	4,766.6 m
Caudal de aire total de admisión	177.3 m <sup>3</sup> /s
Caudal de aire total de escape	179.9 m <sup>3</sup> /s
Flujo de masa total	125.03 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.02170 Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	0.02170 Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	123.7 kW Total
	101.7 kW Chimenea
	22.0 kW Conducir
	0.0 kW Conducto de ventilac...
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 kW
<b>Potencia eléctrica de ENTRADA</b>	<b>212.1 kW</b>
<b>Costo de energía anual de la red</b>	<b>\$ 185,816</b>
<b>Eficiencia de la red</b>	<b>58.3 %</b>
Que consta de ..	
4 Ventiladores	212.1 kW
0 Presiones fijadas	0.0 kW
0 Flujos fijados	0.0 kW
0 Refrigeración	0.0 kW

Figura 5.4: Resultados obtenidos alternativa I  
Fuente: Análisis de redes de ventilación con software Ventsim

### 5.2.2. Alternativa II

Para el desarrollo de la segunda alternativa, se consideró la construcción de 03 chimeneas Raise Bore de ventilación de 2,4 m y un pique de 7,0 m de diámetro. Instalación y simulación con un ventilador extractor de 70,8 m<sup>3</sup>/s (150 000 cfm) en la corona de cada Raise Boring, para cubrir el requerimiento de la ventilación a largo plazo.

En la Figura 5.5 y 5.6 se muestra el arreglo planteado y la ubicación de ventiladores analizados en el software Ventsim.

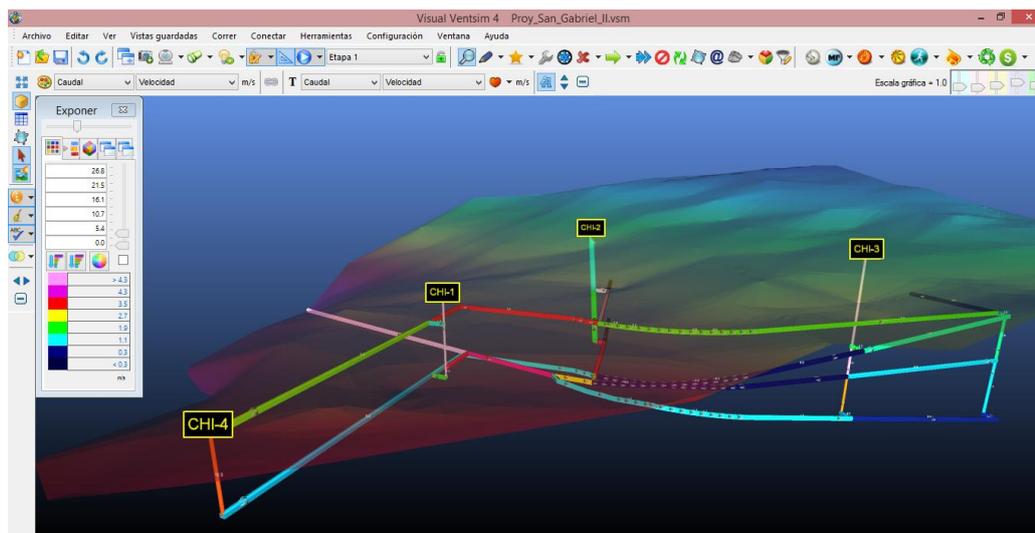


Figura 5.5: Arreglo general alternativa II – Proyecto San Gabriel  
Fuente: Estudio de ventilación de minas, proyecto San Gabriel

RESUMEN DE LA RED DEL SISTEMA	
Flujo de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Conductos de ventilación	116
Longitud total	4,766.6 m
Caudal de aire total de admisión	182.0 m <sup>3</sup> /s
Caudal de aire total de escape	185.2 m <sup>3</sup> /s
Flujo de masa total	128.29 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.01749 Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	0.01749 Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	108.2 kW Total
	34.7 kW Chimenea
	73.5 kW Conducir
	0.0 kW Conducto de ventilac...
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 kW
Potencia eléctrica de ENTRADA	200.3 kW
Costo de energía anual de la red	\$ 175,444
Eficiencia de la red	54.0 %
Que consta de ..	
4 Ventiladores	200.3 kW
0 Presiones fijadas	0.0 kW
0 Flujos fijados	0.0 kW
0 Refrigeración	0.0 kW

Figura 5.6: Resultados obtenidos alternativa II  
Fuente: Análisis de redes de ventilación con software Ventsim

### 5.2.3. Alternativa III

Para el desarrollo de la segunda alternativa, se consideró la construcción de 03 chimeneas Raise Bore de ventilación de 2,1 m y un pique de 7,0 m de diámetro. Instalación y simulación con un ventilador extractor de 70,8 m<sup>3</sup>/s (150 000 cfm) en la corona de cada Raise Boring, para cubrir el requerimiento de la ventilación a largo plazo. (Ver Figura 5.7 y 5.8).

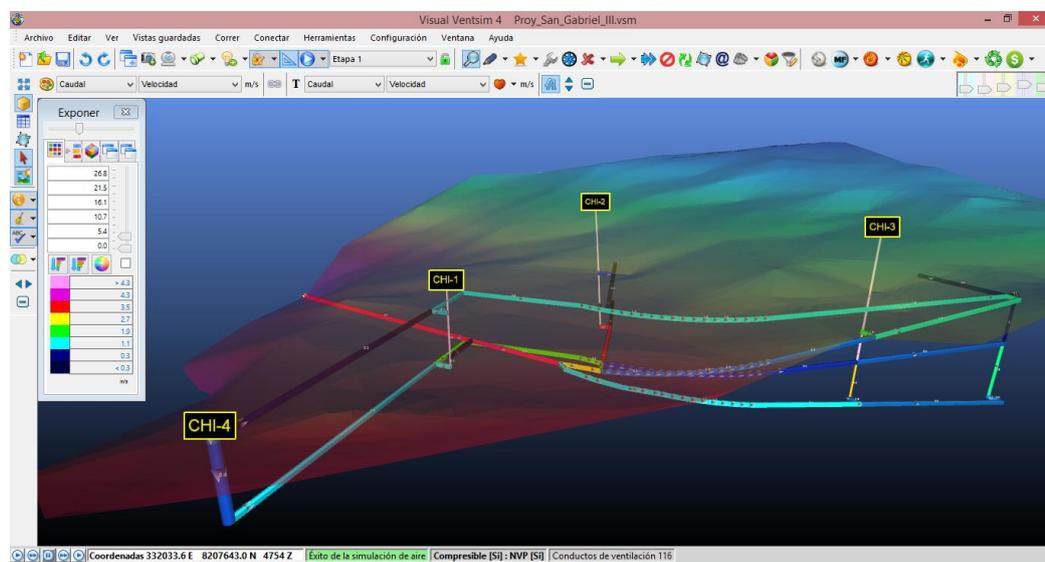


Figura 5.7: Arreglo general alternativa III – Proyecto San Gabriel

Fuente: Estudio de ventilación de minas, proyecto San Gabriel

En resumen, tenemos. (Ver Tabla 5.4). De las alternativas indicadas se obtiene el gráfico mostrado. (Ver Figura 5.9).

**Tabla 5.4**

**Resumen de alternativas**

Alternativa	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Potencia (kW)	(m <sup>3</sup> /s)kW
I	179,9	212,1	0,848
II	185,2	200,3	0,925
III	166,1	136,6	1,216

Fuente: Elaboración propia

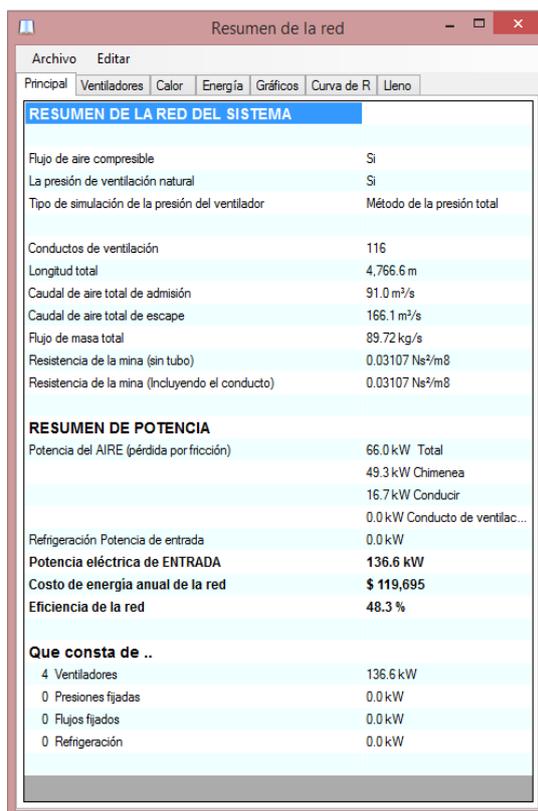


Figura 5.8: Resultados obtenidos alternativa III  
Fuente: Análisis de redes de ventilación con software Ventsim

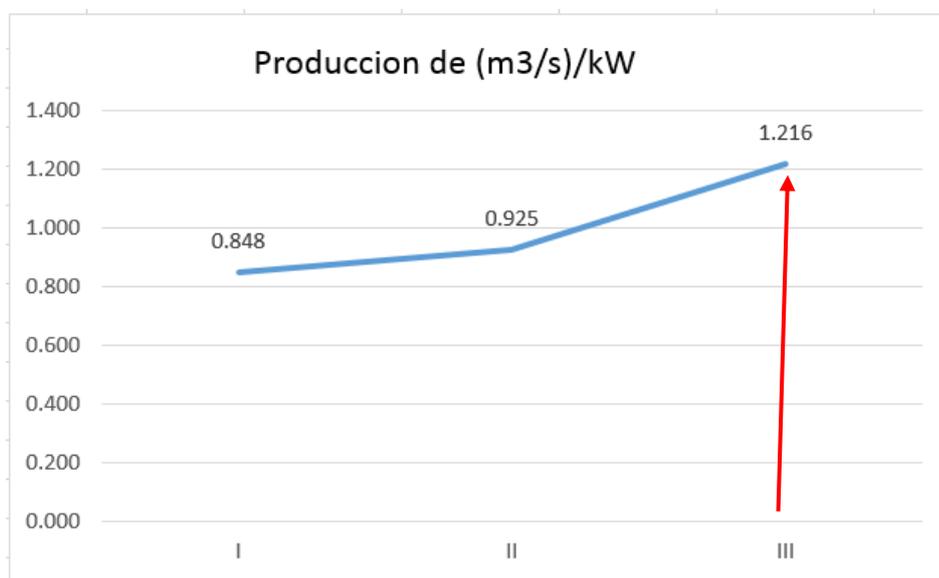


Figura 5.9: Curva de relación (m³/s)/kW.  
Fuente: Elaboración propia

De la figura podemos indicar que para la alternativa III es la más viable, por generar mayor flujo de aire por cada kW 1,216 (m³/s)/kW.

