

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DEL  
PROYECTO MINERO PAPELILLO - NAMORA 2018,  
UTILIZANDO EL SOFTWARE VENTSIM 5.0™”.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Cesar Humberto Muñoz Rios.

Bach. Lourdes Salazar Izquierdo.

Asesor:

Ing. Elmer Ovidio Luque Luque

Cajamarca - Perú

2018



## ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor Ingeniero Elmer Ovidio Luque Luque, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de INGENIERIA DE MINAS, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis de los estudiantes:

- Cesar Humberto Muñoz Rios.
- Lourdes Salazar Izquierdo.

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: “Modelamiento del sistema de ventilación del Proyecto Minero Papelillo – Namora 2018, utilizando el software VentSim 5.0<sup>TM</sup>”, para aspirar al título profesional de: **Ingeniero de Minas** por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** a los interesados para su presentación.

---

Ing. Elmer Ovidio Luque Luque  
Asesor

### ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis de los estudiantes: Cesar Humberto Muñoz Rios y Lourdes Salazar Izquierdo para aspirar al título profesional con la tesis denominada: “Modelamiento del sistema de ventilación del Proyecto Minero Papelillo – Namora 2018, utilizando el software VentSim 5.0™”.

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

**Aprobación por unanimidad**

**Aprobación por mayoría**

Calificativo:

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Bueno [14 - 13]

Aprobado [12]

Aprobado [12]

Firman en señal de conformidad:

---

Ing. Oscar Arturo Vásquez Mendoza  
Jurado  
Presidente

---

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán  
Jurado

---

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León  
Jurado

**DEDICATORIA**

*A mi amada hija Abigail, quien es mi mayor motivación para ser persistente en cumplir mis metas y objetivos trazados. A mis padres, quienes, de manera incondicional, con su amor y paciencia han sabido acompañarme en el desarrollo de este proyecto personal.*

***Lourdes Salazar Izquierdo.***

*A Casimiro, Hilda y Rosa Muñoz, por el apoyo constante e incondicional, que hicieron posible continuar con mi desarrollo profesional.*

***Cesar H. Muñoz Rios.***

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por permitir que los planes personales puedan ser alcanzados.

Agradecemos al trabajo de nuestros docentes formadores, quienes con dedicación han compartido sus conocimientos para el desarrollo de nuestras metas profesionales.

*Cesar H. Muñoz Rios.*  
*Lourdes Salazar Izquierdo.*

## Tabla de contenidos

<b>ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS .....</b>	<b>2</b>
<b>ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS.....</b>	<b>3</b>
DEDICATORIA .....	3
AGRADECIMIENTO .....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS .....	8
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>15</b>
3.1. Bases teóricas.....	15
3.2. Objetivo Específico A .....	20
3.3. Objetivo Específico B .....	34
3.4. Objetivo General .....	38
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>43</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>46</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>48</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1:</b> Operacionalización de variables .....	11
<b>Tabla 2:</b> Coordenadas de la concesión Papelillo .....	13
<b>Tabla 3:</b> Distancia y tiempo de llegada a Papelillo .....	16
<b>Tabla 4:</b> Coordenadas UTM “Nivel 3000” .....	20
<b>Tabla 5:</b> Factores relevantes “Nivel 3000” .....	21
<b>Tabla 6:</b> Coordenadas UTM “Nivel 3080” .....	22
<b>Tabla 7:</b> Factores relevantes “Nivel 3080” .....	22
<b>Tabla 8:</b> Coordenadas UTM “Nivel 3120” .....	23
<b>Tabla 9:</b> Factores relevantes “Nivel 3120” .....	24
<b>Tabla 10:</b> Requerimientos de aire por personal. ....	24
<b>Tabla 11:</b> Especificaciones técnicas de los equipos. ....	25
<b>Tabla 12:</b> Valores de temperatura. ....	27
<b>Tabla 13:</b> Tiempos de permanencia del personal según temperatura efectiva. ....	27
<b>Tabla 14:</b> Resumen de aire total requerido por el proyecto minero Papelillo. ....	28
<b>Tabla 15:</b> Resumen de aire según aforo, requerido en el proyecto minero Papelillo. ....	29
<b>Tabla 16:</b> Resumen del dimensionamiento de velocidades.....	30
<b>Tabla 17:</b> Valor k para minas metálicas .....	31
<b>Tabla 18:</b> Resistencias para diferentes ramales del proyecto Papelillo.....	32
<b>Tabla 19:</b> Resumen del dimensionamiento de variación de caudal.....	32
<b>Tabla 20:</b> Resumen de la variación de flujo .....	33
<b>Tabla 21:</b> Medición de aire en entradas y salidas. ....	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1:</b> Mapa de localización de Namora .....	14
<b>Figura 2:</b> Ubicación geográfica de la concesión Papelillo .....	15
<b>Figura 3:</b> Carretera Cajamarca – Proyecto Papelillo .....	16
<b>Figura 4:</b> Medición para el acceso principal, “Nivel 3000” .....	19
<b>Figura 5:</b> Acceso “Nivel 3000” .....	20
<b>Figura 6:</b> Distancia entre niveles .....	21
<b>Figura 7:</b> Acceso “Nivel 3080” .....	22
<b>Figura 8:</b> “Nivel 3120”, chimenea.....	23
<b>Figura 9:</b> Modelamiento con el software VentSim 5.0™ .....	34
<b>Figura 10:</b> Medición de aire en entradas y salidas. ....	35
<b>Figura 11:</b> Medición de Caudal, Temperatura y Humedad relativa.....	35
<b>Figura 12:</b> Diagramas de flujo en la simulación. ....	38
<b>Figura 13:</b> Resumen de la red de ventilación del software VentSim 5.0 T™ .....	38
<b>Figura 14:</b> Gráfica Resumen de la red de ventilación del software VentSim 5.0™ .....	39
<b>Figura 15:</b> Diagramas de flujo en la simulación. ....	39



