

**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**TESIS**

**Implementación y simulación del sistema de ventilación con el software ventsim visual en la  
Mina San Valentín s.a. – Curahuasi – Apurímac - 2019**

**Presentado por:**

**Enslin René Vera Warthon**

**Para optar el Título de Ingeniero de minas**

**Abancay, Perú**

**2021**



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**“IMPLEMENTACIÓN Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN CON  
EL SOFTWARE VENTSIM VISUAL EN LA MINA SAN VALENTÍN S.A. –  
CURAHUASI – APURÍMAC - 2019”**

Presentado por **Enslin René Vera Warthon**, para optar el Título de: Ingeniero de Minas

Sustentado y aprobado 09 de junio de 2021 ante el jurado evaluador:

**Presidente:**

  
\_\_\_\_\_  
*Mg. Franklin Aguirre Huillcas*


**Primer Miembro:**

  
\_\_\_\_\_  
*Ing. Darío Dante Sánchez Castillo*

**Segundo Miembro:**

  
\_\_\_\_\_  
*Ing. José Cárdenas Catalán*

**Asesor:**

  
\_\_\_\_\_  
*Mg. Walquer Huacani Calsin*

## **Agradecimiento**

*Al concluir una etapa maravillosa de mi vida quiero extender un agradecimiento, a quienes hicieron posible este sueño, aquellos que junto a mi caminaron en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza. Esta mención en especial para Dios, mis padres, mis abuelos(as), mis tíos(as), mis hermanas(os), mis primos(as), mis sobrinas(os), mi pareja y mi hijo. Muchas gracias a ustedes por demostrarme que “El verdadero amor no es otra cosa que el deseo inevitable de ayudar al otro para que este se supere.”*

*Mi gratitud, también a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, mi agradecimiento sincero al asesor de mi tesis, Mg. Walquer Huacani Calsin, gracias a cada docente quienes con su apoyo y enseñanzas constituyen la base de mi vida profesional.*

*Gracias infinitas a todos.*



## **Dedicatoria**

*El presente trabajo lo dedico primeramente a Dios, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando he estado a punto de caer; por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar.*

*A mi familia por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por confiar y creer en mis perspectivas.*

*A mi hijo Enslin Gadhyel quien ha sido mi mayor motivación para nunca rendirme y poder llegar a ser un ejemplo para él.*

“Implementación y simulación del sistema de ventilación con el software ventsim visual en la Mina San Valentín s.a. – Curahuasi – Apurímac - 2019”.

Línea de investigación: Minería y procesamiento de minerales

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



<b>ÍNDICE</b>	<b>Pàg.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>RESUMEN</b> .....	2
<b>ABSTRACT</b> .....	3
<b>CAPÍTULO I</b> .....	4
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	4
1.1.Descripción del problema.....	4
1.1.1.  Enunciado del Problema.....	4
1.1.2.  Problema general.....	5
1.1.3.  Problemas específicos .....	5
1.2.Justificación.....	5
<b>CAPÍTULO II</b> .....	7
<b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b> .....	7
2.1.Objetivos de la investigación .....	7
2.1.1.  Objetivo General .....	7
2.1.2.  Objetivo específico.....	7
2.2.Hipótesis de la Investigación (si corresponde por el tipo de investigación) .....	7
2.2.1.  Hipótesis general .....	7
2.2.2.  Hipótesis específicas .....	7
2.3.Definición de Variables.....	8
2.3.1.  Variable independiente.....	8
2.3.2.  Variable dependiente.....	8
2.4.Operacionalización de variables.....	8
<b>CAPÍTULO III</b> .....	9
<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b> .....	9
3.1.Antecedentes .....	9



3.1.1.	A nivel Internacional.....	9
3.1.2.	A nivel Nacional.....	11
3.1.3.	A nivel Local.....	12
3.2.	Marco referencial / Base teórica.....	13
3.2.1.	Generalidades.....	13
3.2.2.	Topografía.....	15
3.2.3.	Operaciones.....	16
3.2.4.	Geología regional.....	16
3.2.5.	Fisiografía.....	21
3.2.6.	Clima y vegetación.....	23
3.2.7.	Geología económica.....	25
3.3.	Bases teóricas.....	28
3.3.1.	Aire.....	28
3.3.2.	Aire de mina.....	28
3.3.3.	Respiración humana.....	29
3.3.4.	Gases presentes en la atmósfera de mina.....	29
3.3.5.	Límites máximos permisibles.....	30
3.3.6.	La presión.....	32
3.3.7.	Temperatura.....	32
3.3.8.	Caudal de aire.....	33
3.3.9.	Necesidad de aire para ventilación de mina.....	33
3.3.10.	Caída de presión o pérdidas.....	35
3.3.11.	Fórmula Atkinson.....	37
3.3.12.	Factor de presión (K).....	39
3.3.13.	Resistencia equivalente de la mina.....	40
3.3.14.	Circuitos de ventilación.....	40
3.3.15.	Ventilación subterránea.....	42



3.3.16. Tipos de ventilación .....	42
3.3.17. Sistema de ventilación.....	43
3.3.18. Ventilador.....	45
3.3.19. Curva característica del ventilador.....	47
3.3.20. Mangas de ventilación.....	47
3.3.21. Software de ventilación de minas VentSim Visual .....	48
3.3.22. Simulación con VentSim Visual .....	48
3.3.23. Diseño de sistema de ventilación de minas .....	48
3.3.24. Carta Psicométrica.....	49
3.4. Definición de términos (marco conceptual) .....	50
3.4.1. Definición de ventilación de minas .....	50
3.4.2. Aire de mina. ....	51
3.4.3. Gases presentes en las minas.....	51
3.4.4. Polvo en las minas.....	52
3.4.5. Condiciones termo-ambientales .....	52
3.4.6. Psicrometría.....	52
3.4.7. Resistencia.....	53
3.4.8. Pérdida de presión .....	53
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>54</b>
<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>54</b>
4.1. Tipo y diseño de la investigación .....	54
4.1.1. Tipo .....	54
4.2. Población y muestra .....	54
4.2.1. Población.....	54
4.2.2. Muestra.....	54
4.3. Procedimiento de la investigación.....	54
4.3.1. Trabajo de campo .....	54





4.3.2. Trabajo de gabinete .....	55
4.4. Material de investigación .....	61
4.4.1. Instrumentos de investigación .....	61
4.4.2. Diseño de material de investigación.....	62
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>64</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>64</b>
5.1. Descripción de los resultados .....	64
5.1.1. Diagnóstico inicial de red de ventilación .....	64
5.1.2. Requerimiento de caudal de Aire .....	69
5.1.3. Caudal de aire requerido.....	70
5.2. Parámetros para el dimensionamiento del ventilador.....	74
5.2.1. Velocidad de aire en la galería .....	74
5.2.2. Sección de la manga.....	74
5.2.3. Determinando la capacidad del ventilador .....	75
5.3. Requerimiento de aire vs caudal de ingreso de aire en forma natural.....	79
5.4. Simulación del sistema de Ventilación .....	80
5.4.1. Introducir o importar a VentSim Visual.....	80
5.4.2. Visualización previa para la introducir los datos geométricos.....	82
5.4.3. Visualización previa de ingreso y salida de aire .....	82
5.4.4. Simulación del circuito de ventilación con datos tomados de campo.....	83
5.4.5. Resultado de la simulación.....	85
5.4.6. Simulación del circuito de ventilación con datos determinados según requerimiento.....	86
5.4.7. Instalación de sistema de ventilación auxiliar a la labor ciega.....	88
5.4.8. Introducir el ventilador auxiliar.....	91
5.5. Evaluación del sistema de ventilación.....	95
5.6. Sistema de ventilación para labores proyectadas .....	95



5.7. Contrastación de hipótesis (si corresponde por el tipo de investigación) .....	98
5.8. Discusión de resultados .....	99
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>101</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>101</b>
6.1. Conclusiones .....	101
6.2. Recomendaciones .....	101
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>103</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>106</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Coordenadas de la concesión Niño Divino</i> .....	13
<b>Tabla 2</b> <i>Coordenadas de ubicación de las labores de la mina San Valentín</i> .....	14
<b>Tabla 3</b> <i>Acceso para llegar a la mina San Valentín</i> .....	15
<b>Tabla 4</b> <i>Composición de aire seco</i> .....	28
<b>Tabla 5</b> <i>Inhalación de oxígeno y aire de la respiración humana</i> .....	29
<b>Tabla 6</b> <i>Cantidad de aire mínimo requerido por persona</i> .....	34
<b>Tabla 7.</b> <i>Valores típicos del coeficiente de fricción K</i> .....	39
<b>Tabla 8</b> <i>Ingreso de aire a las labores</i> .....	64
<b>Tabla 9</b> <i>Salida de aire de las labores.</i> .....	65
<b>Tabla 10</b> <i>Cálculo de flujos labor San Valentín 1</i> .....	66
<b>Tabla 11</b> <i>Cálculo de flujos labor San Valentín 2</i> .....	67
<b>Tabla 12</b> <i>Monitoreo inicial de gases en la galería 4350 – 4400</i> .....	68
<b>Tabla 13</b> <i>Cantidad de aire requerido por equipos diésel</i> .....	72
<b>Tabla 14</b> <i>Cantidad de aire requerido para la dilución de contaminantes.</i> .....	73
<b>Tabla 15</b> <i>Cantidad total de aire requerido para la mina San Valentín.</i> .....	73
<b>Tabla 16</b> <i>Resumen de parámetros</i> .....	75
<b>Tabla 17</b> <i>Valores de Presión atmosférica en función de la altura</i> .....	77
<b>Tabla 18.</b> <i>Ingreso de aire natural y caudal de aire requerido.</i> .....	79



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Ubicación del derecho minero Niño Divino - Aruntani SAC</i> .....	14
<b>Figura 2</b> <i>Localización de la concesión minera San Valentín S.A</i> .....	15
<b>Figura 3</b> <i>Afloramiento de Calizas de la Fm. Arcurquina, cerca al poblado de Curahuasi ....</i>	19
<b>Figura 4</b> <i>Afloramiento de areniscas cuarzosas de la Fm. Hualhuani en el tramo de la Carretera Curahuasi-Puente Cunyacc, en el distrito de Curahuasi, provincia de Abancay</i> .....	20
<b>Figura 5</b> <i>Mina de sal Carquique Huanipaca Abancay</i> .....	27
<b>Figura 6</b> <i>Circuito en paralelo</i> .....	41
<b>Figura 7</b> <i>Circuito en serie</i> .....	42
<b>Figura 8</b> <i>Ventilación impelente</i> .....	44
<b>Figura 9</b> <i>Ventilación aspirante</i> .....	44
<b>Figura 10</b> <i>Ventilador centrífugo</i> .....	45
<b>Figura 11</b> <i>Ventilador de hélice</i> .....	46
<b>Figura 12</b> <i>Ventilador axial</i> .....	47
<b>Figura 13</b> <i>Carta Psicométrica para determinar las propiedades del aire atmosférico</i> .....	50
<b>Figura 14</b> <i>Entorno del Programa VentSim Visual V 5.1</i> .....	56
<b>Figura 15</b> <i>Resistencia que ofrece la mina y análisis económico en VentSim Visual V 5.1</i> .....	57
<b>Figura 16</b> <i>Importación de archivos DXF al VentSim Visual V 5.1 para la simulación</i> .....	58
<b>Figura 17</b> <i>Entorno del Programa VentSim Visual V 5.1</i> .....	59
<b>Figura 18</b> <i>Entorno del Programa MineSight</i> .....	60
<b>Figura 19</b> <i>Entorno del Programa VentSim Visual V 5.1</i> .....	60
<b>Figura 20</b> <i>Entorno del Programa VentSim Visual V 5.1 (Importación de la topografía y labores)</i> .....	61
<b>Figura 21</b> <i>Cuadro comparativo de barras de gases presentes en mina con los límites máximos permisibles</i> .....	69
<b>Figura 22</b> <i>Comparativo de barras de caudal de aire requerido y caudal de aire presente en la mina</i> .....	80
<b>Figura 23</b> <i>Exportación del MineSight al formato DXF</i> .....	81
<b>Figura 24</b> <i>Importación del formato DXF al programa VentSim</i> .....	81
<b>Figura 25</b> <i>Configuración del sistema en el programa VentSim</i> .....	82
<b>Figura 26</b> <i>Vista del Ingreso y salida de aire</i> .....	83
<b>Figura 27</b> <i>Vista del Ingreso, salida de aire y topografía en 3D</i> .....	83
<b>Figura 28</b> <i>Vista de salida de aire de la labor 2</i> .....	84



<b>Figura 29</b> <i>Vista de labor ciego de la mina San Valentín S.A</i> .....	85
<b>Figura 30</b> .....	86
<b>Figura 31</b> <i>Entrada de flujo de aire labor 1</i> .....	87
<b>Figura 32</b> <i>Salida de flujo de aire labor 2</i> .....	87
<b>Figura 33</b> <i>Visualización de la labor ciego</i> .....	88
<b>Figura 34</b> <i>Construcción de ducto de ventilación</i> .....	89
<b>Figura 35</b> <i>Datos del ducto de ventilación y visualización del ducto de ventilación</i> .....	89
<b>Figura 36</b> <i>Instalación de ventilador auxiliar de flujo de 18000 cfm</i> .....	90
<b>Figura 37</b> <i>Simulación del ventilador auxiliar método combinado</i> .....	90
<b>Figura 38</b> <i>Configuración de contaminantes</i> .....	91
<b>Figura 39</b> <i>Ingreso de la curva del ventilador</i> .....	92
<b>Figura 40</b> <i>Ingresando valores de presión total, presión dinámica, eficiencia y poder del ventilador</i> .....	92
<b>Figura 41</b> <i>Resultado de datos ingresados anteriormente en la ventana de digitalización de curva de ventilador</i> .....	94
<b>Figura 42</b> <i>Ubicación del ventilador Axial en la labor ciego</i> .....	94
<b>Figura 43</b> <i>Vista final en perfil del proyecto de instalación del sistema de ventilación</i> .....	95
<b>Figura 44</b> <i>Chimenea proyectada extracción de aire y labores de desarrollo</i> .....	96
<b>Figura 45</b> <i>Labores de desarrollo proyectada</i> .....	97
<b>Figura 46</b> <i>Instalación del ventilador auxiliar pequeño en las labores de desarrollo proyectada</i> .....	98



## INTRODUCCIÓN

En la CONCESIÓN MINERA SAN VALENTÍN S.A. – CURAHUASI – APURÍMAC, las actividades de extracción del yacimiento y servicios auxiliares constituyen como una de las etapas más importantes para su desarrollo de su actividad, es necesario tener en cuenta el diseño del sistema de ventilación para alcanzar los mejores resultados en las operaciones de minado subterráneo y considerando estos fundamentos se realiza la presente tesis titulado “IMPLEMENTACIÓN Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN CON EL SOFTWARE VENTSIM VISUAL EN LA MINA SAN VALENTÍN S.A. – CURAHUASI – APURÍMAC - 2019”.

Para la evaluación del sistema de ventilación, es muy importante tener en cuenta los detalles de toma de puntos en las labores, para obtener los mejores resultados en el levantamiento de los conductos de ventilación, para poder ingresar la base de datos de puntos al software VentSim Visual, y realizar una buena distribución del aire limpio dentro de las labores mineras.

La aplicación del software VentSim Visual, hoy en día en la evaluación de las necesidades de aire en las labores mineras subterráneas se está utilizando en la mayoría de las empresas mineras, esto porque reduce costos, tiempo, planifica con mayor detalle los puntos críticos donde la ventilación es deficiente, determina las caídas de presión, los caudales de aire que circulan y otros parámetros, con el presente proyecto se estará beneficiándose económicamente la MINA SAN VALENTÍN S.A. – CURAHUASI – APURÍMAC.

El trabajo de investigación consta de cinco capítulos, en el capítulo I, se considera el planteamiento del problema razón de la tesis, en el capítulo II, se desarrolla el marco teórico describiendo las bases teóricas para el proyecto y definiciones conceptuales que serán la base de sustento para realizar el trabajo de investigación, en el capítulo III, se detallan las variables que intervienen, el proceso de la metodología de la investigación y la operacionalización de variables, en el capítulo IV, se describe los resultados de la investigación y en el capítulo V, las conclusiones y recomendaciones del Sistema de Ventilación con el Software VentSim Visual en la MINA SAN VALENTÍN S.A. – CURAHUASI – APURÍMAC.



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “Implementación y Simulación del Sistema de Ventilación con el Software VentSim Visual en la mina San Valentín S.A. – Curahuasi – Apurímac - 2019”. Actualmente la Unidad Minera requiere un Sistema de Ventilación para poder trabajar en óptimas condiciones. El objetivo del presente trabajo de investigación es optimizar el sistema de ventilación mediante la evaluación de la cobertura de aire en las labores mineras con el software VentSim Visual, para implementar el Sistema de Ventilación de acuerdo a los requerimientos de aire, primeramente se ha realizado un levantamiento y monitoreo del sistema de ventilación natural para ver la cobertura de flujo, dentro la investigación se efectuado la simulación de los circuitos existentes instalando ventilador auxiliar para poder suministrar el elemento vital para la existencia del ser humano y que llegue a los frentes de trabajo, actualmente las empresas mineras requieren flujos de aire debido al incremento de producción y poder mecanizar la capacidad operativa, para lograr este objetivo se requieren los equipos diesel con motores de combustión que pueden llegar a representar el 60-80% del requerimiento de aire total.

Para efectuar el presente trabajo de investigación se ha tomado en cuenta las bases teóricas y prácticas, siguiendo una metodología de la investigación. Los resultados de evaluación de simulación en el programa dieron como resultado un flujo natural de 4237,760 cfm., esto no cumplen con los requerimientos establecidos según las normas vigentes, según los cálculos en el presente trabajo de investigación se requieren un caudal de 21000 cfm.

El uso del software VentSim Visual nos permitió diseñar el sistema de ventilación de la Mina San Valentín S.A., considerando el uso de ventilador para extraer gases de las labores.

**Palabras clave:** Minería, optimizar, simulación, ventilación, ventSim visual.

## ABSTRACT

The present research work entitled "Implementation and Simulation of the Ventilation System with the VentSim Visual Software in the San Valentín S.A. mine - Curahuasi - Apurímac - 2019". Currently, the Mining Unit requires a Ventilation System in order to work in optimal conditions. The objective of this research work is to optimize the ventilation system by evaluating the air coverage in the mining work with the VentSim Visual software, to implement the Ventilation System according to the air requirements, firstly a survey and monitoring of the natural ventilation system has been done to see the flow coverage, within the investigation the simulation of the existing circuits was made installing auxiliary fan to be able to provide the vital element for the existence of the human being and that arrives at the fronts of work, at the moment the mining companies require air flows due to the increase of production and to be able to mechanize the operative capacity, to obtain this objective the diesel equipment with motors of combustion is required that can get to represent 60-80% of the total air requirement.

In order to carry out this research work, the theoretical and practical bases have been taken into account, following a research methodology. The results of the simulation evaluation in the program gave as a result a natural flow of 4237,760 cfm, this does not fulfill the requirements established according to the norms in force, according to the calculations in the present research work a flow of 21000 cfm is required.

The use of the VentSim Visual software allowed us to design the ventilation system of the Mina San Valentín S.A., considering the use of a fan to extract gases from the workings.

**Keywords:** *Mining, optimize, simulation, ventilation, visual ventSim.*



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Descripción del problema

##### 1.1.1. Enunciado del Problema

En los últimos años, los accidentes ocurridos en minería subterránea han generado pérdidas humanas debido a la falta de diseño del sistema de ventilación en la extracción de los recursos naturales del subsuelo, estos hechos han demostrado la importancia de garantizar una buena ventilación, ya que con esto se asegura el confort ambiental para las personas que laboran en el interior de mina, con temperaturas y concentraciones de gases elevadas, sino generados por las voladuras y el gas metano generado en los mantos de roca existente.

En la minería actual, se requiere una explotación constante y continua para justificar la inversión realizada, por lo el requerimiento de aire se ha convertido en un factor primordial para que los trabajadores puedan trabajar en óptimas condiciones de salud, tiempos programados y bajo los estándares establecidos, para cada frente de trabajo programado.

Con la implementación de los equipos de perforación, compresoras, equipos trackless en diferentes unidades de producción, transporte y servicios, los requerimientos de aire cada vez se incrementa debido a la ampliación y profundización de la mina, al punto de poner en evidencia que muchas empresas mineras no están en la capacidad operativa, logística ni de diseño para poder mecanizar la mina, debido principalmente a que los requerimientos de los equipos con motores de combustión diésel pueden llegar a necesitarse el (60 – 80) % del requerimiento de aire para la mina.

Dentro del actual marco legal de Ventilación de Minas (D.S. 023-2017-EM) establece una serie de estándares tanto en el requerimiento de aire para personal, equipos diésel, gases generados por la voladura y confort ambiental de calidad del aire que es proporcionado a las labores mineras. También contempla una serie de aspectos relacionados con la ventilación de minas dentro de las labores,

desde los estándares establecidos de trabajo de los ventiladores, aspectos relacionados de seguridad en el sistema de ventilación, respuesta frente cualquier emergencia, ventilación en frentes de trabajo y polvorines, hasta la disponibilidad logística de planos isométricos, evaluaciones semestrales, anuales del sistema del flujo del sistema de ventilación general de la mina y de cada circuito existente en las labores.

Debido a la falta de ventilación de las labores de producción, la mina SAN VALENTIN, ha dejado de trabajar por la profundidad e incremento de la longitud de las labores, se necesita realizar un estudio de los circuitos de ventilación existentes en forma detallada, por los problemas de falta de aire fresco, por la permanencia de gases tóxicos debido a bajas velocidades del aire estos debido a la ventilación natural, y por otro lado por profundidad de las labores mineras que cada vez se requieren.

### **1.1.2. Problema general**

¿Cómo implementar el sistema de ventilación y simular con el software VentSim Visual, en la mina San Valentín S.A. – Curahuasi – Apurímac – 2019?

### **1.1.3. Problemas específicos**

- ¿Cuál es el caudal de aire necesario para el consumo del personal, equipos en la mina San Valentín S.A. – Curahuasi – Apurímac – 2019?
- ¿Cómo diluir los gases generados en las labores mineras en forma esporádica y permanente en la mina San Valentín S.A. – Curahuasi – Apurímac – 2019?
- ¿Cómo simular la ventilación haciendo uso del software VentSim Visual?

## **1.2. Justificación**

El presente proyecto es justificable debido a que la Empresa Minera no cuenta con un sistema de ventilación para sus labores mineras, extraer sus recursos mineros, profundizar sus labores y planificar en el futuro su diseño, mediante la implementación del sistema de ventilación, habrá mejoras en lo referente a ventilación, el personal podrá trabajar en óptimas condiciones de salud y que el aire fresco fluya en todos los frentes, así como estar en la capacidad de absolver cualquier observación realizada por un proceso de fiscalización minera de parte de las entidades del estado peruano.

La ventilación de una mina es el proceso continuo de proveer aire fresco para un ambiente laboral seguro y confortable para todo el personal y equipos que trabajan en los ambientes subterráneos.

Existen cuatro razones primordiales por las que se debe de proveer ventilación en las labores de la mina:

- Oxígeno para respiración del personal.
- Para el uso de equipos diesel.
- Para diluir y eliminar los gases y polvos generados por la voladura.
- Para el confort ambiental de los trabajadores.

## CAPÍTULO II

### OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### 2.1. Objetivos de la investigación

##### 2.1.1. Objetivo General

Implementar el sistema de ventilación y simular con el software VentSim Visual, en la mina San Valentín S.A. – Curahuasi – Apurímac – 2019.

##### 2.1.2. Objetivo específico

- Determinar el caudal de aire, necesario para el consumo del personal, equipos en la mina San Valentín S.A. – Curahuasi – Apurímac – 2019.
- Diluir los gases generados en las labores mineras que se generan esporádica y permanentemente en las labores mineras.

#### 2.2. Hipótesis de la Investigación

##### 2.2.1. Hipótesis general

Con la implementación del sistema de ventilación y simulación con el software VentSim Visual se mejorará en flujo de aire en la mina San Valentín S.A. – Curahuasi – Apurímac – 2019.

##### 2.2.2. Hipótesis específicas

- Se determinó los caudales de aire necesario para el consumo del personal, equipos y explosivos en la mina San Valentín S.A. – Curahuasi – Apurímac – 2019.
- Con la implementación del sistema de ventilación se diluirá los gases generados en las labores mineras.
- Con la simulación del sistema ventilación con el software VentSim Visual se optimizará el sistema de ventilación.

Realizar la simulación de la ventilación, mediante el uso del software VentSim Visual.

## 2.3. Definición de Variables

### 2.3.1. Variable independiente

Implementación del sistema de Ventilación.

### 2.3.2. Variable dependiente

Simulación con el software VentSim Visual

## 2.4. Operacionalización de variables

Tabla 1 — Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICE
<b>Independiente.</b> Implementación del sistema de Ventilación	<b>Labores subterráneas:</b> Horizontales Verticales Inclinas Rampas Personal: Interior mina <b>Equipos interior mina:</b> Compresoras Explosivos: Anfo Dinamita Mecha <b>Consumo de aire:</b> Caudal Velocidad	m. m. m. m. Personas Und. kg. Und. m. m <sup>3</sup> /min m/min
<b>Dependiente.</b> Simulación con el software VenSim Visual	<b>Labores subterráneas:</b> Horizontales, verticales, inclinadas y rampas. Número de trabajadores Consumo de aire <b>Equipos diésel utilizados en mina.</b> Número de equipos Consumo de aire <b>Explosivos utilizados</b> En frente de trabajo Consumo de aire	Personas m <sup>3</sup> /min Und. m <sup>3</sup> /min kg. m <sup>3</sup> /min

Nota: Propio del autor.



## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 3.1. Antecedentes

El derecho minero pertenece a la Empresa ARUNTANI S.A.C., que ha sido formulada un área de 300 ha, con código 530001210, la empresa minera Anubia S.A.C. (Aruntani), actualmente es propietario de la concesión y los pobladores de la comunidad de Ccollpa son propietarios legítimos de los terrenos superficiales, hace pocos años las comunidades de Ccollpa, Pucuta y Antilla, que vivían en fraternidad desde siempre, ahora se convirtieron en una zona de conflicto entre comuneros desde el día que llegó a la zona la minera Aruntani, la cual dividió a los comuneros y enfrentó dentro la comunidad, hecho que degeneró en varios hechos lamentables. Varias veces la minera transportó a algunos comuneros, incluso ancianos, hasta Abancay para presionar a las autoridades, con el fin de sacar a los mineros comuneros de Pucuta de su territorio y dejar libre entrada a Aruntani.

Pobladores de la comunidad de Ccollpa indican que comuneros de Pucuta y terceros ajenos a ambas comunidades realizan actividades mineras informales en terrenos cuya titularidad es la comunidad de Ccollpa. Mientras tanto, la comunidad de Pucuta rechaza la presencia de la empresa minera Anubia S.A.C. (Aruntani) porque no cuentan con el acuerdo de uso de terrenos superficiales por parte de la comunidad de Ccollpa.

Actualmente existen labores de desarrollo, donde los comuneros de Pucuta, Ccollpa y Antilla realizan actividades de extracción sin el asesoramiento técnico de profesionales y de la Dirección Regional de Energía y Minas de Apurímac (DREM).

##### 3.1.1. A nivel Internacional

Cisternas (2010) en su proyecto de investigación “Distribución de aire – ventilación minería subterránea”. Señala que, cuando se haga referencia a distribución de aire, se entenderá como tal las siguientes fases: inyección de aire fresco – ventilación – extracción de aire contaminado.



La aclaración anterior obedece al hecho de que, si solo aseguramos la extracción de aire contaminado desde interior de dicho sector, mal podremos hablar de una distribución exitosa de aire.

**Castillo (2017)** en su trabajo de investigación “Evaluación del sistema de ventilación de la mina el Roble”, en sus conclusiones indica, que se describieron y conocieron las condiciones de operación de la mina el Roble además de su sistema de ventilación actual.

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

El sistema de ventilación de la mina el Roble no está cumpliendo el Reglamento 1886 de 2015, en los artículos 41, 43, 44, 46, 57 del Título II de Ventilación. Si bien se realiza un monitoreo de la atmósfera al interior de la mina midiendo las concentraciones de los gases, esta labor solo la realiza la cuadrilla de salud y seguridad de forma no permanente, los técnicos y/o expertos de la cuadrilla de control y mantenimiento del sistema de ventilación hace el control muy esporádicamente.

La cobertura actual del sistema de ventilación de la mina el Roble es aproximadamente de 16%, y la cobertura propuesta aumenta un 77%.

Los equipos y maquinaria generan la cantidad más elevada de volumen de aire contaminante en la mina. (199000 cfm), La mina no cuenta con un grupo técnico encargado de la ventilación y todo su proceso (planos, mediciones, cálculos, mantenimiento, ensayos, propuestas).

Se propusieron alternativas de mejoramiento al sistema de ventilación las cuales tienen que realizarse frecuentemente y de acuerdo con la necesidad y requerimiento de aire calculado.

La nueva bocamina del NV 2000 a raíz de su sección, generará un caudal mayor para poder permitir una salida de aire viciado de forma óptima.



López (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.

### 3.1.2. A nivel Nacional

Enríquez (2011) en su tesis titulado; “Evaluación del sistema de ventilación de la mina San Vicente – Compañía minera San Ignacio de Morococha, aplicando el software Ventsim 3.9”, en sus conclusiones indica; durante la evaluación del sistema de ventilación, es importante reducir al mínimo cualquier cambio en el sistema de ventilación, reparar puertas o tapones durante el estudio podría arrojar resultados confusos. Se tiene que mejoras el sistema de ventilación y medidas más exactas, evitar el tránsito de equipos y el apagado de ventiladores principales.

Vargas (2014) en su tesis titulado; “Diseño del circuito en un sistema de ventilación natural de la zona de Gisela – Mina Esperanza de Caravelí – Compañía minera Titán del Perú S.R.L.”, en sus conclusiones indica; Con el diseño del circuito de flujo de aire fresco, el caudal de ingreso se incrementó de 372, 60 m<sup>3</sup>/min a 453, 00 m<sup>3</sup>/min se tiene un saldo favorable de 37,00 m<sup>3</sup>/min, equivalente a una cobertura de 108,09%, que implica mejor aprovechamiento del flujo de aire.

Aguero y Álvarez (2012) en su trabajo de Investigación “Influencia de la Ventilación Natural y Mecánico en el diseño del sistema de ventilación de las Galerías del Nivel 1950 Mina Calpa- Arequipa”, cuyo objetivo fue determinar, evaluar la ventilación natural de la galería principal de extracción y la evaluación mecánica de la Galería 635W del Nivel 1950, contemplados bajo el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional y por la empresa “INTIGOLD MINING”, el estudio es importante porque nos permite conocer cuán responsable es la empresa minera “INTIGOLD MINING” de la región Arequipa; porque cada vez más las empresas del sector de la industria minera nacional están comprometidos



con la seguridad, es decir están conscientes de que sus operaciones tienen impactos, a la salud de los trabajadores, ambientales y sociales y hacer que estas sean positivas y contribuyan al desarrollo sostenido en los trabajadores, población y su entorno, las empresas no fortalecen el sistema de ventilación en proyectos mineros, Toda labor minera subterránea deberá estar dotada de aire limpio de acuerdo a las necesidades del personal, las maquinarias, 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, desde sus inicios hasta hoy día, la Ventilación de Minas tenía como objetivo central el suministro de aire fresco para la respiración de las personas y dilución-extracción de polvo y gases producto de las operaciones subterránea (voladura, extracción, carga y transporte). En estos últimos años, han aumentado fuertemente los requerimientos de aire con el objeto de poder diluir y arrastrar fuera de la mina las fuertes concentraciones de gases tóxicos emitidos por los equipos diésel “de alto tonelaje” incorporados en forma masiva a las operaciones subterráneas involucradas en los diversos métodos de explotación. Es verdad que generalmente los requerimientos actuales no se daban en el pasado con tanta intensidad, ya que entonces los ritmos de explotación en las minas no eran como los actuales y, por tanto, no podemos perder de vista que los niveles de confort y seguridad adoptados hoy día son mucho más exigentes, lo que trae como consecuencia el aumento del número y tamaño de los ventiladores para cada sistema de ventilación, así como su optimización en el control de los mismos.

Dentro del contexto de la ventilación nos referimos al volumen de aire movido por el ventilador como “corriente de aire o de ventilación”, mientras que el incremento de presión que se produce en el sistema se suele denominar como depresión del ventilador. Esta última denominación no será del todo correcta cuando el ventilador trabaja como impulsor.

### 3.1.3. A nivel Local

A nivel regional no existe ninguna Tesis y/o trabajo de investigación relacionado al sistema de ventilación de minas en la Región de Apurímac.



### 3.2. Marco referencial / Base teórica

#### 3.2.1. Generalidades

##### 3.2.1.1. Ubicación y acceso

La concesión minera San Valentín, se ubica dentro del sector de Yanapadre, en la Comunidad de Ccollpa, del distrito de Curahuasi, Provincia de Abancay y Región Apurímac, perteneciente a la Concesión Minera Niño Divino de ARUNTANI SAC.

Sector : Yanapadre  
 Comunidad : Ccollpa  
 Distrito : Curahuasi  
 Provincia : Abancay  
 Departamento : Apurímac

**Tabla 2 – Coordenadas de la concesión Niño Divino**

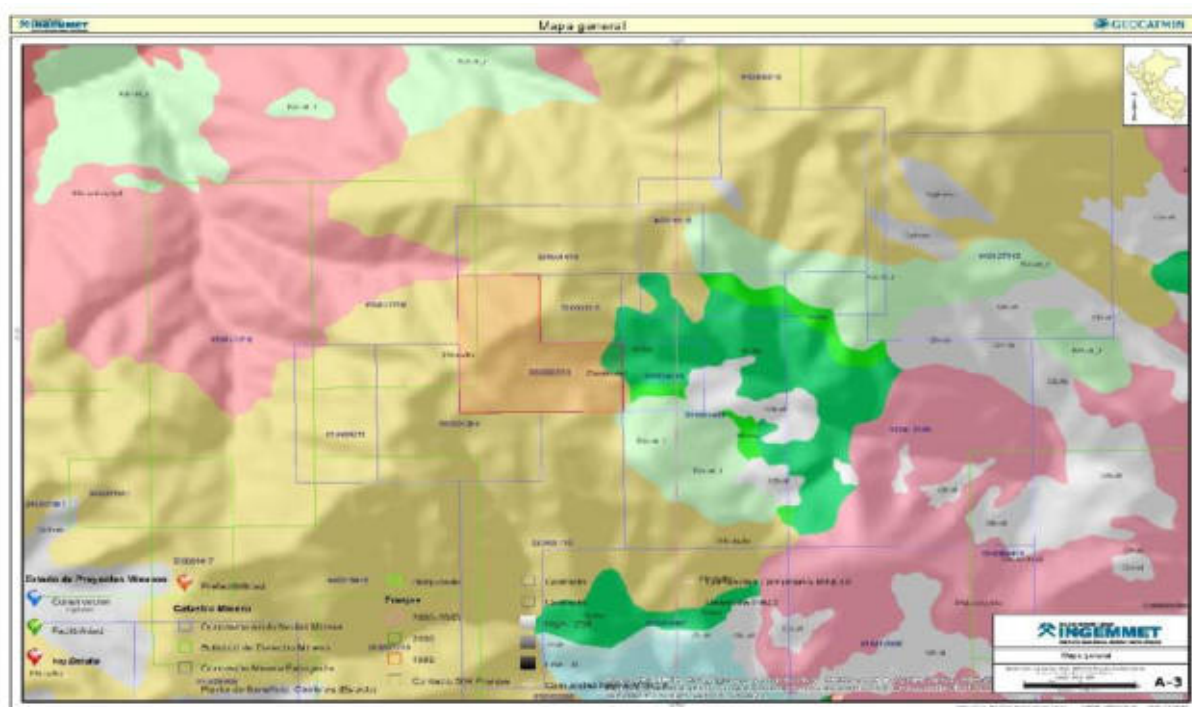
<b>CUADRO COORDENADAS CONSECION NIÑO DIVINO</b>		
<b>DATUM WGS-84 ZONA 18 -SUR</b>		
<b>VERTICES</b>	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>
V-1	767771,15	8487630,10
V-2	767771,16	8486630,10
V-3	768771,14	8486630,09
V-4	768771,14	8485630,08
V-5	766771,18	8485630,10
V-6	766771,17	8487630,11

*Nota:* GEOCATMIN.