### 5.3. Fase I: Cálculo de la ventilación a corto plazo para la rampa principal del proyecto San Gabriel

#### 5.3.1. Modelación del sistema de ventilación

La información de la rampa principal es exportada de los programas de geomodelamiento hacia AutoCad, de donde se extraen los túneles como líneas de eje y por último es importado al software Ventsim (ver Figura 5.10) para su simulación donde se le adicionan los parámetros físicos y geométricos como; formas de túneles, tipo de roca, áreas, resistencias, factor de fricción, factores de choque, etc. (Ver Tabla 5.5).

**Tabla 5.5**

#### **Resistencias para rampa principal por cada 100 m de longitud**

Descripción del ramal	Sección (m)	Factor K kg/m <sup>3</sup>	Resistencia Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
Rampa de acceso (W x H)	4,5 x 4,5	0,0122	0,00970

Fuente: Elaboración propia

W: Ancho

H: Alto

D: diámetro

A continuación, se presenta el promedio de los parámetros meteorológicos de las 04 estaciones de monitoreo. (Ver Anexo 06 y Tabla 5.6).

Tabla 5.6

Promedio de parámetros meteorológicos

Promedio de parámetros meteorológicos		
Tipo de muestra	Calidad de aire	
Parámetro	Unidad	Resultado
Humedad relativa	%	15,1
Presión atmosférica	kPa	56,96
Temperatura a nivel del suelo	°C	1,8
Velocidad del viento	m/s	5,0

Fuente: Elaboración propia

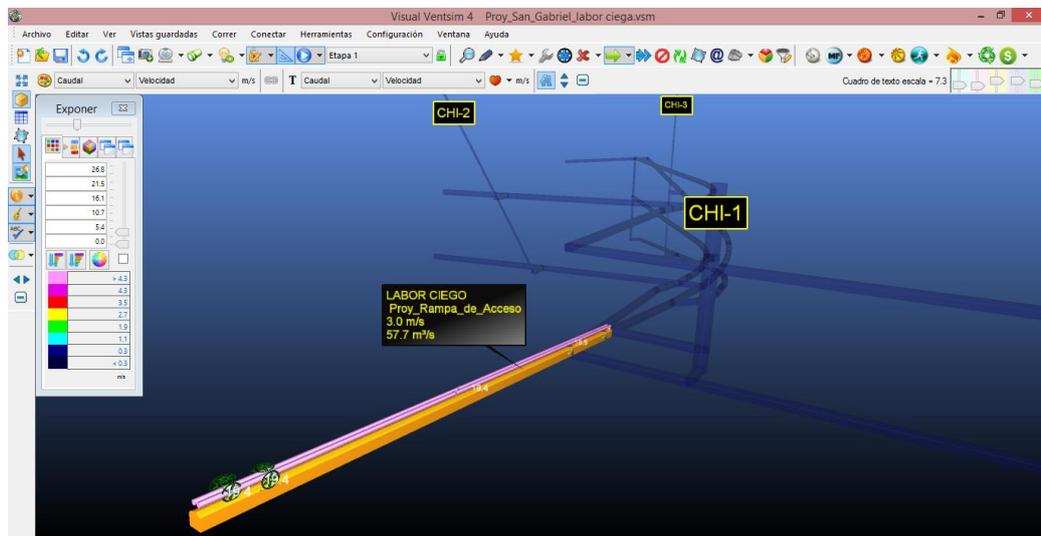


Figura 5.10: Esquema de ventilación de rampa principal

Fuente: Estudio de ventilación de minas, proyecto San Gabriel

5.3.2. Requerimiento de cantidad de Aire

La determinación de la demanda de ventilación a corto plazo se estima en base a minado de áreas en el tiempo e incremento de recursos (personal, equipos diésel).

a. Requerimientos de caudal de aire para el personal ( $Q_1$ )

La cantidad de trabajadores que labora en el proyecto Chucapaca por turno, tal como se muestra en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7

## Personal que labora en proyecto San Gabriel

ÁREA	N° TRABAJADORES
Operación mina	8
Ingeniería / Supervisión	2
Seguridad	1
Maestranza	2
Electricista	1
<b>Total, personal por turno</b>	<b>15</b>

Fuente: Planeamiento-Proyecto San Gabriel

La Tabla 5.7 nos muestra el total del personal que labora en el proyecto San Gabriel, que totaliza 15 personas.

El caudal de aire para el personal que labora a 4 800 m.s.n.m. Caudal en m<sup>3</sup>/min por persona de acuerdo al D.S. 024-2016-EM Art. 247 (Sobre los 4 000 metros aumentará en 100 %, que será igual a 6 m<sup>3</sup>/min).

$$Q_1 = q \times n$$

$Q_1$  : Cantidad de aire necesario para el personal (m<sup>3</sup>/min).

$q$  : Cantidad de aire mínimo por persona (m<sup>3</sup>/min).

$N$  : Número de personas presentes en la mina por turno.

$$Q_1 = q \times n$$

$$Q_1 = 6 \text{ m}^3/\text{min} \times 15$$

$$Q_1 = 90 \text{ m}^3/\text{min}$$

**b. Requerimiento de aire para equipos diésel ( $Q_2$ )**

$$Q_2 = K \times N$$

Dónde:

$Q_2$  : Cantidad de aire requerido para uso de equipos diésel ( $m^3/min$ ).

$K$  : 3,0 ( $m^3/min$ ). Cantidad de aire necesario por cada HP.

$N$  : Número de HP de los equipos que trabajan en la mina.

**Tabla 5.8**

**Caudal de aire requerido para los equipos LHD**

Cantidad	Equipos	HP	Consumo de aire ( $m^3/min$ )
01	Scoop ( $4yd^3$ )	185	555
01	Jumbo DD 310	74	222
01	Volquete	320	960
<b>Total</b>		<b>579</b>	<b>1 737</b>

Fuente: Elaboración propia

$$Q_2 = K \times N$$

$$Q_2 = 3 \text{ m}^3/min \times 579$$

$$Q_2 = 1 737 \text{ m}^3/min$$

**c. Requerimiento de caudal de aire para diluir contaminantes por explosivos ( $Q_3$ )**

$$Q_3 = \frac{100 * a * A}{d * t}$$

Dónde:

- Q : Caudal de aire requerido por consumo de explosivo detonado, (m<sup>3</sup>/min).
- a : Cantidad de explosivo detonado, equivalente a dinamita 60 % (Kg.)
- A : Volumen de gases generados por cada Kg. de explosivo, 0,040 (m<sup>3</sup>/Kg. de explosivo); valor tomado como norma general.
- D : Porcentaje de dilución de los gases en la atmosfera (0,008).
- t : Tiempo de dilución de los gases (minutos); generalmente, este tiempo no es mayor de 30 minutos, cuando se trata de detonaciones corrientes.

El consumo diario de explosivos por turno es de alrededor de 72 kg que para un tiempo de evacuación de 30 minutos da un requerimiento total de aire por explosivos de:

$$Q_3 = \frac{100 \cdot 72 \cdot 0,040}{0,008 \cdot 30}$$

$$Q_3 = 1\,200 \text{ m}^3/\text{min}$$

### **Requerimiento total de caudal de aire para el proyecto San Gabriel**

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_T = 90 + 1\,737 + 1\,200$$

$$Q_T = 3\,027 \text{ m}^3/\text{min} \quad , \text{equivalente a}$$

$$Q_T = 50,45 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 5.3.3. Selección del ventilador primario

Una vez determinado el requerimiento de ventilación, el caudal requerido es de  $50,45 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $3\,027 \text{ m}^3/\text{min}$ ), con este dato podemos diseñar un sistema de ventilación adecuado, que permita cubrir la demanda actual con proyección de cobertura a corto plazo. Estos datos fueron alimentados al simulador para determinar el punto de operación del ventilador. (Ver Figura 5.11).

El ventilador principal del sistema fue seleccionado utilizando el programa Ventsim Visual. El proceso de simulación fue repetido para varias presiones del ventilador y los resultados analizados sistemáticamente hasta obtener una presión óptima que minimice las resistencias de los reguladores.

Teniendo en cuenta el espacio disponible en la parte superior de la sección del túnel, será necesario acomodar dos ductos independientes. Se asumirá en porcentaje de fugas de 5 % por cada 100 m de longitud de línea, que es la pérdida que corresponde a una línea de ventilación de ductos flexibles aceptablemente instalada y mantenida.

La condición más desfavorable en términos de distancia de trabajo se presentará cuando la línea alcance una longitud máxima de 200 m. asumiendo que el ducto se mantenga a unos 25-30 m del frente de trabajo y que el inicio de la línea se ubique a una distancia similar del portal de ingreso a la bocamina inicialmente.

Considerando el espacio disponible para acomodar los ductos de ventilación, el diámetro máximo que podrán tener estos sería de  $1\,372 \text{ mm}$  ( $54''$ ), por lo que para una sección transversal de  $4,5 \text{ m} \times 4,5 \text{ m}$ , será necesario disponer las líneas de ventilación a lo largo del tramo, en el que las líneas se emplearán para

ventilar el frente que está siendo avanzado. El sistema de ventilación que se instale deberá ser capaz de impulsar el caudal mínimo requerido en el frente de trabajo, que cuando el tramo alcance su longitud máxima, estará ubicado a 200 m del portal, por lo que el sistema de ventilación deberá ser capaz de hacer llegar al frente un caudal de  $50,45 \text{ m}^3/\text{s}$  (10 688,59 cfm).