## RESUMEN

El desarrollo de esta tesis ha tenido por objetivo el modelamiento del sistema de ventilación preliminar del proyecto minero Papelillo, evaluar el ingreso en cantidad y calidad de aire durante el proceso de explotación. Para esta actividad se utilizó el software VentSim 5.0™, herramienta informática especializada para el diseño y modelamiento de redes de ventilación, utilizando parámetros sencillos y de fácil acceso. Con la utilización del software del VentSim 5.0™, se ha logrado diseñar la red de ventilación, obteniéndose información en tiempo real sobre las características de los ventiladores a usar en el proyecto. Adicionalmente la aplicación de este software ayudó definir los ventiladores y los parámetros de operación del proyecto minero Papelillo. El método de investigación utilizado en esta tesis es analítico explicativo, fue necesario analizar los parámetros de las variables independiente y dependiente, también sus dimensiones, el método de minado, ratio de producción, gradiente geotérmica, emisión de gases, caudal del aire, presión de aire; analizando los resultados en base a la aplicación del software. Como resultado del diseño y modelamiento del sistema de ventilación del proyecto Papelillo, se concluye que la red de ventilación estará conformada por un ventilador principal de  $15\text{m}^3/\text{min}$  y cuatro ventiladores de  $3\text{m}^3/\text{min}$  de caudal respectivamente y  $310\text{Pa}$  de presión; con una eficiencia del 76.9%.

**Palabras clave:** Ventilación subterránea, Modelamiento, VentSim 5.0™, efectividad.

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad problemática**

El proyecto minero Papelillo pretende iniciar operaciones mineras subterráneas, y para ello es necesario realizar el planeamiento y diseño del sistema de ventilación, considerando que en la actualidad el proyecto no cuenta con dicho estudio. El caudal de aire que requiere una mina es dinámico, debido que las labores de explotación se encuentran en continuo avance y profundización. Ante estas circunstancias, es ineludible el planeamiento y el diseño de ventilación en el proyecto minero. Parámetros como el método de minado, equipos, ratio de producción, emisión de gases y temperatura serán considerados para el diseño y modelamiento del circuito de ventilación con el soporte del Software VentSim 5.0™, que permitirá determinar a priori el caudal y presión del flujo de aire a distribuir en el proyecto.

### **1.2. Formulación del problema**

¿Cómo se realizará el modelamiento del sistema de ventilación del proyecto minero Papelillo - Namora 2018, utilizando el software VentSim 5.0™?

### **1.3. Objetivos**

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

Modelar el sistema de ventilación del proyecto minero Papelillo utilizando el software VentSim 5.0™.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- A) Determinar los parámetros y factores que intervienen en el diseño de sistema de ventilación.
- B) Diseñar el sistema de ventilación del proyecto minero Papelillo.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

El software VentSim 5.0™, nos permitirá modelar el sistema de ventilación para el proyecto minero Papelillo.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- Los parámetros y factores que intervienen en el diseño del sistema de ventilación, permitirán determinar el caudal de aire total que necesitará el proyecto minero Papelillo.
- El diseño de la red de ventilación con el software VentSim 5.0™, permite obtener información en tiempo real, sobre las características de la red de ventilación del proyecto.