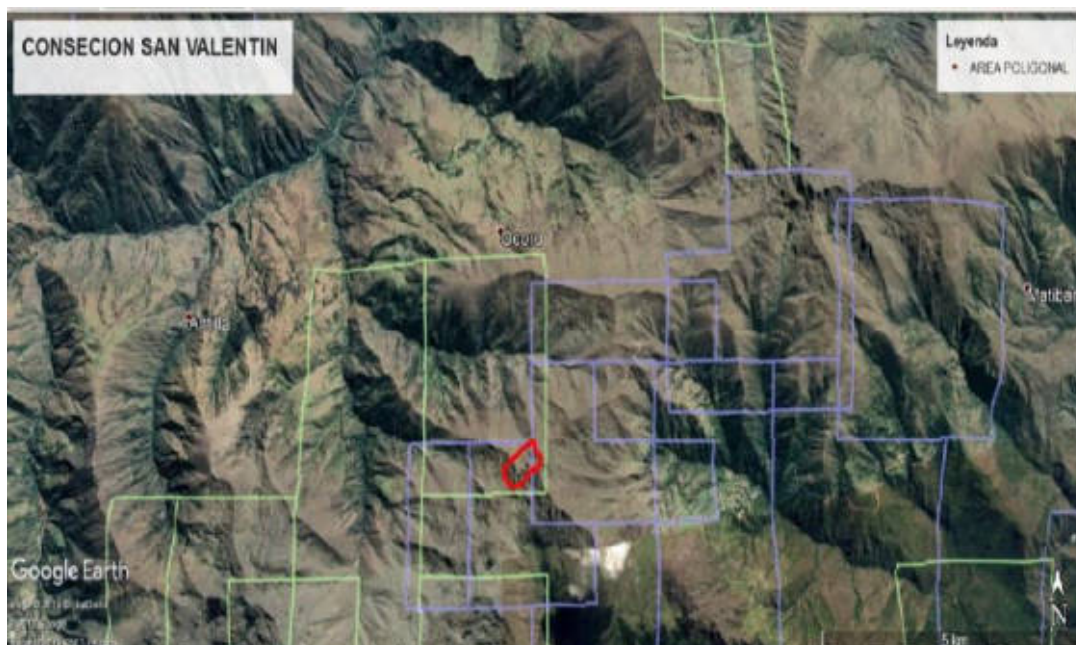
**Tabla 3 – Coordenadas de ubicación de las labores de la mina San Valentín**

<b>CUADRO COORDENADAS DE LAS LABORES DE LA MINA</b>				
<b>DATUM WGS-84 ZONA 18 -SUR</b>				
Labor	Este	Norte	Cota	Longitud (m)
01	767581	8487164	4347,42	215,729
03	767742	8487312	4385,15	385,214
03	767372	8487572	4333,74	0

*Nota:* Propio del autor



**Figura 1— Ubicación del derecho minero Niño Divino - Aruntani SAC**



**Figura 2 – Localización de la concesión minera San Valentín S.A**

El acceso para llegar a la mina San Valentín es la siguiente ruta:

**Tabla 4 – Acceso para llegar a la mina San Valentín**

TRAMO	CONDICION	DISTANCIA	TIEMPO (h)
Abancay- Curahuasi	Asfaltada	12,00	01h. 30 min.
Curahuasi -Mina	Trocha	80,00	02 h. 30 min.

*Nota:* Elaboración propia.

### 3.2.2. Topografía

La topografía de la zona tomando como referencia de 5 kilómetros de Curahuasi tiene variaciones extremas de altitud, con un cambio máximo de altitud de 1226 metros y una altitud promedio sobre el nivel del mar de 2877 metros. Considerando un radio de 16 kilómetros también contiene variaciones de altitud (3690 metros). En un radio aproximadamente de 80 kilómetros también contiene variaciones extremas de altitud (5400 metros).

El área para un radio de 5 kilómetros de Curahuasi está cubierta de pradera (81 %) y arbustos (16 %), de 16 kilómetros de pradera (67 %) y arbustos (20 %) y de 80 kilómetros de pradera (38 %) y arbustos (31 %).

La Topografía del área del proyecto está compuesto por cerros, montañas, lagunas y por valles abruptamente cortados y topografía accidentada con valles y planicie y valles de origen glaciario en el área del proyecto.

### **3.2.3. Operaciones**

La explotación de las labores mineras ha sido explotada desde muchos años atrás aproximadamente desde el año 1995 por los comuneros de Ccollpa.

El método que se emplea en la actualidad para la extracción del mineral es de Corte y Relleno Ascendente, así como también Corte y Relleno Descendente, el método del Circado se realiza para labores tipo Cortada de alcance hacia el cuerpo mineralizado.

La extracción que se realiza en el proyecto minero es de acuerdo a las labores en operación siguiendo la presencia del cuerpo mineralizado que se presenta.

El mineral extraído de las labores se realiza de manera manual con pala tipo cuchara y pico, el método es simple y muy adecuado para el personal, todo el material disparado del frente de las labores principales se realizará la limpieza en carretillas para luego ser evacuado hacia la superficie. En el caso de los tajeos se hace la limpieza con palas tramontina tipo cuchara hacia la tolva de extracción de material.

### **3.2.4. Geología regional**

El área del proyecto se ubica dentro de la unidad geomorfológica de la cordillera Occidental establecida por el boletín N° 27 de INGEMMET, geología de los cuadrángulos de Andahuaylas, Abancay y Cotabambas de Rene Moroco (1975). Dicha unidad se encuentra sobre montaña en roca intrusiva correspondiente a plutones tardihercinianos formaciones con acuíferos locales (detríticos o fisuradas) o sectores con agua subterránea en cantidad apreciable (permeabilidad baja), constituida por rocas intrusivas ácidas e intermedias.

### 3.2.4.1. Era cenozoica - paleógeno

Grupo Tacaza (Oligoceno Superior - Mioceno Medio) PN-ta. (Newell, 1949). Establece dos secuencias rocosas, una sedimentaria y otra volcánica. Hacia la base, la secuencia sedimentaria está conformada por conglomerados gruesos, con clastos semi angulosos de cuarcita y caliza de hasta 3 m de diámetro. Sobreyaciendo a esta capa se observa areniscas de grano medio a grueso de color gris verde a rojizo que se intercalan con capas delgadas de lutitas rojo violáceas de naturaleza tufácea y capas de brechas, esta unidad tiene un espesor de 15 a 25 m. Hacia el tope presenta capas gruesas de conglomerados con elementos sub-redondeados de cuarcitas y areniscas siendo la matriz bastante tufácea con una potencia de 500 m. Sobre esta secuencia sedimentaria, descansa una potente secuencia volcánica cuya litología consta de derrames lávicos en bancos de 0,5 a 3 m, brechas y aglomerados tufáceos retrabajados de naturaleza andesítica, dacítica, y riolítica cuya extensión lateral es de forma lenticular, esta unidad rocosa aflora en los distritos de Curahuasi, Cotabambas y Tambobamba.

Unidad Cotabambas, Pluton Curahuasi. Estos plutones están asociados al batolito de Abancay porque presentan una semejanza litológica, tienen el mismo grado de cristalización, tienen cercanía espacial con el cuerpo principal del Batolito y tienen similitud de edad, por estas razones se le considera como constituyente del cuerpo del Batolito.

Esta unidad plutónica es muy pobre en anortita y cuarzo, aflora con dos cuerpos intrusivos, que a nivel de la Región se hallan entre los distritos de Chapimarca (Cerros Apupaella, Maucallacta, Ruracpujio, Culmayoc, Chancara), Tapairihua (Cerro Cusi) y en el distrito de Curahuasi (Cerro San Cristóbal).

### 3.2.4.2. Era mesozoica

El Mesozoico en la Región está constituido por depósitos sedimentarios que pertenecen al Cretáceo, cuya composición





predominante son: Areniscas, limoarcillitas y calizas. Al parecer son sedimentos que lateralmente pueden aumentar o disminuir de grosor considerablemente y que su presencia se restringe hacia el norte de la Región de Apurímac.

**Familia Arcurquina Cretácico Inf-Sup) Kis-ar\_i; Kis-ar\_m; Kis-ar\_s.** Esta formación de naturaleza calcárea, se encuentra distribuida ampliamente en las provincias de Antabamba, Abancay, Grau, Cotabambas, Abancay y Andahuaylas; Litológicamente esta formación está dividida en tres miembros:

La secuencia inferior, presenta calizas micríticas de estratos submétricos de aspecto masivo con concreciones calcáreas, de color gris oscuro, intercalados con niveles esporádicos de estratos de dolomita.

La secuencia media, consta de calizas de color gris con estratos submétricos bien estratificados, intercalados con niveles pelíticos (limoarcillitas) y estratos de caliza micrítica centimétrica.

La secuencia superior está formada por calizas micríticas de color gris a negras en estratos métricos con una estratificación grosera, abundantes fósiles mal conservados y nódulos de chert.



**Figura 3 – Afloramiento de Calizas de la Fm. Arcurquina, cerca al poblado de Curahuasi**

**Familia Hualhuani (Cretácico Inferior) Ki-yu/hu.** W. Jenks (1948) describió a esta unidad como Cuarcitas de Hualhuani en Arequipa. Esta formación litológicamente está compuesta por sedimentos de areniscas cuarzosas blancas y grises de grano fino, masivas y con laminaciones. Se presentan intercaladas con niveles de pelitas negras carbonosas. Se tiene afloramientos en la provincia de Andahuaylas en los distritos de Pacucha, Kishuara, Huancarama lugares donde aflora con dirección EW y en los distritos de San Antonio de Cachi, Huancaray, Tumay Huaraca y Andahuaylas con dirección NW a SE; por otro lado, en los límites del distrito de Huayana y Tumay Huaraca, este afloramiento rodea al distrito de Pomacocha. Pero donde aflora en grandes extensiones es en la provincia de Antabamba.





**Figura 4 – Afloramiento de areniscas cuarzosas de la Fm. Hualhuani en el tramo de la Carretera Curahuasi-Puente Cunyacc, en el distrito de Curahuasi, provincia de Abancay**

#### **3.2.4.3. Depósitos morrenicos**

(Pleistoceno) Qpl-mo. Las morrenas están constituidas por bloques de rocas de tamaño heterométrico dispuestas caóticamente con relleno de matriz limoarenosa o gravosa según sea el caso. Estas unidades se hallan en las partes altas de las montañas o en flancos de quebradas de origen glaciar, formando terrazas altas cortas.

Por lo general sus depósitos están muy disectados debido a las erosiones posteriores. Presentan diversos tipos de acumulaciones morrénicas, agrupados en morrenas de fondo, laterales y frontales.

### 3.2.5. Fisiografía

El área de estudio a nivel fisiográfico, presenta rasgos morfológicos que son el resultado de una larga evolución, originada por factores tectónicos y erosionales que han modelado el paisaje hasta su estado actual.

La fisiografía del área del proyecto minero, comprende paisajes como quebradas, laderas escarpadas, laderas rocosas pronunciadas.

#### 3.2.5.1. Geomorfología

La geomorfología del área del proyecto ha sido condicionada por la actividad tectónica del levantamiento andino regional y por los procesos erosivos degradacionales presentes, generando como resultado un relieve abrupto, agreste, de pendientes fuertes, escarpadas accidentadas, se aprecia tres unidades geomorfológicas importantes pueden diferenciarse en los cuadrángulos estudiados.

##### **Altas mesetas**

Bajo el nombre de Altas Mesetas Megard (1968) describe una zona de relieve suave truncada por una superficie de erosión que queda a una altura que varía de 4200 a 4700 m.s.n.m. Esta superficie de erosión es la “superficie Puna”.

La superficie Puna ha sido disectada por la erosión, esencialmente glaciario; las huellas de las glaciaciones se observan por encima de los 3500 m.s.n.m. (valles en U, depósitos morrénicos, etc.). Se puede distinguir por lo menos dos etapas de glaciaciones que posiblemente se correlacionen con las glaciaciones g1 y g2 del Centro del Perú (Dollfus, 1965). La sucesión de las fases glaciares se nota bien en las partes centrales de las hojas de Andahuaylas y Abancay, donde es frecuente observar valles glaciares y morrenas (g2), cortando estructuras glaciares más antiguas (g1). Esta disposición se nota en la laguna Antacocha (hoja Andahuaylas, 13° 46' y 73° 13').

Las variaciones litológicas determinan formas de relieve diferente. Los extensos afloramientos de calizas del Cretáceo medio (formación Ferrobamba) de la parte centro-Sur de la zona estudiada presentan huellas de erosión kárstica.

Así como en el Centro del Perú (Dollfus, 1965), notamos una fuerte disolución superficial (lapiez) pero poca acción erosiva en profundidad. Parece que factores climáticos y litológicos hacen que las aguas de escorrentía se saturan rápidamente y cuando se infiltran ya no tienen poder disolvente.

### **Cordillera oriental**

Al Norte de la unidad Altas Mesetas y separada de ella por una zona de falla orientada Este-Oeste, queda la unidad “Cordillera Oriental” que corresponde a las estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental del Sur del Perú.

La unidad Cordillera Oriental se diferencia de la precedente por su morfología, pues los relieves son muy agudos y ya no se notan colinas de formas suaves como en la unidad

### **Altas Mesetas**

La morfología joven de la unidad Cordillera Oriental se debe al juego reciente de la zona de fallas E-W (Falla de Abancay). El levantamiento plio-Cuaternario de los Andes se realizó por intermedio de fallas de juego normal que cortaron la superficie Puna. En la región estudiada ciertas porciones de dicha superficie se levantaron más que otras. Las partes levantadas (Cordillera Oriental) sufrieron una reactivación de la erosión y se encuentran rejuvenecidas.

La historia geológica muestra que, desde fines del Paleozoico, la Cordillera Oriental fue una zona móvil positiva y sufrió varias etapas de erosión seguidas de levantamiento.

### **Valles**

Las unidades “Altas Mesetas” y “Cordillera Oriental” se encuentran disectadas por valles profundos y a menudo encañonados. Dentro de los valles de la región estudiada, los principales son los del río

Apurímac y de sus tributarios (río Santo Tomás, río Antilla, río Pachachaca, río Pincos, etc.). Todos presentan un encañonamiento importante (más de 1000 m.) en ciertas partes de su recorrido. Los flancos muestran una fuerte pendiente y frecuentemente están cubiertos por mantos gruesos de aluviones.

La gran velocidad del agua indica que todavía los ríos no alcanzaron su perfil de equilibrio. En cuanto al río Apurímac, vemos que sus tributarios no han tenido el tiempo de regularizar su curso y tienen un nivel de base muy abrupto. Esto se traduce en el terreno por una zona de rápidos en las cercanías de la confluencia. Ciertos valles muestran una exageración de este fenómeno: se trata de los valles colgados, cuyos mejores ejemplos son el valle de Curahuasi ( $72^{\circ} 42' - 13^{\circ} 33'$ ) y el valle de Sahuinto (8 km al Sur de la ciudad de Abancay).

Al levantarse los Andes durante el Cuaternario, el nivel de base de los ríos quedó sobrealzado y empezó una erosión regresiva (Esta es la explicación del encañonamiento de los ríos que son antecedentes).

### **3.2.6. Clima y vegetación**

La región estudiada, así como la mayor parte de los Andes peruanos, tiene un clima caracterizado por la alternancia de una estación de lluvias en los meses de diciembre a marzo y una estación seca de abril a noviembre.

La gran diferencia de altura entre una y otra zona de 1500 hasta 5000 m.s.n.m., hace que encontremos especies vegetales muy variadas, escalonadas en función de la altitud.

El trabajo de Tosi (1960), nos permite hacer las siguientes subdivisiones.

#### **3.2.6.1. Zona de valles**

El “Bosque espinoso sub-tropical” ocupa el fondo de los ríos Apurímac, Pachachaca, Pampas. Esta unidad no recibe más de 250 a 500 mm. de lluvias anuales y su límite superior se halla alrededor de 2200 m. La vegetación consiste en árboles pequeños muy esparcidos, entre los cuales crecen numerosas especies de cactáceas,

bromeliaceas, monocotiledoneas y gramíneas. Los suelos son litosólicos.

Por ser la pendiente generalmente fuerte y por necesidad de riego, es posible cultivar en los terraplenes adyacentes al río. Se cultiva caña de azúcar y todas las frutas tropicales.

El “Bosque seco montano bajo” queda entre 2200 y 3300 metros de altura. Corresponde a la zona de mayor densidad de población, los principales centros poblados (Abancay y Andahuaylas) se encuentran en esta unidad. Recibe 500 a 1000 mm. de precipitaciones anual, pero debido a las temperaturas bastante bajas entre 20° y 12° de promedio anual y la poca evapotranspiración, el clima es relativamente húmedo. Por razón del sobrepastoreo y la explotación excesiva de la leña, la vegetación natural ha desaparecido. La vegetación actual consiste en gramíneas, arbustos y árboles (molle, sauce, eucalipto). Se nota gran abundancia de retamas, nopales y magueyes.

Los suelos, delgados en las laderas y relativamente profundos en las zonas planas, presentan buenas características para el cultivo de granos (maíz, trigo, cebada), hortalizas y alfalfa. Con una protección de los suelos contra la erosión (control del pastoreo) el “Bosque Seco montano bajo” podría ser muy productivo.

Entre 3300 y 4000 metros queda el “Bosque húmedo mantano” que recibe de 500 a 1000 mm. de lluvias anuales. No recibe más agua que el piso precedente, pero las temperaturas más bajas (12° a 6°) hacen que se encuentre reducido el potencial de evapotranspiración y el clima sea netamente húmedo.

Los suelos, relativamente profundos (60 a 80 cm.), son algo ácidos. Cuando lo permite la morfología, el Bosque Húmedo montano es un buen productor de papa, oca, cebada, quinua, etc. Las gramíneas abundantes que crecen naturalmente, sobre todo en la parte alta de la unidad, permitirían la ganadería a gran escala si fuera el pastoreo dirigido.

### 3.2.6.2. Zona de puna

La zona de Puna (de 4200 a 5000 m.s.n.m.). Es el dominio del “Páramo muy húmedo sub-alpino” y de la “Tundra pluvial alpina”. El “Páramo muy húmedo sub alpino” queda generalmente debajo de los 4500 m., recibe de 500 a 1000 mm. de lluvia anual y está incluido entre las isotermas 6° y 3°, lo que da lugar a una evapotranspiración muy reducida. La vegetación natural es tupida y consiste de gramíneas altas: el ichu, que por sobrepastoreo se vuelve muy ralo.

Encima de los 4500 m. queda la “Tundra pluvial alpina” que recibe la misma cantidad de precipitaciones que el piso precedente (éstas caen a veces bajo forma de nieve o granizo). Las bajas temperaturas promedio anuales (0° a 3°), no permiten mucha evapotranspiración. La vegetación es muy rala y consiste de plantas pequeñas y de arbustos bajos.

La única posibilidad que ofrece la zona de Puna, en cuanto a la utilización del suelo, es la ganadería de ovinos y auquénidos. El pastoreo, a menudo excesivo, cada año va afectando a la vegetación con mayor intensidad.

### 3.2.7. Geología económica

#### 3.2.7.1. Yacimientos metálicos

Todas las mineralizaciones encontradas en la zona estudiada son del tipo metasomático de contacto, y ocurren en los lugares donde la granodiorita post-tectónica penetra en las calizas del Cretáceo medio y superior (Form. Ferrobamba). Atribuimos pues una edad Mio-Plioceno a las mineralizaciones.

#### 3.2.7.2. Mineralización no ferrosa

En la hoja de Andahuaylas (13° 34' - 72° 13') existe un yacimiento cuprífero no explotado, conocido con el nombre de “Prospecto Landa”. Se trata de lentes mineralizados y alargados paralelamente a la estratificación (areniscas rojas del grupo Mítu). Los minerales son: cobre nativo, chalcocita, malaquita, brochantita, etc.). Posiblemente estemos en presencia de un yacimiento sedimentario contemporáneo





de la depositación del grupo Mito. Un estudio detallado del Prospecto Landa existe en el “Plan regional de desarrollo del Sur del Perú” volumen II, pp. 4-44.

En la hoja de Abancay, la única mina en explotación es la de Azulcocha, de poca importancia económica, esta mina queda a 22 km al SE de Curahuasi.

Otro lugar mineralizado es el encontrado en los alrededores del pueblo de Circa (SW del cuadrángulo de Abancay), donde hay por lo menos tres lentes mineralizados en las calizas del Cretáceo medio y superior en contacto con la granodiorita. Son lentes de 4 a 5 metros de espesor, sub-paralelos a la estratificación. La mineralización es de cobre (Chalcopyrita, Bornita, Pirita, Covelita); la ganga está constituida de Oligisto, Magnetita y Siderita.

### **3.2.7.3. Yacimientos no metálicos.**

Los yacimientos no metálicos corresponden esencialmente a depósitos de evaporitas (sal y yeso).

Las evaporitas son abundantes en el grupo Mito, el grupo Pucará y en las Capas Rojas.

Las dos principales minas de sal común (CINa) se encuentran fuera de los límites de nuestra zona:

- La mina de sal Carquique, ubicada a 4 km de límite Norte de la hoja de Abancay.
- La mina de sal de Limatambo ubicado al límite del Cusco – Curahuasi.



**Figura 5 — Mina de sal Carquique Huanipaca Abancay**

Dentro de los límites de nuestra zona se conocen varios yacimientos explotados esporádicamente por los pastores, esencialmente en la hoja de Abancay, en el fondo del río Apurímac (entre Curahuasi y puente Cunyac). Se trata de evaporitas del grupo Pucará.

También se han reconocido afloramientos de Carbón dentro del grupo Copacabana, tal como el que aflora en la carretera Abancay-Huanipaca, en el sitio de coordenadas  $72^{\circ} 52' - 13^{\circ} 33'$  (hoja de Abancay). Se trata de una capa de 50 cm. a 1 m. de grosor. No es de interés económico.

El carbón del grupo Yura se encuentra en capas de 10 a 30 cm. intercaladas con cuarcitas. Este carbón se presenta en la carretera de Huancarama (hoja de Abancay). Las capas delgadas y lenticulares no presentan interés económico.



### 3.3. Bases teóricas

#### 3.3.1. Aire

Vejarano (2000) declara que el aire es un fluido básico para la vida; el cual al pasar por una mina se altera, su composición química a esto se define como una mezcla mecánica de gases que, en su estado puro y seco tiene la siguiente composición. (Ver cuadro 1)

**Tabla 5 – Composición de aire seco**

GAS	% EN VOLUMEN	% EN PESO
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	20,95	23,14
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	78,09	75,53
Anhídrido carbónico (CO <sub>2</sub> )	0,03	0,046
Argón y otros gases	0,93	1,284

*Nota:* Vejarano (2000).

#### 3.3.2. Aire de mina

El aire que ingresa a las labores subterráneas sufre cambios en el interior de una mina, la cantidad de oxígeno disminuye en su contenido, el anhídrido carbónico aumenta, como también la cantidad de nitrógeno y vapor de agua se incrementa. Además, se agregan al aire diversos gases de mina. Se considera que el aire de mina se compone de: aire atmosférico, gases activos (gases explosivos o nocivos que se forman en el interior de la mina) y aire muerto (mezcla de anhídrido carbónico 5 al 15% y nitrógeno 95 a 85%) que puede estar presente en el aire de las minas en unas décimas hasta algunas unidades de por ciento.



### 3.3.3. Respiración humana

La respiración humana es la acción de proveer aire limpio y con adecuado contenido de oxígeno a los pulmones para la sustentación de la vida humana. Como sabemos el sistema respiratorio permite proporcionar oxígeno a la sangre y eliminar anhídrido carbónico. El ritmo y el volumen de la respiración y por consiguiente el consumo de oxígeno se incrementa con la actividad física del trabajador. Ver Cuadro 2.

**Tabla 6 – Inhalación de oxígeno y aire de la respiración humana**

ACTIVIDAD	REPOSO	MODERADO	MUY VIGOROSA
Ritmo respiratorio por minuto	12-1	30	40
Aire inhalado por respiración ( $m^3/s \times 10^3$ )	5-13	46 -59	98
Oxígeno consumido en ( $m^3/s \times 10^{-6}$ )	4,70	33,04	47,20
Cociente respiratorio “CR”.	0,75	0,90	1,00

Nota: MC Pherson, (1993).

### 3.3.4. Gases presentes en la atmósfera de mina

Según Luque (1988) refiere sobre los gases en las minas es común encontrar la presencia de gases, los cuales son producidos por diferentes *Notas*, tales como explosivos, propiedades intrínsecas del material de la zona, descomposición de la madera, entre otros y detalla los siguientes gases:

**Metano:** El gas metano ( $CH_4$ ) es un gas incoloro, con una densidad relativa al aire de  $0,554 \text{ kg/m}^3$ , debido a que su peso específico es inferior al del aire, se acumula en las partes superiores de las labores mineras. Es insoluble en agua, es tóxico y se mezcla bien con el aire. Comúnmente se le nombra como grisú, aunque realmente el grisú está compuesto en promedio de 95% de metano y pequeños porcentajes de dióxido de carbono ( $CO_2$ ), nitrógeno ( $N_2$ ), monóxido de carbono (CO), entre otros.

La principal propiedad del grisú, es su combustibilidad y puede formar mezclas explosivas con el aire. El límite de explosividad comprende entre 5% y 14% de grisú, pero estos límites dependen de la temperatura, presión, presencia de otros gases, etc.

**Monóxido de carbono (CO):** Gas sin color, sin sabor, ni olor. Tóxico y combustible; combustible cuando su contenido es de 13 a 75%. Es un gas bastante venenoso que tiene mucha más afinidad por la hemoglobina de la sangre que el oxígeno, formando la carboxihemoglobina, reduciendo en esta forma el aporte de oxígeno a los tejidos.

El efecto inmediato del CO es comparable con el de un anestésico suave; el peligro del CO radica principalmente en que el individuo aun consciente puede notar en su organismo un cierto estado general de intoxicación, pero la debilidad que se presenta le impide retirarse de la zona de peligro, por sus propios medios.

**Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** Gas sin color, inodoro con un sabor ligeramente ácido. Existe en trazas (0,03%) en el aire natural, cuando su concentración alcanza el 0,5% ocasional el aumento del ritmo y la profundidad de la respiración, con 2% de CO<sub>2</sub> la respiración aumenta en 50%, con 5% la respiración se hace más penosa, con 10% no se puede resistir unos pocos minutos.

Las causas de origen del CO<sub>2</sub> son la respiración de las personas, las voladuras y la oxidación de la madera o carbón.

Esta última es más importante y en algunos lugares se le atribuyen los 16/17 del CO<sub>2</sub> producido en la mina.

### 3.3.5. Límites máximos permisibles

Según el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería (D. S. N° 023-2017- EM), la ventilación en toda labor minera deberá ser con aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a las necesidades del trabajador, de los equipos y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador, así como para mantener condiciones termo-ambientales confortables. Todo sistema de ventilación en la actividad minera, en cuanto se

refiere a la calidad del aire, deberá mantenerse dentro de los 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. 21,0 %
Dióxido de carbono	: máximo 5000 ppm.
Monóxido de carbono	: máximo 25 ppm
Metano (NH <sub>4</sub> )	: máximo 5000 ppm
Gases Nitrosos (NO <sub>2</sub> )	: 3 ppm a 5 ppm máximo
Gases Nitrosos (NO)	: 25 ppm
Anhídrido Sulfuroso	: 2 ppm mínimo a 5 ppm máximo
Aldehídos	: máximo 5 ppm
Hidrogeno (H)	: máximo 5000 ppm
Ozono Trabajo Ligero	: máximo 0,1 ppm

Teniendo en consideración lo estipulado en el reglamento (D. S. N° 023-2017-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 suficientes de acuerdo con el número de trabajadores, con el total de HPs de los equipos con motores de combustión interna, así como para la dilución de los gases que permitan contar en el ambiente de trabajo con un mínimo de diecinueve puntos cinco por ciento (19,5%) de oxígeno. En los lugares de trabajo de las minas ubicadas hasta mil quinientos (1500) metros sobre el nivel del mar, la cantidad mínima de aire necesario por hombre será de tres metros cúbicos por minuto (3 m<sup>3</sup>/min).

En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo a la siguiente escala:

- De 1500 a 3000 msnm aumentará en 40% que será igual a 4 m<sup>3</sup>/min
- De 3000 a 4000 msnm aumentará en 70% que será igual a 5 m<sup>3</sup>/min
- Sobre los 4000 msnm aumentará en 100% que será igual a 6 m<sup>3</sup>/min

En ningún caso la velocidad del aire será menor de veinte metros por minuto (20 m/min) ni superior a doscientos cincuenta metros por minuto (250 m/min) en las labores de explotación, incluido el desarrollo y preparación. Cuando se emplee explosivo ANFO u otros agentes de voladura, la velocidad del aire no será menor de veinticinco metros por minuto (25 m/min). (D. S. N° 023-2017-EM)

### 3.3.6. La presión

La presión de un gas se expresa en unidades atmosferas absolutas o en atmosferas técnicas. Por una atmosfera absoluta se entiende la presión  $P_o = 1,0333 \text{ kg/cm}^2$  de una columna de 760 mm de mercurio a  $0^\circ$  al nivel de mar. Con el cambio de la altura sobre el nivel del mar y de la temperatura, la presión  $P$  cambia de la manera siguiente. (Novitzki, 1962).

$$\text{Log } P = \text{log } P_o - (Z/18.4 - 0.067 T) \quad \text{Ec. (1)}$$

Dónde:

$P_o$ : 760 mm de mercurio, presión al nivel del mar.

$Z$ : Altura sobre el nivel de mar (m).

$P$ : Presión en la altura  $a$  (mm de Hg).

$T$ : Temperatura de media del aire entre en nivel del mar y el punto considerado ( $^\circ\text{C}$ ).

La transformación en pascales de la presión atmosférica expresada en mm de mercurio se hace multiplicando los mm. de Hg. por 9,81 (Pa).

### 3.3.7. Temperatura

a) **Temperatura seca:** Podemos definir a la temperatura seca como la temperatura del aire medida por un termómetro de mercurio normal. Esta temperatura no tiene en cuenta ni la humedad relativa ni la velocidad del aire. (GR Consultoría SAC, 2014).

b) **Temperatura húmeda:** Es la temperatura que da un termómetro (Incluido en el psicómetro de aspiración) a la sombra con el bulbo envuelto en una mecha de tela húmeda bajo una corriente de aire, esta condición se puede reproducir

al hacer girar el psicómetro al aire libre y este con la tela húmeda que está en el bulbo del termómetro, mide la temperatura húmeda generada por el aire en contacto con esta se puede calcular la humedad relativa. Al evaporarse el agua, absorbe calor, rebajando la temperatura, efecto que refleja el termómetro. Mediciones realizadas por la GR consultoría- ventilación las temperaturas de bulbo seco y húmedo. (GR Consultoría SAC, 2014).

### 3.3.8. Caudal de aire

El caudal de aire, según Vejarano (2000) es la cantidad de flujo de aire que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo volumétrico que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

El caudal de una sección cerrada o manga puede calcularse a través de la siguiente fórmula: (Vejarano, 2000)

$$Q = V * A \quad \text{Ec. (2)}$$

Dónde:

A: Sección transversal (m<sup>2</sup>).

V: Velocidad del flujo (m/min).

Q: Caudal en (m<sup>3</sup>/min).

### 3.3.9. Necesidad de aire para ventilación de mina

Para poder determinar la cantidad necesaria de aire para una mina o sección de mina, tajo, chimenea o frontón, se calcula en función de diferentes necesidades y parámetros establecidos, estas necesidades de aire en el interior de la mina, se determinará en base al número de personas, al número de HP de equipos de diésel y consumo de explosivos además de conocer el método de explotación, para determinar el requerimiento de aire total, se utilizan los siguientes parámetros operacionales:

#### 3.3.9.1. Requerimiento de aire para el personal

Para poder satisfacer las necesidades de aire con respecto para el consumo del personal es proporcionar 6 m<sup>3</sup>/min a más de 4000



m.s.n.m. por cada persona, debido a la corrección por altura. (Ver cuadro 3).

**Tabla 7 – Cantidad de aire mínimo requerido por persona**

Nivel del mar (m.s.n.m)	Variación (%)	Volumen (m <sup>3</sup> /min)
0-1500	-.-	3
1500- 3000	+ (40%)	4
3000 – 4000	+ (70%)	5
4000 – mas	+ (100%)	6

*Nota:* Decreto Supremo N° 055-2010-EM, 2010.

$$Q_1 = q * n \quad \text{Ec. (3)}$$

Dónde:

$Q_1$ : 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 guardia.

### 3.3.9.2. Requerimiento de aire por la cantidad de equipos diésel presentes en mina.

Cuando se hace uso de equipo diésel, la cantidad de aire presente no será menor de 3 m<sup>3</sup>/min por cada HP que desarrollen los equipos.

(Decreto Supremo N° 023-2017-EM, 2017)

$$Q_2 = K * N \quad \text{Ec. (4)}$$

Dónde:

$Q_2$ : Cantidad de aire para uso de equipos diésel (m<sup>3</sup>/min).

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

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

### 3.3.9.3. Requerimiento por la cantidad de explosivos

$$Q_3 = V * Ni * A \quad \text{Ec. (5)}$$

Dónde:

$Q_3$ : Cantidad de aire para diluir contaminantes por el uso de explosivos ( $m^3/\text{min}$ ).

V: Velocidad del aire 20 m/min. (Dinamita) y 25m/min. (Anfo).

$N_i$ : Numero de niveles de la mina en trabajo

A: Área promedio de la sección de las labores niveles en trabajo ( $m^2$ )

### 3.3.10. Caída de presión o perdidas

En ventilación de minas, como en hidráulica y en otros campos donde se aplican los principios de mecánica de fluidos, es de mayor interés determinar la diferencia de presión entre dos puntos que la determinación de la presión en ellos. Se sabe que el flujo de aire se origina porque existe una diferencia de presión entre dos puntos del sistema, para poder lograr esta diferencia es necesario agregar energía al sistema. Esta energía entonces, es consumida en superar las resistencias que las labores mineras le ponen al paso de una cantidad determinada de aire. Estas resistencias originan entonces una caída o pérdida de presión "H" y está dada en milímetros de columna de agua o  $kg/m^2$  o Pa. (Yanes, 1993).

Las pérdidas de presión en la mina están relacionadas por la función mostrada a continuación.

$$H=RQ^2 \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde;

H: caída o pérdida de presión en la mina (Pa)

R: Resistencia equivalente de la mina ( $kg/m^2$ )

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





Esta ecuación sencilla se conoce como la ley cuadrada de la ventilación de la mina y es probablemente la relación más ampliamente utilizada en la ingeniería de ventilación subterránea.

Es este término "H" el que se interesa encontrar para poder entregar la energía equivalente que permita el movimiento del aire. Se hace necesario este valor para poder seleccionar el ventilador adecuado para obtener el requerimiento de aire y lograr así una cobertura del 100%.

Por otro lado, la caída de presión es la energía suministrada a un fluido en movimiento, por medios naturales y mecánicos, es suministrada íntegramente para vencer las pérdidas de presión. (Hartman, 1991 pág. 138).

$$H = H_f + H_x \quad \text{Ec. (7)}$$

Dónde:

H: Caída de presión total de mina (Pa)

H<sub>f</sub>: Perdidas debido a la fricción (Pa)

H<sub>x</sub>: Perdidas debido al choque (Pa)

### 3.3.10.1. Caídas de presión por fricción

Las caídas de presión por fricción representan la pérdida de energía debido al paso del aire a lo largo de los ductos de sección uniforme.

En la ventilación de minas la pérdida de presión por fricción representa del 70 % al 90% de la presión total de la mina, consiguientemente será muy útil determinar con la suficiente precisión utilizando los coeficientes apropiados.

$$H_f = \frac{KPLQ^2}{A^3} \quad \text{Ec. (8)}$$

Dónde:

H<sub>f</sub>: Pérdida de presión por fricción (Pa)

P: Perímetro (m)

L: Longitud (m)



A: Área (m<sup>2</sup>)

K: factor de fricción corregida (Ns<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)

Q: flujo de cantidad (m<sup>3</sup>/s)

### 3.3.10.2. Caídas de presión por choque

Las pérdidas por choque representan la pérdida de energía por cambios de dirección en la corriente de aire, cambios en la sección del ducto de paso de aire, reducciones, descargas, uniones y acoples de un sistema de ventilación, presencia de obstáculos (sostenimiento) entre otros. Las pérdidas por choque son el origen local, producidas por turbulentos remolinos, frenadas del aire al enfrentar diversos accidentes dentro de las labores, también dependen de la velocidad y del peso específico del aire, Enríquez, J. (2011).

$$Hx = \frac{KPLeQ^2}{A^3} \quad \text{Ec. (9)}$$

Dónde:

Hx: Pérdida de presión por choque (Pa)

P: Perímetro (m)

Le: Longitud equivalente (m), se obtiene de tablas (ver anexo)

A: Área (m<sup>2</sup>)

K: factor de fricción corregida (Ns<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)

Q: flujo de cantidad (m<sup>3</sup>/s)

### 3.3.11. Fórmula Atkinson

Esta fórmula fue establecida en el año 1850 por un ingeniero de minas inglés, John Atkinson, quien formuló la ecuación, donde establece que el valor de la resistencia (R) depende de ciertas características del conducto de ventilación o del ducto de ventilación; por ejemplo, si uno de los conductos de aire cuenta con un área pequeña y otra grande todos los factores son contantes, el aire circula con mayor facilidad a través del segundo conducto de ventilación. Resumiendo,

esta afirmación podemos indicar que el conducto de ventilación de mayor diámetro, más baja será la resistencia (R) del conducto.