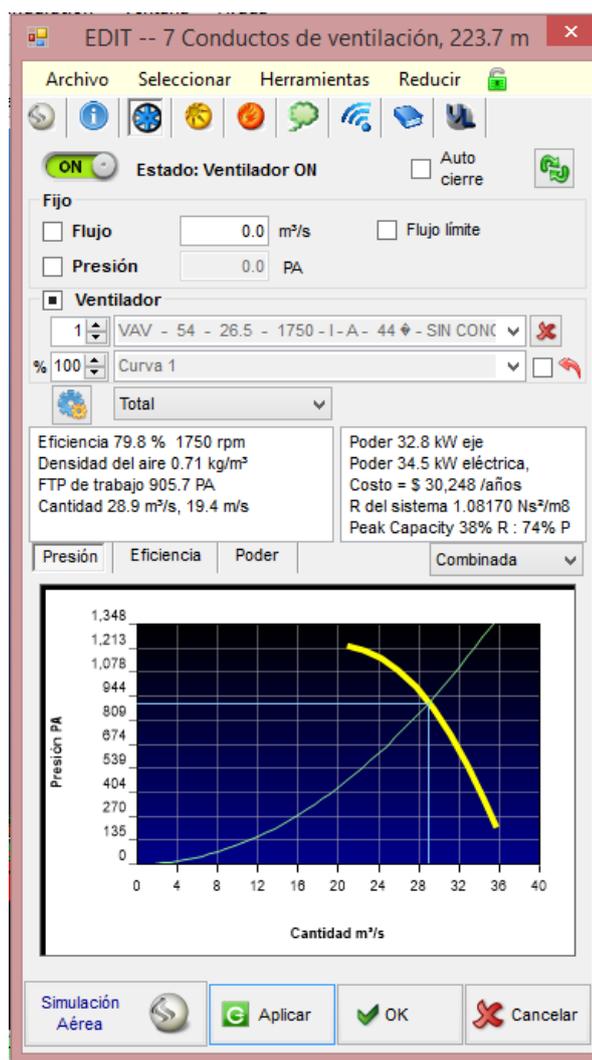


Figura 5.11: Curva de operación del ventilador Airtec VAV-54-26,5-1 750-I-A

Fuente: Análisis de curvas de ventilador con software Ventsim

Se deberá instalar un ventilador por cada manga, el caudal que cada uno de ellos entregue deberá ser de  $26,75 \text{ m}^3/\text{s}$  (56 680 cfm), con una presión estática al nivel del mar y temperatura estándar de 7,1 pulgadas de columna de agua.

En las condiciones de trabajo (altura promedio de 4 800 m.s.n.m., temperatura promedio de 10 °C con una densidad del aire de 0,72 kg/m<sup>3</sup>) el caudal entregado por cada ventilador será de 26,75 m<sup>3</sup>/s (56 680 cfm),

Con una presión estática de 4,3 pulgadas de columna de agua. La Figura 5.12, muestra la curva característica del ventilador Airtec VAV-54-26,5-1 750-I-A , para una densidad del aire de 0,72 kg/m<sup>3</sup>. (Ver Figura 5.12).

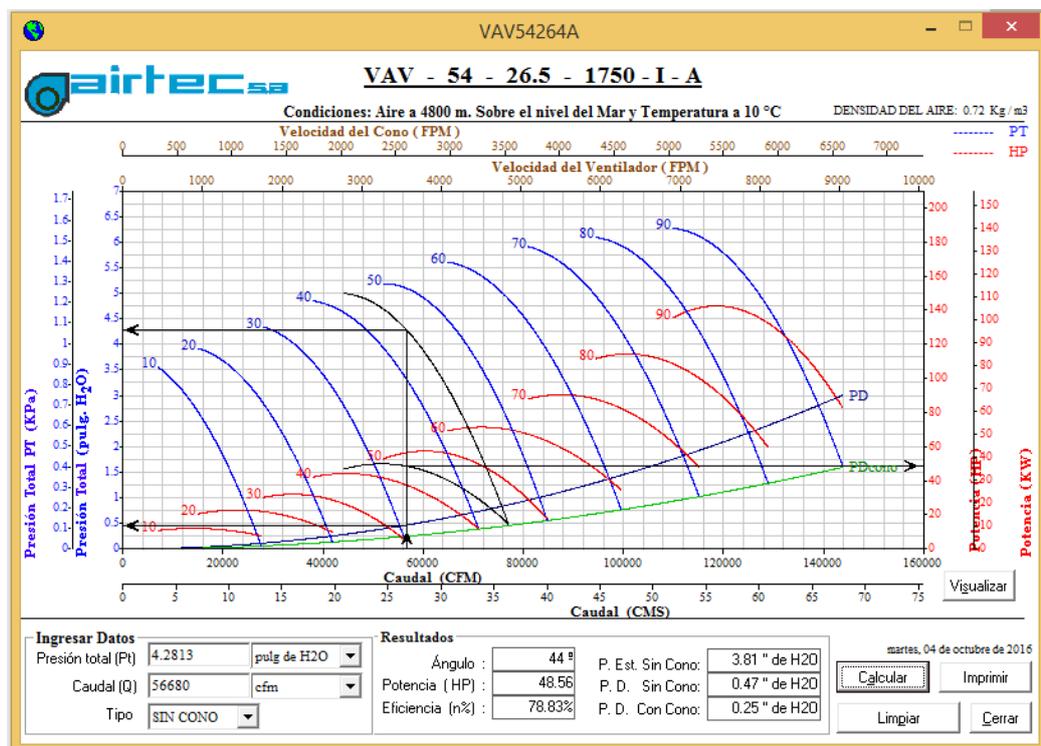


Figura 5.12: Curva de operación del ventilador Airtec VAV-54-26,5-1 750-IA  
Fuente: Selección de ventilador, proyecto San Gabriel

El ventilador a emplearse sería un ventilador de alabes regulables tal como el Ventilador Airtec Mod VAV-54-26,5-1 750-I-A o equivalente, instalado en el exterior a unos 20 m del portal del túnel y equipado con un cono de admisión, un silenciador y un motor de 55 HP de potencia uno por cada línea de ventilación. Con estos ventiladores y mangas de 54 pulgadas de diámetro se llegaría a ventilar un frente ciego por una longitud de 200 m. Se debe desarrollar una

chimenea con conexión a superficie en la cual se deberá instalar un ventilador extractor el cual nos asegurará un ingreso permanente de aire a las labores de tal manera que el arreglo de dos líneas de manga con el ventilador modelo VAV-54-26,5-1 750-I-A asociado se traslade 25 m antes del pie de la chimenea para poder seguir avanzando los 200 m siguientes repitiendo este sistema.

#### 5.4. Fase II: Cálculo para la ventilación de mediano y largo plazo de las labores de exploración en el proyecto San Gabriel

##### 5.4.1. Modelación del sistema de ventilación

La información de las labores de exploración es exportada de los programas de geomodelamiento hacia AutoCad de donde se extraen los túneles como líneas de eje y por último es importado al software Ventsim (ver Figura 5.13 y Anexo 07) para su simulación donde se le adicionan los parámetros físicos y geométricos como; formas de túneles, tipo de roca, áreas, resistencias, factor de fricción, factores de choque y parámetros meteorológicos. (Ver Tabla 5.9 y Anexo 06).

**Tabla 5.9**

#### Resistencias para diferentes tipos de ramales

Descripción del ramal	Sección (m)	Factor K kg/m <sup>3</sup>	Resistencia Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
Rampa de acceso (W x H)	4,5 x 4,5	0,0122	0,00970
Cortada de exploración (W x H)	4,5 x 4,5	0,0123	0,01574
Estocada a cámara de perforación (W x H)	4,5 x 4,5	0,0123	0,01453
CHI 1,2 y 3 (D)	2,1 x 2,1	0,0052	0,013921
CHI 4 (D)	7,0 x 7,0	0,0051	0,13669

Fuente: Elaboración propia

W: Ancho; H: Alto; D: Diámetro

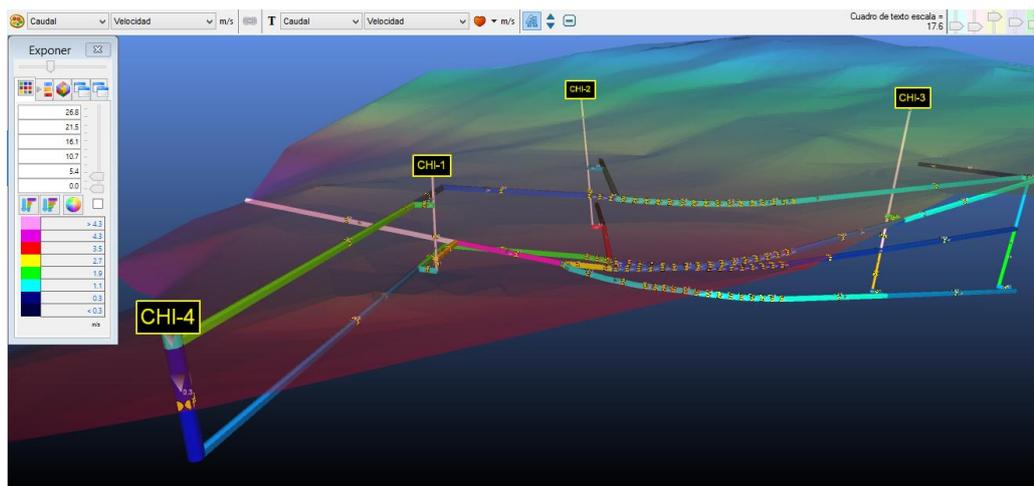


Figura 5.13: Esquema de ventilación del proyecto  
Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.2. Requerimiento de cantidad de aire

La determinación de la demanda de ventilación a mediano y largo plazo se estima en base a minado de áreas en el tiempo e incremento de recursos (personal, equipos diésel).

##### a. Requerimientos de caudal de aire para el personal ( $Q_1$ )

La cantidad de trabajadores que labora en el proyecto Chucapaca por turno se muestra en la Tabla 5.10.

En la Tabla 5.10 nos muestra el total del personal que labora en el proyecto San Gabriel, que totaliza 35 personas.

El caudal de aire para el personal que labora a 4 800 m.s.n.m. Caudal en  $m^3/\text{min}$  por persona de acuerdo al D.S. 024-2016-EM Art. 247 (Sobre los 4 000 metros aumentará en 100 %, que será igual a  $6 m^3/\text{min}$ ).

Tabla 5.10

## Personal que labora en proyecto San Gabriel

ÁREA	N° TRABAJADORES
Operación mina	22
Geología	2
Ingeniería / Supervisión	3
Seguridad	1
Maestranza	2
Electricista	1
Servicio Mina	4
<b>Total, personal por turno</b>	<b>35</b>

Fuente: Planeamiento-Proyecto San Gabriel

$$Q_1 = q \times n$$

$Q_1$  : Cantidad de aire necesario para el personal ( $m^3/\text{min}$ ).