## **1.5. Variables**

- **Independiente**  
Uso del software VentSim 5.0™.
- **Dependiente**  
Modelamiento del sistema de ventilación

## 1.6. Operacionalización de variables.

Tabla 1

*Operacionalización de variables*

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE VALORACIÓN
<b>Uso del software VentSim 5.0™.</b>	Método de minado	Longitud de las labores	m <sup>2</sup>
	Gradiente geotérmica	Diferencia de temperatura	°C
	Densidad del aire	Medir por cotas	Kg/m <sup>3</sup>
	Presión del aire	Diferencia de presiones	inH <sub>2</sub> O, Pa
<b>Modelamiento del sistema de ventilación.</b>	Ventiladores	Capacidad de rendimiento	m <sup>3</sup> /min o CFM
	Circuito de ventilación	Redes en paralelo y serie	Caudal (Q), resistencia (R), pérdida o caída (H)
	Equipos en mina	Requerimiento de aire	m <sup>3</sup> /hp
	Personal en mina	Requerimiento de aire	m <sup>3</sup> /persona
	Explosivos	Voladura con Anfo	Kg/tonelada

Fuente: Elaboración Propia.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

Tipo de investigación no experimental, cuantitativa y descriptiva del sistema de ventilación de una mina subterránea. Necesitamos la descripción de las variables independiente y dependiente, para aplicar el software VentSim 5.0™ en el diseño y modelamiento.

El método de la investigación es analítico explicativo. En el desarrollo de la tesis, se necesitó analizar los parámetros de las variables independiente y dependiente; analizando sus dimensiones, como el método de minado, ratio de producción, gradiente geotérmica, emisión de gases, caudal del aire, presión de aire y para ello fue necesario detallar los resultados en base a la aplicación del software.

### 2.2. Población y muestra.

- **Población:** Caudal de aire total requerido por Proyecto minero Papelillo.
- **Muestra:** Trabajadores, equipos y gases generados por las operaciones mineras.

### 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Para el cálculo de la humedad relativa, temperatura y velocidad del aire en la zona del proyecto se ha utilizado un anemómetro digital.

El ingreso de datos al software VentSim 5.0™ para el diseño del sistema de ventilación se realizó de acuerdo al modelo de operaciones programado en el proyecto minero Papelillo.

## 2.4. Procedimiento

Para el cálculo de la humedad relativa, temperatura y velocidad de aire en la zona del proyecto minero Papelillo, se ha utilizado un anemómetro digital.

Los administradores del proyecto minero papelillo nos han brindado el diseño de operaciones que pretenden ejecutar el año 2019.

En base a la información recolectada y analizada, se ha podido diseñar de manera preliminar un sistema de ventilación que se adecue a los requerimientos del proyecto minero Papelillo, según el número de personal, equipos, emisión de gases de voladura, entre otros.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Bases teóricas

#### 3.1.2. Zona de Estudio

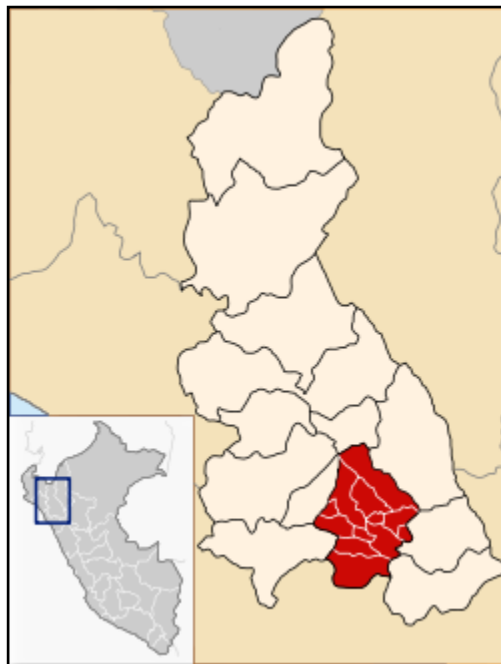
##### 3.1.2.1. Ubicación del área de estudio

###### A) Ubicación Política:

- **Continente:** América del Sur.
- **País:** Perú.
- **Región:** Cajamarca.
- **Provincia:** Cajamarca.
- **Distrito:** Namora.
- **Caserío:** Sarín.

Figura 1

*Mapa de localización de Namora.*



Fuente, extraída de (Mapas índices de Desarrollo Cajamarca, 2015)

## B) Ubicación geográfica:

La concesión minera Papelillo, se encuentra ubicado en el caserío Sarín, comprensión del distrito de Namora.

- **Altitud:** 2,733 msnm.
- **Latitud Sur:** 7°11'59”.
- **Longitud Oeste:** 7°19'24”.
- **Superficie:** 180.69Km<sup>2</sup>.