La fórmula de Atkinson considera varios factores como: la fricción de los conductos de ventilación debido al paso del flujo de aire, la sección, la longitud de recorrido, el caudal que pasa por el conducto y esta su vez está afectado por el área y la densidad del aire de mina.

Por último, si las paredes de un conducto son lisas y las del otro son ásperas y el resto de los factores son iguales, la resistencia del conducto liso será menor que la del conducto áspero, es decir, el factor de fricción depende de la naturaleza de la superficie del conducto de ventilación.

La fórmula de Atkinson considera estos factores y expresa:

$$H = \frac{KPLQ^2}{A^3} \times \frac{\delta}{1.2} \quad \text{Ec. (10)}$$

Dónde:

H: Pérdida de presión (Pa)

P: Perímetro (m)

L: Longitud (m)

A: Área (m<sup>2</sup>)

K: factor de fricción (Ns<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)

Q: flujo de cantidad (m<sup>3</sup>/s)

δ: densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>)

$$R = \frac{KPL}{A^3} \quad \text{Ec. (11)}$$

Dónde:

R: Resistencia (Kg/m<sup>2</sup>)

P: Perímetro (m)

L: Longitud (m)



A: Área (m<sup>2</sup>)

K: factor de fricción (Ns<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)

### 3.3.12. Factor de presión (K)

Los factores de (K) son determinados por las mediciones directas en diferentes ductos, galerías, teniendo en cuenta el tipo de roca, sinuosidades de los ductos entre otros, obtener es laborioso en las galerías, por lo que obtenemos de una tabla elaborada, la cual hay que corregir por la densidad del aire de la mina para obtener K corregido a nivel de la mina (Jiménez, 2003 pág. 80).

$$K \text{ corregido} = K (\delta / 1.2) \quad \text{Ec (12)}$$

Dónde:

K: Factor de fricción de tablas (Ns<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)

$\delta$ : Densidad del aire Kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 8 – Valores típicos del coeficiente de fricción K**

Descripción del conducto	K* 10 <sup>-10</sup> , lb min <sup>2</sup> /p <sup>4</sup>
Galería con revestimiento de concreto	24
Galería sin revestimiento	38
Galerías con arcos metálicos	32
Galerías con marcos de madera	48
Pozos con revestimiento de concreto	35
Pozos sin revestimiento con mallas de alambre y pernos de anclaje	60
Pozos con marcos guidores	120
Galerías con correas de transporte	75
Ductos flexibles (mangas)	15
Ductos metálicos	20
Ductos flexibles con espiral	30

*Nota:* Recopilados de varias *Notas* (McPherson, 1993)

### 3.3.13. Resistencia equivalente de la mina.

Se expresa en murgues ( $\mu$ ), la cual constituye la obstrucción que las paredes, pisos y techos ejecutan en el desplazamiento del aire a través de ellas. Depende de la rugosidad, la sección transversal, la longitud, el perímetro de la galería, y el coeficiente de rugosidad. (Jiménez, 2013).

### 3.3.14. Circuitos de ventilación

Son formas como se encuentran interconectadas las galerías dentro de un circuito de ventilación deciden la manera como se distribuye 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 diferentes circuitos de ventilación (Yanes, 1993)

#### 3.3.14.1. Circuitos 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, 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 a la superficie tienen igual precisión, en este caso la unión en paralelo es abierta, siendo cerrada los dos puntos de reunión se encuentran en el interior de la mina (Jiménez, 2003).

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

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n \quad \text{Ec. (13)}$$

Las caídas de presión en galerías que la componen son iguales, independientemente de largo, resistencia y cantidad de aire.

$$H_1 = H_2 = H_3 = \dots = H_n \quad \text{Ec. (14)}$$

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.

$$1/\sqrt{R} = 1/\sqrt{R_1} + 1/\sqrt{R_2} + 1/\sqrt{R_3} + \dots + 1/\sqrt{R_n} \quad \text{Ec. (15)}$$

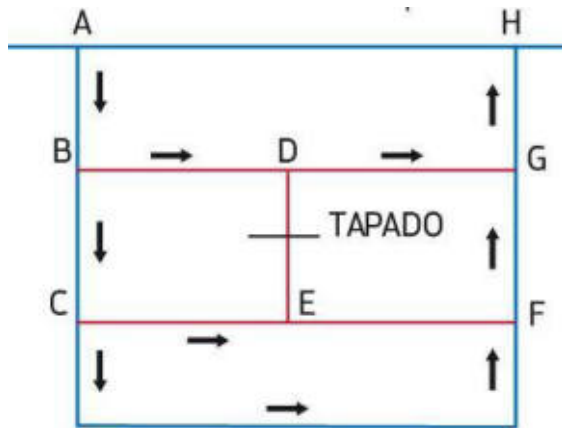


Figura 6 — Circuito en paralelo

### 3.3.14.2. Circuitos en serie

Este circuito se caracteriza por que la corriente de aire se mueve sin ramificaciones, vale decir, si no existen pérdidas, el caudal de aire permanece constante tiene las siguientes relaciones, el volumen total de aire es el mismo a través de todo el circuito desde que ingresa el aire a la mina hasta que sale de ella, es decir:

$$Q_t = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = \dots \quad \text{Ec. (16)}$$

La caída de presión total es igual a la suma de las pérdidas o resistencias de cada una de las galerías por donde viaja el flujo, esto es:

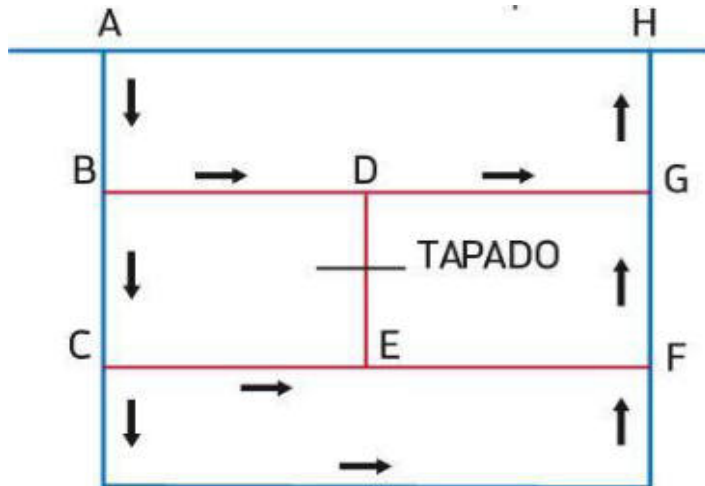
$$H_t = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + \dots \quad \text{Ec. (17)}$$



Resistencia equivalente

$$(R_t) = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots \quad \text{Ec. (18)}$$

En circuitos en serie los requerimientos de fuerza o energía eléctrica son altos, para un determinado volumen, porque los HP para trasladar el peso del aire son acumulativos. (Jiménez, 2003).



**Figura 7 — Circuito en serie**

*Nota:* Quevedo, Lima 2013

### 3.3.15. 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. (De la Cuadra, 1974).

### 3.3.16. Tipos de ventilación

Se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Ventilación natural
- Ventilación mecánica

Dentro de los tipos de ventilación de una mina existe la ventilación mixta o combinada como es impelente y aspirante, en la impelente el ventilador impulsa el aire al interior de la mina o por la tubería, en el caso de aspirante el ventilador



succiona el aire del interior de la mina por la tubería y lo expulsa al exterior. (Novitzki, 1962).

### 3.3.16.1. 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. Diferencia de temperaturas durante las estaciones. (Vejarano, 2000)

$$Q = \sqrt{\left(\frac{5.2 \cdot P_n \cdot A^3}{K \cdot C(L + L_e)}\right)} \quad \text{Ec. (19)}$$

Dónde:

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/min.)

P<sub>n</sub>: Presión natural (Pa)

K: Factor de fricción (Ns<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)

C: Perímetro del ducto de la galería (m<sup>2</sup>)

L: Longitud del ducto de la galería (m)

L<sub>e</sub>: Longitud equivalente (m)

### 3.3.16.2. Ventilación mecánica

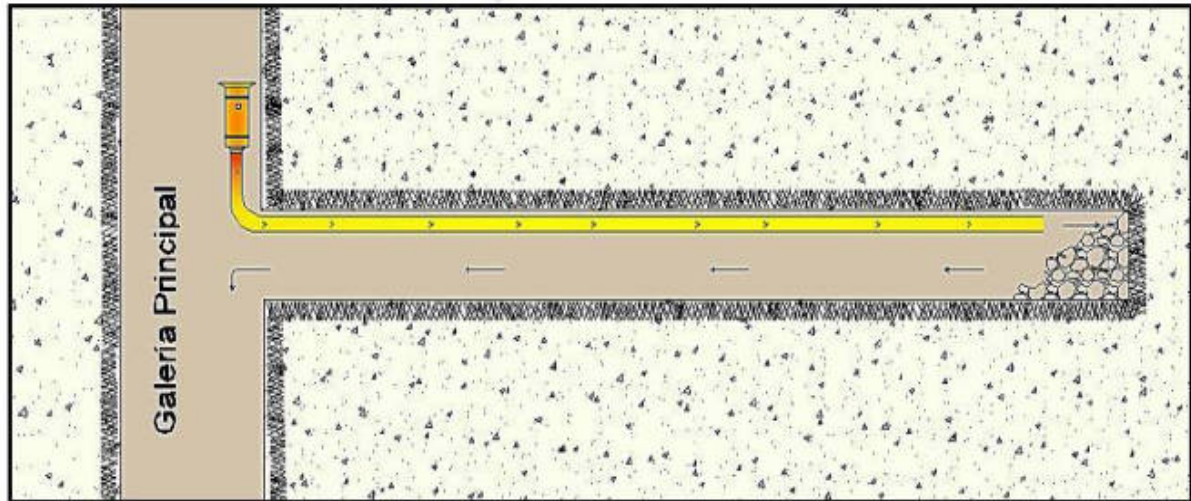
Es la ventilación secundaria y son aquellos sistemas que haciendo uso de ductos y ventiladores auxiliares, ventilan áreas restringidas de las minas subterráneas, empleando para ello los circuitos de alimentación de aire fresco y de evacuación del aire viciado que le proporcione el sistema de ventilación general. (Ramírez, 2005)

## 3.3.17. Sistema de ventilación

### 3.3.17.1. Ventilación impelente

El aire entra al frente del fondo de la labor a través de la tubería, impulsando por ventiladores, y desplaza la masa de aire viciado hacia la corriente principal de aire, a través de la galería. Este es el sistema predominado usado en la mayoría de las minas (Ver Figura 5).



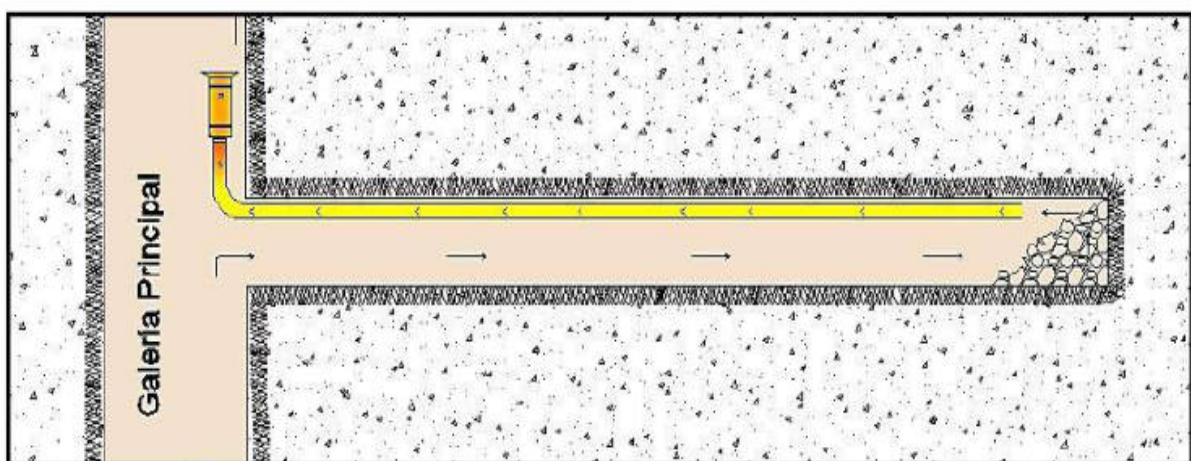


**Figura 8** — Ventilación impelente

*Nota:* Manual de Ventilación de minas, (IIMP 1989).

### 3.3.17.2. Ventilación aspirante

En este método el aire contaminado del frente es succionado a través del conducto debido a la depresión creada por ventiladores situados en ambos puntos de extremo. Este aire es evacuado en la corriente de ventilación principal, procedente de la cual entra aire limpio a través de la galería o ducto de ventilación (Ver Figura 6)



**Figura 9** – Ventilación aspirante

*Nota:* Manual de ventilación de minas (IIMP 1989).

### 3.3.18. Ventilador

Un ventilador es una máquina que transmite energía a un fluido (aire o gases), produciendo el incremento de presión necesario (Presión Total) con la que logra mantener un flujo continuo de dicho fluido. (Zitron, 2010 p.7)

#### 3.3.18.1. Tipos de ventiladores

Según Los ventiladores se dividen en el sentido más general en 3 tipos: Ventiladores de hélice, axiales y centrífugos. (Zitron, 2010 p.7)

##### Ventilador centrífugo

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. La trayectoria del fluido sigue la dirección del eje del rodete a la entrada y está perpendicular al mismo a la salida. (Zitron, 2010, p.7-8).



**Figura 10— Ventilador centrífugo**

*Nota:* Ventilación de minas (Zitron 2010 p.7)

### **Ventilador de hélice**

Este ventilador está formado por un rodete dentro de un anillo o carcasa de montaje. La dirección de la corriente de aire es paralela a la flecha del ventilador. Se emplea para movilizar aire en circuitos cuya resistencia es muy pequeña. Puede manejar grandes volúmenes de aire a una presión estática baja. (Zitron, 2010, p.10)



**Figura 11 – Ventilador de hélice**

*Nota:* Ventilación de minas (Zitron, 2010, p.9)

### **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. Los álabes-guía, en la succión o en la descarga, o en ambas partes, se han añadido para enderezar el flujo del aire fuera de la unidad a la vez que sirven de apoyo en el diseño. (Zitron, 2010, p.10)



**Figura 12 – Ventilador axial**

*Nota:* Ventilación de minas (Zitron, 2010, p.12)

### **3.3.19. Curva característica del ventilador**

Un ventilador podemos caracterizarlo por su curva, que es el lugar geométrico de los puntos de funcionamiento del mismo. Para cada ángulo de regulación de los álabes tendremos una curva distinta. El punto de corte de la curva del ventilador con la resistencia del circuito es el punto de operación y caudal de operación ( $P_o, Q_o$ ), del funcionamiento del ventilador.

Con un punto de funcionamiento, estamos definiendo el punto de corte de la curva característica del ventilador con la curva resistente del circuito de ventilación. Por tanto, el punto  $P_o$  y  $Q_o$  pertenece a la curva resistente de la mina. (Zitron, 2010, p.29)

### **3.3.20. Mangas de ventilación**

Las mangas de ventilación es un ducto fabricado para evacuar aire, gases y polvo en las diferentes labores propias de la minería. Así como también es utilizado para insuflar aire (presión positiva). Para realizar un sistema de ventilación apropiado se usan diferentes tipos de acoples (Yes, Tees, reductores, derivaciones, etc.). Para ventilar una mina se necesitan ciertas cantidades de flujo de aire, con una caída de presión determinada, a cierta densidad del aire. Conocidas la caída y el caudal de lámina (punto de operación del sistema),

existen casi un número infinito de ventiladores en el mundo que satisfacen el punto operacional adecuado. (Tomado de <http://www.tecnologiaminera.com/tm/x/novedad.php?id=204>)

### **3.3.21. Software de ventilación de minas VentSim Visual**

VentSim Visual es un software para sistemas de ventilación de minas subterráneas diseñado para modelar y simular la ventilación, flujos de aire, presión, calor, gases, costos, fuego y muchos otros tipos de datos de ventilación desde un modelo de túneles y pozos (Wallace, & Prosser, 2015).

Se basa principalmente en las leyes de Kirchhoff, utiliza la ecuación de Atkinson y como técnica de repetición utiliza el de Hardy Cross, las características principales de VentSim Visual, incluyen: Modelamiento 3D completo con rotación suave, zoom y paneo; animación en tiempo real de los conductos de ventilación y ventiladores; simulación de conductos de ventilación y ventiladores; propagación básica de contaminantes básicos, suministros y simulaciones de emergencia; importación de las líneas centrales y sólidos de paquetes CAD (DFX) para construcción rápida de redes (Wallace, & Prosser, 2015).

### **3.3.22. Simulación con VentSim Visual**

VentSim Visual busca hacer del diseño y simulación de una red de ventilación minera un proceso abordable por cualquier ingeniero en minas o funcionario de ventilación. VentSim Visual entrega un conjunto de utilidades para la simulación 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. (By Chasm Consulting , Versión 5.1)

### **3.3.23. Diseño de sistema de ventilación de minas**

El diseño de un sistema se puede considerar en dos partes:

La primera parte comprende:

- El planeamiento de las necesidades de aire en las labores subterráneas.



- La planificación de la distribución del flujo de aire a fin de satisfacer dichas necesidades.

La segunda parte es usualmente la más complicada ya que comprende:

- La ubicación, dimensionamiento y determinación de las propiedades aerodinámicas de los conductos del aire.
- La ubicación y determinación de las características que deben de tener los ventiladores.
- La ubicación y determinación que deben de tener los reguladores y las puertas de ventilación.
- La evaluación del papel desempeñado por la ventilación natural y otras *Notas de presión*.
- El diseño de planos de ventilación que contemplan eventualidades tales como falta de uno de los ventiladores, incendios subterráneos y otras emergencias.

#### 3.3.24. Carta Psicométrica

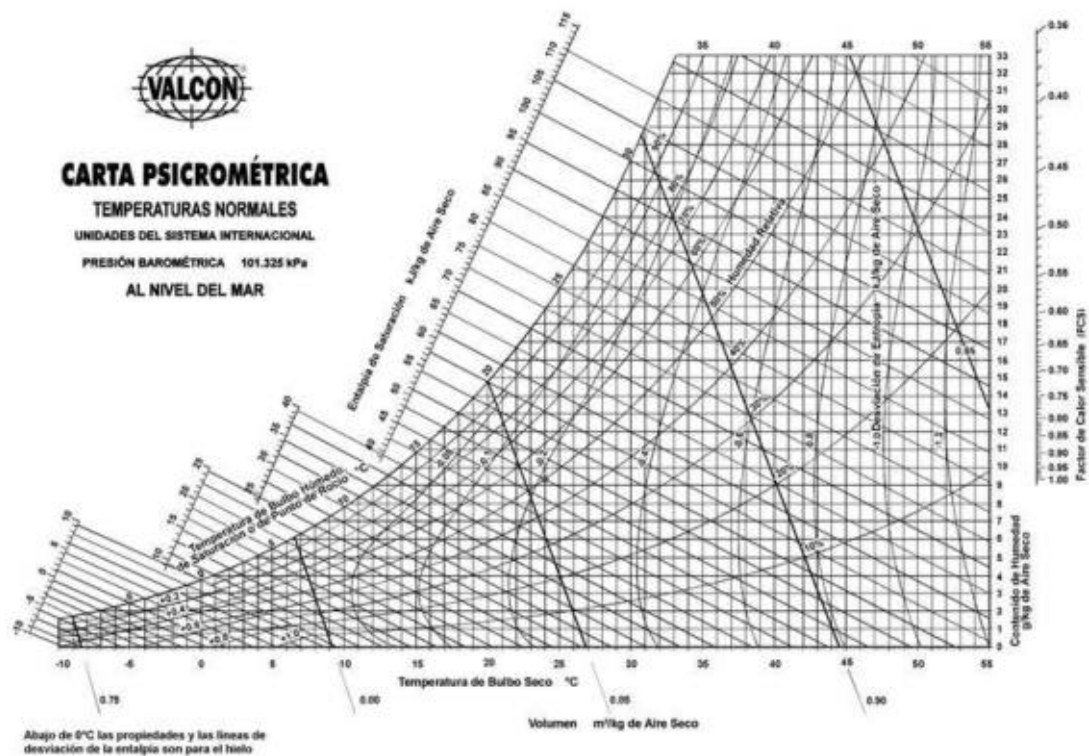
La carta Psicométrica es un gráfico que nos permite determinar las propiedades físicas del aire, estas tablas psicométricas ofrecen una gran precisión, ya que sus valores son de hasta cuatro decimales; sin embargo, en la mayoría de los casos, no se requiere tanta precisión; y con el uso de la carta psicométrica, se puede ahorrar mucho tiempo y cálculos.

En una carta Psicométrica se encuentran todas las propiedades del aire, de las cuales las de mayor importancia son las siguientes:

1. Temperatura de bulbo seco (°C).
2. Temperatura de bulbo húmedo (°C).
3. Temperatura de punto de rocío (°C)
4. Humedad relativa (%).
5. Humedad absoluta (gr/kg).
6. Entalpía (kJ/kg de aire seco).

7. Volumen específico ( $m^3/kg$  de aire seco)

A continuación, se muestra el Abaco para determinar las propiedades del aire, Figura 13.



**Figura 13 – Carta Psicrométrica para determinar las propiedades del aire atmosférico**  
*Nota Balcón.* Carta Psicrométrica para determinar las propiedades físicas del aire atmosférico.

**3.4. Definición de términos (marco conceptual)**

**3.4.1. Definición de ventilación de minas**

Se puede definir como el trabajo realizado para lograr el acondicionamiento del aire que circula a través de las labores subterráneas. Siendo su objetivo principal el proporcionar un ambiente seguro, saludable y cómodo para los mineros. Diluir los contaminantes a concentraciones seguras.

A fin de lograr este objetivo, será necesario garantizar una dotación de aire fresco y limpio tanto a los frentes de trabajo como a las galerías de acceso a estos, disminuir la temperatura y humedad aprovechando las condiciones naturales de la mina y empleando medios auxiliares como fuera necesario.

### 3.4.2. Aire de mina.

Se trata del aire atmosférico que al ingresar a la mina sufre una serie de alteraciones en su composición. Si las alteraciones son tan pequeñas que el aire puede ser considerado como atmosférico, nos referiremos a él como aire fresco o de ingreso, mientras que el aire contaminado será descrito como aire viciado o de retorno.

Durante su paso por la mina, el aire recoge algunos gases, calor y polvo producido por las operaciones mineras, simultáneamente debido a la presencia de seres humanos y de materiales en su interior de mina el aire pierde parte de su oxígeno.

Durante el invierno, cuando el aire en el exterior de la mina es relativamente seco, absorberá además la humedad de la atmósfera de la mina. Durante el verano, el proceso se invertirá, razón por la cual la mayoría de las minas tienden a secarse en el invierno y volverse húmedas durante el verano.

### 3.4.3. Gases presentes en las minas

Los gases contaminantes se producen con frecuencia en las minas tanto en condiciones normales como anormales. Por ejemplo, el CO<sub>2</sub> es producido por motores diésel y los disparos.

A continuación, se detallan los gases presentes en las minas:

- Nitrógeno N<sub>2</sub>.
- Oxígeno O<sub>2</sub>.
- Anhídrido carbónico CO<sub>2</sub>.
- Monóxido de carbono CO.
- Óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>
- Anhídrido sulfuroso SO<sub>2</sub>.
- Ácido Sulfhídrico H<sub>2</sub>O.
- Metano CH<sub>4</sub>.



#### **3.4.4. Polvo en las minas**

El polvo que ocurre en las minas es un material sólido finamente dividido, el cual, dependiendo del tamaño de sus partículas, de su concentración y su composición, puede constituir un peligro tanto para la salud del personal como para la seguridad de la operación en lo que se refiere a visibilidad en un ambiente subterráneo.

En aquellas operaciones en las que inevitablemente se produce polvo, deberá hacerse todo lo posible por mantener la concentración de este en el aire lo más baja posible, procurando evitar que entre en suspensión; cuando esto último no sea posible, deberá impedirse que el polvo en suspensión sea inhalado por el personal o por lo menos, reducir el mínimo tiempo de exposición del trabajador al aire contaminado.

#### **3.4.5. Condiciones termo-ambientales**

El calor en el ambiente de minas subterráneas está relacionado con las propiedades térmicas del macizo rocoso circundante, influencia de la temperatura exterior, auto compresión del aire y otros factores como la emisión térmica de máquinas diésel, voladuras, respiración humana y aguas termales.

Para la evaluación del impacto ambiental térmico en minas subterráneas, se consideró como parámetro principal la temperatura. Esto, pues a ciertas profundidades, cuando la temperatura de la atmósfera subterránea aumente debido a las profundidades de las labores.

#### **3.4.6. Psicrometría**

En el proceso de ventilación de una mina la cual se determina las propiedades físicas del aire mediante un Abaco, el aire ingresa a esta en condiciones atmosféricas y a su paso va incorporando humedad y calor en el ambiente, lo cual significa que su densidad, contenido de humedad y presión varían constantemente, aspectos que necesariamente se tendrán que tener en cuenta en los cálculos que se haga.

### **3.4.7. Resistencia**

Valor que describe la dificultad que tiene el aire para moverse por un conducto. Se calcula a partir de una combinación de tamaño del conducto, factor de fricción, longitud, pérdidas por choque y densidad del aire.

### **3.4.8. Pérdida de presión**

Pérdida de presión de aire a lo largo de un conducto debido a pérdidas por fricción, y choque durante la circulación de aire en las labores mineras y ductos de ventilación

## CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

### 4.1. Tipo y diseño de la investigación

#### 4.1.1. Tipo

De acuerdo a la naturaleza de trabajo de investigación, por su nivel y las características de estudio el tipo de investigación es descriptiva correlacional, ya que se realizará una investigación demostrando los resultados del estudio que permitirá el análisis e implementación del sistema de ventilación en la mina San Valentín S.A. Curahuasi - Apurímac.

### 4.2. Población y muestra

#### 4.2.1. Población

La población está constituida por la mina San Valentín S.A. Curahuasi – Apurímac.

#### 4.2.2. Muestra

La muestra está constituida por las labores subterráneas en la mina San Valentín S.A. Curahuasi – Apurímac.

### 4.3. Procedimiento de la investigación

#### 4.3.1. Trabajo de campo

**Medición de área y perímetro de la galería:** ubicado el punto de aforo se procede con el flexómetro a medir el área transversal, la longitud y el perímetro, teniendo claro la forma del área (rectangular, cuadrada, trapezoidal, etc.).

**Medición de los gases:** para la medición de los gases se utilizó el multidetector marca Crowcon; con este equipo se hace un barrido de abajo hacia arriba y de derecha a izquierda del aforo visualizando el display o pantalla que este tiene,

de esta manera se puede medir los gases ( $O_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ , entre otros) presentes en este punto.

**Medición de la velocidad del aire:** el termo higo anemómetro se compone de dos partes: una es la pantalla donde se observa la lectura en tiempo real y la otra parte son unos álabes las cuales son giradas a medida que el aire pasa a través de ellas; para medir la velocidad del aire los alabes son colocados perpendicularmente al flujo del aire, en donde se hace un barrido lento en zigzag de abajo hacia arriba, y de esta manera se puede obtener la velocidad del aire en el punto de aforo.

**Medición de la temperatura efectiva y porcentaje de humedad:** con el equipo antes mencionado (Termo higo anemómetro) y visualizando la pantalla, se pueden tomar los datos que este arroja como las medidas de temperatura y porcentaje de humedad en ese punto de aforo, cabe señalar que las unidades de la temperatura efectiva son ( $^{\circ}C$ ).

#### 4.3.2. Trabajo de gabinete

##### 4.3.2.1. Tratamiento de datos

###### Programa de VentSim

El software VentSim a nivel mundial, es una herramienta útil para simulación de contaminantes, funciones financieras que sirven para analizar el costo de ventilación y la simulación termodinámica de calor y la humedad en las minas subterráneas, cuantificando y visualizando variables como dirección, cantidad, densidad, flujo másico y velocidad.



**Figura 14 – Entorno del Programa VentSim Visual V 5.1**

*Nota:* VentSim Design™ Software.

La simulación de la red de ventilación para el proyecto 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.

### **Bondades del VentSim**

Como herramienta de trabajo, VentSim ofrece las siguientes posibilidades:

- Simular y proporcionar el reparto de caudales en minas existentes y no existentes.
- Predecir tendencias en el comportamiento general del circuito de ventilación de manera previa a la ejecución de un desarrollo planificado.
- Herramienta de ayuda en la planificación a corto y largo plazo de los requerimientos y necesidades de ventilación.

- Asistencia en el proceso de selección de ventiladores principales y secundarios, conductos, tuberías y otros accesorios del sistema de ventilación, como puertas y reguladores.
- Análisis económico de distintas opciones.
- Simulación de tendencias de propagación de gases contaminantes, humo y polvo para simulación de situaciones de emergencia y evacuación.

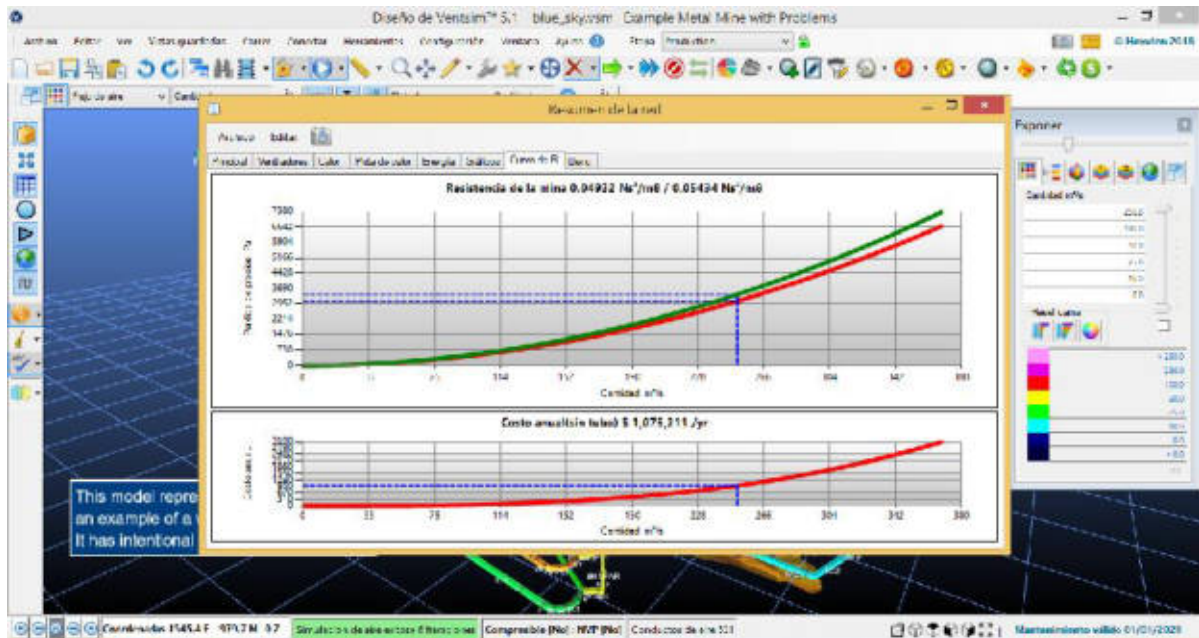


Figura 15 — Resistencia que ofrece la mina y análisis económico en VentSim Visual V 5.1

Nota: VentSim Design™ Software.

En la figura 15 se muestra uno de las bondades del programa VentSim Visual V 5.1, para graficar la curva característica de mina y el análisis financiero.

### Procedimiento de simulación

Un modelo de VentSim se crea sobre una base de datos a obtener a partir de datos obtenidos de medición de ventilación, de las características geométricas de los desarrollos mineros y de las especificaciones técnicas de equipos.

El procedimiento es de la siguiente manera:





1. Introducir o importar a VentSim las especificaciones, dimensiones y geometría de las labores 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 los caudales 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.

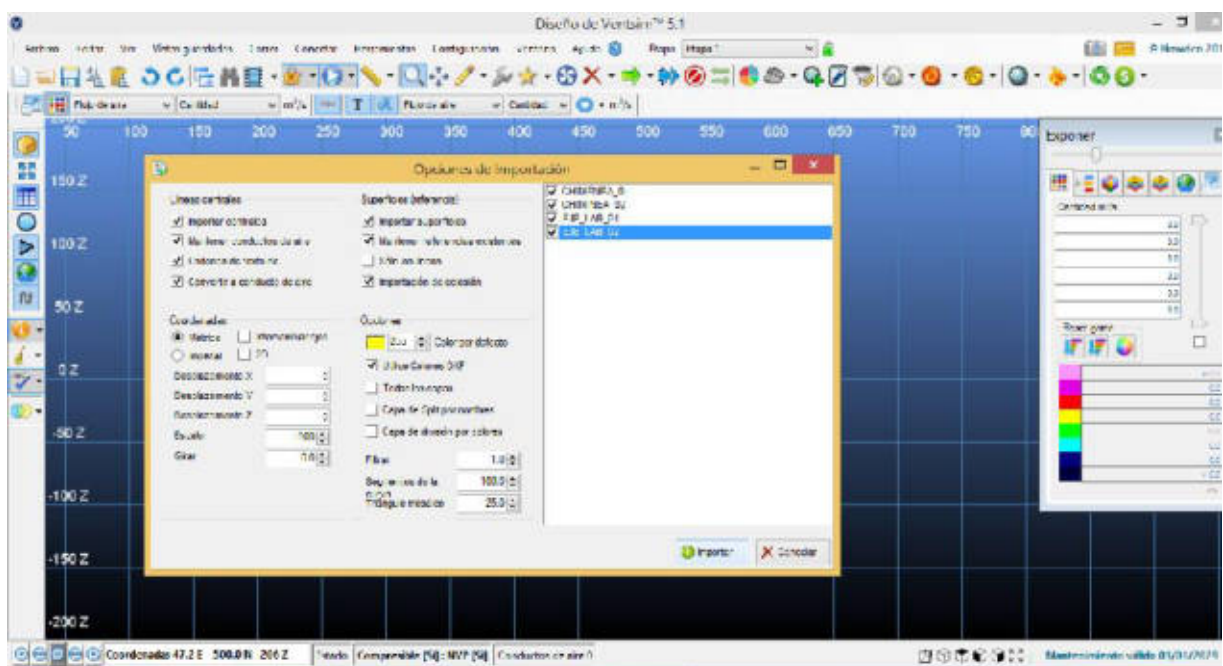


Figura 16 — Importación de archivos DXF al VentSim Visual V 5.1 para la simulación

Nota: VentSim Design™ Software

En la figura 13 se muestra, la herramienta de importación del diseño de las labores para la simulación del circuito.

### Diseño del diagrama de ventilación

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.

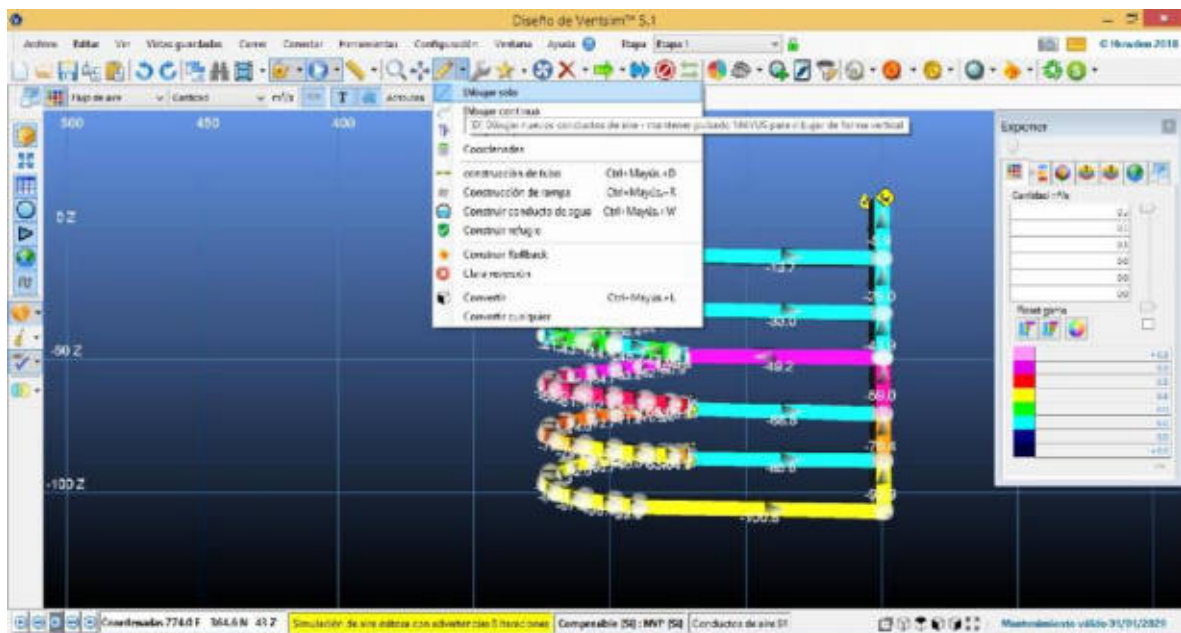


Figura 17 – Entorno del Programa VentSim Visual V 5.1

Nota: VentSim Design™ Software

Una de las herramientas del programa es el diseño de las rampas y galería de diversas formas y colores a partir de coordenadas.