$q$  : Cantidad de aire mínimo por persona ( $m^3/\text{min}$ ).

$N$  : Número de personas presentes en la mina por turno.

$$Q_1 = q \times n$$

$$Q_1 = 6 \text{ m}^3/\text{min} \times 35$$

$$Q_1 = 210 \text{ m}^3/\text{min}$$

**b. Requerimiento de aire para equipos diésel ( $Q_2$ )**

$$Q_2 = K \times N$$

Donde:

$Q_2$  : Cantidad de aire requerido para uso de equipos diésel ( $m^3/\text{min}$ ).

$K$  : 3,0 ( $m^3/\text{min}$ ). Cantidad de aire necesario por cada HP.

$N$  : Número de HP de los equipos que trabajan en la mina.

**Tabla 5.11**  
**Caudal de aire requerido para los equipos LHD**

Cantidad	Equipos	HP	Total HP	Consumo de aire (m <sup>3</sup> /min)
01	Scoop (4yd <sup>3</sup> )	185	185	555
01	Scoop (6yd <sup>3</sup> )	231	231	693
01	Jumbo DD310	74	74	222
01	Empernador	63	63	189
01	Telehandler	110	110	330
01	Scaler	150	150	450
02	Mixer	90	180	540
02	Volquetes	320	640	2 040
<b>Total</b>			<b>1 633</b>	<b>4 899,00</b>

Fuente: Elaboración propia

$$Q_2 = K \times N$$

$$Q_2 = 3 \text{ m}^3/\text{min} \times 1\ 633$$

$$Q_2 = 4\ 899 \text{ m}^3/\text{min}$$

**c. Requerimiento de caudal de aire para diluir contaminantes por explosivos**

(Q<sub>3</sub>)

$$Q = \frac{100 \cdot a \cdot A}{d \cdot t}$$

Dónde:

Q : Caudal de aire requerido por consumo de explosivo detonado, (m<sup>3</sup>/min).

- A : Cantidad de explosivo detonado, equivalente a dinamita 60 % (Kg.)
- a : Volumen de gases generados por cada Kg. de explosivo 0,040 (m<sup>3</sup>/Kg. de explosivo); valor tomado como norma general.
- d : Porcentaje de dilución de los gases en la atmosfera (0,008).
- t : Tiempo de dilución de los gases (minutos); generalmente, este tiempo no es mayor de 30 minutos, cuando se trata de detonaciones corrientes.

El consumo diario de explosivos será en 3 frentes de avance con 72kg/disp. y 2 disparos por turno, equivalente a  $(3 \times \frac{72\text{Kg}}{\text{disp}} \times \frac{2\text{disp}}{\text{turno}})$  igual a 432 kg/turno que para un tiempo de evacuación de 30 minutos da un requerimiento total de aire por explosivos de:

$$Q_3 = \frac{100 \cdot 432 \cdot 0,040}{0,008 \cdot 30}$$

$$Q_3 = 7\,200 \text{ m}^3/\text{min}$$

### Requerimiento total de caudal de aire para el proyecto San Gabriel

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_T = 210 + 4\,899 + 7\,200$$

$$Q_T = 12\,309 \text{ m}^3/\text{min} \text{ , equivalente a}$$

$$Q_T = 205,15 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 5.4.3. Determinación del ventilador para chimenea Raise Boring

Una vez determinado el requerimiento de ventilación, caudal requerido será de  $205,15 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $12\,309 \text{ m}^3/\text{min}$ ), con este dato podemos diseñar un sistema de ventilación adecuado, que permita cubrir la demanda actual con proyección de cobertura al largo plazo. Estos datos fueron alimentados al simulador para determinar el punto de operación del ventilador.

El ventilador que se instale en superficie en la corona de cada Raise Boring será capaz de extraer en promedio  $70,8 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $150\,000 \text{ cfm}$ ) por dicha estructura y servirá para dotar constantemente de aire fresco a los dos ventiladores auxiliares con los cuales se realizaran los desarrollos.

Para la selección de los ventiladores adecuados se realizó simulaciones con diferentes series de ventiladores tomando en cuenta los parámetros de caudal y presión. En la Figura 5.14 muestra los datos del ventilador seleccionado, la curva característica seleccionada y el punto de operación del ventilador que cubre los requerimientos de presión y caudal de la mina. Esta curva corresponde a un ventilador Airtec Mod. VAV-72-30-1 150-I-B.

La curva del ventilador fue corregida para operar a una altura de  $4\,800 \text{ m.s.n.m.}$  De acuerdo a la Figura 5.15, el punto de operación del ventilador para la condición proyectada está dada por:

Caudal:  $150\,000 \text{ cfm}$ ,

Presión:  $1,38 \text{ pulg. H}_2\text{O}$

Potencia:  $53 \text{ HP}$ .

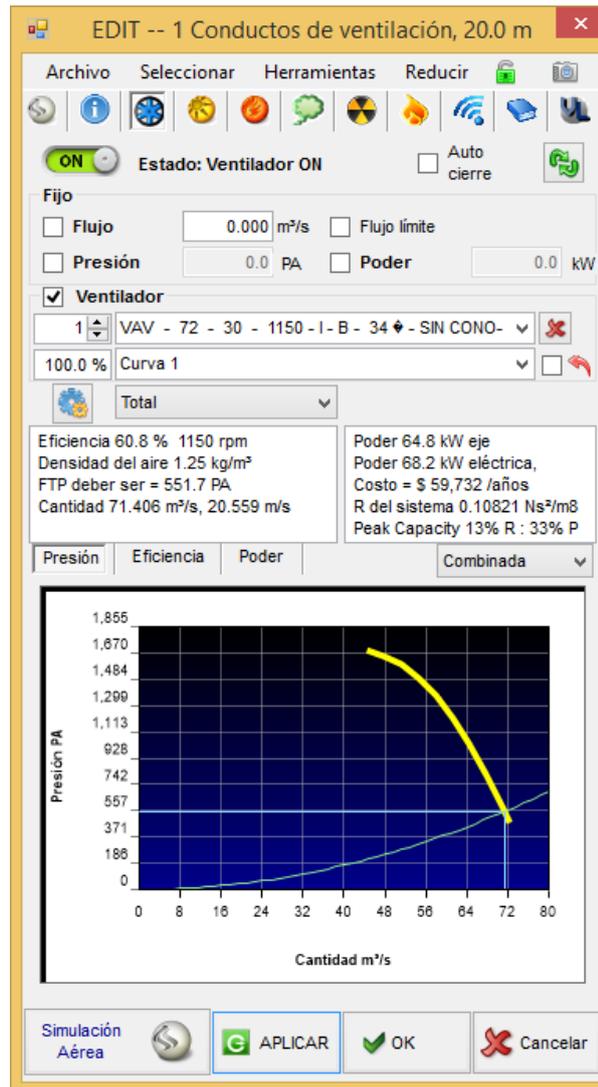


Figura 5.14: Curva de operación del ventilador Airtec VAV 72-30-1 150- I-B

Fuente: Análisis de curvas de ventilador con software Ventsim

La Figura 5.15, muestra la curva característica del ventilador Airtec Mod VAV-72-30-1 150-I-B para una densidad del aire de  $0,76 \text{ kg/m}^3$ . De estas, La curva numero 3 fue elegida para este proyecto.

La visualización de chimeneas de ventilación, tanto los de ingreso como de salida denominados como las rampas de acceso, labor de exploración, cortada de exploración, estocadas y CHI-1, 2, 3 y 4. Se puede apreciar de acuerdo a los trazos finales. (Ver Figura 5.16).

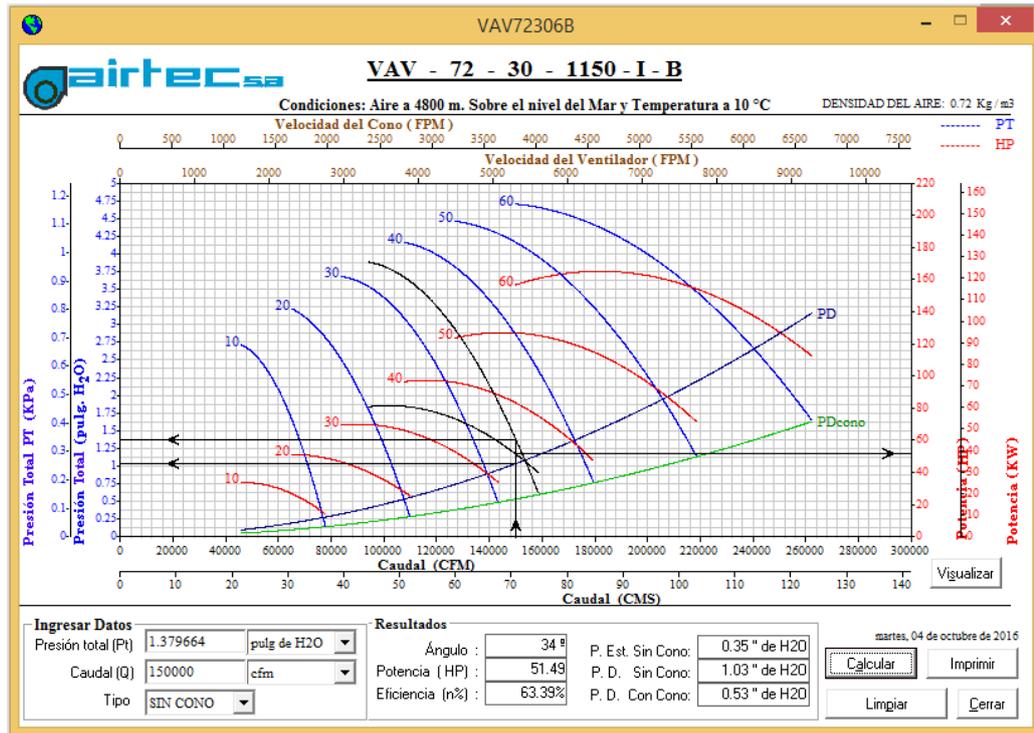


Figura 5.15: Curva de operación del ventilador Airtec VAV-72-30-1 150-I-B  
 Fuente: Selección de ventilador, proyecto San Gabriel

La configuración final de los trazos presenta de chimeneas de ventilación en la zona del proyecto, se visualiza en plano isométrico del proyecto San Gabriel, de acuerdo al Anexo 09.

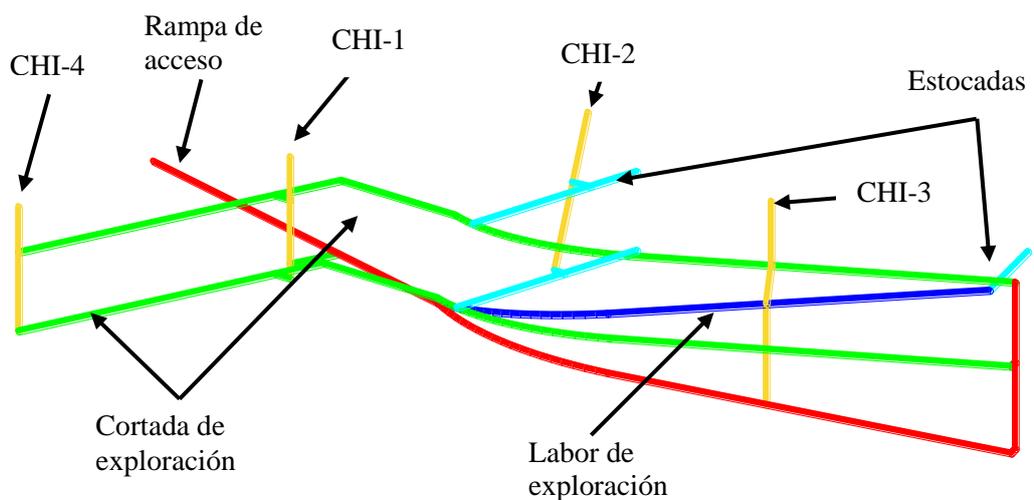


Figura 5.16: Vista general del proyecto y ubicación de chimeneas.  
 Fuente: Elaboración propia

La construcción de las chimeneas tendrá su inicio en la superficie. Las coordenadas de dichos collares son presentadas en la siguiente. (Ver Tabla 5.12).

**Tabla 5.12**

**Ubicación de salida de chimeneas y pique en superficie**

Instalación	Coordenadas UTM Datum WGS84, zona 19S		Dimensiones	
	Este (m)	Norte (m)	Diámetro (m)	m <sup>2</sup>
Chimenea 1	332 011,46	8 207 913,97	2,10	3,5
Chimenea 2	332 219,00	8 208 050,83	2,10	3,5
Chimenea 3	332 435,66	8 207 818,58	2,10	3,5
Chimenea 4	331 847,68	8 207 699,23	7,00	38,5

Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

Para asegurar unas buenas condiciones de trabajo en las labores de exploración, el sistema de ventilación requiere de lo siguiente:

- Las chimeneas de ventilación serán construidas con equipo Raise Boring, tendrá las siguientes dimensiones: Chimeneas de ventilación extractores CHI-1: 2,1 m de diámetro, CHI-2: 2,1 m de diámetro, CHI-3: 2,1 m de diámetro y la chimenea de ingreso de aire CHI-4: 7,0 m de diámetro.
- De acuerdo a los resultados de la modelación para el cálculo de la ventilación a corto plazo para la rampa principal de acceso, para cubrir el requerimiento de  $50,45 \text{ m}^3/\text{s}$  equivalente a  $3\ 027 \text{ m}^3/\text{min}$ , se requiere de un ventilador que sea capaz de entregar un caudal de  $26,75 \text{ m}^3/\text{s}$  equivalente a  $56\ 680 \text{ cfm}$  por cada manga de ventilación.
- Para satisfacer la cantidad de aire limpio a mediano y largo plazo se requerirá un caudal de  $205,15 \text{ m}^3/\text{s}$  equivalente a  $12\ 309 \text{ m}^3/\text{min}$ , se requiere de un ventilador que sea capaz de extraer en promedio un caudal de  $70,8 \text{ m}^3/\text{s}$  que es equivalente a  $150\ 000 \text{ cfm}$  por cada chimenea de ventilación instalada.

## RECOMENDACIONES

- Para la selección y ubicación de chimeneas de ventilación, se recomienda que se considere los costos de construcción de cada chimenea de ventilación basándose en los diámetros a construirse.
- Equipar las mangas de ventilación inyectoras con las características descritas en la modelación con un caudal de  $26,75 \text{ m}^3/\text{s}$  equivalente a 56 680 cfm, por cada manga de ventilación. Esta instalación permitirá llegar con el caudal requerido hasta las 200 m del frente ciego de la rampa principal de acceso.
- Equipar las chimeneas de ventilación extractores con las características descritas en la modelación con un caudal de  $70,8 \text{ m}^3/\text{s}$  equivalente a 150 000 cfm, esta instalación permitirá llegar con el caudal requerido hasta las últimas labores proyectados.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

### Bibliografía

Andrade S. (2008). *Guía Metodológica de Seguridad para Proyectos de Ventilación de Minas*. Santiago-Chile: Depto. de Informática-SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería).

Córdova E. (2012). *Estimación de requerimientos de aire en minas que utilizan métodos de Open Stopping*. United States/North American Ventilation Symposium, University of Utah, Dept. of Mining Engineering, 8.

D.S. 024-2016-EM, .. (2016). *Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional*. Lima-Perú: Mercurio Peruano.

Enriquez J., R. (2011). *Evaluación del Sistema de Ventilación de la Compañía Minera San Ignacio de Morococha - Mina San Vicente, aplicando el Software Ventsim 3.9*. Puno.

Giménez P. (2011). *Ventilación de Minas Subterráneas y túneles*. Peru: Edición III.

Hartman L. (1991). *Ventilación de la mina y aire acondicionado*. New York: MACGRAW HILL.

IIMP., I. d. (1989). *Manual de Ventilación de Minas del Perú*. Lima-Peru.

Jimenez, A. P. (2011). *Ventilación de Minas Subterráneas y Túneles*. Lima: Juan Carlos Editorial.

López C. (2014). *Estudio del sistema de ventilación a implementar en la ampliación de una mina metálica mediante el Software VentSim*. España: Tesis para optar el grado de Máster en Ingeniería Energética - Universidad de Oviedo.

Mallqui T. (1981). *Ventilación de Minas*. Huancayo: Huancayo-Impresiones.

Naira, A. A. (1999). *Ventilación del Desarrollo de la Galería 385 - Santa Ana*. Compañía Minera Ananea - Rinconada.

- Novitzky A, .. (1962). *Ventiladores para Minas, Acondicionamiento del Aire Incendios Subterráneo y Salvamento*. Buenos Aires: Impreso en la Argentina.
- Ramirez H. (2005). *Ventilacion de Minas "Modulo de capacitacion tecnico ambiental"*. Chaparra-Perú.
- Rueda N, .. (2012). Optimización del sistema de ventilacion en una mina de gran altura, Compañía Minera Raura. *United States/North American Mine Ventilation Symposium, Univerity of Utah, Department of Mining Enrineering*, 8.
- Tapia, M. A. (2006). *Ventilacion de Minas*. Huancayo: Huancayo Impresiones.
- Universidad Politécnica de Madrid. (1974). *Curso de laboreo de minas*. Madrid.
- Vejarano A. (1998). *Ventilacion de Minas*. Lima-Peru.
- Zitrón. (2010). *Ventilación de Minas*. Gijón-Asturias-España.

## **ANEXOS**

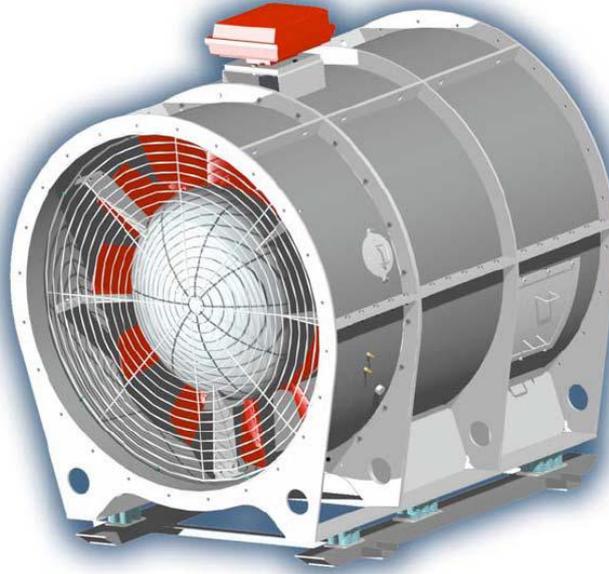
**Anexo 01****Límites de exposición ocupacional para agentes químicos**

Polvo inhalable	: 10 mg/ m <sup>3</sup> .
Polvo respirable	: 3 mg/ m <sup>3</sup> .
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	: Mínimo 19,5 % y máx. 22,5 %
Dióxido de carbono	: Máximo 9 000 mg/ m <sup>3</sup> . ó 5 000 ppm. 30 000 por un lapso no superior de 15 min.
Monóxido de carbono	: Máximo 29 mg/ m <sup>3</sup> . ó 25 ppm
Metano (NH <sub>4</sub> )	: Máximo 5 000 ppm
Hidrogeno Sulfurado	: Máximo 14 mg/ m <sup>3</sup> . ó 10 ppm
Gases Nitrosos (NO <sub>2</sub> )	: Máximo 7 mg/ m <sup>3</sup> . de 3 ppm ó 5 ppm
Gases Nitrosos (NO)	: 25 ppm
Anhídrido Sulfuroso	: 2 ppm mínimo a 5 ppm máximo
Aldehídos	: Máximo 5 ppm
Hidrogeno (H)	: Máximo 5 000 ppm
Ozono	: Máximo 0,1 ppm