### Ingreso de topografía

Contar con planos en planta de las diferentes galerías o niveles en CAD o MineSight.

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 o MineSight se guardan en la extensión (dwg) o también en la extensión (dxf).

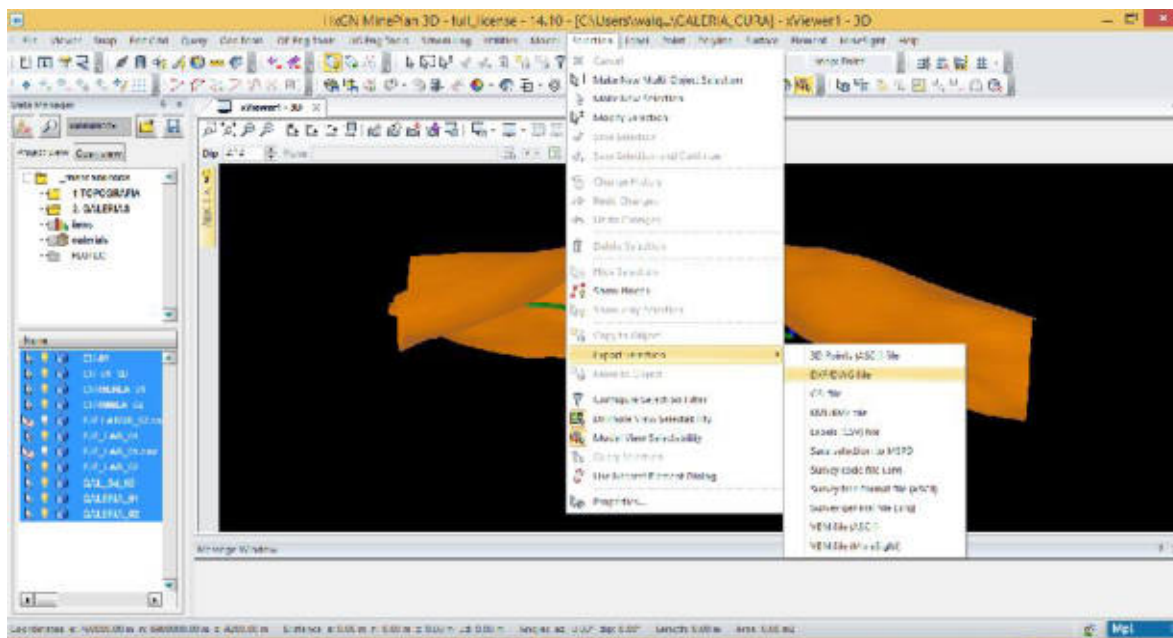


Figura 18 – Entorno del Programa MineSight

Nota. Propio del autor.

En el panel se puede visualizar el uso de la herramienta de exportación del diseño en MineSight al formato (dxf).

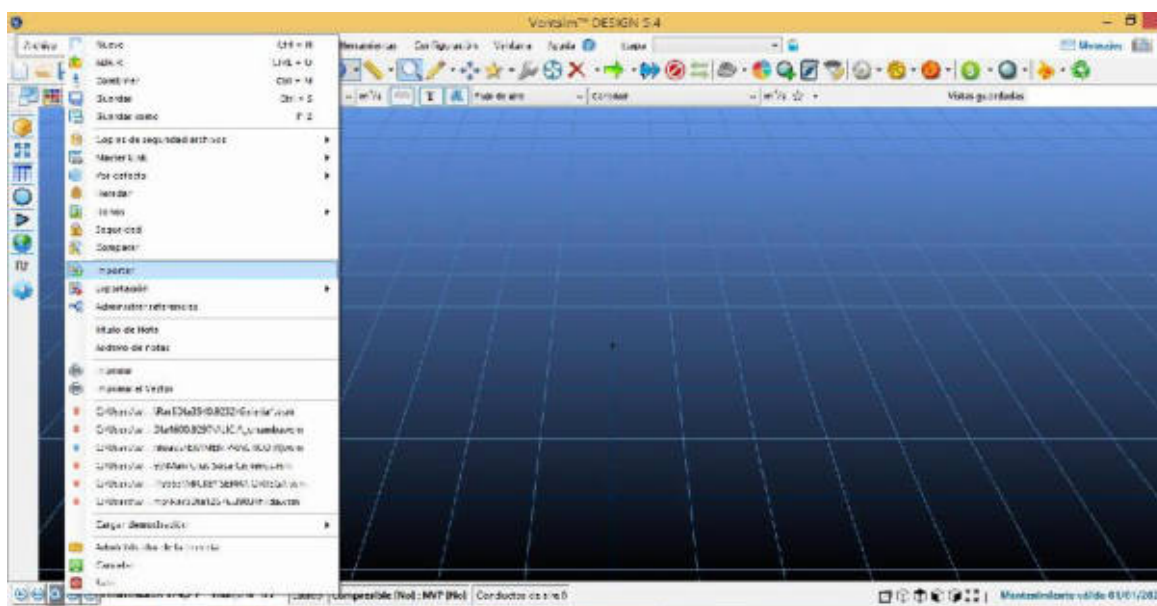


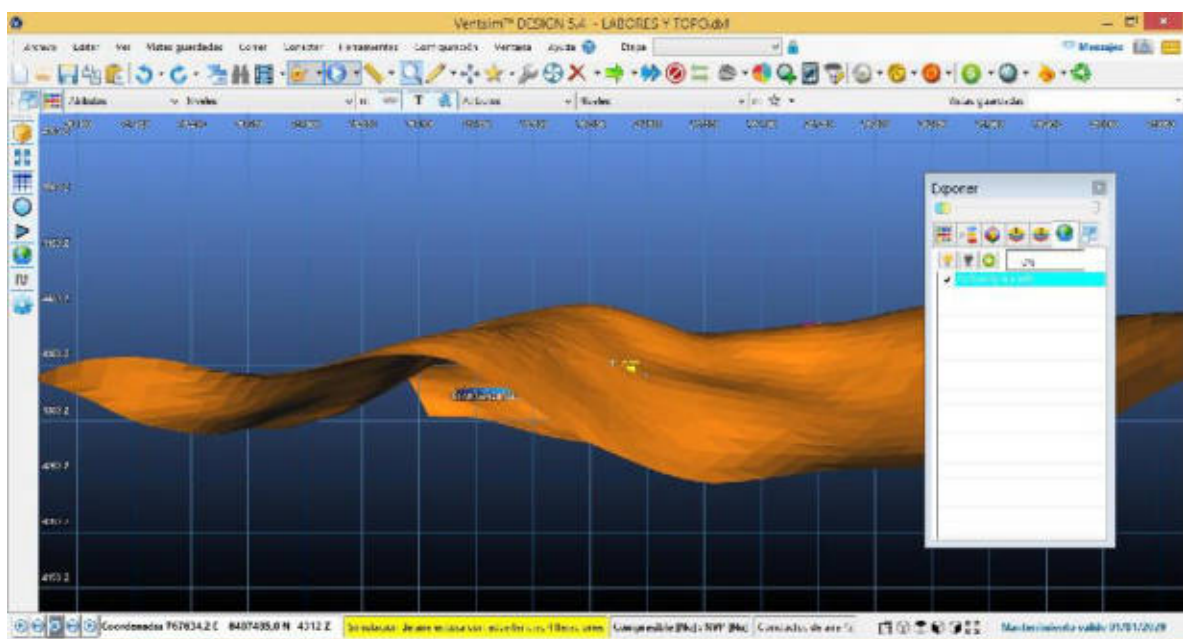
Figura 19 – Entorno del Programa VentSim Visual V 5.1

*Nota:* VentSim Design™ Software

En la figura 19 se muestra la herramienta de importación del programa VentSim Visual.

### **Importación al programa 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. (Ver figura 16).



**Figura 20 – Entorno del Programa VentSim Visual V 5.1 (Importación de la topografía y labores)**

*Nota:* VentSim Design™ Software

## **4.4. Material de investigación**

Como material utilizaremos trabajos de investigación, tesis de pre-grado, tesis de posgrado, relacionados al tema de ventilación de minas.

### **4.4.1. Instrumentos de investigación**

#### **4.4.1.1. Anemómetro**

El anemómetro es un molino de viento de cuatro u ocho paletas cuyo eje principal es conectado por medio de engranajes a un contador de

revoluciones. Durante la medición, el eje de rotación del instrumento es alineado con la dirección del aire y desplazado lentamente para cubrir toda la sección transversal de la galería o ducto en un tiempo pre-establecido, generalmente de un minuto. La presión del aire, dependiendo de su intensidad, genera una fuerza sobre el rotor del instrumento causando su rotación con una rapidez proporcional a la velocidad del aire. El número de revoluciones es registrado por el contador del instrumento en unidades de longitud.

#### **4.4.1.2. Detector de gases**

Para el monitoreo de gases en cada estación se utilizó el multidetector de gases marca Crowcon para la evaluación de los siguientes gases: dióxido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y oxígeno.

#### **4.4.1.3. Termómetro**

Para la medición de temperatura y porcentaje de humedad relativa en cada estación se utilizó el Anemómetro KESTREL- 4300.

#### **4.4.1.4. Flexómetro**

Sirve para medir longitudes y se tiene en medidas de 3, 5 y 8 metros, normalmente son usados para medir sección y perímetro de las labores.

#### **4.4.1.5. Estación Total**

Equipo para tomar datos de campo para topografía y la sección y longitud de la labor de ventilación.

### **4.4.2. Diseño de material de investigación**

Se utilizaron diferentes programas de minería para calcular los siguientes cálculos:

Software Aplicativo: Autocad, Minesight y Ventsim Visual 3D, para el diseño, modelamiento y simulación del circuito de ventilación.

Hojas de cálculo. Para determinar los valores promedios de mediciones de áreas, secciones, temperatura, caudal, velocidad, temperatura y otras propiedades del aire atmosférico.

Bases de datos (Excel), etc.

De los datos de muestreo se han calculado la media aritmética de las velocidades del flujo de aire en las labores.

Para validar la correlación de las variables y determinar la significancia de la hipótesis se utilizó los programas estadísticos como: SPSS, EXCEL y otros.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS

#### 5.1. Descripción de los resultados

##### 5.1.1. Diagnóstico inicial de red de ventilación

El diagnóstico de red de ventilación se realizó con toma de datos de campo de los ingresos y salidas principales de aire; donde se ha llegado a determinar la cobertura del sistema de ventilación de ingreso de aire.

##### 5.1.1.1. Ingreso principal de aire

Se tiene un eje principal de ingreso de aire fresco (Labor 1) que está en el nivel 4400; sección tipo herradura de 7,50 m<sup>2</sup> de área promedio, donde se ha determinado un caudal promedio de 120,00 (m<sup>3</sup>/min).

**Tabla 9 – Ingreso de aire a las labores**

Estacion	Eje	Nivel	Labor	Seccion (m <sup>2</sup> )	Velocidad Aire (m/min)	Caudal (m <sup>3</sup> /min )	Caudal (pies <sup>3</sup> /mi n)
L-1	Princip al	4400	Valentina 2	7,50	16,00	120,00	4237,760
Total						120,00	4237,760

*Nota.* Propio del autor.

Como se aprecia en la tabla 8, el flujo de aire que ingresa en forma natural es de 120,00 m<sup>3</sup>/min, este no cubre las necesidades para el desarrollo del frente.

### 5.1.1.2. Salida de aire viciado

Se tiene un eje principal de salida de aire viciado (Labor 2), Nivel 4350, sección tipo herradura de 7,50 m<sup>2</sup> de área promedio por donde el aire viciado sale con un promedio de 112,50 m<sup>3</sup>/min.

**Tabla 10** — *Salida de aire de las labores.*

Estación	Eje	Nivel	Labor	Sección (m <sup>2</sup> )	Velocidad Aire (m/min)	Caudal (m <sup>3</sup> /min)	Caudal (pies <sup>3</sup> /min)
L- 2	Principal	4350	Valentina 1	7,50	15,00	112,50	3972,90
Total						112,50	3972,90

*Nota.* Propio del autor.

En la tabla 9 se aprecia la salida de aire de 112,50 m<sup>3</sup>/min, es muy deficiente, hay instintos en que la velocidad disminuye más de lo recomendado.

### 5.1.1.3. Cálculo de flujo de aire natural en diferentes profundidades lineales

El método utilizado para medir el flujo de aire natural consiste en dividir la sección de una galería en varias sub secciones de áreas iguales y la velocidad del aire medido en el centro de cada sub sección, la velocidad actual es determinada promediando las velocidades individuales. Este método es bastante preciso, pero requiere de muchas mediciones.

Para la toma de mediciones en los puntos de monitoreo se hizo uso de un anemómetro digital marca Kestrel 4300, se consideró varias

estaciones para cada punto de monitoreo y se considera el promedio de las muestras tomadas., (Ver: tabla 7)

**Los datos medidos en la labor San Valentina 1 son:**

Longitud de galería 1 = 215,729 m = 707,772 pies

Área = 3,0 m x 2,5 m = 7,5 m<sup>2</sup>. = 80,73 pies<sup>2</sup>.

Perímetro = 11 m = 36,089 pies

$$Q=V \times A \qquad \text{Ec. (20)}$$

Dónde:

Q: Flujo de Aire (m<sup>3</sup>/min).

V: Velocidad de flujo de aire (m/min).

A: Área de la sección (m<sup>2</sup>); 3,0 m x 2,5 m = 7,5 m<sup>2</sup>.

**Tabla 11 –Cálculo de flujos labor San Valentín 1**

Metros lineales	Velocidad aire (m/min)	Area promedio (m <sup>2</sup> )	Flujo de aire (m <sup>3</sup> /min)	Flujo aire (pies <sup>3</sup> /min)
BM	16,0	7,5	120,00	4237,76
0+05	15,7	7,5	117,75	4158,30
0+10	15,5	7,5	116,25	4105,33
0+15	15,4	7,5	115,50	4078,85
0+20	15,3	7,5	114,75	4052,36
0+21+5.72	15,0	7,5	0	0

*Nota:* Datos tomados de campo



De la tabla 10, podemos indicar que a medida que se profundiza la velocidad del aire disminuye como se ve en esta tabla que prácticamente al fondo de la labor no existe flujo de aire y es imposible trabajar en esas condiciones.

**Los datos medidos en la labor San Valentina 2 son:**

Longitud de galería 2 = 385,21 = 1263.83 pies

Área = 3,0 m x 2,5 m = 7,5 m<sup>2</sup>.

Perímetro = 11 m = 36,089 pies

**Tabla 12 – Cálculo de flujos labor San Valentín 2**

Metros lineales	Velocidad aire (m/min)	Area promedio (m <sup>2</sup> )	Flujo de aire (m <sup>3</sup> /min)	Flujo aire (pies <sup>3</sup> /min)
BM	15,0	7,5	112,50	3972,90
0+05	15,2	7,5	114,00	4025,87
0+10	15,3	7,5	114,75	4052,36
0+15	15,4	7,5	115,50	4078,85
0+20	15,0	7,5	112,50	3972,90
0+25	0	7,5	0	0
0+30	0	7,5	0	0
0+35	0	7,5	0	0
0+38+5.21	0	7,5	0	0

*Nota:* Datos tomados de campo.

De la tabla 11, podemos indicar que a medida que se profundiza la velocidad la labor de trabajo del aire disminuye, la velocidad inicial de salida en la labor 2, es de 112,50 m<sup>3</sup>/min, esa velocidad es bajo debido a que no existe corrientes de viento por la zona, que



prácticamente al fondo de la labor no existe flujo de aire y es imposible trabajar en esas condiciones.

#### 5.1.1.4. Gases presentes en las labores

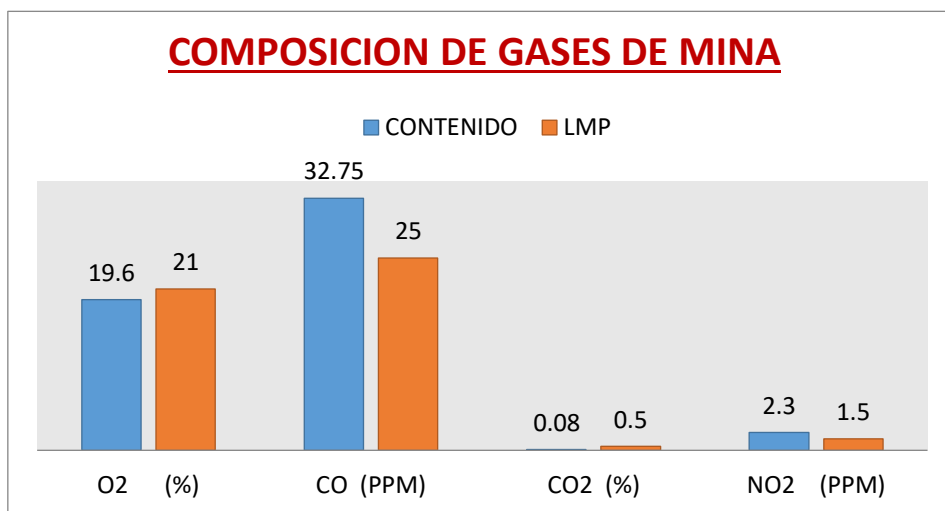
Los gases se generan por el uso de los explosivos que sirven para el arranque del frente, para realizar el trabajo de investigación se ha realizado la medición de los gases O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> se realiza en las galerías de producción, acumulación de mineral, carguío y acarreo de continuo de mineral. Ver tabla 9. Para ello se utiliza el equipo multidetector de gases Crowcon.

**Tabla 13 – Monitoreo inicial de gases en la galería 4350 – 4400**

N°	Nivel (msnm)	Labor	Temperatura (C°)	O <sub>2</sub> (%)	CO (ppm)	CO <sub>2</sub> (%)	NO <sub>2</sub> (ppm)
1	4347,42	Valentina 1	10,5	19,60	32 ,0	0,08	2,5
2	4385,15	Valentina 2	9,8	19,50	33,5	0,09	2,0
Promedio			10,15	19,55	32,75	0,085	2,25

*Nota:* Propio del autor.

Como se puede apreciar en la tabla 9 la concentración oxígeno (O<sub>2</sub>) en la labor 1, es de 19,60% está próximo al LMP que es 19,5% y de monóxido de carbono (CO) está presente en 32 partes por millón (ppm), está por encima del LMP que es de 25 ppm, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se encuentra 0,08 % está por debajo del LMP que es de 0,5%, el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) se encuentra en 2,5 ppm, quiere decir que se encuentra encima del LMP que es de 1,5 ppm.



**Figura 21 – Cuadro comparativo de barras de gases presentes en mina con los límites máximos permisibles**

*Nota.* Propio del autor.

Al analizar la figura 18, podemos ver que el contenido de los gases presentes en mina supera a los límites máximos permisibles, como por ejemplo en monóxido de carbono (CO) está presente en 32 partes por millón (ppm), está por encima del LMP que es de 25 ppm, así respectivamente.

### 5.1.2. Requerimiento de caudal de Aire

De acuerdo al Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (D.S. N° 024 – 2016- EM), artículo 246 – artículo 247.

En todas las labores subterráneas se mantendrá un aire limpio y fresco en cantidad y calidad suficientes, de acuerdo al número de trabajadores, con el total de HPs de los equipos con motores de combustión interna, así como para la dilución de los gases que permitan contar en el ambiente de trabajo con un mínimo de 19,5 % de oxígeno.

Las labores de entrada y salida de aire deberán ser absolutamente independientes. El circuito general de ventilación se dividirá en el interior de las minas en ramales para hacer que todas las labores en trabajo reciban su parte proporcional de aire limpio y fresco.



Cuando las minas se encuentren hasta un mil quinientos (1500) msnm, en los lugares de trabajo la cantidad mínima de aire necesaria por hombre será de 3 m<sup>3</sup>/min.

En otras altitudes la cantidad de aire será con la siguiente escala.

1500 a 3000 msnm., se aumenta en 40 %, que será igual a 4 m<sup>3</sup>/min.

3000 a 4000 msnm., se aumenta en 70 %, que será igual a 5 m<sup>3</sup>/min.

Sobre los 4000 msnm., se aumenta en 100%, que será igual a 6 m<sup>3</sup>/min.

Para los equipos diésel la cantidad de aire circulante no será menor de 3 m<sup>3</sup>/min., por cada HP que desarrollen los equipos. En ningún caso la velocidad del aire será menor a 20 metros por minuto en las labores de explotación.

### 5.1.3. Caudal de aire requerido

La demanda de aire que se requiere en la mina San Valentín para los trabajos en interior mina depende únicamente de 04 factores como son:

De la cantidad de hombres que trabajan por guardia.

Del número de equipos diésel que trabajan por guardia.

De la cantidad de explosivos utilizados en cada disparo.

Mantener condiciones ambientales.

#### 5.1.3.1. Por el número de personas/guardia (Q<sub>1</sub>):

En la empresa vienen laborando 15 personas/guardia

$$Q_1=qxn(m^3/min) \quad \text{Ec. (21)}$$

Dónde:

n: Número de personal (15 hombres: 07 personales de servicios, perforista 2, ayudante perforista 2, vigilantes 2, capataz general 1 y jefe de guardia 1).

q: consumo de aire por persona a más de 4000 msnm. (6 m<sup>3</sup>/min).



Según el artículo 247 del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en

Minería se tiene que:

Sobre los 4000 msnm. se aumenta en 100%, que será igual a 6 m<sup>3</sup>/min Reemplazando.

$$Q_1 = 6,0 \times 15$$

$$Q_1 = 90 \text{ (m}^3\text{/min)} = 3178,323 \text{ cf}$$

#### 5.1.3.2. Por el uso de equipos diésel (Q2):

La empresa cuenta con 02 equipos diésel

Conforme el artículo 254, inciso b, del reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, la cantidad de aire circulante será no menor de 3 m<sup>3</sup>/min. Por cada Hp. que desarrollan los equipos diésel, siendo esta:

$$Q_2 = N \times q \text{ (m}^3\text{/min)} \quad \text{Ec. (22)}$$

Dónde:

N: Número de equipos diésel (compresoras)

Q: Aire requerido por Hp (3 m<sup>3</sup>/min.)

Luego:

$$Q_2 = 3 \text{ (m}^3\text{/min)} \times 100 \text{ Hp}$$

$$Q_2 = 300 \text{ m}^3\text{/min} \times 0,60 = 180 \text{ m}^3\text{/min}$$



Tabla 14 – Cantidad de aire requerido por equipos diésel

Cantidad	Equipo	Hp/equipo	Total hp	Vol. Aire (m <sup>3</sup> /min)	Factor utilización (%)	Volunen aire (m <sup>3</sup> /min)	Caudal cfm
02	Compresora	20	40	3,00	60	72,0	2542,658
02	Ventilador	30	60	3,00	60	108,0	3813,987
Total			100	3,00	60	180,0	6356,645

Nota. Propio del autor.

### 5.1.3.3. Caudal de aire por la dilución de contaminantes de explosivos (Q<sub>3</sub>):

Para definir las necesidades de aire por consumo de explosivo se consideran las actividades de desarrollo de cortada y galería, cuya necesidad resulta de la aplicación de las fórmulas establecidas, que se detallan como sigue:

$$Q_3 = A \times V \times n \text{ (m}^3\text{/min)} \quad \text{Ec. (23)}$$

Dónde:

A: Área de sección promedio de la galería. (3,0 m. x 2,5 m. = 7,5 m<sup>2</sup>)

V: Velocidad del aire (según el artículo N° 248, del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minera, se tendrá como mínimo una velocidad de 20 m / min.

n: Números de niveles.

$$Q_3 = 7,5 \text{ m}^2 \times 20 \text{ m/min} \times 2$$

$$Q_3 = 300 \text{ m}^3\text{/min.}$$



Tabla 15 – Cantidad de aire requerido para la dilución de contaminantes

Nivel	Labor	Base (m)	Altura (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /min)	Caudal (cfm)
4350	Galería	3,00	2,50	7,50	150	5297,30
4400	Galería	3,00	2,50	7,50	150	5297,30
Total					300	10594,60

Nota. Propio del autor.

#### 5.1.3.4. Caudal de aire total

El caudal de aire total es el resultado de la suma del aire requerido, por tanto, el aire total requerido para la Mina Urano es de:

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_t = 90 + 180 + 300$$

$$Q_t = 570 \text{ m}^3/\text{min}.$$

$$Q_t = 20129,378 \text{ cfm} \approx 21000,0 \text{ cfm}.$$

Tabla 16 – Cantidad total de aire requerido para la mina San Valentín

Descripción	Flujo de aire requerido (m <sup>3</sup> /min)	Flujo de aire requerido (cfm)
Por el número de personas	90	3178,322
Por el uso de equipos diesel	180	6356,646
Por la dilución de contaminantes	300	10594,410
Total	570	20129,378

Nota. Propio del autor.

Como en los cálculos realizados sobre el requerimiento de aire de la mina que es igual a 20129,378 cfm, redondeando sería a 21000 cfm,

a comparación del caudal natural que ingresa a la mina es relativamente menor, en la mina anteriormente se instaló un ventilador de 15000 cfm lo cual en el aumento de la profundidad de nuestras operaciones ha sido necesario el requerimiento de un nuevo ventilador que satisfaga las necesidades de aire en nuestra operación.

## 5.2. Parámetros para el dimensionamiento del ventilador

### 5.2.1. Velocidad de aire en la galería

La velocidad de aire en la galería principal N 4350 y la galería 4400 en la Mina San Valentín S.A. será:

$$V = Qt/A \quad \text{Ec. (24)}$$

$$V = 21000 \text{ cfm} / 80,73 \text{ pies}^2$$

$$V = 260126 \text{ pies} / \text{min}$$

$$V = 79,28 \text{ m} / \text{min}$$

### 5.2.2. Sección de la manga

La sección de la manga de ventilación deberá ser por norma 20 veces menor que la sección de la galería, fórmula aplicada para la determinación del área de una galería, a partir de esta fórmula se calcula el diámetro de la manga.

$$A = \pi D^2 / 4$$

Ec. (25)

Dónde:

A = Área del diámetro de la manga. (pies<sup>2</sup>)

D = Diámetro de la manga (pies)

Teniendo en cuenta que la sección debe ser 20 veces menor que la sección de la galería, entonces la sección de la manga es:

$$S = 80,73 \text{ pies}^2 / 20 = 4,04 \text{ pies}^2.$$

Reemplazando los valores en la Ecuación 25 y despejando D, se tiene:



$$\pi * D^2 / 4 = 4,04 \text{ pies}^2.$$

$$D = 2,27 \text{ pies} * 12 \text{ pulg.}$$

$$D = 27,2 \text{ pulg.} \approx \mathbf{27 \text{ pulg.}}$$

### Velocidad en la manga

La velocidad en la manga será:

$$V = 21000 \text{ cfm} / 4,04 \text{ pies}^2.$$

$$V = 5198,02 \text{ pies} / \text{min.}$$

$$\mathbf{V = 1584,36 \text{ m} / \text{min.}}$$

Una vez realizado los cálculos pertinentes se lograron determinar los siguientes datos

**Tabla 17 – Resumen de parámetros**

Caudal requerido	21000,00 cfm
Diámetro de la manga	27 pulg.
Velocidad de aire en galería	79,28 m / min
Velocidad de aire en la manga	1584,36 m / min.

*Nota.* Propio del autor.

### 5.2.3. Determinando la capacidad del ventilador

Para ventilar una mina se necesitan ciertas cantidades de flujo de aire, con una presión determinada a cierta cantidad del aire. Conocida la pérdida de presión y el caudal de la mina, en este caso se hace los cálculos tomando los datos de la densidad, temperatura, presión y la altura a partir del nivel del mar, donde se utiliza la fórmula de presión atmosférica a la altura del punto de entrada de aire a la labor.

Tenemos:

$$\text{Log}P_2 = \text{Log}P_1 - H / 122.4 (\text{°F} + 460) \tag{Ec. (26)}$$

Dónde:





P<sub>2</sub>: Presión atmosférica a la altura del punto de entrada (lbs/pul<sup>2</sup>), mm. de Hg, pul. de Hg

P<sub>1</sub>: Presión atmosférica al nivel del mar (14,7 lbs/pul<sup>2</sup>), 760 mm. de Hg., 29,92 pul. de Hg

H: Altura del punto de entrada (pies).

°F: Temperatura en (°F) a la altura del punto de entrada.

Datos:

$$^{\circ}\text{T} = 10,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$^{\circ}\text{F} = 9/5 (10,5) + 32$$

$$^{\circ}\text{T} = \mathbf{50,90 \text{ }^{\circ}\text{F}}$$

$$H = 4385,15 \text{ msnm.}$$

$$\mathbf{H = 14386,9 \text{ pies}}$$

Tenemos:

$$\text{LogP}_2 = \text{LogP}_1 - H / 122,4 ({}^{\circ}\text{F} + 460) \quad \text{Ec. (27)}$$

Reemplazando tenemos:

$$\text{Log P}_2 = \text{Log} (29,92) - 14386,9 / 122,4 (50,90 + 460)$$

$$\text{Log P}_2 = 1,47596 - 14386,9 / 62534,16$$

$$\text{Log P}_2 = 1,24589$$

$$P_2 = \text{anti log} (1,24589)$$

$$\mathbf{P_2 = 17,62 \text{ pul. de Hg}}$$

### Cálculo de la densidad

$$D = 1,34 * P_b / 460 + T^{\circ}$$

Ec. (28)

Dónde:

D= Densidad en (lb / pie<sup>3</sup>)

T°: Temperatura (°F)

P<sub>b</sub>: Presión barométrica o atmosférica en (pulg.de Hg), se obtiene de tablas.

Según tabla N°14 a una altitud de 4385,15 = 4400 msnm, la presión atmosférica es 438,90 mm. de Hg = 17,30 pulg. de Hg., con los cálculos de la Ecuación 27 se obtiene un P2 de 17,62 pul de Hg., que es valor próximo a de la tabla 14, para determinar la densidad del aire utilizamos el valor obtenido de la tabla.

Reemplazando valores en la Ecuación N° 28

$$D = 1,34 * 17,62 / 460 + 50,90$$

$$D = 23,18 / 497,83$$

$$D = 0,050 \text{ lb} / \text{pie}^3$$

**Tabla 18 — Valores de Presión atmosférica en función de la altura**

Altitud (m.s.n.m.)	Presión Atmosférica (mm Hg)	Presión de O2 en el aire (Mm Hg)	Temperatura (°C)
0	760.0	159.2	15.0
1000	674.1	141.2	8.5
2000	596.3	124.9	2.0
3000	526.0	110.2	-4.5
3500	493.4	103.4	-7.7
4000	462.5	96.9	-11.0
4200	450.6	94.4	-12.3
4400	438.9	91.9	-13.6
4600	427.5	89.6	-14.9
4800	416.3	87.2	-16.2
5000	405.4	84.9	-17.5
6000	354.2	74.2	-24.0
7000	308.3	64.6	-30.5
8000	267.4	56.0	-36.9
8848	236.3	49.5	-42.4

*Nota:* Estándares de la organización de aviación civil internacional, 1996.

Salud, minería y altura, centro de estudios de medicina ergonomía en faenas de altura.

## Determinación de las pérdidas de carga

### Resistencia de la galería

Consideramos  $K = 175 \times 10^{-10}$ , que corresponde a un desarrollo moderadamente obstruido en roca Ígnea, de acuerdo a la tabla (ver del anexo 7) y está dado en  $(\text{lb. min}^2/\text{pie}^4 \times 10^{-10})$

Aplicando la fórmula de Atkinson y los datos medidos de la labor San Valentín 2 se tiene:

$$H_f = K \times P \times L \times Q^2 / 5.2 \times A^3 \quad \text{Ec. (29)}$$

Dónde:

K: Coeficiente de fricción, mediante tablas  $(\text{lb. min}^2/\text{pie}^4 \times 10^{-10})$

P: Perímetro de la labor (36,09 pies)

L: Longitud de la labor (1263,83 pies)

Q: Caudal o flujo de aire (21000 cfm)

A: Área promedio de la labor  $(80.73 \text{ pies}^2)$

Reemplazados valores en la ecuación (29)

$$H_f = (175 \times 10^{-10}) \times (36,09) \times (1263,83) \times (21000)^2 / 5,2 \times (80,73)^3$$

$$H_f = 0,128 \text{ pulg. de H}_2\text{O}$$

### Capacidad del ventilador (C).

$$C = Q (\delta \text{ aire de mina} / \delta \text{ aire estándar})^{1/2} \quad \text{Ec. (30)}$$

Dónde:

C: Capacidad de flujo del ventilador (cfm)

Q: Caudal de flujo de aire requerido (21000 cfm)

$\delta$ : Densidad de aire de mina y estándar (0,050 y 0.075 lb / pie<sup>3</sup>)

Reemplazado en la Ec. (26) se tiene.

$$C = 21000 (0,050/0,075)^{1/2}$$

$$C = 17,147 \approx 18,000 \text{ cfm.}$$



**Potencia del ventilador (P)**

$$P=Q \times H / 75 \times n \times D E \times M E \tag{31}$$

Dónde:

P: Potencia del ventilador (HP)

Q: Caudal de flujo de aire requerido (18000 cfm)

H: Caída de presión del sistema (0, 128 pulg. de H<sub>2</sub>O)

n: Eficiencia del ventilador (70-80) %

DE: Eficiencia de la transmisión (90–80) %

ME: Eficiencia del motor (85–95) %

Reemplazado en la Ecuación (31), se tiene:

$$P= 18000 \times 0,128 / 75 \times 0,70 \times 0,90 \times 0,85$$

$$P= 57 \text{ HP}$$

**5.3. Requerimiento de aire vs caudal de ingreso de aire en forma natural**

De la evaluación del sistema de ventilación se tiene una deficiencia de 843 m<sup>3</sup>/min de aire limpio para cubrir con los requerimientos mínimos de caudal de aire limpio, (Ver: tabla 15).

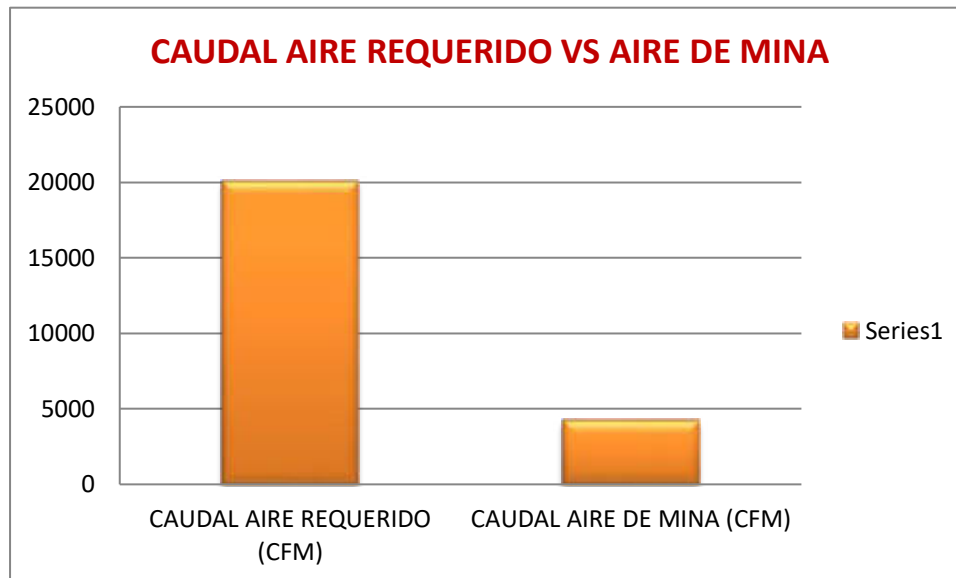
**Tabla 19. — Ingreso de aire natural y caudal de aire requerido**

Descripción	Caudal (m <sup>3</sup> /min)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Caudal ( cfm)
Caudal de aire requerido	570	9,5	20129,378
Ingreso de aire	120	7,5	4237,760
Deficiencia	450	2,0	15891,618

*Nota.* Propio del autor



Del cuadro anterior podemos manifestar que el aire que ingresa en forma natural es muy bajo, debido a muchos factores como podemos citar, la diferencia de altitud, la presión en la entrada y salida del aire, la velocidad del viento y otros, y tiene una deficiencia de 450 m<sup>3</sup>/min de flujo de aire.



**Figura 22 — Comparativo de barras de caudal de aire requerido y caudal de aire presente en la mina**

*Nota.* Propio del autor

En la figura 22, se ve notoriamente que en la Mina San Valentín SA. El flujo de aire natural es muy deficiente, por lo tanto, requiere instalar un sistema de ventilación que satisfaga las necesidades de las personas que trabajan para poder laborar en óptimas condiciones de salud.