Fuente: DS-024-2016-EM

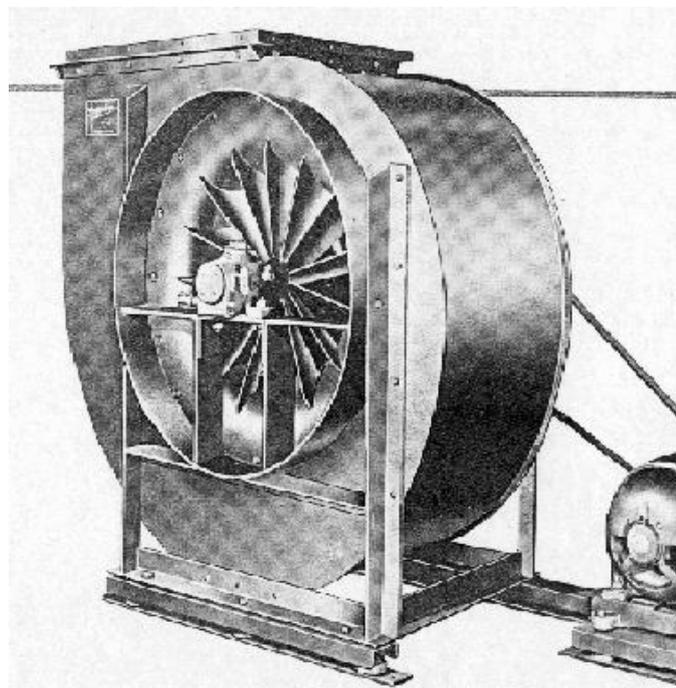
**Anexo 02**

**Ventilador axial**



Fuente: Zitron-2010

**Ventilador centrifugo**



Fuente: ISTECH-2000

Anexo 03

Valores límite de referencia para estrés térmico

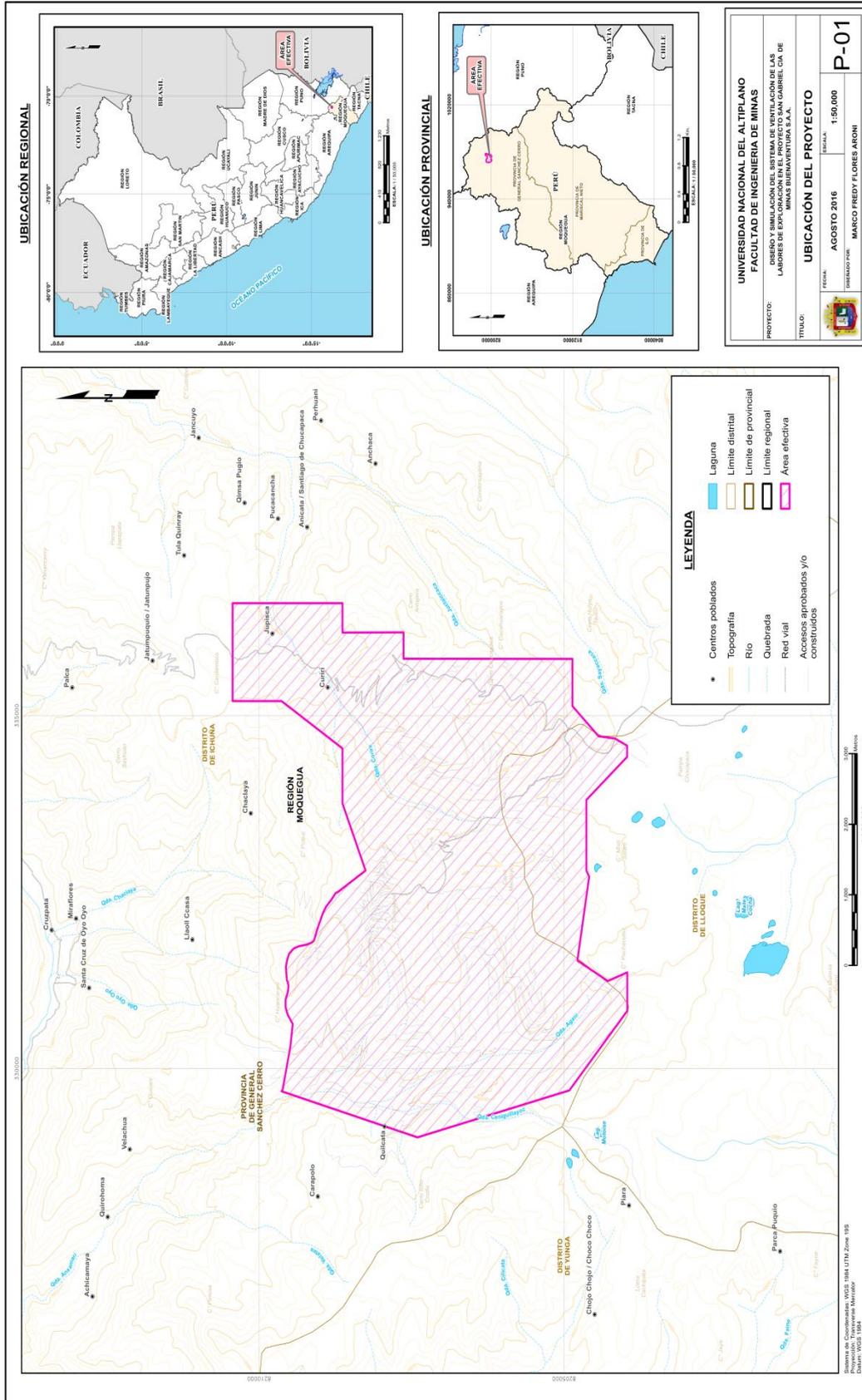
Ubicación del trabajo dentro de un ciclo de trabajo-descanso	Valor Límite (TGBH en °C)				Nivel de Acción (TGBH en °C)			
	Ligero	Moderado	Pesado	Muy Pesado	Ligero	Moderado	Pesado	Muy Pesado
75% a 100%	31	28	---	---	28	25	---	---
50% a 75%	31	29	27.5	---	28.5	26	24	---
25% a 50%	32	30	29	28	29.5	27	25.5	24.5
0% a 25%	32.5	31.5	30.5	30	30	29	28	27

Fuente:

- **ACGIH - Conferencia Americana de Higienistas Industriales y Gubernamentales**
- RM 375-2008-TR Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico.

Anexo 04

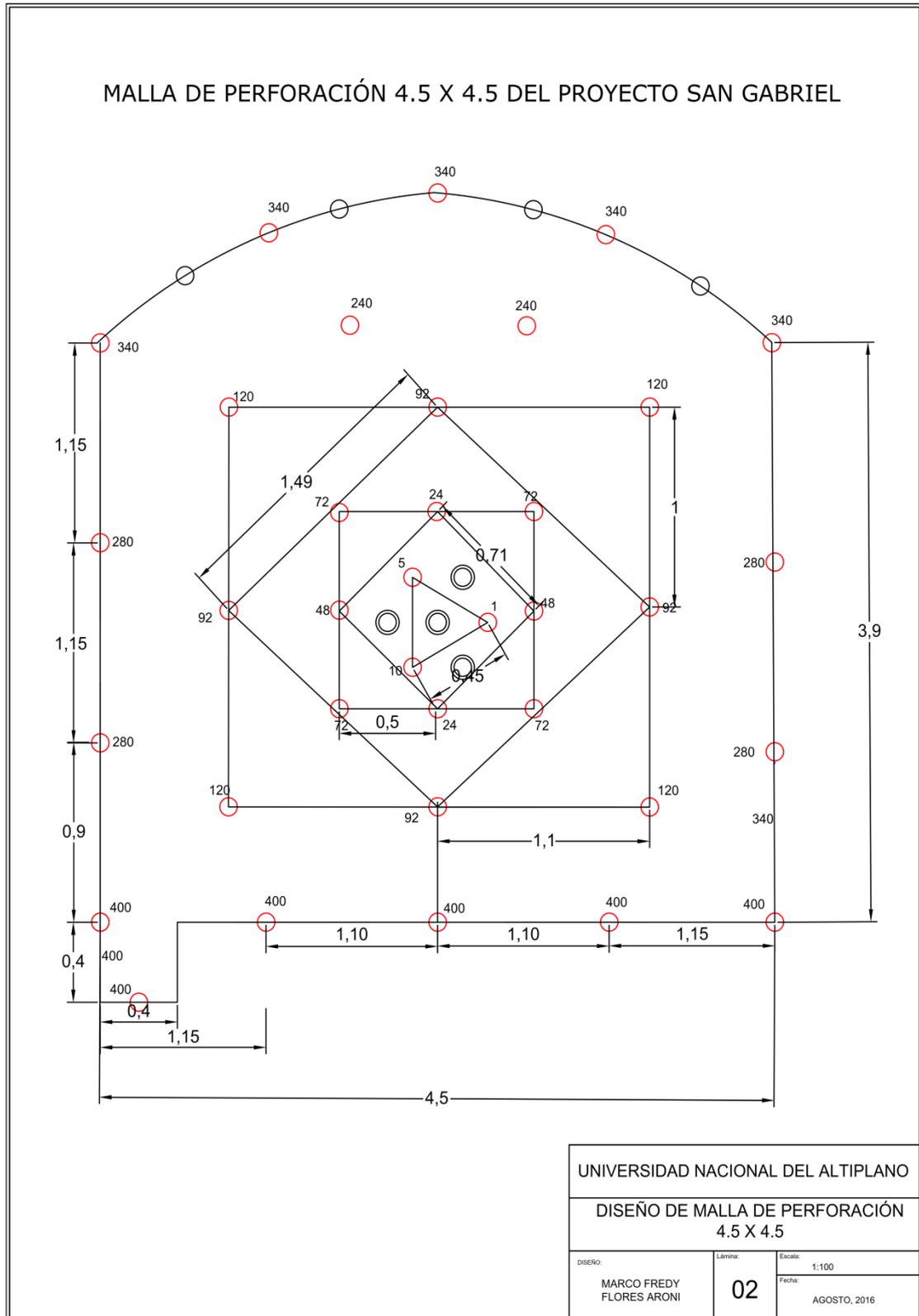
Plano de ubicación de proyecto San Gabriel



Fuente: INSIDEO

Anexo 05

Malla de perforación de 4,5 m x 4,5 m del proyecto San Gabriel



Fuente: INSIDEO

## Anexo 06

## Parámetros Meteorológicos

## Estación A-1

Parámetros meteorológicos (campo)					
Estación de muestreo			A-1		
Tipo de muestra			Calidad de aire		
Fecha y hora del muestreo			30/05/2015 14:00		
Parámetro	Unidad	Fecha de análisis	Límite de detección	Límite de cuantificación	Resultado
Dirección de viento	...	06/06/2015	...	...	S
Humedad relativa	%	06/06/2015	0,1	...	17,0
Presión atmosférica	kPa	06/06/2015	0,1	...	55,22
Temperatura a nivel del suelo	°C	06/06/2015	0	...	1,2
Velocidad del viento	m/s	06/06/2015	0,1	...	7,1

Fuente: Corporación Laboratorios Ambientales del Perú S.A.C. – CORPLAB

## Estación A-2

Parámetros meteorológicos (campo)					
Estación de muestreo			A-2		
Tipo de muestra			Calidad de aire		
Fecha y hora del muestreo			27/05/2015 09:30:00		
Parámetro	Unidad	Fecha de análisis	Límite de detección	Límite de cuantificación	Resultado
Dirección de viento	...	06/06/2015	...	...	SE
Humedad relativa	%	06/06/2015	0,1	...	27,6
Presión atmosférica	kPa	06/06/2015	0,1	...	58,47
Temperatura a nivel del suelo	°C	06/06/2015	0	...	2,3
Velocidad del viento	m/s	06/06/2015	0,1	...	6,4

Fuente: Corporación Laboratorios Ambientales del Perú S.A.C. – CORPLAB

**Estación A-3**

<b>Parámetros meteorológicos (campo)</b>					
Estación de muestreo			A-3		
Tipo de muestra			Calidad de aire		
Fecha y hora del muestreo			28/05/2015 11:00:00		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Fecha de análisis</b>	<b>Límite de detección</b>	<b>Límite de cuantificación</b>	<b>Resultado</b>
Dirección de viento	...	06/06/2015	...	...	W
Humedad relativa	%	06/06/2015	0,1	...	15,6
Presión atmosférica	kPa	06/06/2015	0,1	...	56,59
Temperatura a nivel del suelo	°C	06/06/2015	0	...	-0,5
Velocidad del viento	m/s	06/06/2015	0,1	...	8,0

Fuente: Corporación Laboratorios Ambientales del Perú S.A.C. – CORPLAB

**Estación A-4**

<b>Parámetros meteorológicos (campo)</b>					
Estación de muestreo			A-4		
Tipo de muestra			Calidad de Aire		
Fecha y hora del muestreo			29/05/2015 13:00:00		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Fecha de análisis</b>	<b>Límite de detección</b>	<b>Límite de cuantificación</b>	<b>Resultado</b>
Dirección de viento	...	06/06/2015	...	...	W
Humedad relativa	%	06/06/2015	0,1	...	15,1
Presión atmosférica	kPa	06/06/2015	0,1	...	56,96
Temperatura a nivel del suelo	°C	06/06/2015	0	...	0,3
Velocidad del viento	m/s	06/06/2015	0,1	...	5,0

Fuente: Corporación Laboratorios Ambientales del Perú S.A.C. – CORPLAB

**Estación A-2**

<b>Parámetros meteorológicos (campo)</b>					
Estación de muestreo			A-2		
Tipo de muestra			Calidad de aire		
Fecha y hora del muestreo			20/11/2015 09:00:00		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Fecha de análisis</b>	<b>Límite de detección</b>	<b>Límite de cuantificación</b>	<b>Resultado</b>
Dirección de viento	...	26/11/2015	...	...	W
Humedad relativa	%	26/06/2015	0,1	...	46,4
Presión atmosférica	kPa	26/06/2015	0,1	...	58,38
Temperatura a nivel del suelo	°C	26/06/2015	0	...	6,1
Velocidad del viento	m/s	26/06/2015	0,1	...	7,4

Fuente: Corporación Laboratorios Ambientales del Perú S.A.C. – CORPLAB

**Estación A-3**

<b>Parámetros meteorológicos (campo)</b>					
Estación de muestreo			A-3		
Tipo de muestra			Calidad de aire		
Fecha y hora del muestreo			21/11/2015 10:00:00		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Fecha de análisis</b>	<b>Límite de detección</b>	<b>Límite de cuantificación</b>	<b>Resultado</b>
Dirección de viento	...	06/06/2015	...	...	N
Humedad relativa	%	06/06/2015	0,1	...	82,0
Presión atmosférica	kPa	06/06/2015	0,1	...	56,81
Temperatura a nivel del suelo	°C	06/06/2015	0	...	3,8
Velocidad del viento	m/s	06/06/2015	0,1	...	3,7

Fuente: Corporación Laboratorios Ambientales del Perú S.A.C. – CORPLAB

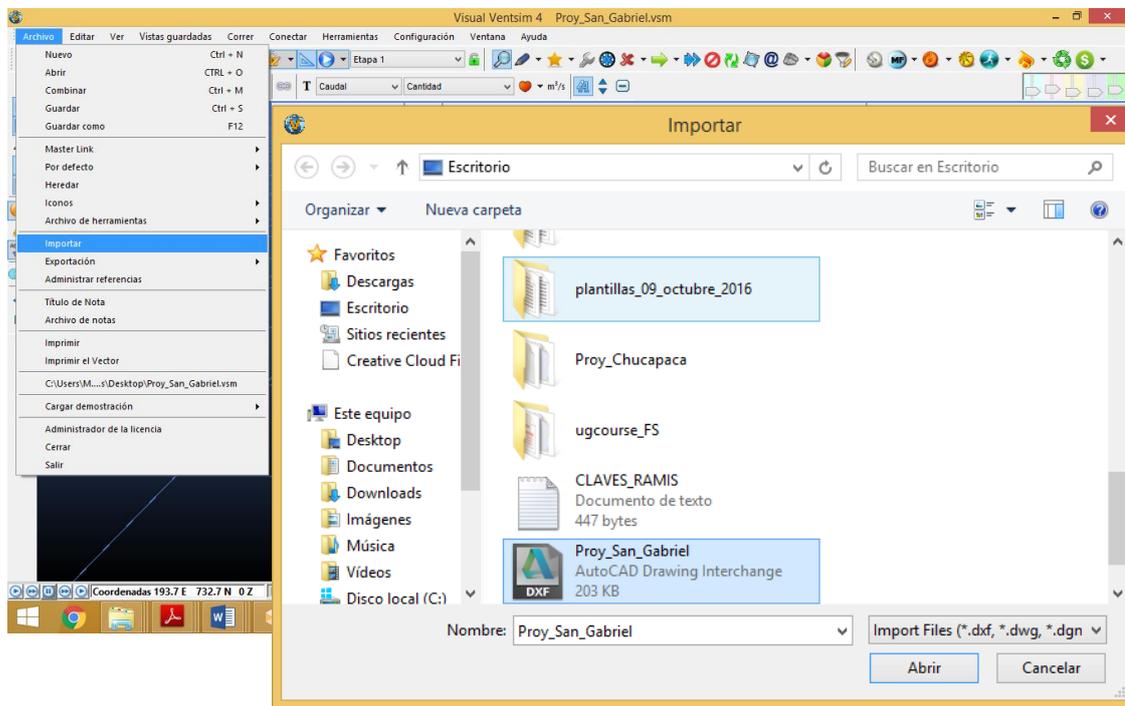
**Estación A-4**

<b>Parámetros meteorológicos (campo)</b>					
Estación de muestreo			A-4		
Tipo de muestra			Calidad de aire		
Fecha y hora del muestreo			22/11/2015 10:00:00		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Fecha de análisis</b>	<b>Límite de detección</b>	<b>Límite de cuantificación</b>	<b>Resultado</b>
Dirección de viento	...	06/06/2015	...	...	NE
Humedad relativa	%	06/06/2015	0,1	...	59,1
Presión atmosférica	kPa	06/06/2015	0,1	...	56,33
Temperatura a nivel del suelo	°C	06/06/2015	0	...	2,9
Velocidad del viento	m/s	06/06/2015	0,1	...	3,8

Fuente: Corporación Laboratorios Ambientales del Perú S.A.C. – CORPLAB

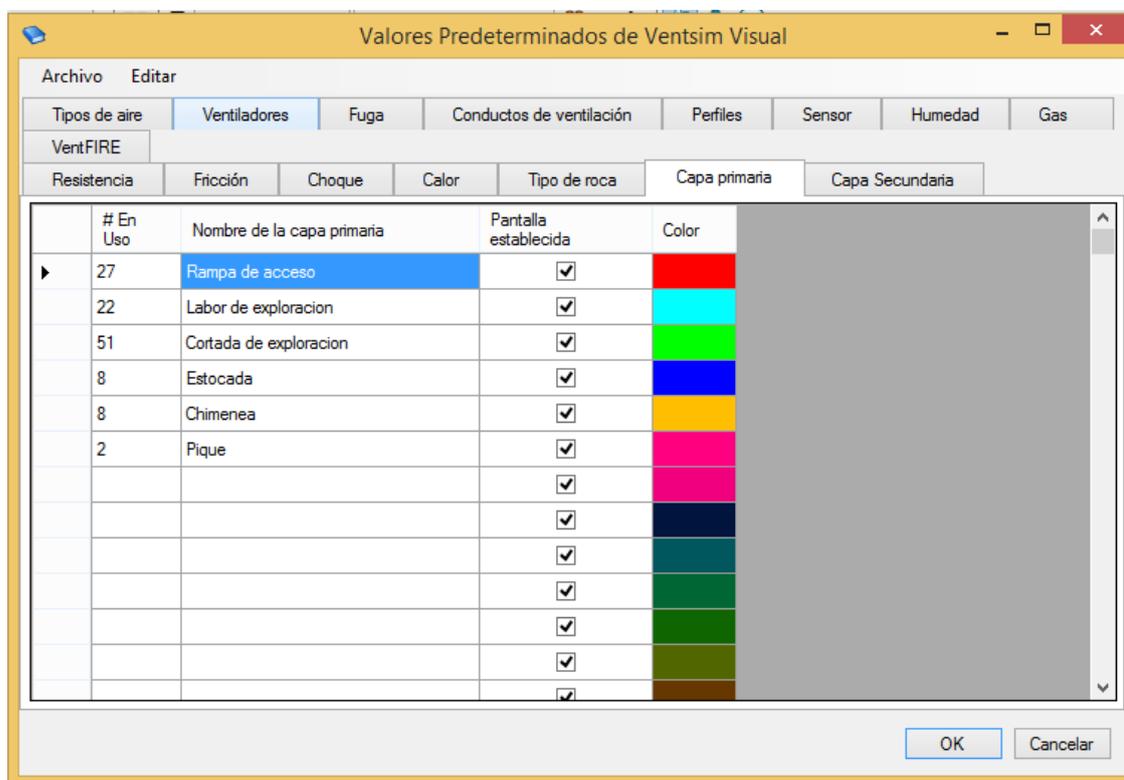
Anexo 07

Importación de labores a partir de un archivo dxf



Fuente: Elaboración propia.