## 5.4. Simulación del sistema de Ventilación

### 5.4.1. Introducir o importar a VentSim Visual

Primeramente, se ha trabajado en el programa MineSigth, cual se ha importado los puntos tomados en las labores existentes (ver anexos puntos del levantamiento de las labores de mina), una vez diseñado las labores, se ha importado las líneas unifilares diseñados y la topografía (ver plano del Anexo 8), que luego se ha introducido la dimensión de las secciones en las diferentes labores que forman parte del circuito de ventilación.

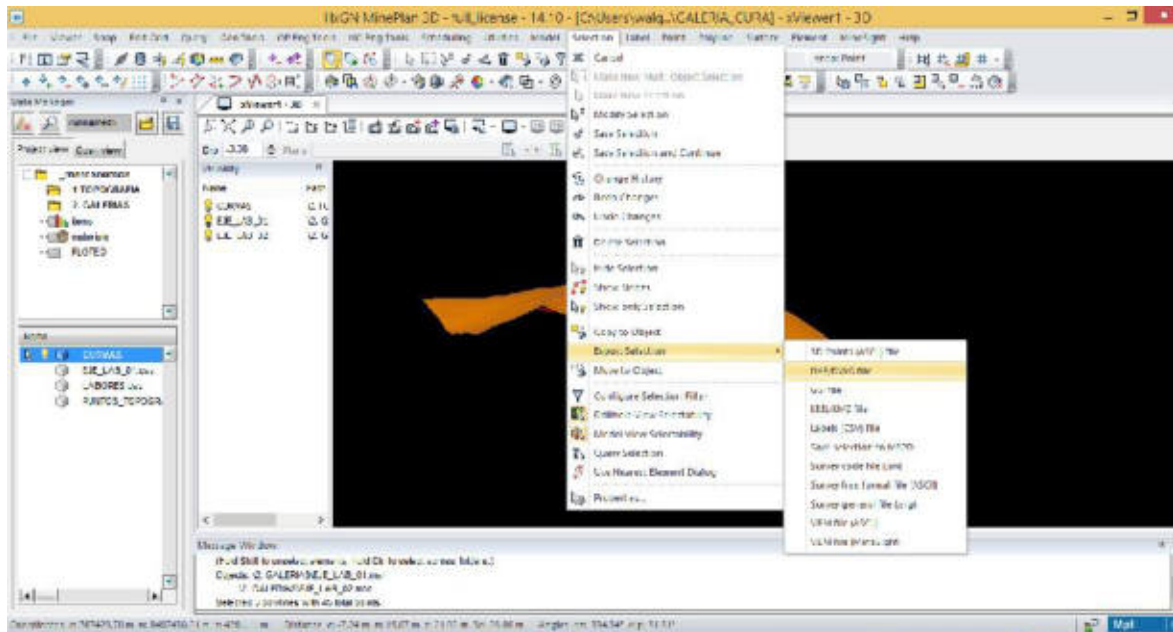


Figura 23 — Exportación del MineSight al formato DXF

Nota. Propio del autor.

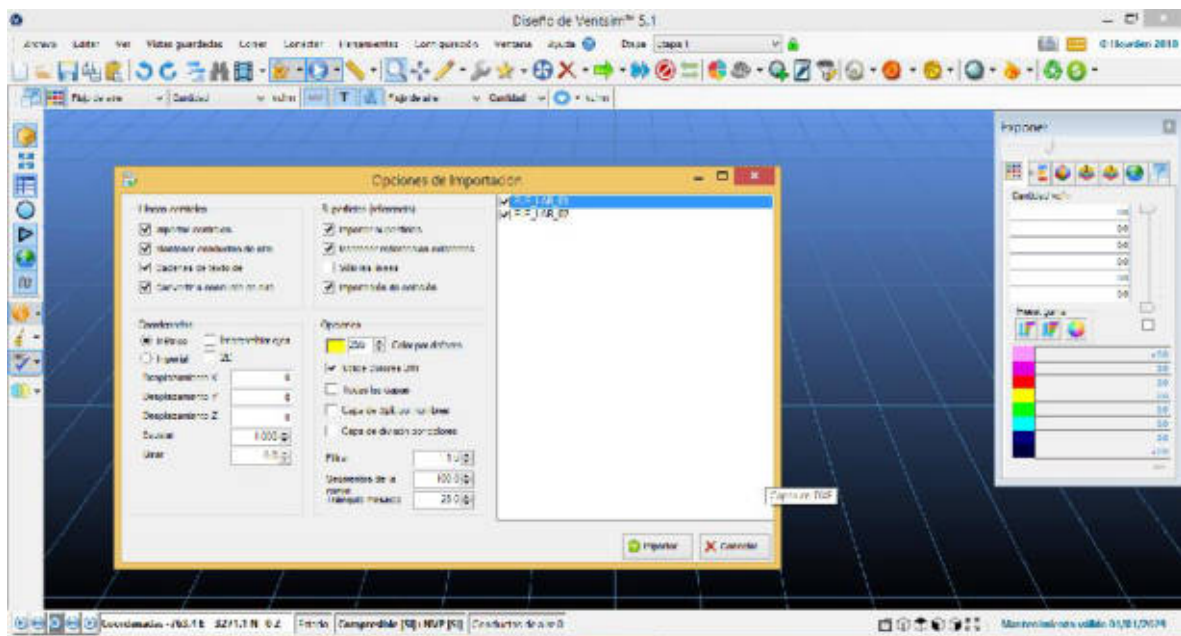


Figura 24 — Importación del formato DXF al programa VentSim

Nota. Propio del autor.

### 5.4.2. Visualización previa para la introducir los datos geométricos

Asegurarse de que se han introducido correctamente los datos geométricos y de dimensiones, de las entradas y salidas de aire, la topografía en 3D de las labores y las unidades, para nuestro caso estamos trabajando en sistema Imperial.

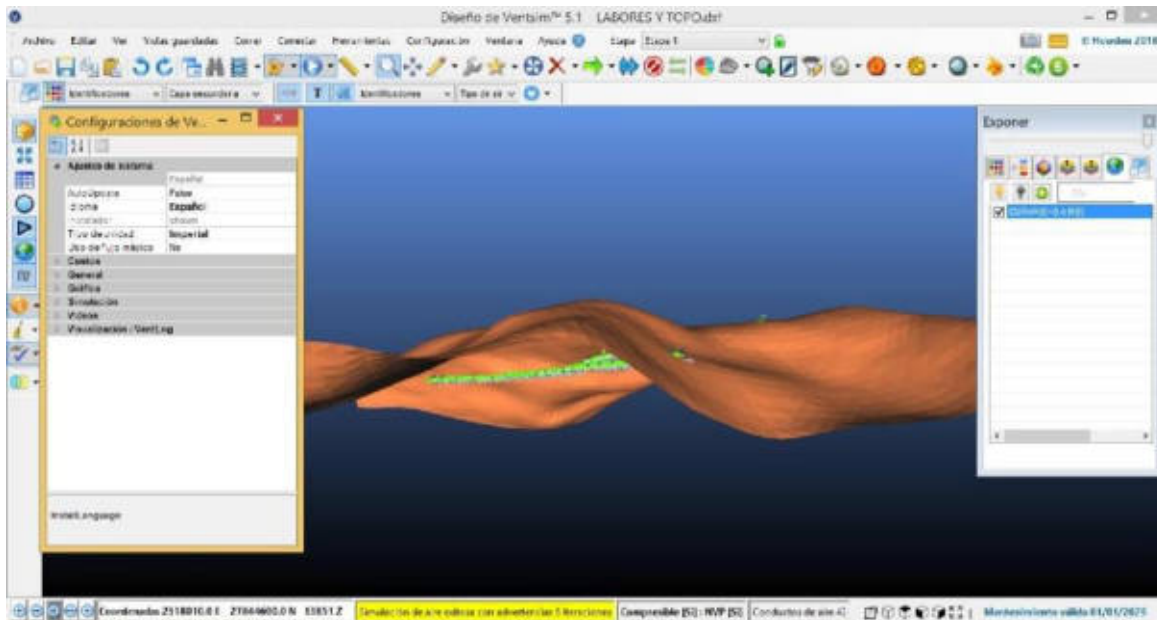


Figura 25 — Configuración del sistema en el programa VentSim

Nota. Propio del autor.

### 5.4.3. Visualización previa de ingreso y salida de aire

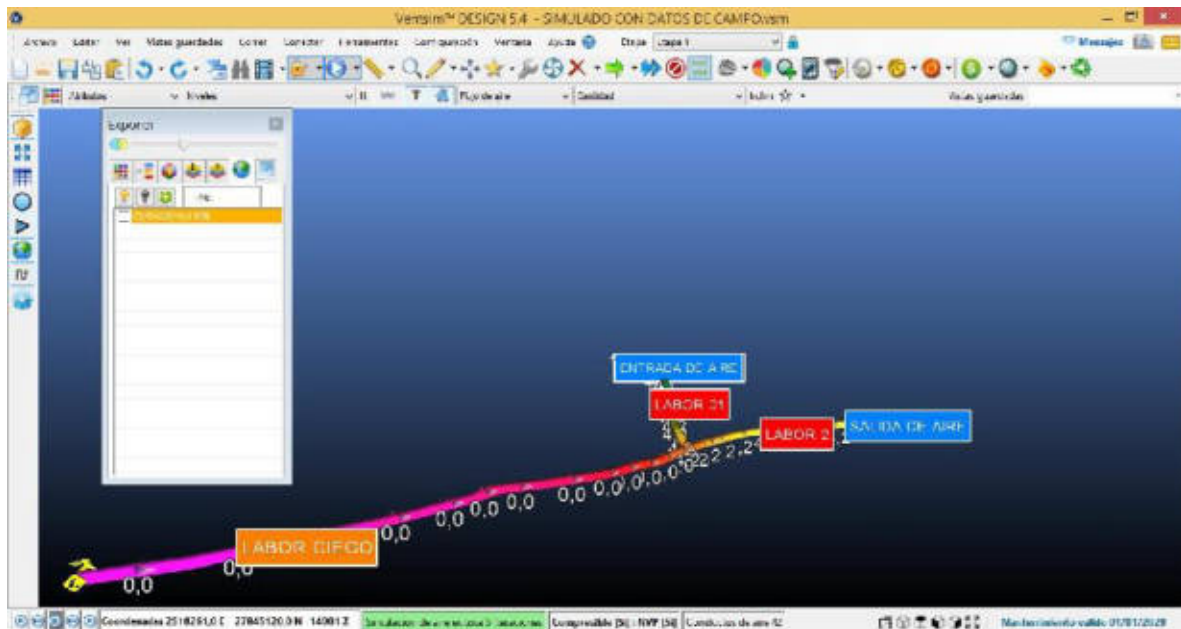
Una vez importados la galería y la topografía en 3D, definimos el ingreso y salida del flujo de aire del sistema de ventilación de las labores de la Minera San Valentín S.A, y para ello en el programa VenSim Visual, se ha tenido de indicar el ingreso y salida del flujo de aire







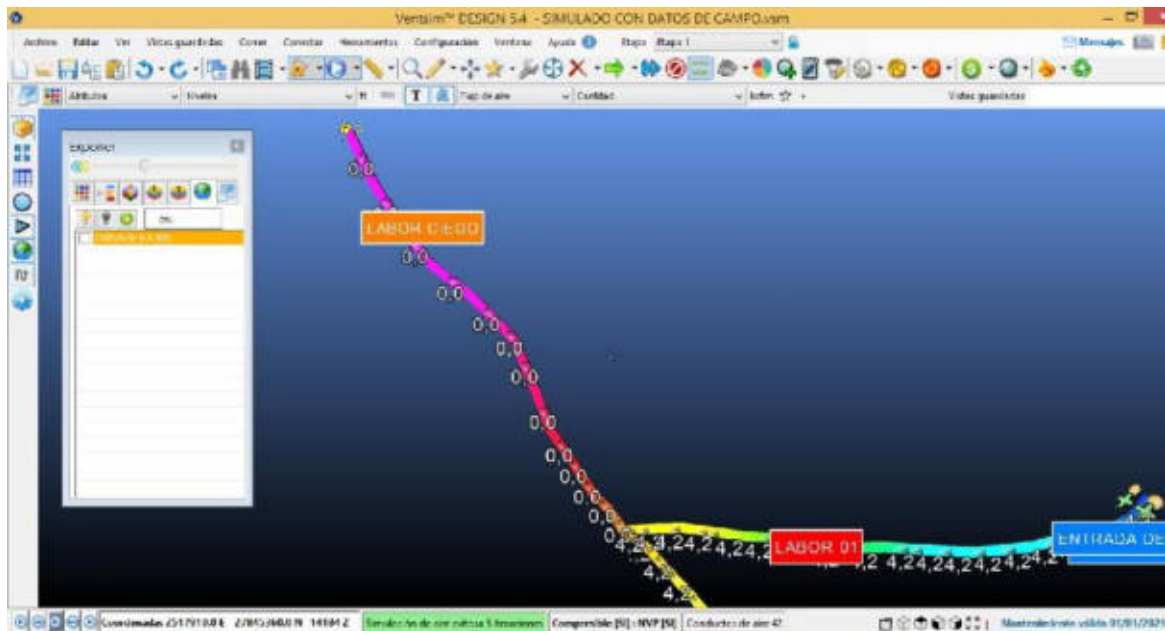
En la figura 24, se visualiza la simulación del circuito de ventilación la cual podemos ver que el aire ingresa por la labor 1, que tiene una altitud de 4385,15 msnm, y l flujo de aire es de 4238 cfm., este se mantiene casi constante durante el trayecto debido a que existe un ingreso y salida de aire, diferencia de altitud y presión entre las dos labores.



**Figura 28 — Vista de salida de aire de la labor 2**

*Nota.* Propio del autor.

En la figura 25, se visualiza la salida del flujo de aire, que es similar al flujo de ingreso de aire, esto debido a que el circuito es distancia corta y existe una diferencia de altitud y presión entre la entrada y salida de aire.



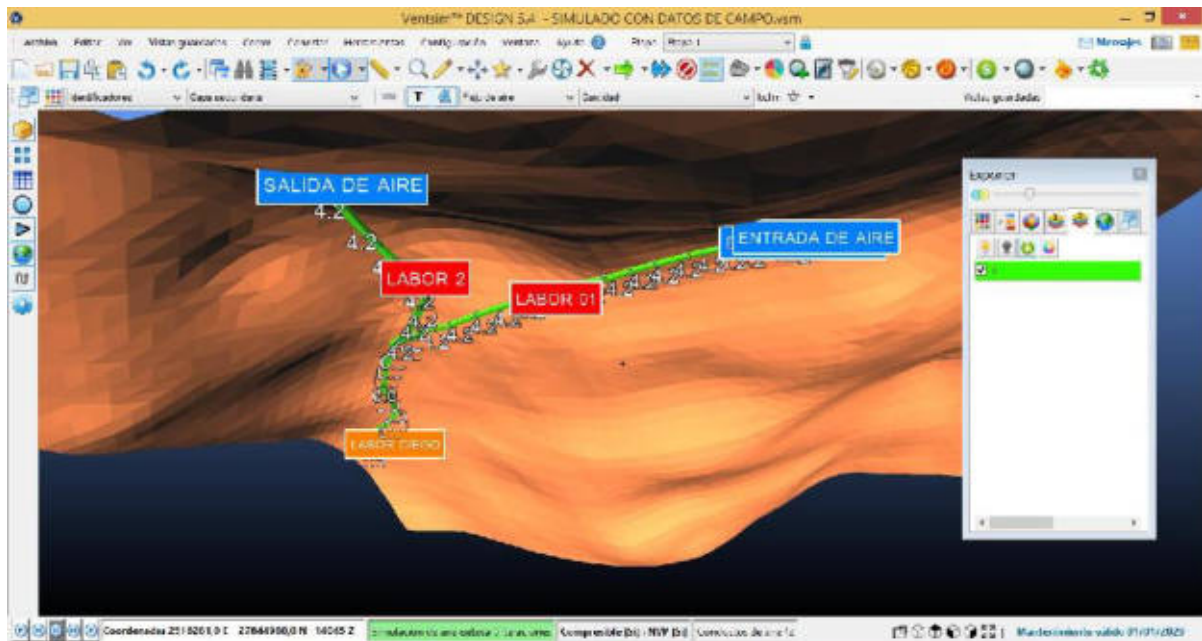
**Figura 29** — Vista de labor ciego de la mina San Valentín S.A

*Nota.* Propio del autor.

En la figura 26, podemos ver que el flujo de aire es cero, debido a que la labor es ciega, no existe una salida del flujo de aire, para poder seguir profundizando la labor y las estocadas para poder producir materia prima, se requiere instalar un sistema de ventilación para poder extraer e aire viciado o contaminado que se encuentra en esa labor ciega, que es el objetivo del presente trabajo.

#### **5.4.5. Resultado de la simulación**

Una vez ingresado los flujos de aire de ingreso, las secciones y las propiedades físicas del aire de mina que se visualiza en el presente gráfico, (ver figura 27)



**Figura 30** — Vista de labor ciego de la mina San Valentín S.A.

*Nota.* Propio del autor.

En el presente gráfico, podemos ver el circuito de ventilación, donde se ha ingresado los valores y datos de mina, se nota claramente que el aire circula de la labor 1 donde ingresa y sale por la labor 2, y en la labor ciega no existe flujo de aire es prácticamente cero.

#### **5.4.6. Simulación del circuito de ventilación con datos determinados según requerimiento**

Se ha simulado el circuito de ventilación de acuerdo al requerimiento de aire determinado según los cálculos se requiere un caudal de 21000 cfm., de flujo de aire para el sistema para poder trabajar en óptimas condiciones de salud, de acuerdo a las normas que estipula sobre ventilación, para poder trabajar en labores subterráneas.

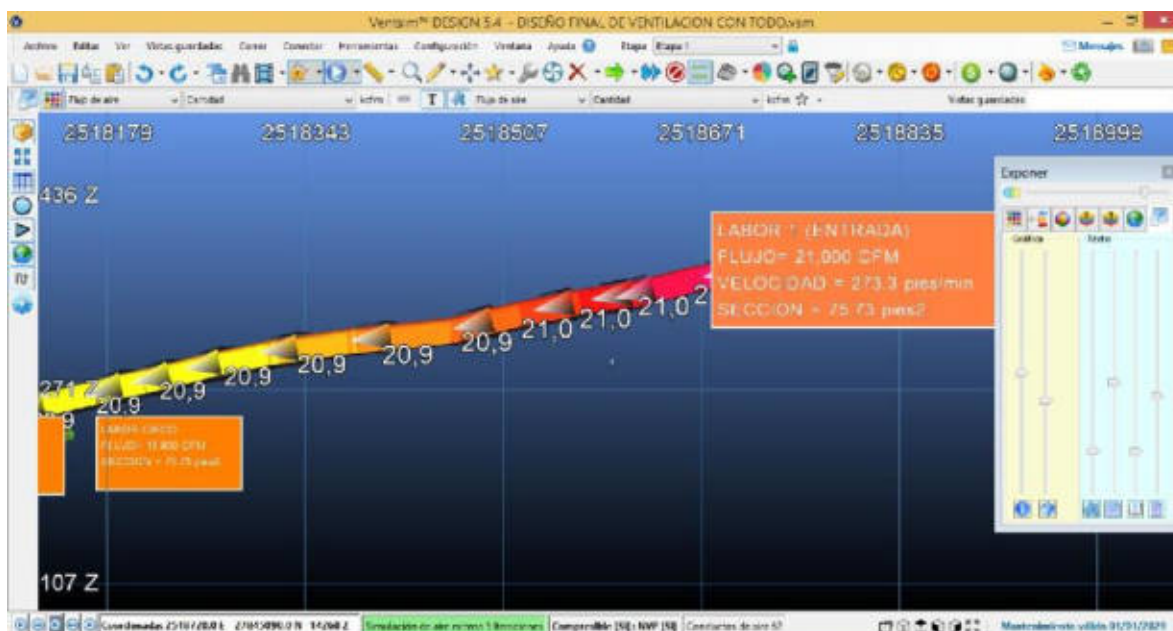


Figura 31 — Entrada de flujo de aire labor 1

Nota. Propio del autor.

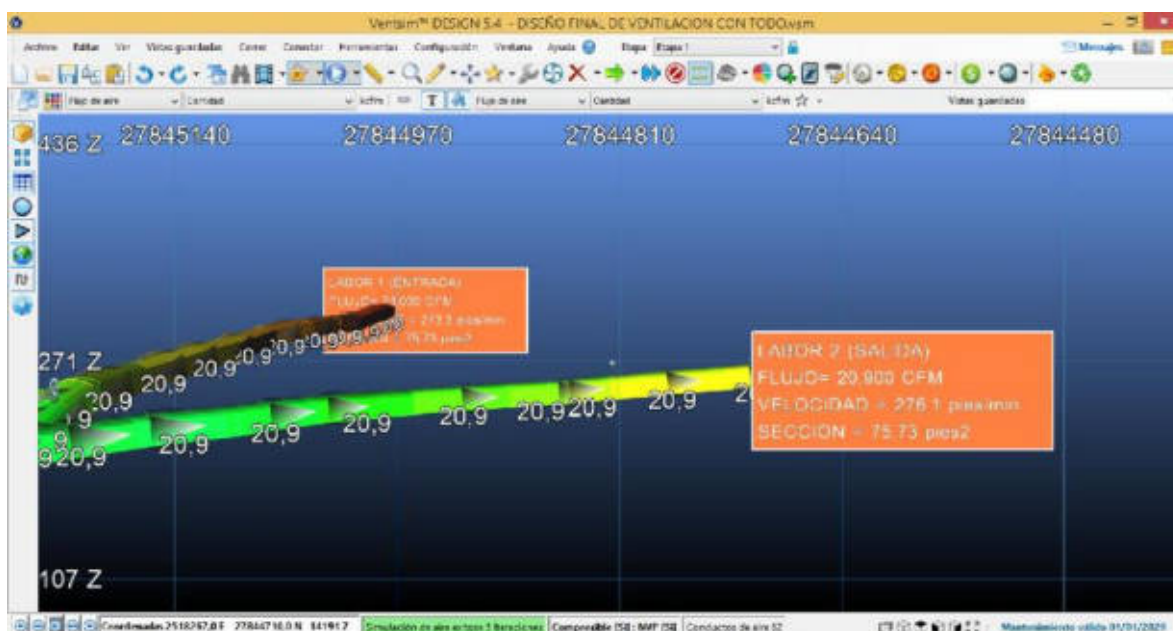


Figura 32 — Salida de flujo de aire labor 2

Nota: Propio del autor.

### 5.4.7. Instalación de sistema de ventilación auxiliar a la labor ciega

El objetivo fundamental que persigue la ventilación auxiliar es el de generar y mantener en el interior de las labores una atmósfera cuya composición, temperatura y grado de humedad aseguren un ambiente de trabajo adecuado para el correcto desempeño de hombres y maquinarias. Para nuestro proyecto es ventilar labores ciegas, topes donde no hay circulación de flujo de aire, tal como se muestra en la figura 27, el objetivo del presente trabajo es instalar un ventilador en la intersección de las labores 1 y 2, que parte de dicha intersección, para este tipo ventilación se va utilizar un ventilador auxiliar o secundario, utilizando el método combinado (impelente y aspirante).

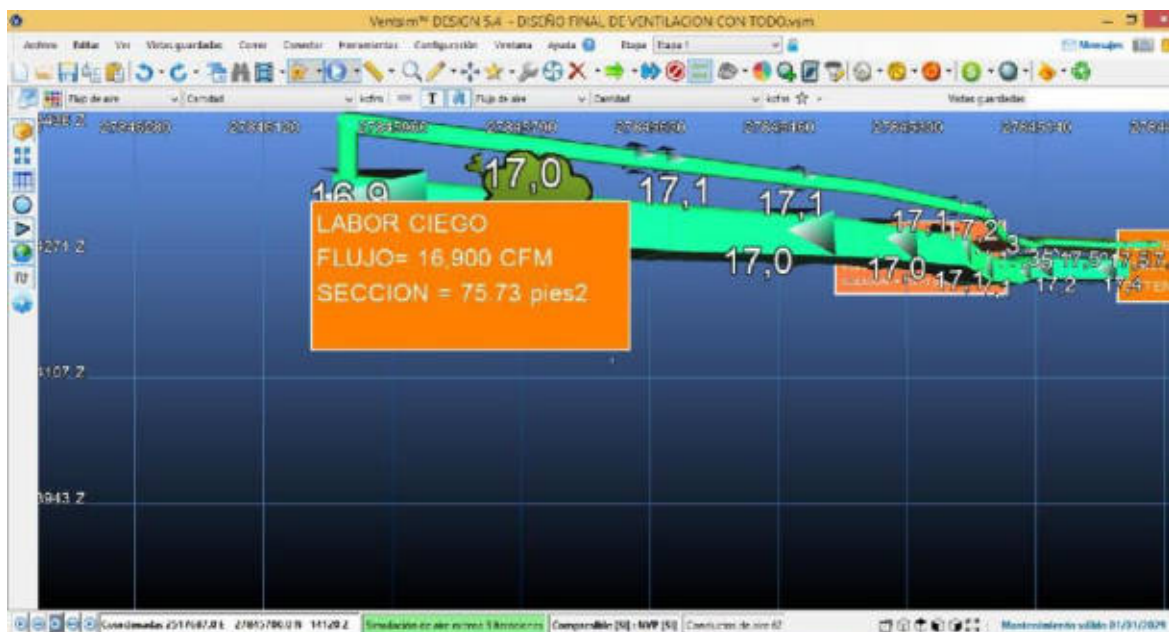


Figura 33 — Visualización de la labor ciega

*Nota.* Propio del autor.

En la figura 33, podemos notar que en la labor ciega el flujo es cero, debido a que no existe un punto de salida.



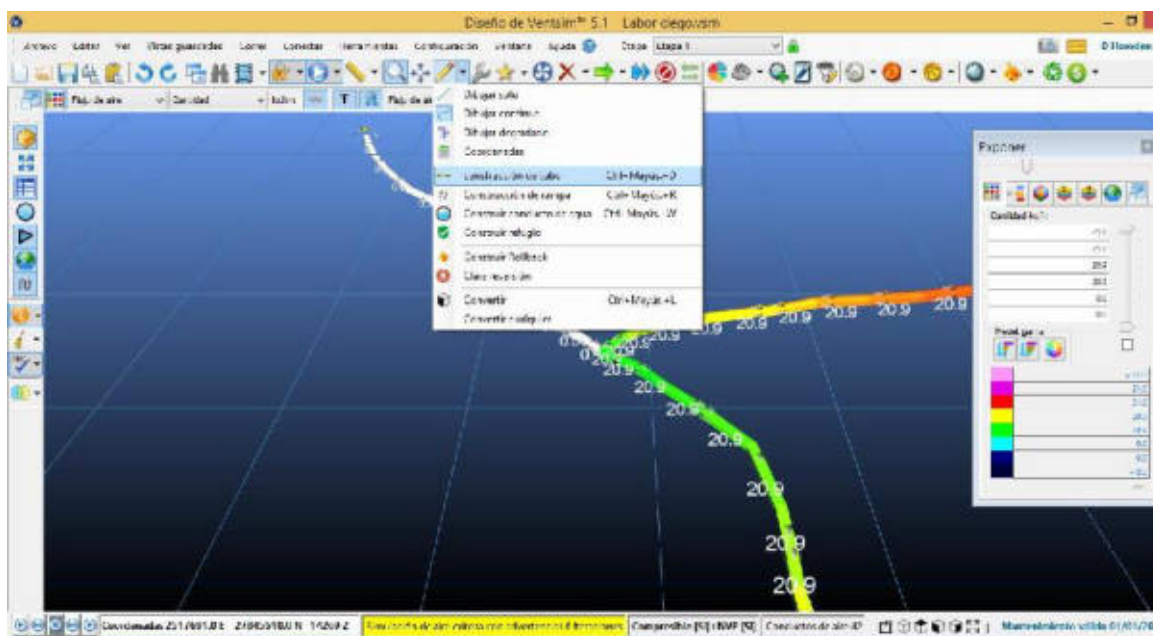


Figura 34 — Construcción de ducto de ventilación

Nota. Propio del autor.

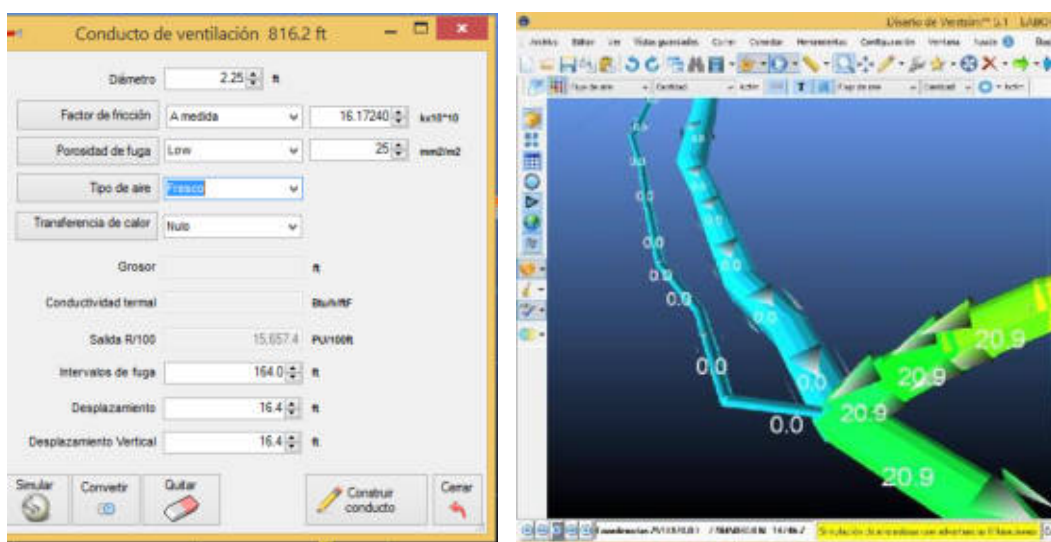


Figura 35 — Datos del ducto de ventilación y visualización del ducto de ventilación

Nota. Propio del autor.

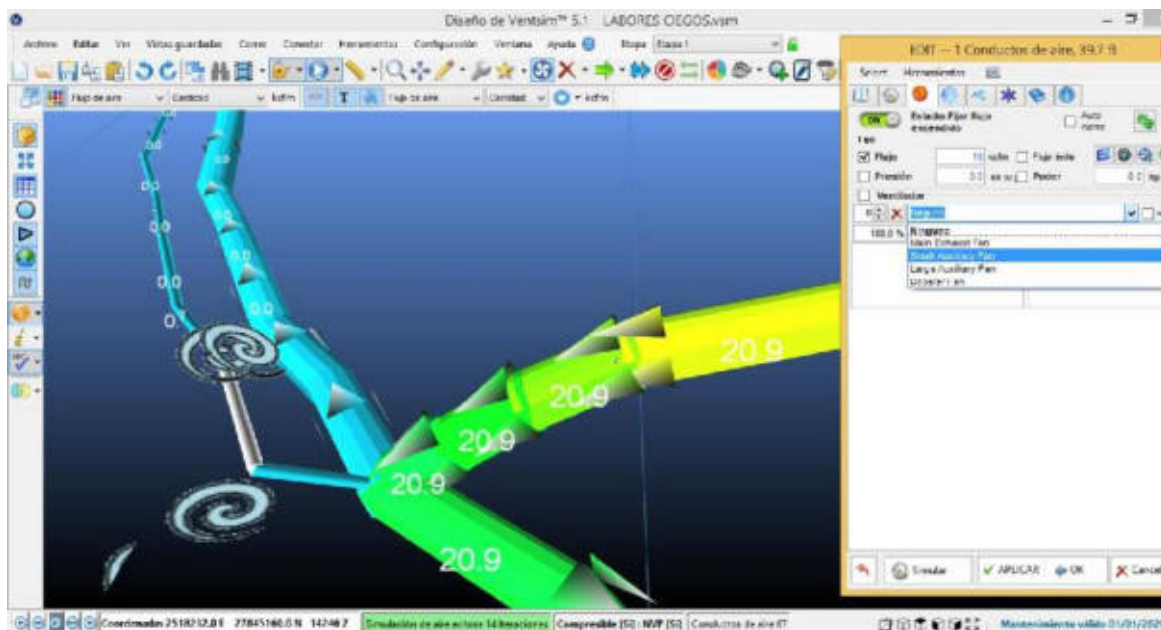


Figura 36 — Instalación de ventilador auxiliar de flujo de 18000 cfm

Nota. Propio del autor.

En el grafico 36, se muestra que el flujo de aire en la labor ciego es prácticamente cero no fluye a ningún sentido debido a que no existe una galería de salida de aire.

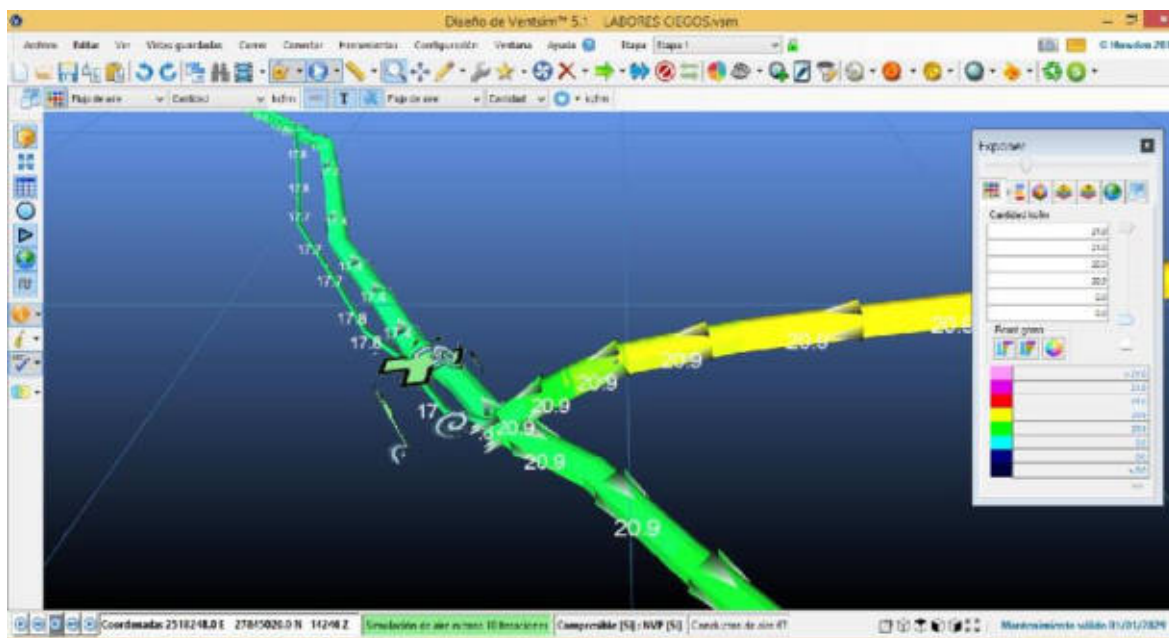


Figura 37 — Simulación del ventilador auxiliar método combinado

Nota. Propio del autor.

Para realizar la simulación, figura 37, se ha agregado un ventilador auxiliar en punto de inicio de la labor ciego, esto se visualiza en el gráfico que el flujo que circula en la labor ciego es de 18,00 Kcfm.

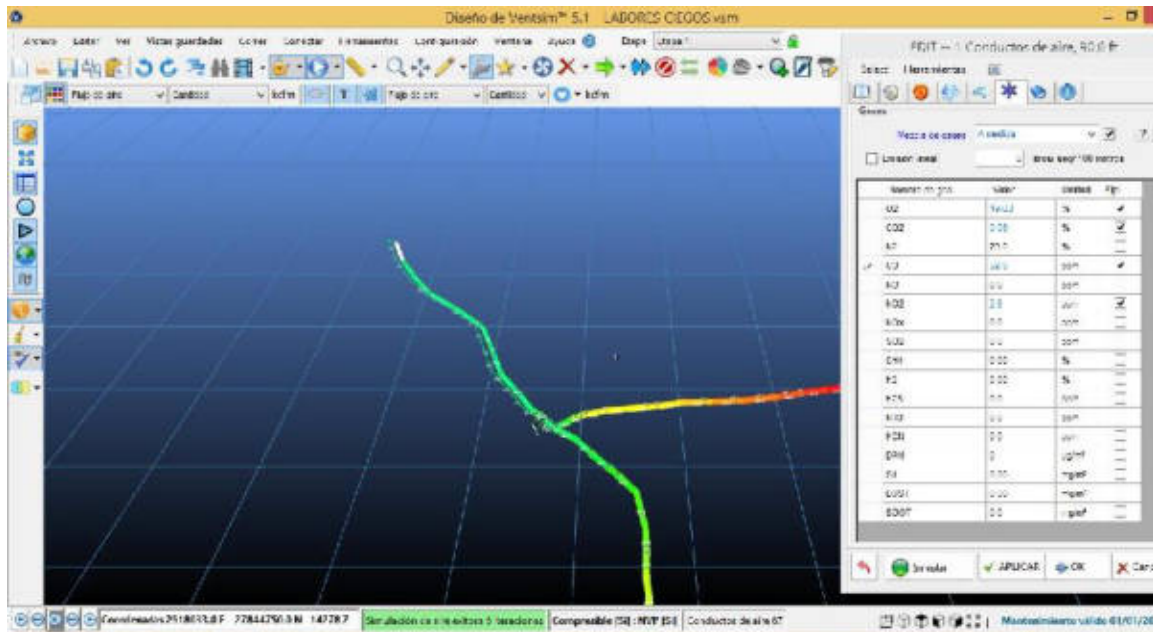


Figura 38 — Configuración de contaminantes

Nota. Propio del autor.

#### 5.4.8. Introducir el ventilador auxiliar

Para poder ingresar el ventilador es de acuerdo a la curva característica del tipo ventilador que el fabricante te facilita. Un ventilador podemos caracterizarlo por su curva y para cada ángulo de regulación de los alabes tendremos una curva distinta. El punto de corte de la curva del ventilador con la resistencia del circuito es el punto de funcionamiento del ventilador.

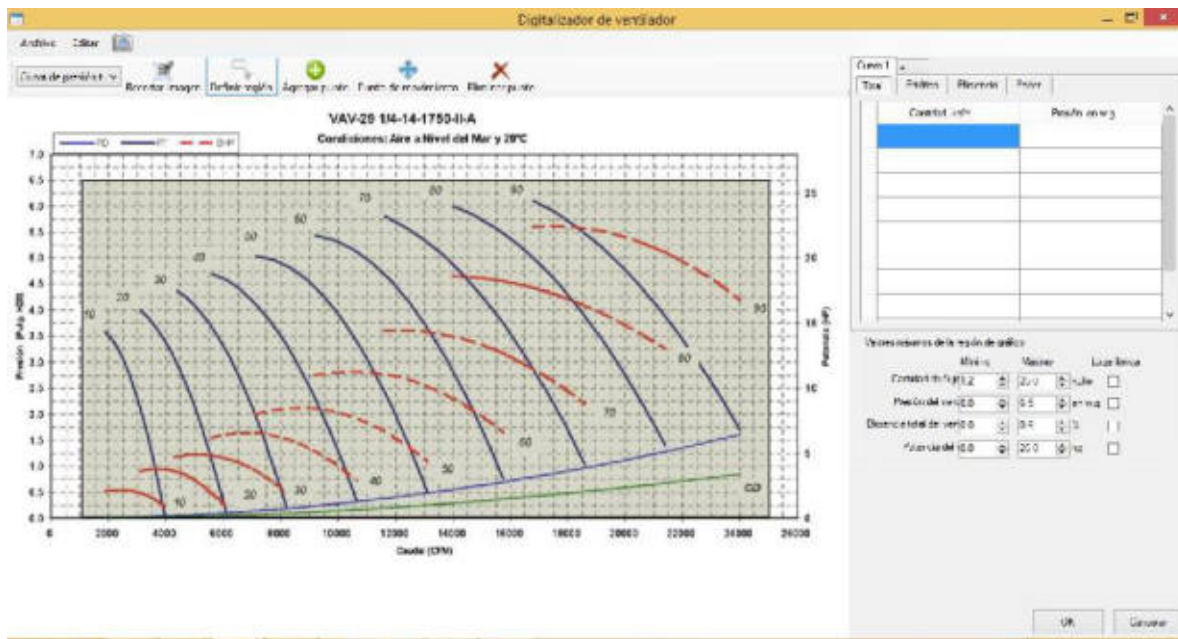
Cada ventilador tiene una curva característica para cada ángulo de los alabes, según su modelo y fabricación.

Para nuestro proyecto de Ventilación se ha seleccionado un ventilador AIRTEC, modelo VAV-291/4 – 14 -1750 –II – A, de acuerdo a los cálculos previos que se ha realizado en el Item 4.2.8 del presente trabajo de investigación.

#### Seleccionando ventilador



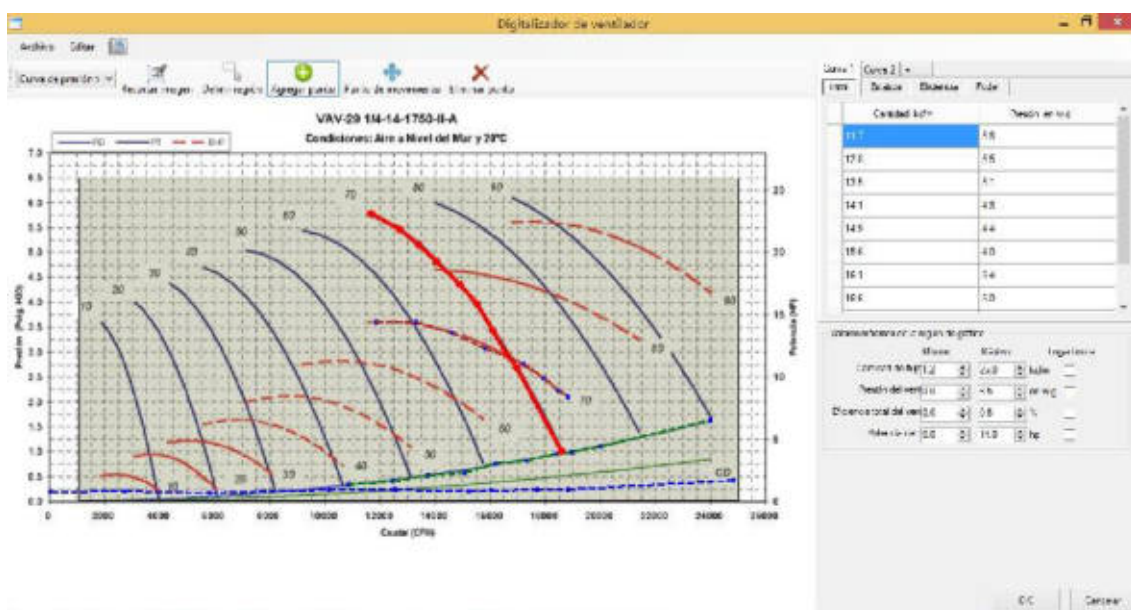




**Figura 39 — Ingreso de la curva del ventilador**

*Nota:* Propio del autor.

Para poder digitalizar se ha tenido que ingresar la imagen del ventilador seleccionado, para poder digitalizar y obtener la presión dinámica, la presión total, la presión estática y la potencia del ventilador, tal como se muestran en los gráficos siguientes.



**Figura 40 — Ingresando valores de presión total, presión dinámica, eficiencia y poder del ventilador**

*Nota:* Propio del autor.



El Figura 40, nos permite obtener mediante trazo y intersección los siguientes valores del ventilador Axial.

Procedimiento de utilización

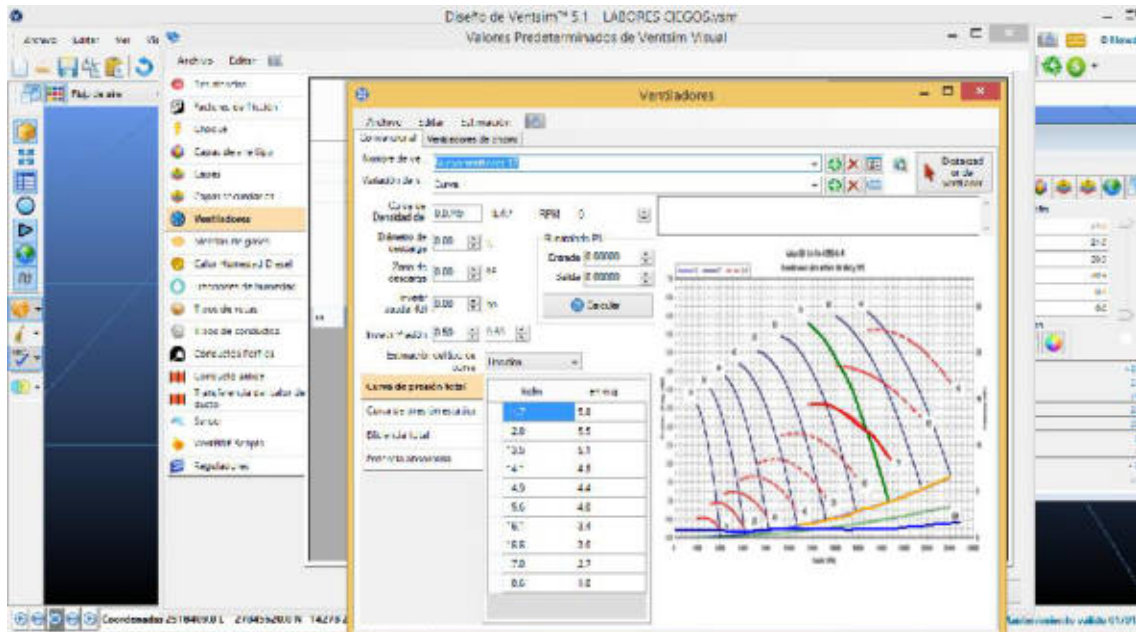
1. Cada ventilador tiene una curva característica para cada ángulo de los alabes (por ejemplo 80).
2. Con el valor del caudal medido (por ejemplo 18000 cfm), se traza una perpendicular hasta la intersección con la curva característica de presión total, con el ángulo correspondiente de los alabes (80). De esta intersección, se traza una horizontal, hacia el eje de la izquierda, allí se puede leer la Presión Total entregada por el ventilador (por ejemplo 4,25 pulg. de H<sub>2</sub>O).
3. Con el valor del caudal medido (por ejemplo. 18000 cfm), se traza una perpendicular hasta la intersección con la curva de presión dinámica del ventilador, de este punto se traza una horizontal, hacia el eje de la izquierda, allí se lee la presión dinámica (por ejemplo. 0,25 pulg. de H<sub>2</sub>O).
4. La presión Estática se obtiene restando la Presión dinámica, de la Presión Total (por ejemplo  $4,25 - 0,25 = 4,0$  pulg. de H<sub>2</sub>O).
5. Con el valor del caudal medido (por ejemplo. 18000 cfm), se traza una perpendicular hasta la intersección con la curva de potencia, con el ángulo correspondiente de los alabes. De esta intersección, se traza una horizontal, hacia el eje de la derecha, allí se puede leer la Potencia consumida por el ventilador (por ejemplo. 10 Hp).

Presión dinámica = 0,25 pul. de H<sub>2</sub>O

Presión total: 4,25 pul de H<sub>2</sub>O

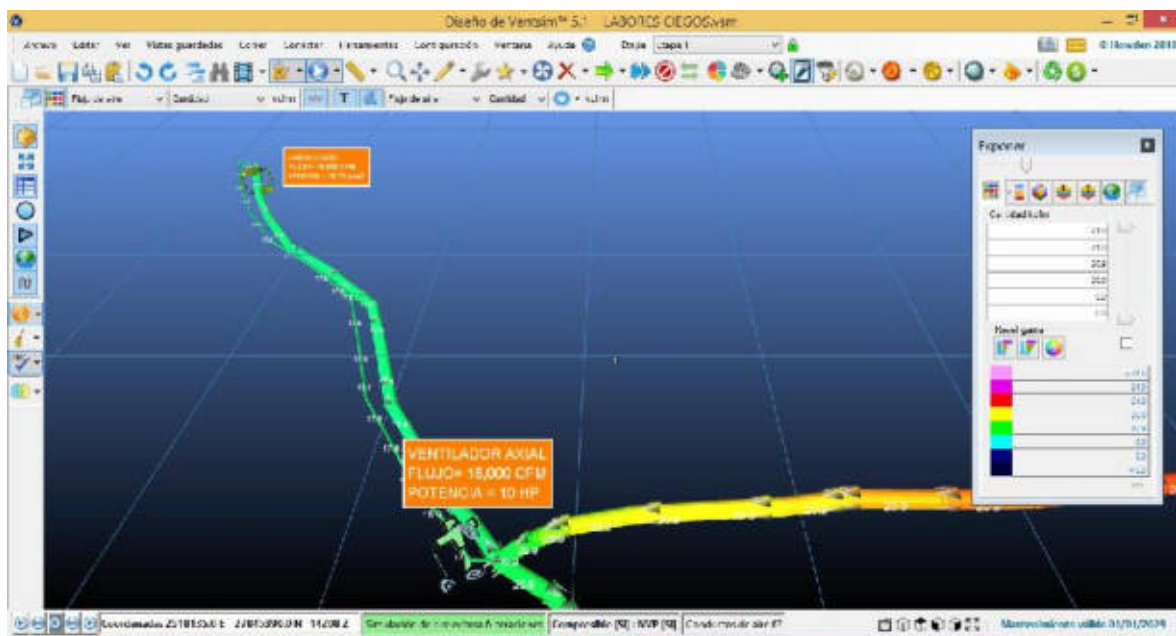
Presión estática =  $4,25 - 0,25 = 4,00$  pulg. de H<sub>2</sub>O

Potencia del Ventilador = 10 Hp.



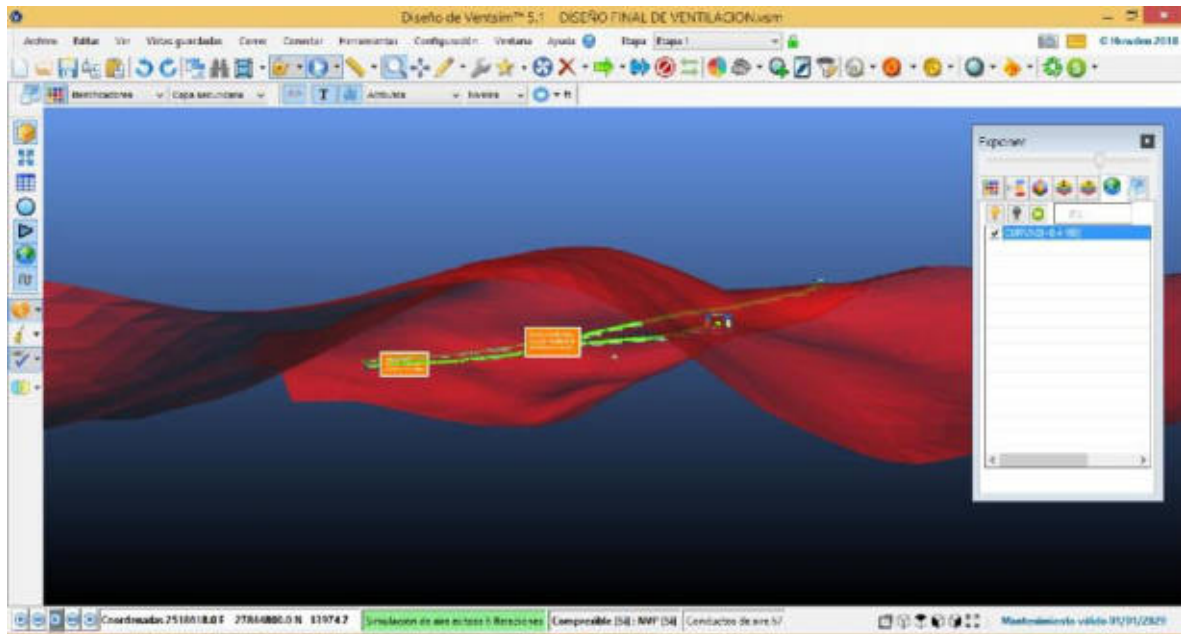
**Figura 41** — Resultado de datos ingresados anteriormente en la ventana de digitalización de curva de ventilador

*Nota:* Propio del autor



**Figura 42** — Ubicación del ventilador Axial en la labor ciego

*Nota:* Propio del autor



**Figura 43** — Vista final en perfil del proyecto de instalación del sistema de ventilación

*Nota:* Propio del autor.

### 5.5. Evaluación del sistema de ventilación

El sistema de ventilación en la Mina San Valentín S.A., relacionado a distribución de flujos es aceptable de acuerdo a la simulación realizada con el programa VentSim Visual y cumple con los requerimientos de aire del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (D.S. N° 024-2016-EM) art. 246-247.

Para lograr que las labores tengan la cantidad de aire que necesita según los cálculos de requerimiento de aire, se han instalado ventilador auxiliar secundario, que utilizara el método combinado (Impelente y Aspirante), esto incrementan el flujo de aire dentro la labor de trabajo.

### 5.6. Sistema de ventilación para labores proyectadas

Con el transcurso del tiempo la extracción de los minerales será con dos turnos, varios frentes de trabajo, ampliación en la extracción de productos, implementación de equipos diesel, para ello se requiere proyectar alternativas de solución, como construir una chimeneas de extracción de aire viciado, galerías de desarrollo, estocadas, cortadas y otras labores, para ello se requiere ampliar el sistema de ventilación con mayores caudales, para el presente trabajo no podemos proyectar galerías, frentes de explotación debido a que la mineralización se presenta en Pórfido, están asociadas a varios



minerales como el molibdeno, el cuarzo, óxidos entre otras y estas se presentan en mantos y venas.

Se realizó una simulación en el programa VentSimVisual, proyectando un Pique vertical, de sección circular a partir del fondo de la labor ciega. (Ver fig.41), se ha obtenido los siguientes valores.

### CHIMENEA PROYECTADA

Caudal: 8900 cfm

Velocidad: 42 pies/min

Longitud: 129.50 pies = 40 m.

Área: 211,2 pies<sup>2</sup>

Sección circular (diámetro) = 16,40 pies

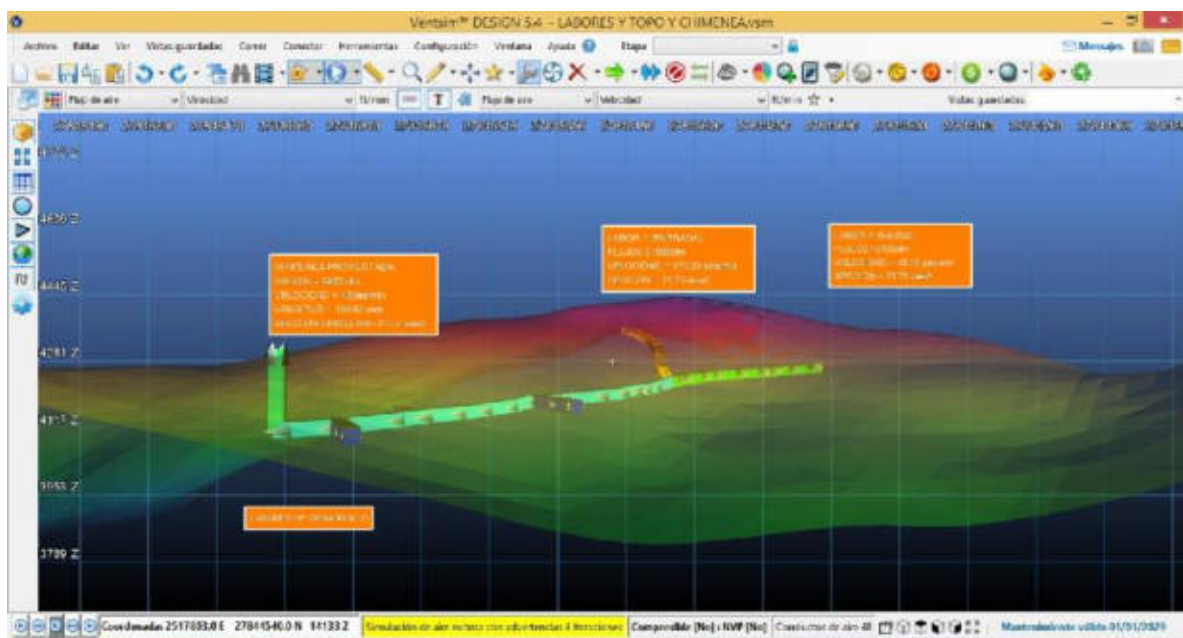


Figura 44 — Chimenea proyectada extracción de aire y labores de desarrollo

*Nota:* Propio del autor.

Haciendo una análisis de la Chimenea Proyectada para el sistema de ventilación, cuando se hace la simulación, el aire ingresa por la Labor 1, con un flujo de 21000 cfm, hace su recorrido y sale por la Labor 2 con un flujo de 12100 cfm, se ve claramente que por la Chimenea proyecta el aire saldría con un caudal de 8900 cfm, prácticamente el aire circula sin acción de un ventilador, solo se requeriría ventiladores auxiliares en las

labores de desarrollo en diversos tramos siguiendo el rumbo de la mineralización. Para construir la chimenea de salida de aire, esto tiene aproximadamente 40 m. de longitud, el problema sería el costo de ejecución, con este trabajo sugerimos que en lo posterior sería una necesidad la construcción de la Chimenea de extracción de aire contaminado.

### LABORES DE DESARROLLO PROYECTADA

Caudal: 15500 cfm

Velocidad: 105,957 pies/min

Longitud: 196.60 pies

Área: 105,957 pies<sup>2</sup>

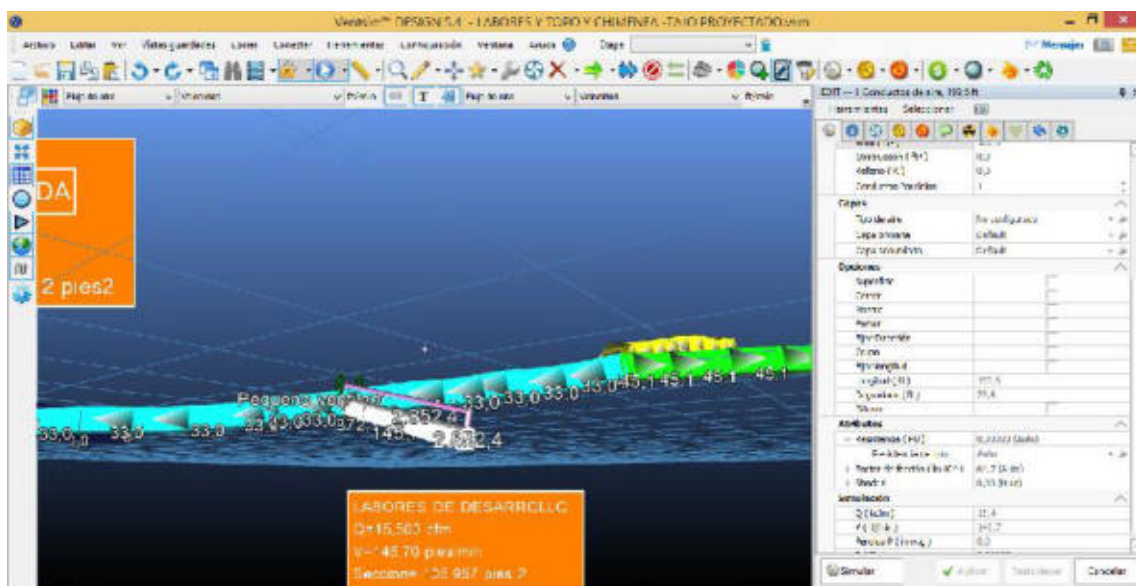


Figura 45 — Labores de desarrollo proyectada

Nota: Propio del autor.

Se ha proyectado labores de desarrollo a lo largo del eje de la labor ciega, siguiendo el rumbo y buzamiento de la beta en 03 puntos tal como se muestra en la figura 42, donde se realizó la simulación correspondiente instando un ventilador auxiliar pequeño que sería el equipo que suministre el flujo de aire para extraer los gases y polvos generados, para el planeamiento a largo plazo en el transcurso de la explotación.

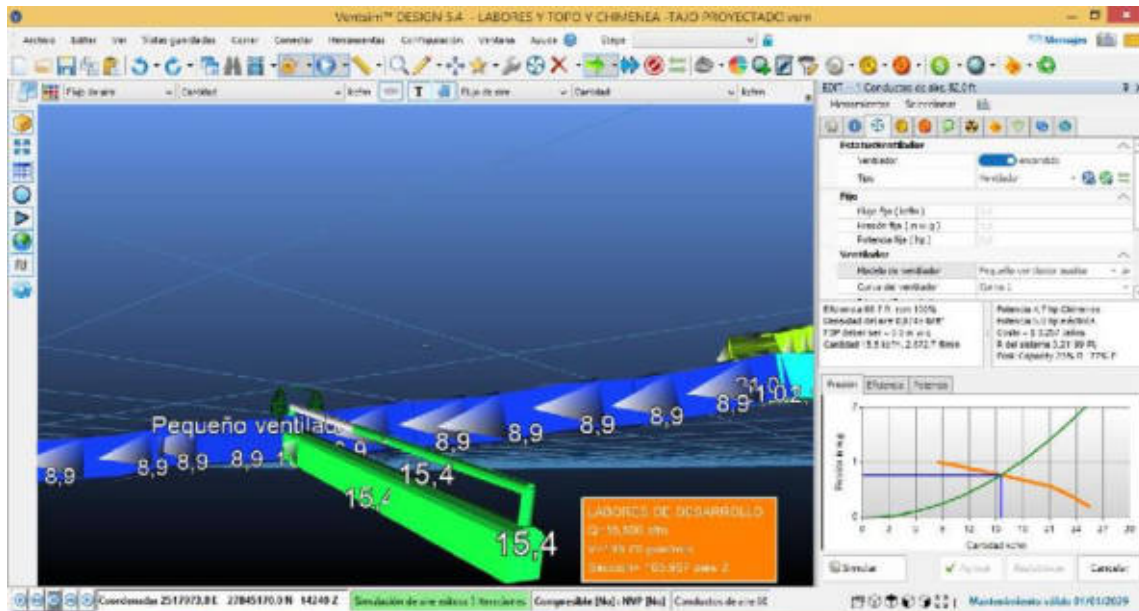


Figura 46 — Instalación del ventilador auxiliar pequeño en las labores de desarrollo proyectada

Nota: Propio del autor

En la figura 46, se visualiza el flujo de aire que se suministra con un ventilador auxiliar pequeño un flujo de 15500 cfm, la potencia del ventilador es de 5 hp, que tiene una eficiencia de 67%, estos ventiladores se aplicarán en todas las labores de desarrollo y/o tajeos.

### 5.7. Contrastación de hipótesis (si corresponde por el tipo de investigación)

Una mina sin ventilación hace que el aire recorra lugares que no necesitan ser ventilados y por tanto hace más difícil que este pueda llegar a los frentes de trabajos donde se encuentra la mayor parte del personal, lo cual se debe a las caídas de presión que se desarrollan por los largos recorridos. Esto incide en pérdidas económicas de gran relevancia para la unidad minera, debido a que se puede incurrir en gastos energéticos excesivos en búsqueda de lograr caudales de aire adecuados en los frentes de trabajo según el D.S. N° 024-2016-EM) art. 246-247. En la mayoría de los casos, el aire no alcanza a llegar a estas zonas de forma suficiente, lo que impide el cumplimiento del decreto que exige (Excavaciones minerales hasta mil quinientos metros (1500) sobre el nivel del mar: tres metros cúbicos por minuto ( $3 \text{ m}^3/\text{min}$ ) por cada trabajador, mientras que en excavaciones minerales superiores a esta altura: seis metros cúbicos por minuto ( $6 \text{ m}^3/\text{min}$ ) por cada trabajador).

Para el presente trabajo de investigación se ha propuesto resolver un problema principal y tres problemas secundarios que se presenta en la mina San Valentín S.A. que se detalla a continuación.

**Primero.** Hacer un diagnóstico del sistema de ventilación que se presenta en la minera San Valentín, al realizar el estudio, los trabajadores utilizan la ventilación natural lo cual se ha evaluado el ingreso y salida de aire, lo cual es muy deficiente el flujo de aire, los contaminantes están por encima de los LMP, que estipula las normas sobre Ventilación de Minas.

**Segundo.** Se ha determinado la cantidad de caudal necesario tanto para el personal, equipos y dilución de gases generados por las operaciones mineras, este cálculo determina un flujo de 21000 cfm., que será suficiente para poder trabajar en diferentes labores que se generaran en futuro, tanto estocas y otras labores de producción.

**Tercero.** Con la implementación del sistema de ventilación auxiliar, se diluirá todos los gases generados por las operaciones realizadas.

**Cuarto.** Se ha realizado la simulación del sistema de ventilación, la cual se muestra que las labores de producción tendrán aire suficiente para poder trabajar sin ninguna dificultad.

## 5.8. Discusión de resultados

Se ha realizado un diagnóstico de la mina San Valentín S.A., el caudal que ingresa a la mina desde la bocamina es de 4237,760 cfm, este caudal no satisface las necesidades para poder trabajar y si es que llega al frente de trabajo es mínima y con las perdidas todavía es menor. Este estudio sea realizado teniendo en cuenta exclusivamente la ventilación natural, como resultado de este trabajo se ha realizado una evaluación para poder determinar la cantidad de aire que se requiere la mina, para ello se ha determinado que la mina requiere un caudal de flujo de aire de 21000 cfm.

Por otra parte, existe una labor ciega, donde aire no ingresa, teniendo este problema que se presenta para realizar los trabajos de extracción, se ha diseñado un sistema de ventilación auxiliar utilizando el método combinado (impelente y aspirante), con un flujo de 17000 cfm, y una potencia del ventilador de 57 Hp.



Castillo (2017) en su proyecto de investigación “Evaluación del sistema de ventilación de la mina el Roble” Se identificaron y analizaron los inconvenientes y fallas de la ventilación en la operación minera, mediante trabajo de campo como aforos y mediciones, además de emplear el Software VentSim Visual para modelar el sistema y proponer una solución óptima, tomando en consideración que al hacer una simulación con el software VentSim Visual, se aproxima a la realidad y das una solución óptima al proyecto del sistema de ventilación.

Por otra parte, López (2014) en su trabajo de investigación titulado, utilizó el software específico de ventilación de infraestructuras subterráneas tanto a tiempo real como para realizar previsiones a futuro, en este proyecto de implementación y simulación del sistema de ventilación estamos planificando a futuro como va ser el sistema de ventilación.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

Se logró con cada uno de los objetivos planteados, en la evaluación de la ventilación natural en la Empresa Minera San Valentín S.A. es de 4237,760 cfm, la cual este flujo no cubre las necesidades y requerimiento de aire fresco para las operaciones, esto conlleva a las deficiencias en producción, salud de los trabajadores.

El caudal de aire requerido de acuerdo a las necesidades de uso para el personal, equipos diesel y para diluir los gases presentes en las labores es de 21000 cfm., este caudal es suficiente para incrementar más labores de producción y planificar el futuro de la Empresa.

Se ha monitoreado la labor de ingreso de aire, están presentes gases como el gas oxígeno (O<sub>2</sub>) de 19,60% está próximo al LMP que es 19,5%, el monóxido de carbono (CO) está presente en 32 partes por millón (ppm), está por encima del LMP que es de 25 ppm, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se encuentra 0,08 % está por debajo del LMP que es de 0,5%, el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) se encuentra en 2,5 ppm, quiere decir que se encuentra encima del LMP que es de 1,5 ppm.

La implementación y simulación del sistema de ventilación con el programa VentSim Visual no ha permitido determinar con precisión el flujo de aire que debe circular por las labores, elegir y ubicar el dimensionamiento del ventilador auxiliar para poder ventilar la labor ciega de producción, administrando un flujo de 18000 cfm.

#### 6.2. Recomendaciones

Se debe realizar un monitoreo de flujo de aire, presencia de gases, constante para poder velar por la salud de los trabajadores, y contribuir con la mejora en la producción y reducir los costos de operación, de tal forma que la Empresa genere mayores utilidades.



Se recomienda implementar con instrumentación completa para monitorear periódicamente las labores ciegas y confinadas.

Se recomienda tener un control estricto del horario de ventilación y con la evaluación correspondiente para tener un uso apropiado de ventilación en términos económicos.

Se sugiere el uso del software de ventilación para realizar la evaluación del sistema de ventilación de la mina, considerando el uso de ventiladores y costo de energía.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agüero, H., Álvarez, H. (2012). Influencia de la Ventilación Natural y Mecánico en el diseño del sistema de ventilación de las Galerías del Nivel 1950 Mina Calpa- Arequipa.
- By Chasm Consulting . (Versión 5.1). Manual del Usuario Software Ventsim visual 3D. Australia.
- Castillo D. (2017). Evaluación del sistema de ventilación de la mina el Roble - UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MINAS SECCIONAL SOGAMOSO 2017.
- Cisternas Yañez, R. (2010). Distribución de aire – Ventilación minería subterránea. Chile.
- De la Cuadra Irizar L. (1974). Curso de laboreo de minas, Universidad Politécnica. Escuela T.S. de Ingenieros de Minas. Fundación Gómez Pardo 1974 - Madrid.
- Decreto Supremo N° 055-2010-EM. (2010). Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. Lima - Perú.
- Decreto Supremo N° 024-2016-EM (2016). Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería Lima - Perú.
- Dollfus O. (1965). Les Andes Centrales du Pérou et leur pi-mont. Trav: Instituto Francés de Estudios Andinos. Lima. T.X. 404 p.
- Enrique Ramos, J. R. (2011). Evaluación de sistema de ventilación de la mina san Vicente - Compañía San Ignacio de Morococha aplicando el software VentSim 3.9.
- Enríquez, R. (2011). Evaluación del sistema de ventilación de la mina San
- Estándares de la organización de aviación civil internacional, (1996). Salud, minería y altura, centro de estudios de medicina ergonomía en faenas de altura.
- GR Consultoría SAC. (2014). Ventilación de corto y mediano plazo.
- Hartman, Howard L. (1991) Mine Ventilation and air conditioning. New York. Krieger Publishing Company.
- Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (1989). Manual de Ventilación de minas del Perú. IIMP Lima (1989).
- Jenks, W. F. (1948) Geología de la hoja de Arequipa al 1/200,000. Bol. Inst. Geol. del Perú, N° 9.



- Jiménez, Pablo. (2003). Ventilación de minas subterráneas y túneles.
- 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.
- Luque, V. C., 1988. Manual de ventilación de minas. Pedeca S. Coop. Ltda, España.
- Mc. Pherson Malcolm (1993)“Subsurface mine ventilation”. Mine Ventilation Services 2nd. Edition 1993.
- Megard, F. (1968). Geología del cuadrángulo de Huancayo. Bol. 18 – Servicio de Geología y Minería del Perú.
- Moroco R. (1975). Instituto de Geología Minería boletín N° 27 de INGEMMET, geología de los cuadrángulos de Andahuaylas, Abancay y Cotabambas.
- Moroco Rene (1975). Boletín N° 27, Instituto de Geología y Minería, geología de los cuadrángulos de Andahuaylas, Abancay y Cotabambas. Lima-Perú.
- Newell N. D. (1949) Geology of the Lake Titicaca region Perú-Bolivia. Geol. Soc. América Memoir 36.
- Novitzky, Alejandro. (1962) “Ventilación de minas”. Buenos Aires – 1962.
- Quevedo, Carlos M. (2013). Sistema de ventilación de diez kilómetros del túnel de conducción de la Central hidroeléctrica Huanza.
- Ramírez, J. (2005). Ventilación de minas -módulo de capacitación técnico ambiental. Chaparra - Perú.
- Sacsi Umasi , R. (2013). Cálculo de parámetros y diseño de la red de ventilación en labores de veta clara de acuerdo al D.S. 055-2010 EM. En mina San Juan de Churunga. Arequipa.
- Sistema Geológico Catastral Minero GEOCATMIN *Nota:*  
<https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>
- Tosi Joseph A (1960), Zonas de vida natural en el Perú memoria explicativa sobre el mapa ecológico del Perú.
- Vargas, O. (2014). Diseño del circuito en un sistema de ventilación natural de la zona de Gisela – Mina Esperanza de Caravelí – Compañía minera Titán del Perú S.R.L. Arequipa.
- Vejarano, A. (2000). Ventilación de minas. Lima.



Vicente - Compañía minera San Ignacio de Morococha aplicando el Software Ventsim 3.9.  
Puno.

Wallace, K., Prosser, B. and Stinnette, J.D. (2015). The practice of mine ventilation engineering. *Int J Min Sci Technol* 25(2), pp. 165-169. DOI: 10.1016/j.ijmst.2015.02.001.

Yanes, Ezequiel (1993). Ventilación de minas. Santiago. 208 p. 31 *Ibíd.*, p. 74

Yanes, Ezequiel. (1993). Ventilación de Minas. Chile.

Zitron. (2010), Conferencia de Ventilación de Minas. Lima. Perú.



## ANEXOS



Anexo 1 Matriz de Consistencia

Anexo 2 Datos tomados de campo

Anexo 3 Información de la concesión

Anexo 4 Reglamento de Seguridad e Higiene Minera del Perú

Anexo 5 Panel Fotográfico

Anexo 6 Equipos de monitoreo de labores

Anexo 7 Tablas y gráficos

Anexo 8 Vista de Planos de la mina San Valentín S.A. Programa VentSim Visual

Anexo 9 Curva característica de Ventilador Axial AIRTEC S.A.