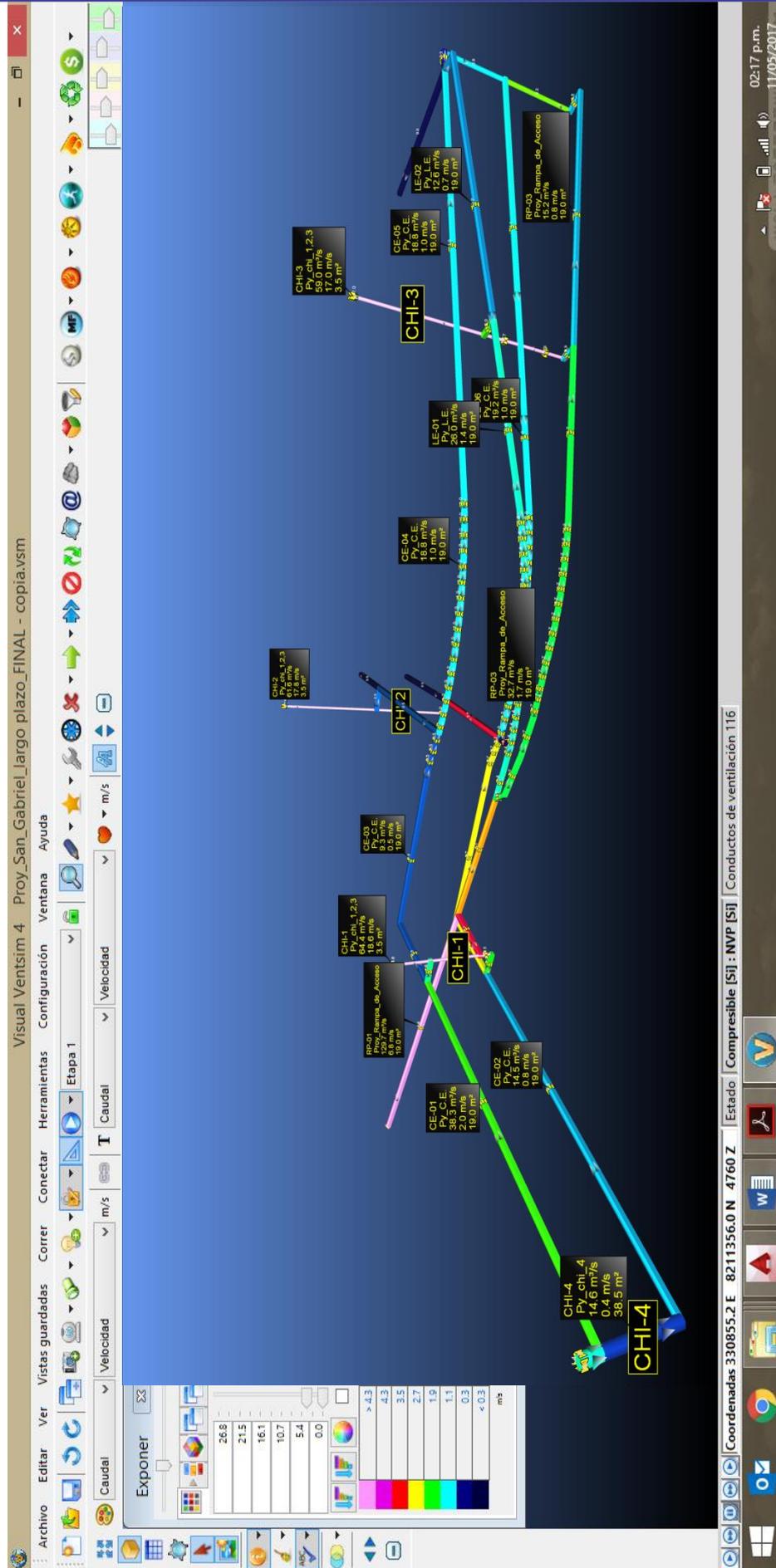
Generación de niveles



Fuente: Elaboración propia.

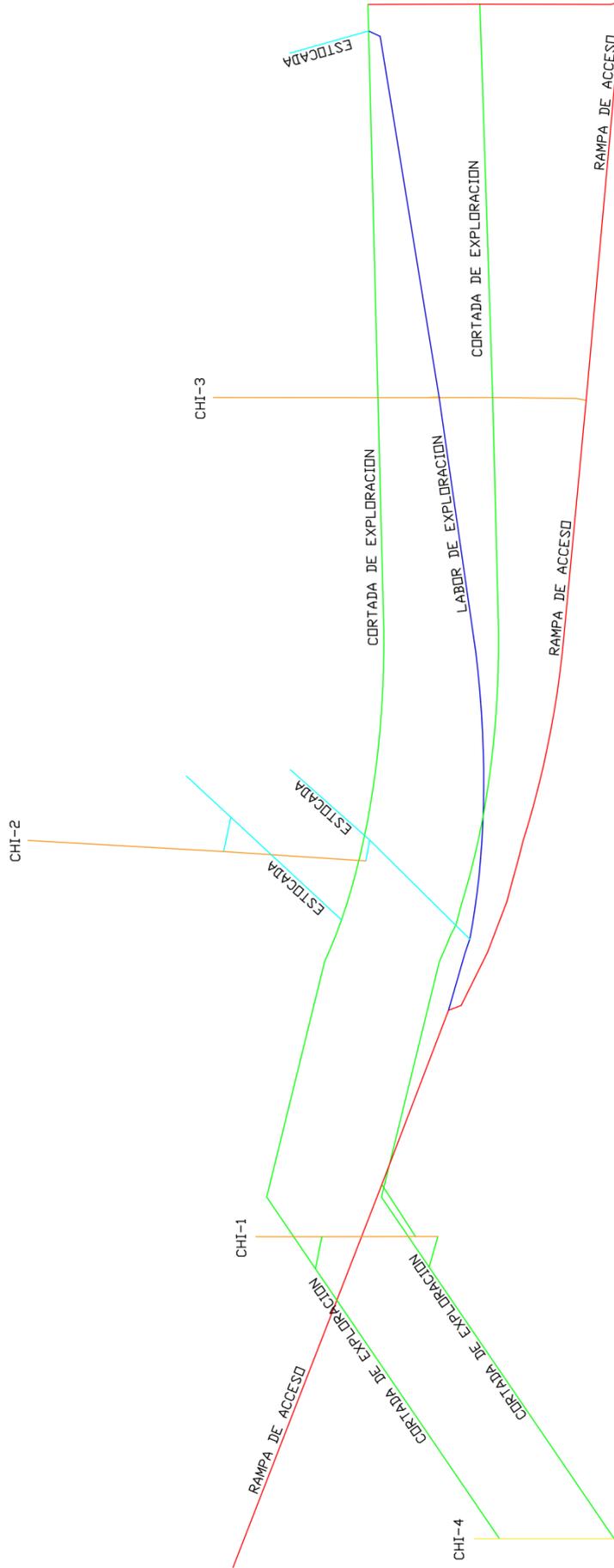
ANEXO N° 08

Plano unifilar de ventilación con Ventsim



Fuente: Elaboración propia

# PLANO ISOMÉTRICO DEL PROYECTO SAN GABRIEL

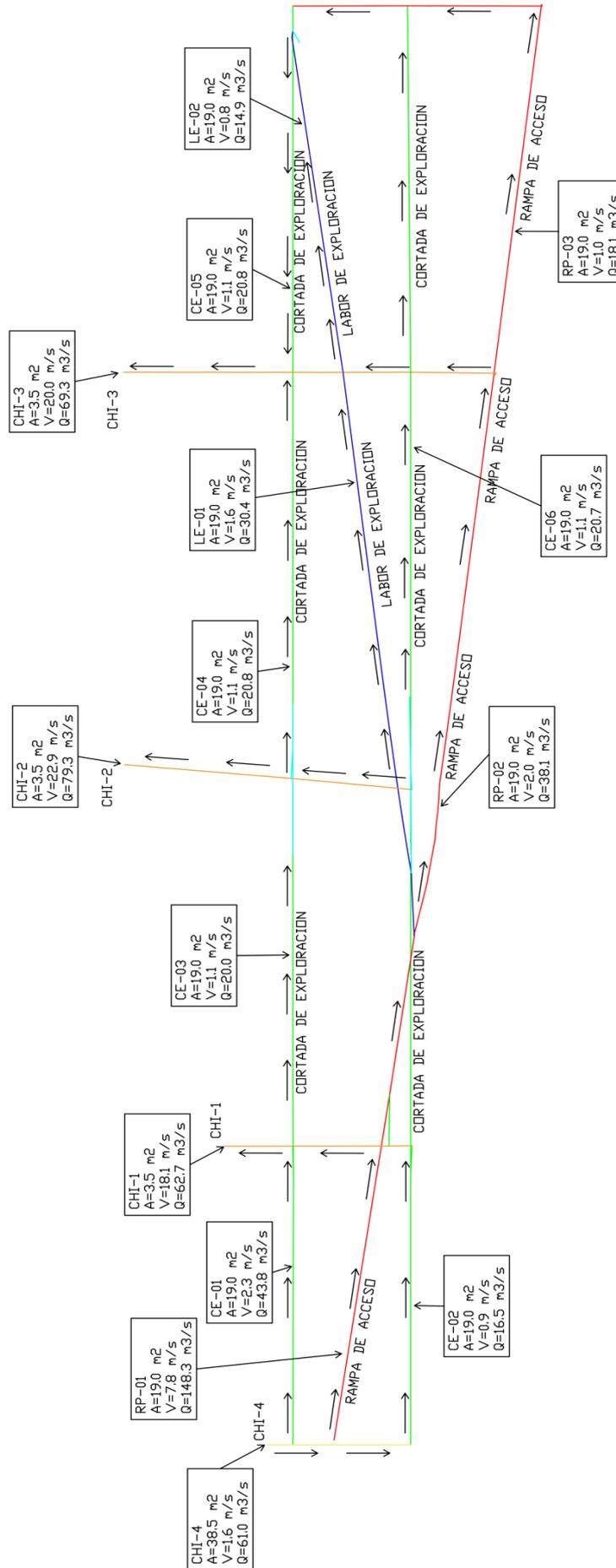


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

PLANO ISOMETRICO DEL PROYECTO SAN GABRIEL

DISEÑO:	ESCALA:	FECHA:
MARCO FREDY FLORES ARONI	M	AGOSTO, 2016
LÁMINA:	03	

PLANO UNIFILIAR DEL PROYECTO SAN GABRIEL



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

PLANO UNIFILIAR DEL PROYECTO SAN GABRIEL

DISEÑO:	MARCO FREDY FLORES ARONI	Escala:	M
Lamina:	04	Fecha:	AGOSTO, 2016