Anexo 10 Planos Generales



## Anexos 1

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

Planteamiento del problema	Objetivo	Hipótesis	Variables indicadoras	Indicador	Resultados
Problema general ¿Cómo implementar el sistema de ventilación y simular con el software VentSim Visual, en la mina San Valentín S.A. – Curahuasi – Apurímac – 2019?	Objetivo general Implementar el sistema de ventilación y simular con el software VentSim Visual, en la mina San Valentín S.A. – Curahuasi – Apurímac – 2019.	Hipótesis general Con la implementación del sistema de ventilación y simulación con el software VentSim Visual se mejorará en flujo de aire en la mina San Valentín S.A. – Curahuasi – Apurímac – 2019.	-Variable independiente  Implementación del sistema de Ventilación.	Sistema de ventilación	Análisis de circuito de ventilación.
Problema específico ¿Cuál es el caudal de aire necesario para el consumo del personal, equipos en la mina San Valentín S.A. – Curahuasi – Apurímac – 2019?	Objetivo específico Determinar el caudal de aire, necesario para el consumo del personal, equipos en la mina San Valentín S.A. – Curahuasi – Apurímac – 2019.	Hipótesis específicas Se determinó los caudales de aire necesario para el consumo del personal, equipos y explosivos en la mina San Valentín S.A. – Curahuasi – Apurímac – 2019.	Variable dependiente Simulación con el software VenSim Visual.	Caudal de aire  Generación de gases	Cálculo de caudal de aire.  Caudal de gases generados.  Simulación y modelamiento de mina.

<p>¿Cómo diluir los gases generados en las labores mineras en forma esporádica y permanente en la mina San Valentín S.A. – Curahuasi – Apurímac – 2019?</p> <p>¿Cómo simular el sistema de ventilación haciendo uso del software VentSim Visual?</p>	<p>Diluir los gases generados en las labores mineras que se generan esporádica y permanente en las labores mineras.</p> <p>Realizar la simulación del sistema de ventilación, mediante el uso del software VentSim Visual.</p>	<p>Con la implementación del sistema de ventilación se diluirá los gases generados en las labores mineras.</p> <p>Con la simulación del sistema de ventilación con el software VentSim Visual se optimizará el sistema de ventilación.</p>		<p>Modelamiento en 3D.</p>	
--	--	--	--	----------------------------	--



## Anexos 2.

## DATOS TOMADOS DE CAMPO

Tabla 1 – Datos tomados de campo labor 1.

<b>DATOS TOMADOS DE CAMPO LABOR 01</b>			
<b>DATUM : WGS-84 , ZONA 18 SUR</b>			
<b>PUNTOS</b>	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>	<b>COTA</b>
1	767742	8487312	4385.15
2	767736.624	8487302.87	4383.23
3	767728.687	8487298.37	4382.46
4	767720.749	8487294.93	4379.03
5	767712.812	8487291.75	4376.09
6	767703.287	8487288.84	4375.25
7	767692.703	8487286.73	4373.15
8	767681.591	8487285.4	4370.13
9	767670.478	8487284.87	4368.34
10	767659.63	8487284.61	4366.11
11	767647.724	8487284.61	4363.17
12	767630.262	8487284.34	4361.22
13	767615.445	8487284.61	4359.21
14	767600.893	8487286.73	4356.36
15	767589.251	8487287.26	4353.46
16	767575.493	8487287.52	4350.43
17	767562.045	8487288.56	4347.15
18	767549.556	8487288.45	4344.67
19	767543.736	8487287.29	4342.05
20	767538.973	8487286.12	4339.18
21	767535.673	8487284.32	4337.72

Tabla 2 – Datos tomados de campo labor 2

<b>DATOS TOMADOS DE CAMPO LABOR 02</b>			
<b>DATUM : WGS-84 , ZONA 18 SUR</b>			
<b>PUNTOS</b>	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>	<b>COTA</b>
1	767581	8487164	4347.42
2	767581.71	8487177.095	4346.35
3	767581.71	8487189.332	4345.67
4	767580.057	8487200.908	4344.4
5	767580.718	8487210.83	4343.34
6	767580.718	8487222.736	4342.62
7	767576.948	8487242.646	4341.4
8	767564.645	8487256.537	4340.75
9	767555.12	8487267.252	4339.48
10	767546.388	8487276.777	4338.62
11	767535.673	8487284.318	4337.72
12	767528.529	8487293.843	4335.32
13	767520.592	8487301.781	4333.42
14	767513.845	8487312.099	4332.65
15	767507.098	8487321.624	4330.78
16	767499.954	8487332.34	4329.98
17	767490.826	8487354.962	4328.12
18	767481.698	8487377.187	4327.22
19	767475.348	8487384.331	4325.34
20	767458.162	8487401.016	4323.57
21	767439.112	8487415.832	4323.12
22	767422.179	8487438.057	4321.52
23	767408.421	8487460.282	4319.67
24	767396.779	8487484.624	4318.82

## Anexos 3.

## INFORMACIÓN DE LA CONCESIÓN.



Página: 1 de 2

## RESUMEN DEL DERECHO MINERO

Datos Generales			
Código	050003010	Nombre	DIVINO NIÑO MZ
Fecha de Formulación	04/02/2010	Situación	VIGENTE
Procedimiento	TITULADO(CONCESION)	Tipo	PETITORIO (D.LEG. 708)
Has. Formuladas	300.00	Sustancia	METALICA
Has. Rectificadas		Has. Formadas	
Has. Reducidas		Has. Disponibles	
Ubicación	ARCHIVO CENTRAL desde el 06/03/2019		

## Titular Referencial

Tipo	Nombre de Razón Social	Dirección	% Participación
JURIDICO	ARUNTANI S.A.C.		100

## Demarcaciones

Departamento	Provincia	Distrito
APURIMAC	ABANCAY	CURAHUASI

## Cartas

Código	Descripción	Zona UTM
28-Q	ABANCAY	1B

Vertice	Coordenadas UTM PSAD56		Coordenadas WGS84		
	Norte	Este	Norte	Este	
1	8.489.000.00	769.000.00	8.488.630.10	768.771.12	
2	8.488.000.00	769.000.00	8.487.630.09	768.771.13	
3	8.488.000.00	770.000.00	8.487.630.09	769.771.11	
4	8.487.000.00	770.000.00	8.486.630.08	769.771.12	
5	8.487.000.00	768.000.00	8.486.630.10	767.771.16	
6	8.489.000.00	768.000.00	8.488.630.11	767.771.14	

## Pagos

Nro. Recibo	Monto	Fecha Pago	Nro. Cuenta	Banco	Concepto
41223027	S/ 680.00	04/02/2010	000282707	LA NACION	Tramite
3100500700024	US \$/ 900.00	04/02/2010	070362957784	SCOTIABANK PERÚ S.A.A.	Vigencia

## Resoluciones

Nro. Resolución	Fec. Resolución	Decisión	Plazo
001432-2010-DCM	21/03/2010	CONCESION MINERA	15 dias
	18/02/2010	EXPIDASE LOS CARTELES	30 dias

Fecha de emisión: jueves 20 de junio del 2019



Escritos

<u>Escrito</u>	<u>Sede</u>	<u>Trámite</u>	<u>F. Presentación</u>	<u>Contenido</u>	<u>Razon Social</u>
0500004210T	AREQUIPA	TRAMITE P.O.M.		ADJ. PUBLICACION: EL PERUANO Y DIARIO LOCAL	MARIA DEL PILAR
0100860813T	LIMA	TRAMITE P.O.M.	05/11/2013	CESION	ARUNTANI S.A.C.
0100861413T	LIMA	TRAMITE P.O.M.	05/11/2013	CESION	ARUNTANI S.A.C.
0100411112T	LIMA	TRAMITE P.O.M.	05/06/2012	CONTRATO DE CESION - TRANSFERENCIA	MINERA DEL NORTE S.
0100522810D	LIMA	DOCUMENTO	25/07/2010	NOTIFICACION	SERPOST

**COPIA INFORMATIVA**  
Emitida a través de consultas por internet. No tiene validez para trámites administrativos, judiciales u otros.

Fecha de emisión: jueves 20 de junio del 2019

#### Anexo 4

**REGLAMENTO DE SEGURIDAD E HIGIENE MINERA DEL PERÚ Artículo 246°.-** El titular minero debe velar por el suministro de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a las necesidades del trabajador, de los equipos y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador. Todo sistema de ventilación en la actividad minera, en cuanto se refiere a la calidad del aire, deberá mantenerse dentro de los límites de exposición ocupacional para agentes químicos lo establecido en el Decreto Supremo N° 015-2005-SA o la norma que la modifique o sustituya. Además, debe cumplir con lo siguiente: a) Al inicio de cada jornada o antes de ingresar a cualquier labor, en especial labores ciegas programadas, deberá realizar mediciones de gases tóxicos, las que deberán ser registradas y comunicadas a los trabajadores que tienen que ingresar a dicha labor. b) En todas las labores subterráneas se mantendrá una circulación de aire limpio y fresco en cantidad y calidad suficientes de acuerdo con el número de trabajadores, con el total de HPs de los equipos con motores de combustión interna, así como para la dilución de los gases que permitan contar en el ambiente de trabajo con un mínimo de 19.5% de oxígeno. c) Las labores de entrada y salida de aire deberán ser absolutamente independientes. El circuito general de ventilación se dividirá en el interior de las minas en ramales para hacer que todas las labores en trabajo reciban su parte proporcional de aire limpio y fresco. d) Cuando las minas se encuentren hasta un mil quinientos (1,500) metros sobre el nivel del mar, en los lugares de trabajo la cantidad mínima de aire necesaria por hombre será de tres (03) metros cúbicos por minuto. En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo con la siguiente 197 escala: De 1,500 a 3,000 msnm, aumentará en 40% que será igual a 4 m<sup>3</sup>/min De 3,000 a 4,000 msnm aumentará en 70% que será igual a 5 m<sup>3</sup>/min Sobre los 4,000 msnm aumentará en 100% que será igual a 6 m<sup>3</sup>/min En el caso de emplearse equipo diésel, la cantidad de aire circulante no será menor de tres (3) m<sup>3</sup>/min por cada HP que desarrollen los equipos. e) En ningún caso la velocidad del aire será menor de veinte (20) metros por minuto ni superior a doscientos cincuenta (250) metros por minuto en las labores de explotación, incluido el desarrollo, 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. f) Cuando la ventilación natural no sea capaz de cumplir con los artículos precedentes, deberá emplearse ventilación mecánica, instalando ventiladores principales, secundarios o auxiliares, según las necesidades. g) Se tomará todas las providencias del caso para evitar la destrucción y paralización de los ventiladores principales. Dichos ventiladores deberán cumplir las siguientes condiciones: Ser instalados en casetas incombustibles y protegidas contra derrumbes, golpes, explosivos y



agentes extraños. Tener, por lo menos, dos (02) *Notas* independientes de energía eléctrica que, en lo posible, deberán llegar por vías diferentes. Estar provistos de dispositivos automáticos de alarma para el caso de disminución de velocidad o paradas y provistos de los respectivos silenciadores para minimizar los ruidos. 198 contar con otras precauciones aconsejables según las condiciones locales para protegerlas. En casos de falla mecánica o eléctrica de los ventiladores, la labor minera debe ser paralizada y clausurado su acceso, de forma que se impida el pase de los trabajadores y equipos móviles hasta verificar la calidad y cantidad del aire haya vuelto a sus condiciones normales. Los trabajos de restablecimiento serán autorizados por el ingeniero supervisor. h) Los ventiladores principales estarán provistos de dispositivos que permitan invertir la corriente de aire en caso necesario. Sus controles estarán ubicados en lugares adecuados y protegidos, alejados del ventilador y preferentemente en la superficie. El cambio de la inversión será ejecutado sólo por el trabajador autorizado. i) Se colocará dispositivos que eviten la recirculación de aire en los ventiladores secundarios. j) En labores que posean sólo una vía de acceso y que tengan un avance de más de sesenta (60) metros, es obligatorio el empleo de ventiladores auxiliares. En longitudes de avance menores a sesenta (60) metros se empleará también ventiladores auxiliares sólo cuando Las condiciones ambientales así lo exijan. Se prohíbe el empleo de sopladores para este objeto. En las labores de desarrollo y preparación se instalará mangas de ventilación a no menos de quince (15) metros del frente de disparo. Cuando las condiciones del trabajo lo requieran, los ventiladores auxiliares estarán provistos de dispositivos que permitan la inversión de la corriente de aire en el sector respectivo, evitando cualquier posible recirculación. k) Se contará con el equipo necesario para las evaluaciones de ventilación 199 las que se hará con la periodicidad que determinen las características de la explotación. Asimismo, se llevará a cabo evaluaciones cada vez que se originen cambios en el circuito que afecten significativamente el esquema de ventilación. l) Cuando existan indicios de estar cerca de una cámara subterránea de gas o posibilidades de un desprendimiento súbito de gas, se efectuará taladros paralelos y oblicuos al eje de la labor, con por lo menos diez (10) metros de avance. m) La evaluación integral del sistema de ventilación de una mina subterránea se hará cada semestre y las evaluaciones locales se harán cada vez que se produzcan nuevas comunicaciones de chimeneas, cruceros, tajeos y otras labores; considerando, primordialmente, que la cantidad y calidad del aire establecido en los artículos precedentes debe darse en las labores donde haya personal trabajando, como son los frentes de los tajeos, sub-niveles, galerías, chimeneas, inclinados, piques, entre otros. n) La concentración promedio de polvo respirable en la atmósfera de la mina, a la cual cada trabajador está expuesto, no será mayor de tres (03) miligramos por metro cúbico de aire. o) En el



monitoreo se debe incluir el número de partículas por metro cúbico de aire, su tamaño y el porcentaje de sílice por metro cúbico. p) La medición de la calidad del aire se hará con instrumentos adecuados para cada necesidad. q) La concentración promedio se determinará midiendo durante un periodo de seis (06) meses en cada una de las áreas de trabajo. El contenido de polvo por metro cúbico de aire existente en las labores de actividad minera debe ser puesto en conocimiento de los trabajadores.

Anexo 5 — Panel Fotográfico



Campamento de mina



Vista de la mineralización de yacimiento



Vista de las labores entrada





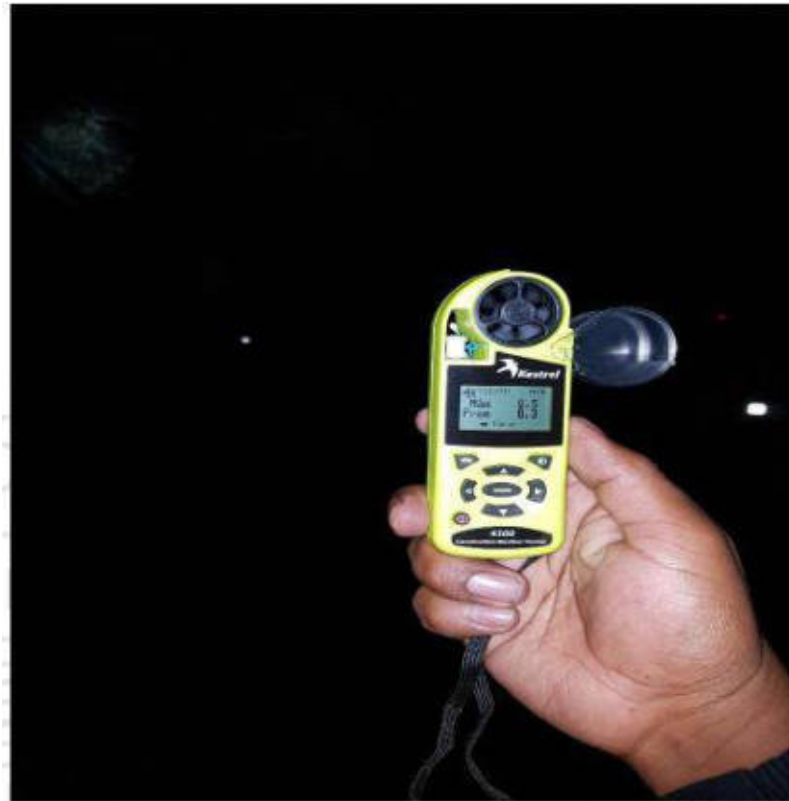
Trabajos exteriores en la mina



Labores de desarrollo salida

**Anexo 6.**

**EQUIPOS DE MONITOREO DE LABORES**



Equipo de monitoreo Anemómetro KESTREL 4300



Vista de los equipos de monitoreo de campo





Anemómetro de paleta



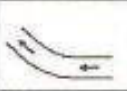
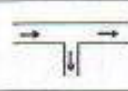

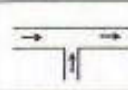

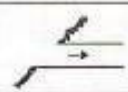
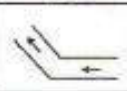

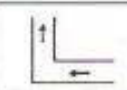
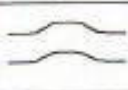
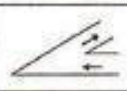

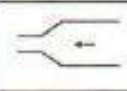
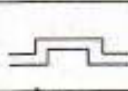
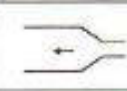

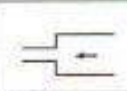

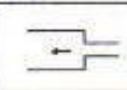
Detector de gases SOLARIS



Anexo 7.

TABLAS Y GRÁFICOS

Tabla para determinar Longitud equivalente (Le) en pies.

FORMA		Le	FORMA		Le
	CURVA OBTUSA REDONDEADA	0.5		BIFURCACION	230
	ANGULO RECTO REDONDEADO	1		JUNTURA	90
	CURVA AGUDA REDONDEADA	3		ENTRADA	3
	CURVA OBTUSA QUEBRADA	15		DESCARGA	65
	ANGULO RECTO QUEBRADO	70		PASO SOBRE NIVEL (OPTIMO)	1
	CURVA AGUDA QUEBRADA	150		PASO SOBRE NIVEL (MALO)	85
	CONTRACCION GRADUAL	1		HUECO PARA PUERTA	70
	EXPANSION GRADUAL	1		CARRO O JALILA 20 % AREA DEL CONDUCTO	100
	CONTRACCION ABRUPTA	10		CARRO O JALILA 40 % AREA DEL CONDUCTO	500
	EXPANSION ABRUPTA	20			

Nota: Hatman (1991).



Tabla para determinar el factor de fricción (K)

**FACTOR DE FRICCIÓN "K" PARA LABORES MINERAS. HOWARD L. HARTMAN**

TIPO DE LABOR	IRREGULARIDADES DE LAS SUPERFICIES DE ALIMENTACION	RECTA			SINUSIDAD O CURVATURA								
		LIMPIA	OBSTRUCCION PEQUEÑA	OBSTRUCCION MODERADA	LEVE			MODERADA			EN A TO GRADO		
					LIMPIA	OBSTRUCCION PEQUEÑA	OBSTRUCCION MODERADA	LIMPIA	OBSTRUCCION PEQUEÑA	OBSTRUCCION MODERADA	LIMPIA	OBSTRUCCION PEQUEÑA	OBSTRUCCION MODERADA
Revestida, Superficie suave	Mínimo	10	15	25	20	25	35	25	30	40	35	40	50
	Promedio	15	20	30	25	30	40	30	35	45	40	45	55
	Máximo	20	25	35	30	35	45	45	40	50	45	50	60
Roca Sedimentaria (o Carbón)	Mínimo	30	35	45	40	45	55	45	50	60	55	60	70
	Promedio	55	60	70	65	70	80	70	75	85	80	85	95
	Máximo	70	75	85	80	85	95	85	95	100	95	100	110
Enmaderada Cuadros de 5 pies	Mínimo	80	85	95	90	95	105	95	100	110	105	110	120
	Promedio	95	100	110	105	110	120	110	115	125	120	125	135
	Máximo	105	110	120	115	120	130	120	125	135	130	135	145
Roca Ignea	Mínimo	90	95	105	100	105	115	105	110	120	115	120	130
	Promedio	145	150	160	155	160	165	160	165	175	170	175	195
	Máximo	195	200	210	205	210	220	210	215	225	220	225	235

Para Tuberias de Ventilación:

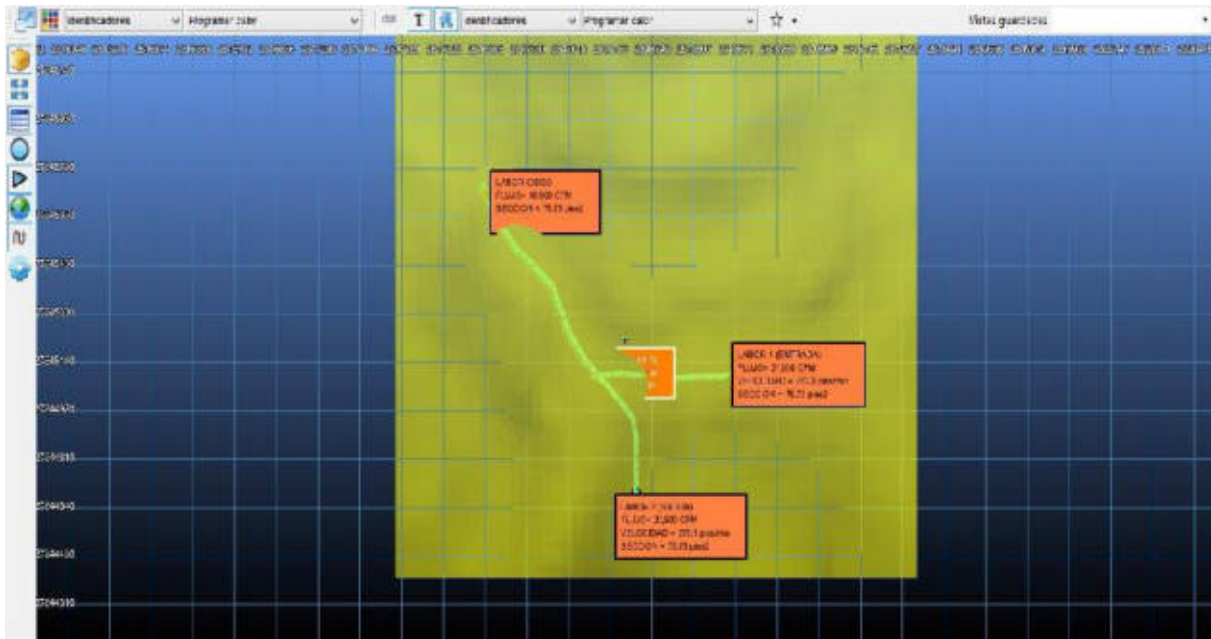
	NUEVA	USADA	Factor de Fricción:
Aceru	15	20	$K * 10^{-10}$
Yute, lona, PVC	20	25	
Lona revestida de jete	23	28	

Nota. Howard L.Harman.

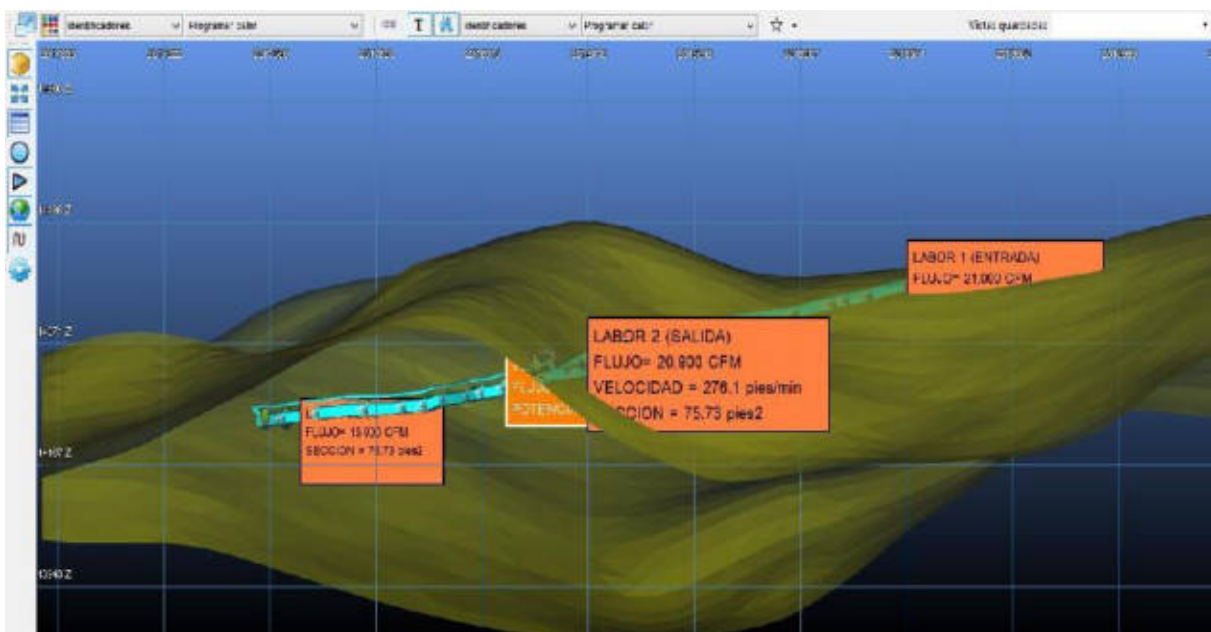


### Anexo 8.

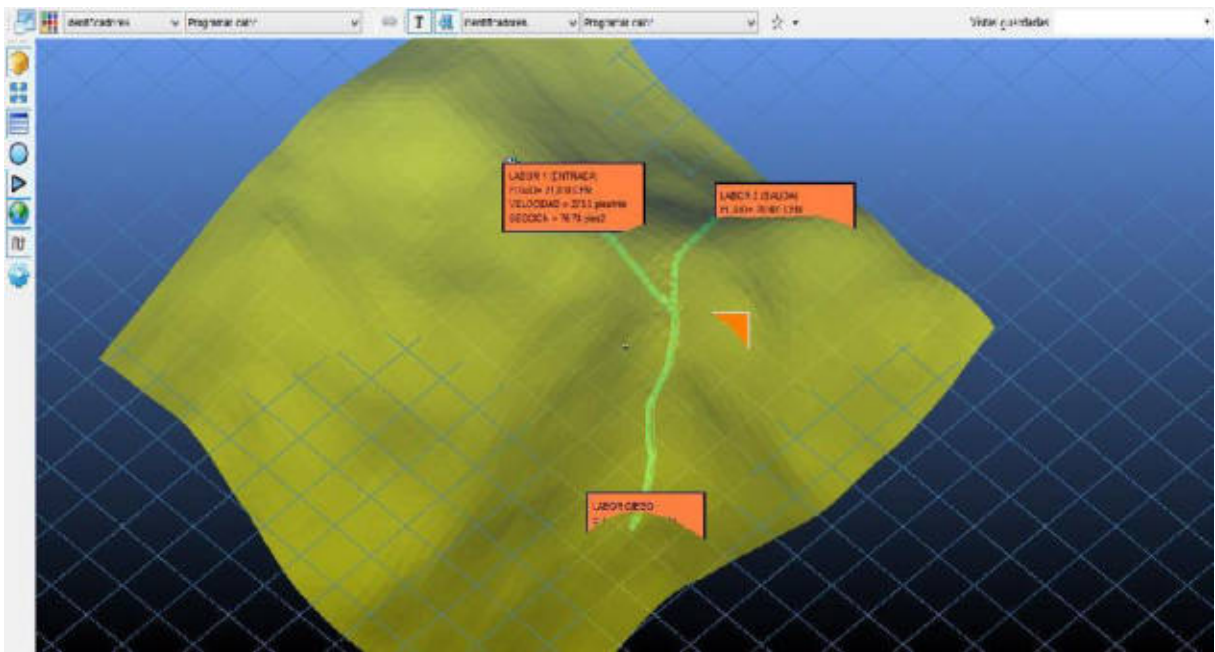
### VISTA DE PLANOS DE LA MINA SAN VALENTIN S.A. PROGRAMA VENTSIM VISUAL



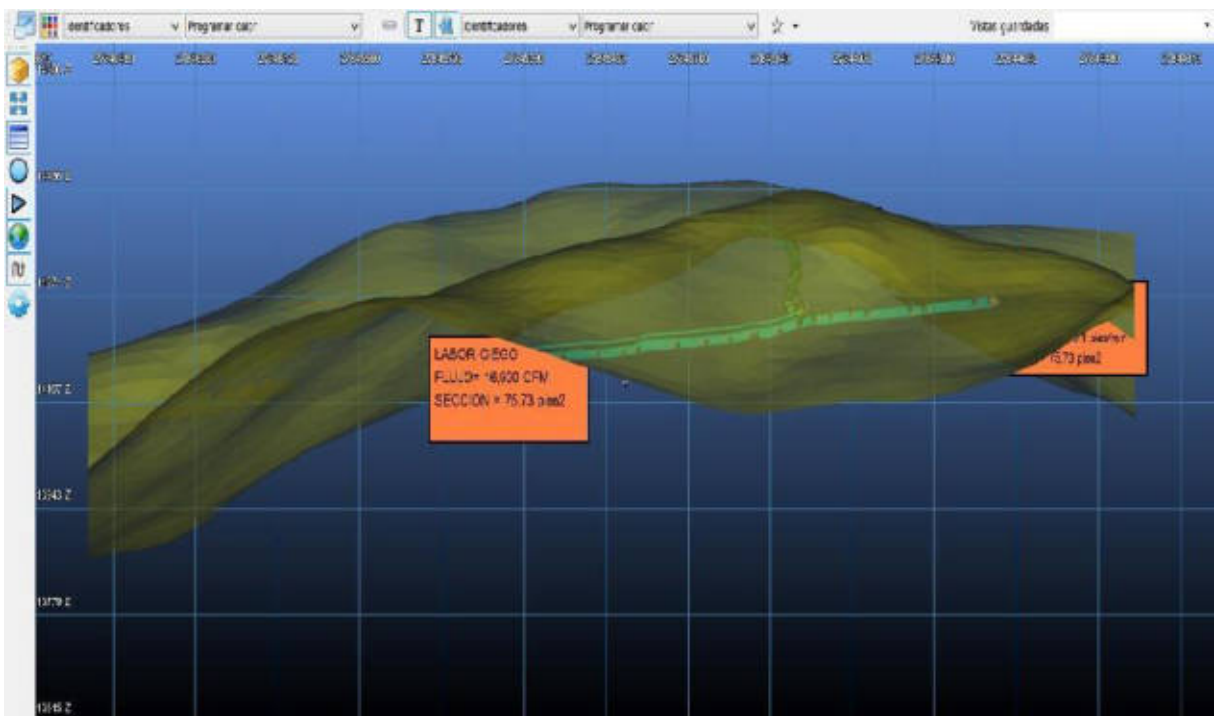
### VISTA EN PLANTA



### VISTA EN PERFIL

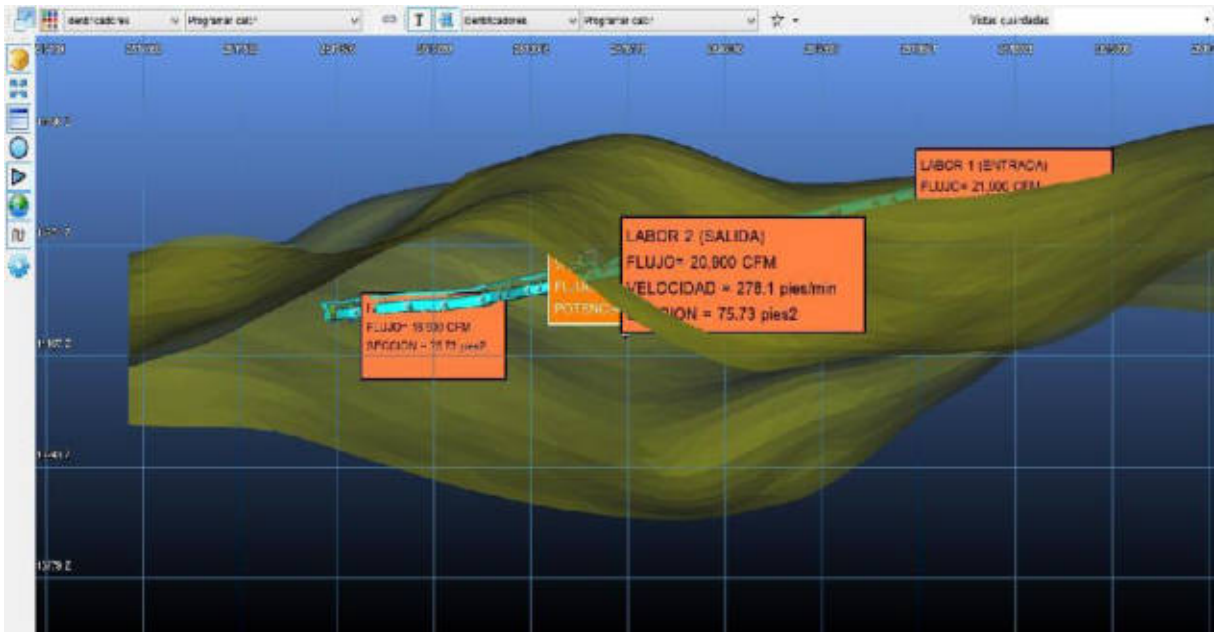


VISTA ISOMÉTRICA



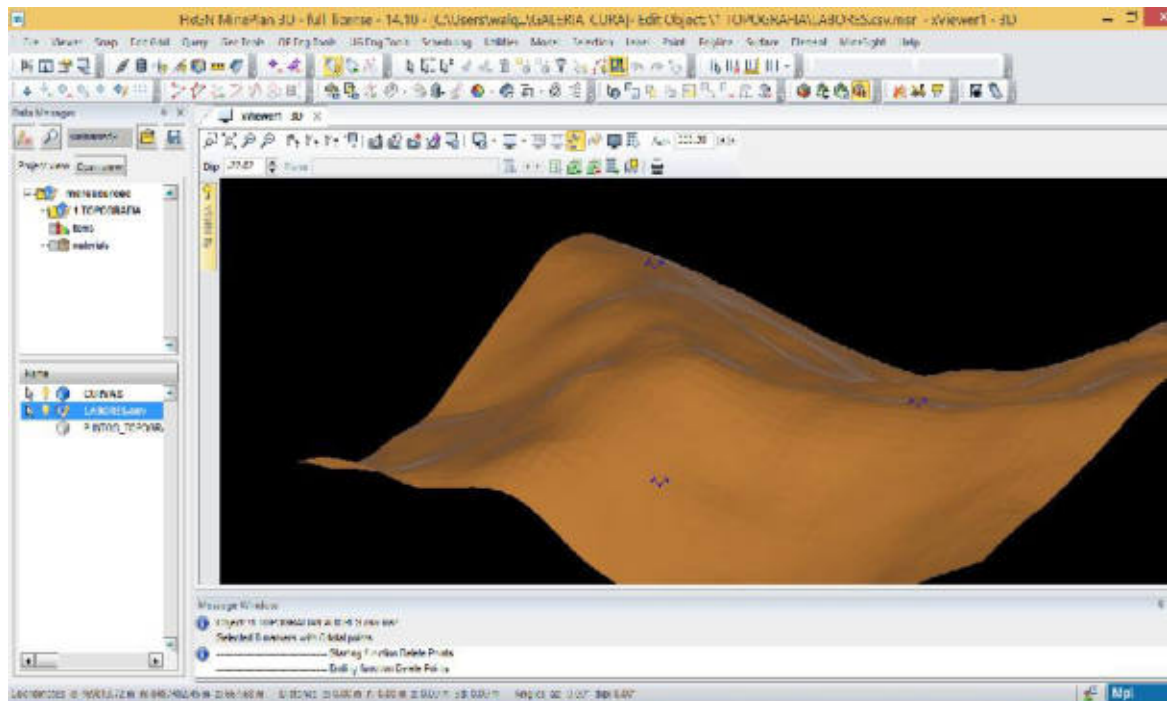
VISTA EN EL EJE



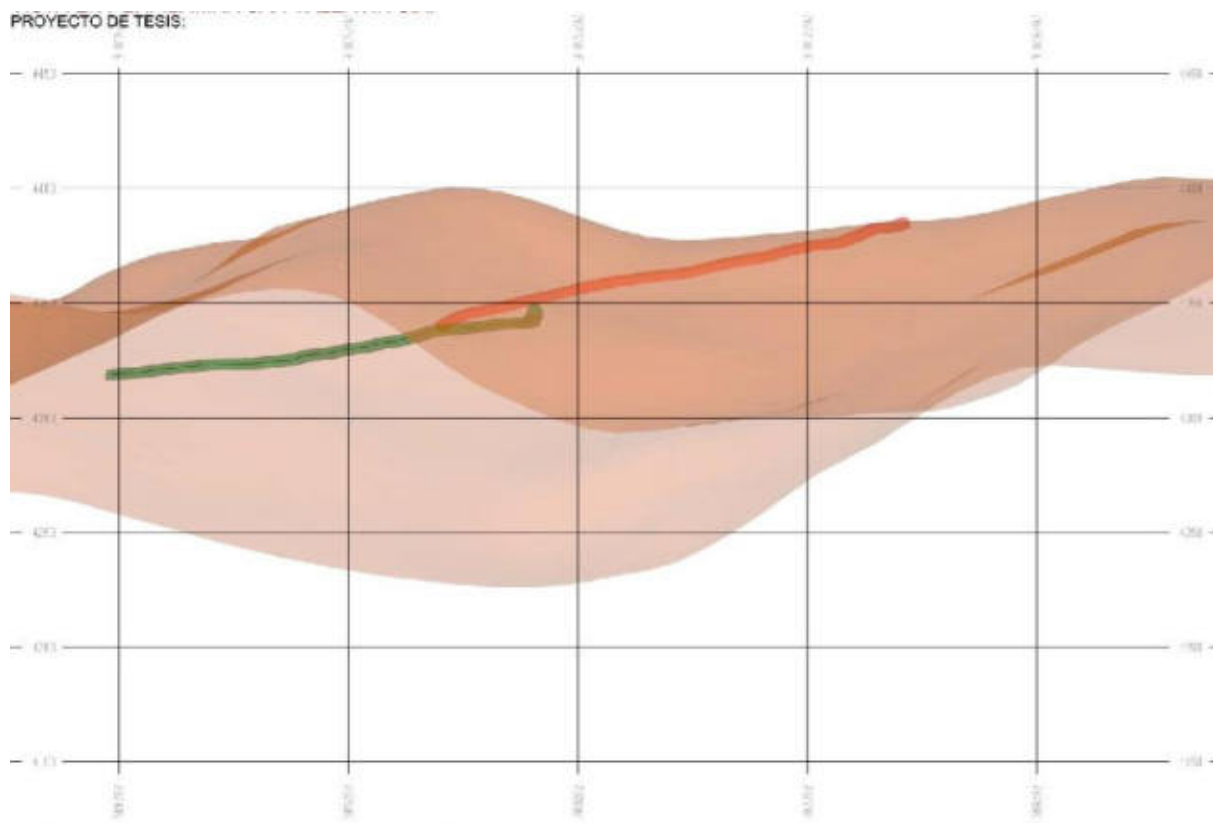


VISTA EN PERFIL.

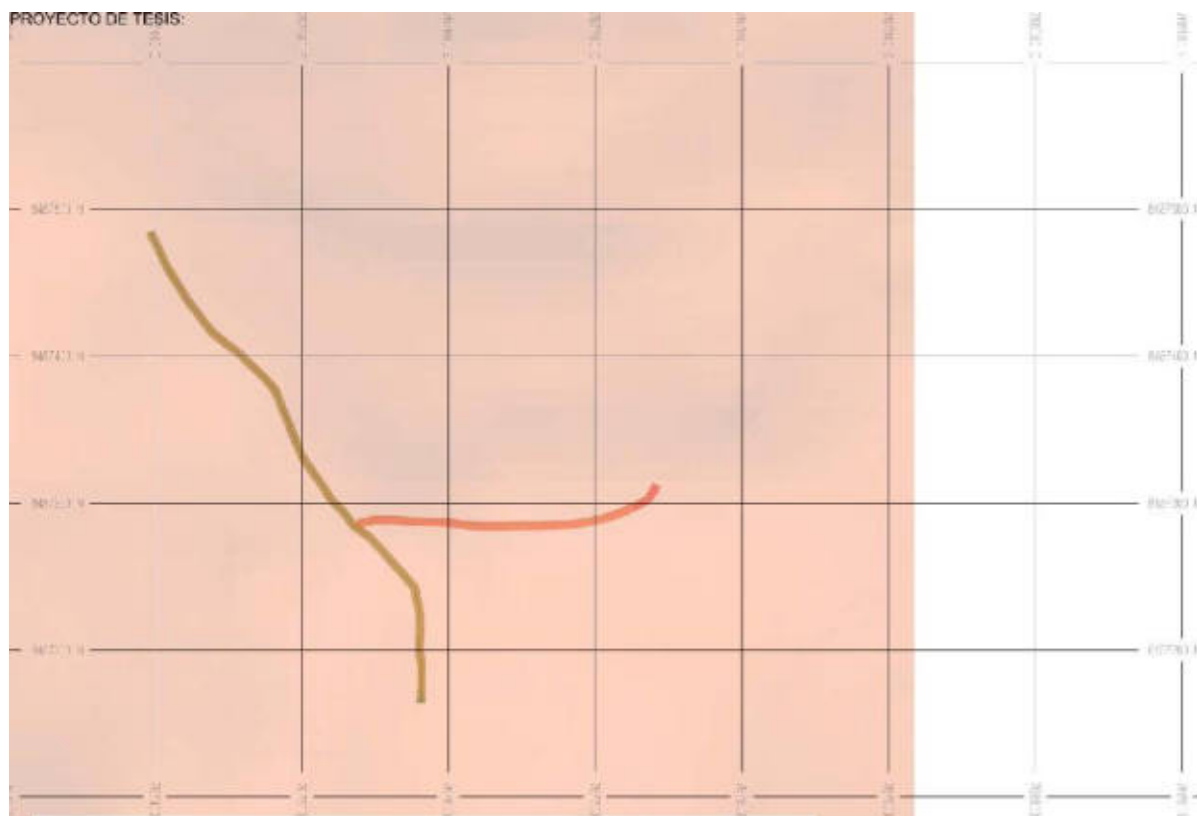
VISTA DE PLANOS DE LA MINA SAN VALENTIN S.A. PROGRAMA MINE SIGHT



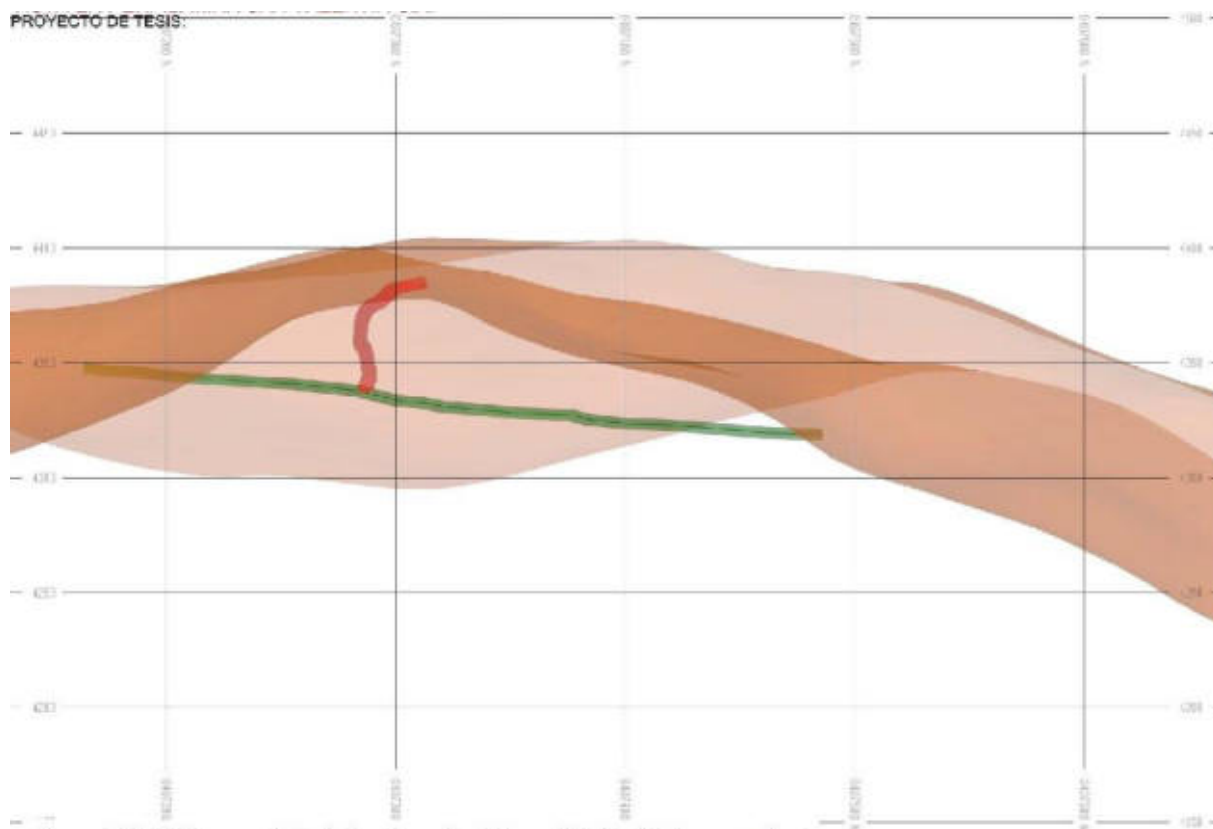
TOPOGRAFÍA EN 3D



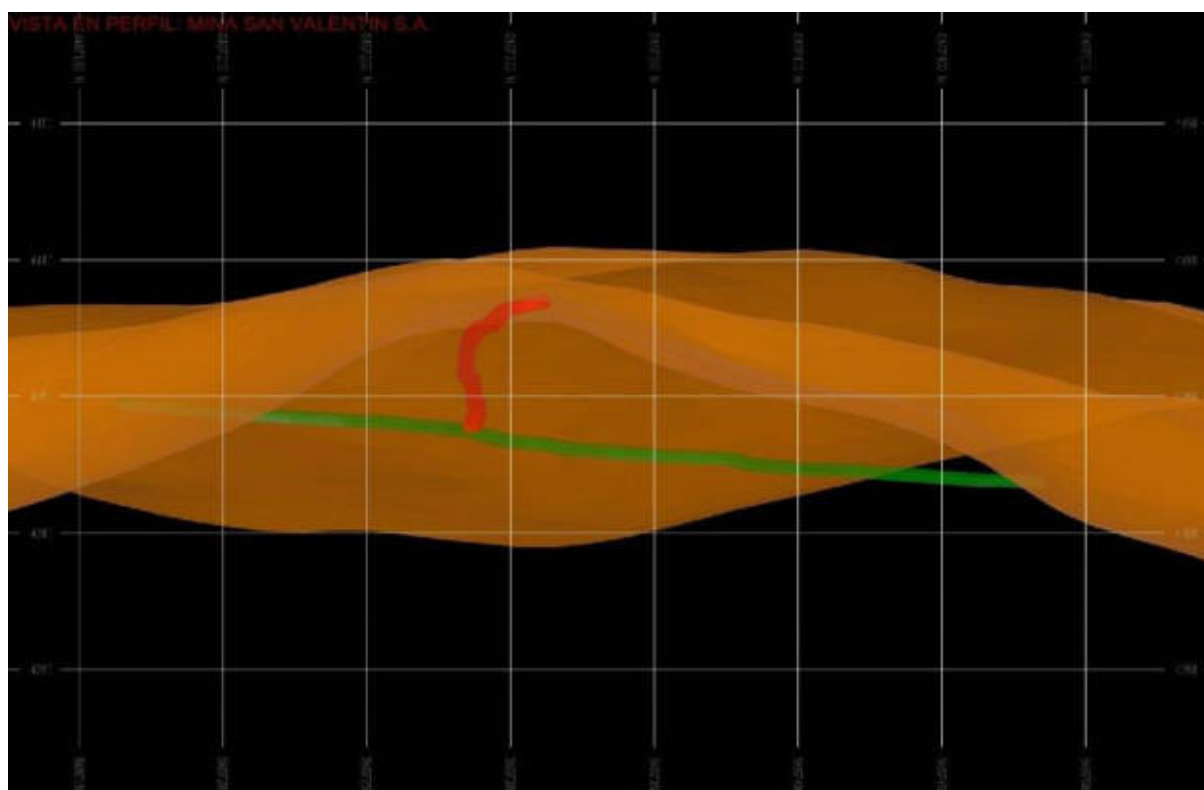
VISTA EN PERFIL



VISTA EN PLANTA



VISTA EN PERFIL

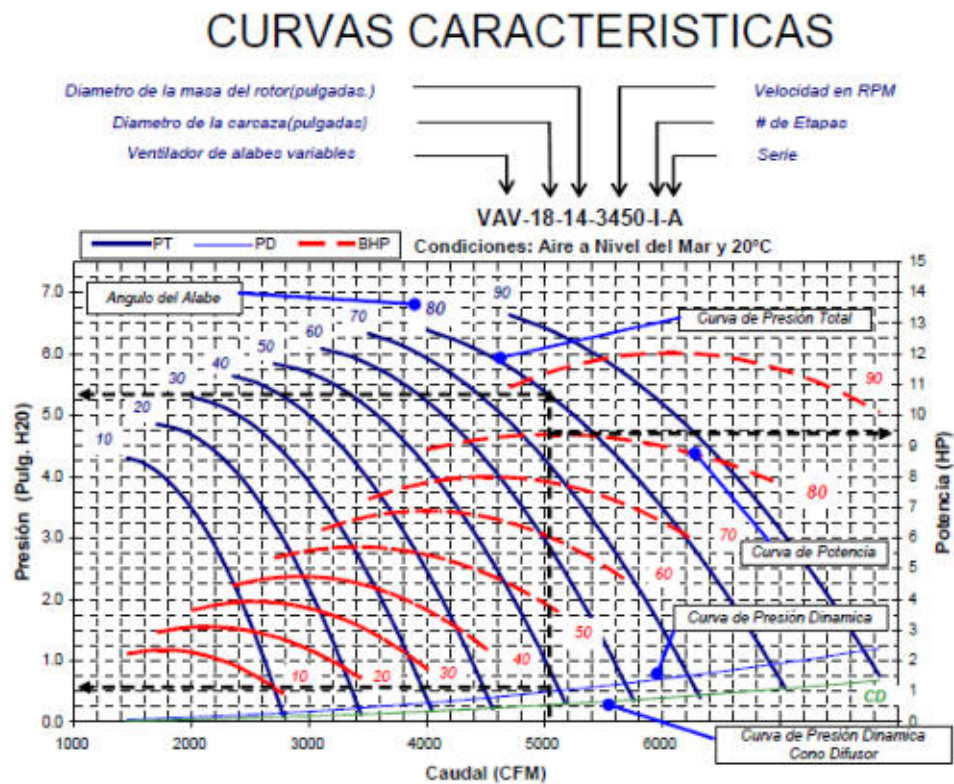


VISTA EN PERFIL

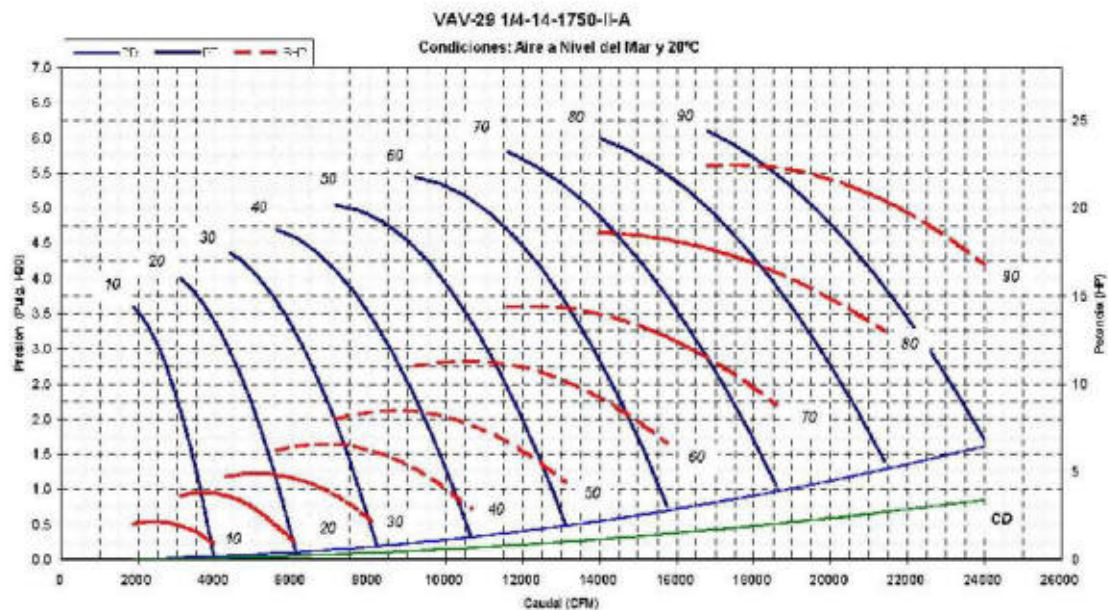


Anexo 9.

CURVA CRACTERISTICA DEL VENTILADOR AXIAL AIRTEC S.A.

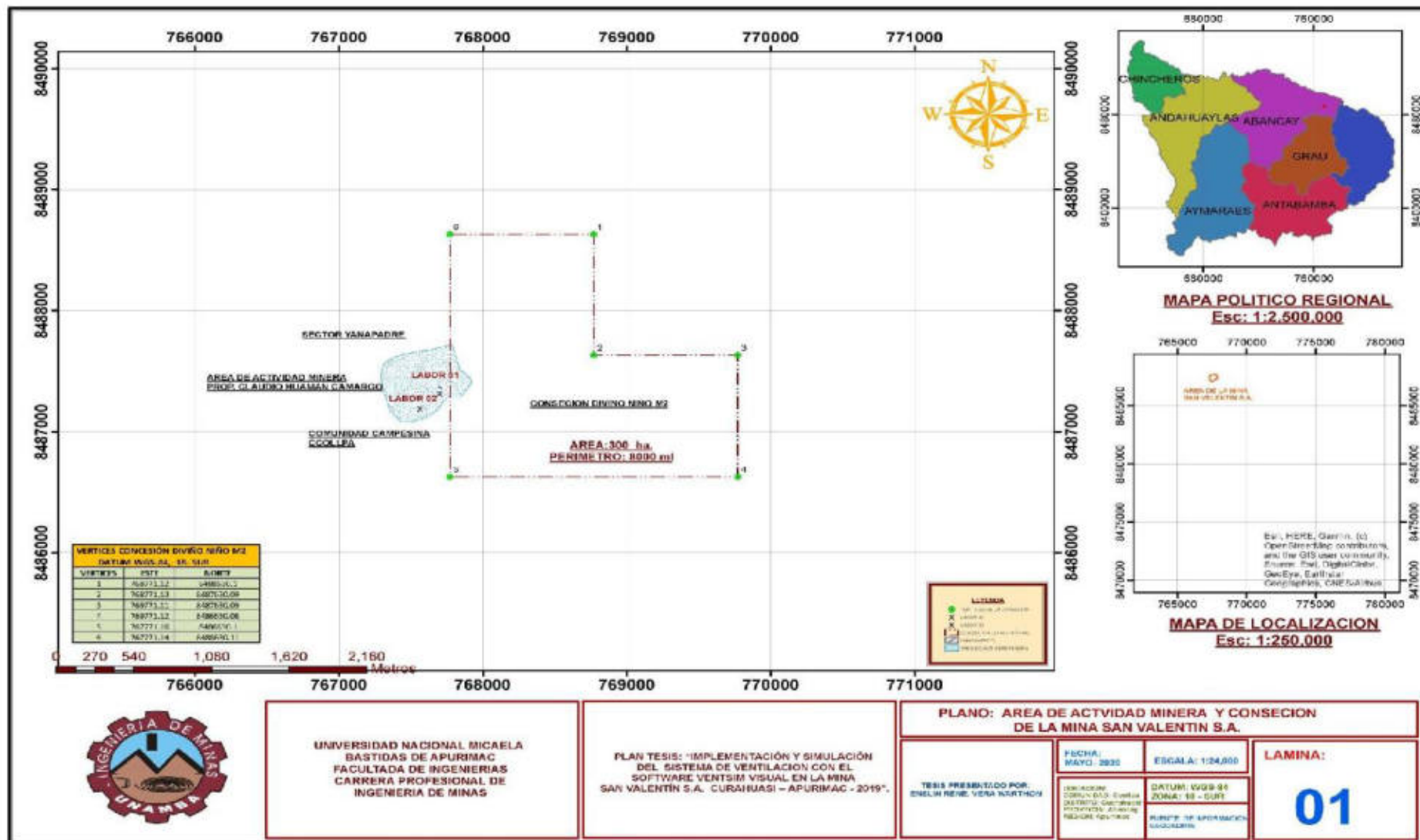


CURVA CARACTERISTICA DEL VENTILADOR SELECCIONADO PARA LA MINA SAN VALENTIN S.A.

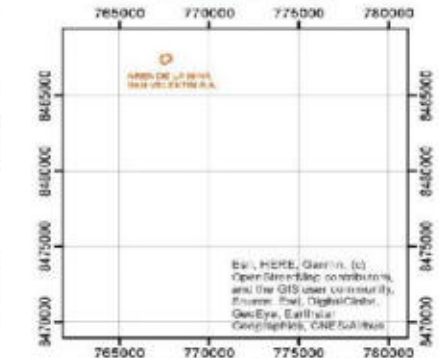


Anexo 10 (Planos Generales).

PLANOS GENERALES.



MAPA POLITICO REGIONAL  
 Esc: 1:2.500.000



MAPA DE LOCALIZACION  
 Esc: 1:250.000



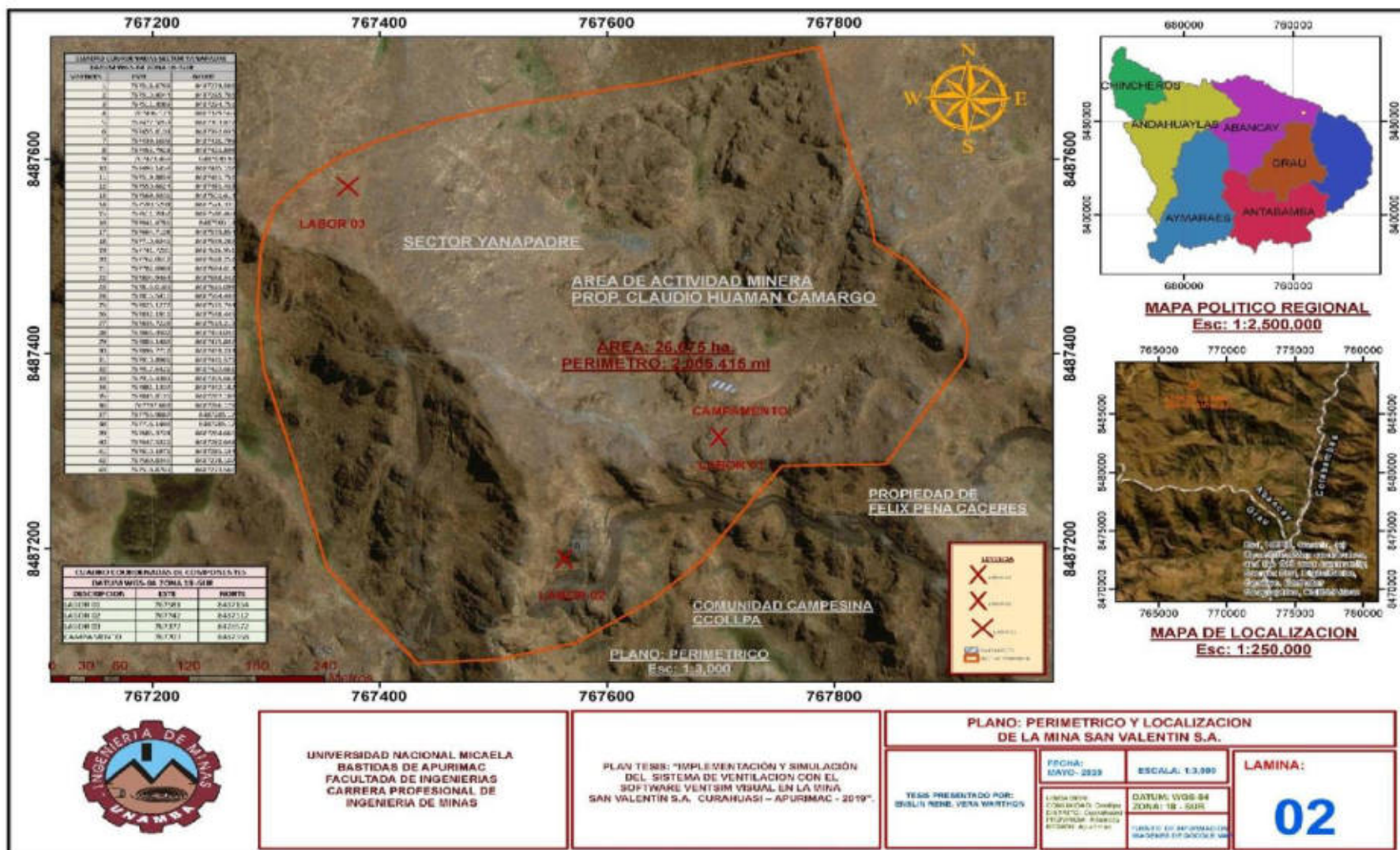
UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA  
 BASTIDAS DE APURIMAC  
 FACULTAD DE INGENIERIAS  
 CARRERA PROFESIONAL DE  
 INGENIERIA DE MINAS

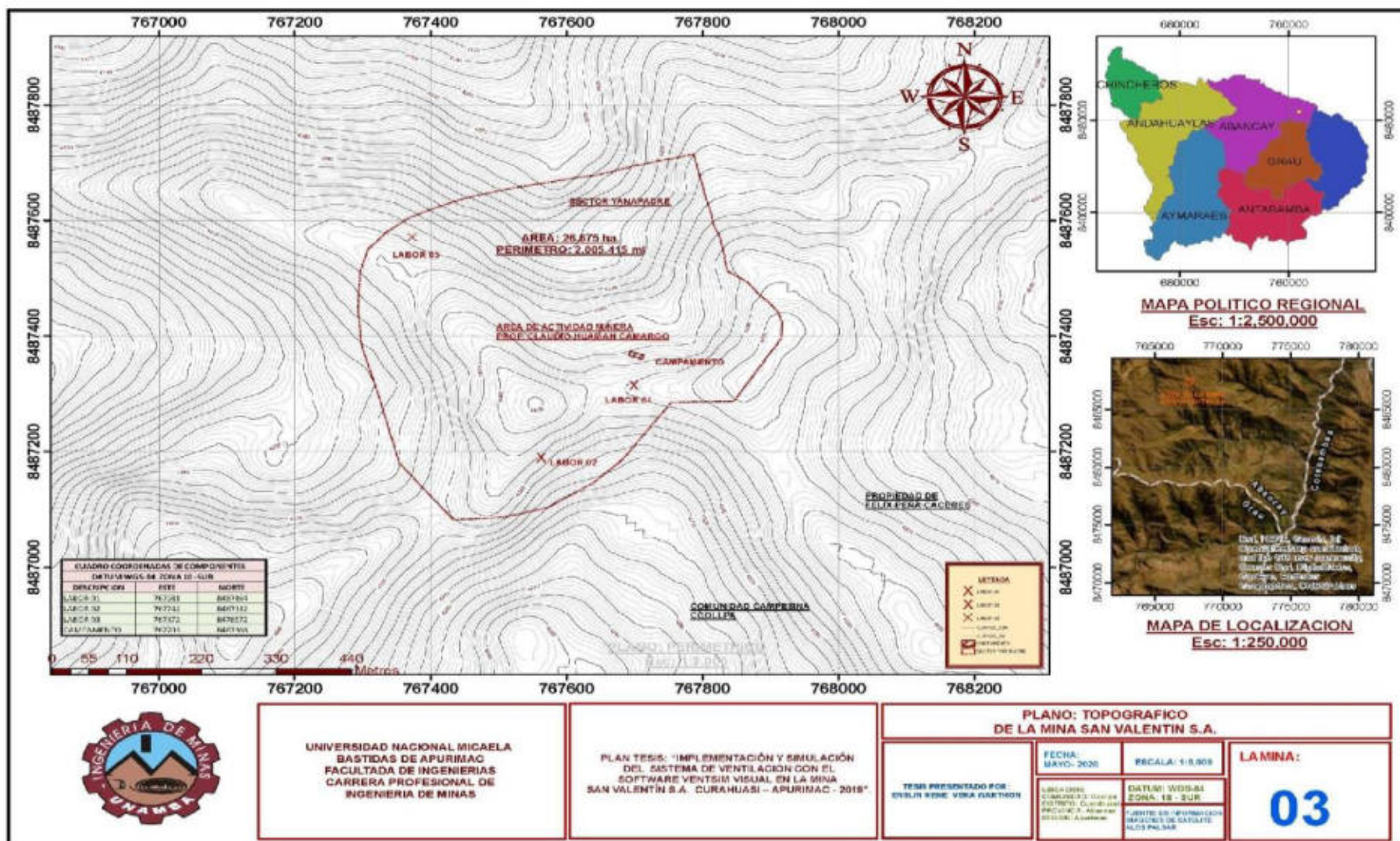
PLAN TESIS: "IMPLEMENTACIÓN Y SIMULACIÓN  
 DEL SISTEMA DE VENTILACION CON EL  
 SOFTWARE VENTSIM VISUAL EN LA MINA  
 SAN VALENTIN S.A. CURAHUASI - APURIMAC - 2019".

PLANO: AREA DE ACTIVIDAD MINERA Y CONCESION  
 DE LA MINA SAN VALENTIN S.A.

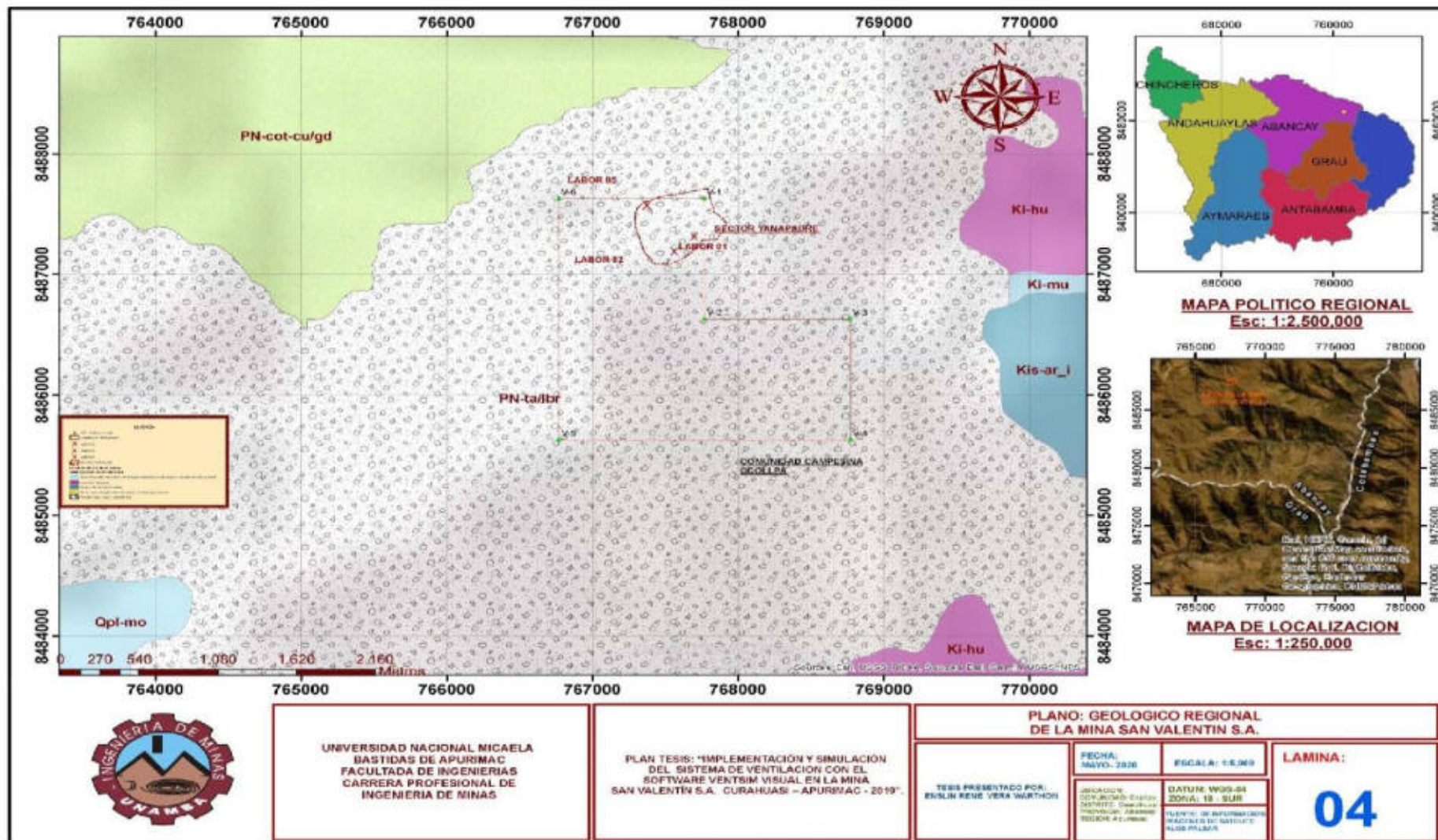
FECHA: MAYO 2020	ESCALA: 1:24,000	LAMINA: <b>01</b>
TESIS PRESENTADO POR: ENELIN RENE VERA WIRTHON	DATUM: WGS 84 ZONA: 18 - SUR	
	PROYECTO: CURAHUASI - CURAHUASI DISTRITO: CURAHUASI PROVINCIA: APURIMAC REGION: APURIMAC	





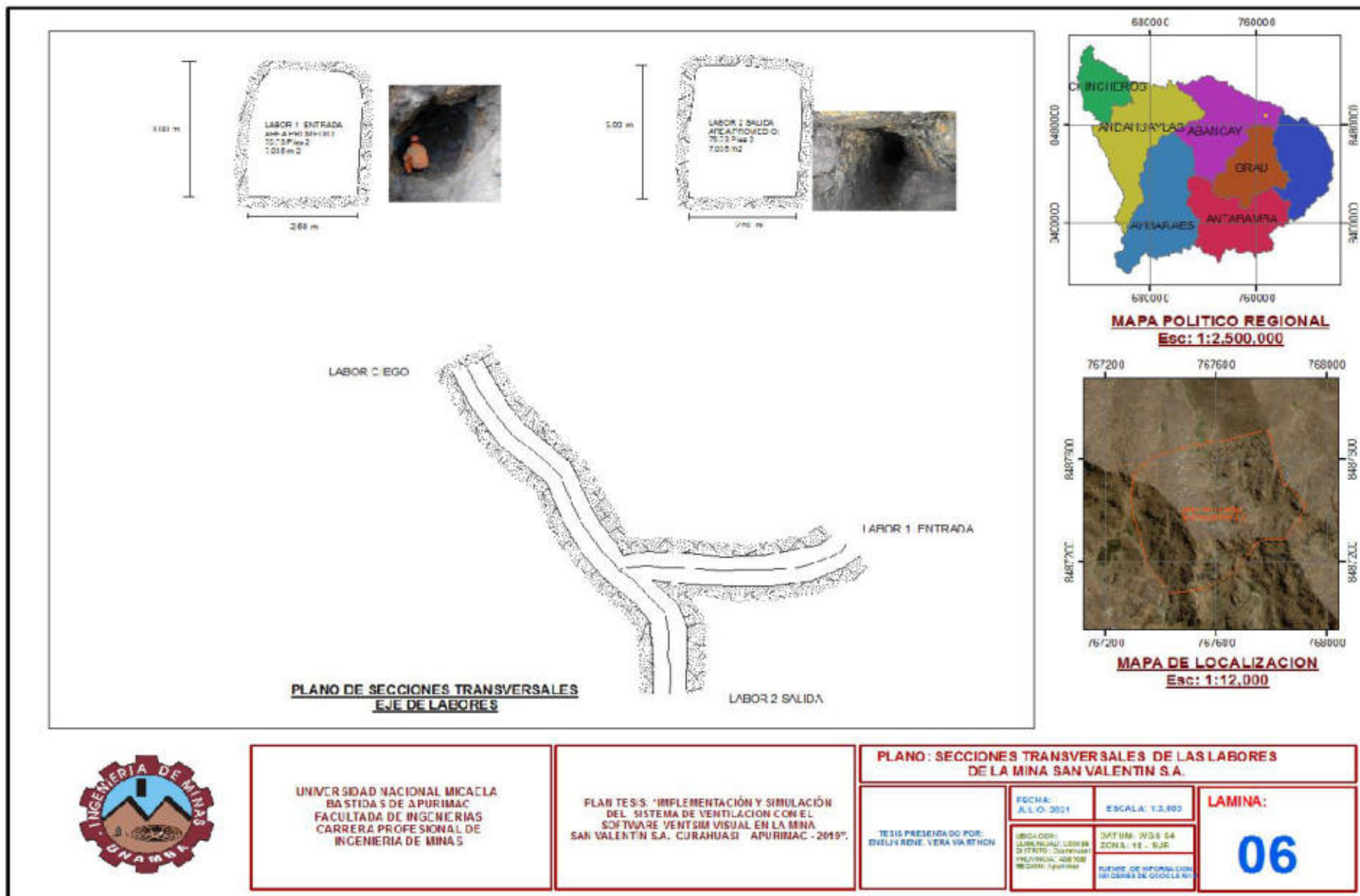












UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS  
 CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

PLAN TESIS: "IMPLEMENTACIÓN Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN CON EL SOFTWARE VENTSIM VISUAL EN LA MINA SAN VALENTÍN S.A. CURAHUASI - APURÍMAC - 2021".

<b>PLANO: SECCIONES TRANSVERSALES DE LAS LABORES DE LA MINA SAN VALENTÍN S.A.</b>		
TESIS PRESENTADO POR: ENELLY RENE VERA VA RITHON	FECHA: A.L.O. 2021	ESCALA: 1:3,000
	UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: CUSCO DISTRITO: CURAHUASI PROVINCIA: 408 708 REGIÓN: Apurímac	DITUM: WGS 84 ZONA: 18 - SUR
FUENTE DE INFORMACIÓN: INFORMACIÓN DE CONSULTA		