El área de la concesión Papelillo, es de 200.00 hectáreas, delimitada con las coordenadas WGS 84.

Tabla 2

*Coordenadas de la concesión Papelillo*

VERTICE	NORTE	ESTE
1	9,206,415.74	794,011.11
2	9,205,551.64	794,514.76
3	9,204,544.30	792,786.59
4	9,205,408.39	792,282.93

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 2

*Ubicación geográfica de la concesión Papelillo*



Fuente: extraída de Google Earth Pro 2018.



### 3.1.3. Accesibilidad

El acceso a la concesión Papelillo, se realiza a través de la ruta Cajamarca - La Encañada.

Tabla 3

*Distancia y tiempo de llegada a Papelillo.*

<b>RUTA</b>	<b>DISTANCIAS (KM)</b>	<b>VÍAS TERRESTRES</b>	<b>DURACIÓN</b>
Cajamarca – Cruce Namora (Pampa de la Culebra)	30	Carretera asfaltada	40 minutos
Cruce Namora (Pampa de la Culebra) – Sarín	17	Trocha carrozable	30 minutos
<b>Total</b>	<b>47</b>		<b>70 minutos</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3

*Carretera Cajamarca – Proyecto Papelillo*



Fuente: Propia.

### 3.1.4. Descripción del proyecto

El objetivo de un sistema de ventilación, es proveer aire fresco requerido a cada área de trabajo; utilizado para diluir y remover los contaminantes de la mina. En minas donde se utiliza el método de Corte y Relleno, el desafío es entregar la cantidad de aire limpio requerido minimizando su reutilización (evitando la ventilación en series). Otro desafío es el reducir las pérdidas, las cuales pueden ser hasta un 25% a través de áreas ya explotadas.

Un diseño eficiente de un sistema de ventilación permite proveer a las áreas de trabajo las cantidades requeridas de aire fresco para el correcto desarrollo de las labores. Estas cantidades están basadas en estándares según el tipo de método de explotación utilizado, velocidades críticas del aire y la cantidad de contaminantes generados en las áreas de trabajo. Los contaminantes generalmente encontrados en minería metálica son gases propios de la mina, gases producto de la combustión de diésel, polvo de roca, calor, etc. las concentraciones de estos contaminantes en conjunción con las velocidades críticas del aire y restricciones económicas, son usados para determinar la cantidad y tamaño de las vías principales de inyección y extracción de aire y los requerimientos de energía eléctrica para operar los ventiladores.

Simuladores de ventilación como el programa VentSim 5.0™ son utilizados para determinar la sección de las vías principales de inyección y extracción del aire y la potencia requerida de los ventiladores.

Por lo tanto, el objetivo principal de este proyecto, es presentar los pasos requeridos para establecer un sistema de ventilación que sea efectiva, eficiente y segura para minas subterráneas explotadas por el método de Corte y Relleno, con apoyo del programa VentSim 5.0™. El proyecto incluye estimación de requerimientos de aire fresco basados en los equipos utilizados, concentración máxima de contaminantes, regulaciones, infraestructuras y desarrollos. La descripción del método de selección

de ventiladores primarios y un procedimiento para seleccionar ventiladores auxiliares.

Los pasos presentados en este trabajo de investigación, si bien está enfocado al método Corte y Relleno, pueden también ser usados como una guía general para estimar los requerimientos mínimos de aire, determinar el tamaño del ventilador y completar un estudio de ventilación para otros métodos de explotación.

#### **a) Método de explotación**

El método de explotación que se utilizará debido a la competencia de la roca es Corte y Relleno (Over Cut and Fill). Es un método ascendente (realce). El mineral es arrancado por franjas horizontales y/o verticales empezando por la parte inferior de un tajo y avanzando verticalmente. Cuando se ha extraído la franja completa, se rellena el volumen correspondiente con material estéril (relleno), que sirve de piso de trabajo a los obreros y al mismo tiempo permite sostener las paredes, y en algunos casos especiales el techo.

#### **Características del método:**

- Minado selectivo y menor dilución.
- Es más versátil, que hace eficiente el minado.
- La abertura de la excavación es menor y su auto sostenimiento es mejor.
- Disposición de mineral inmediato.
- Disponibilidad del equipo.
- Es factible para cambiar de método en cualquier momento.
- La inversión en equipos es relativamente menor.

### 3.2. Objetivo Específico A

**Determinar qué parámetros y factores intervienen en el modelamiento del sistema de ventilación.**

#### 3.2.2. En campo

##### a) “Nivel 3000”

Las labores del “Nivel 3000” se realizarán a una profundidad de 40m promedio aproximadamente de la superficie.

Figura 4

*Medición para en el acceso principal, “Nivel 3000”.*

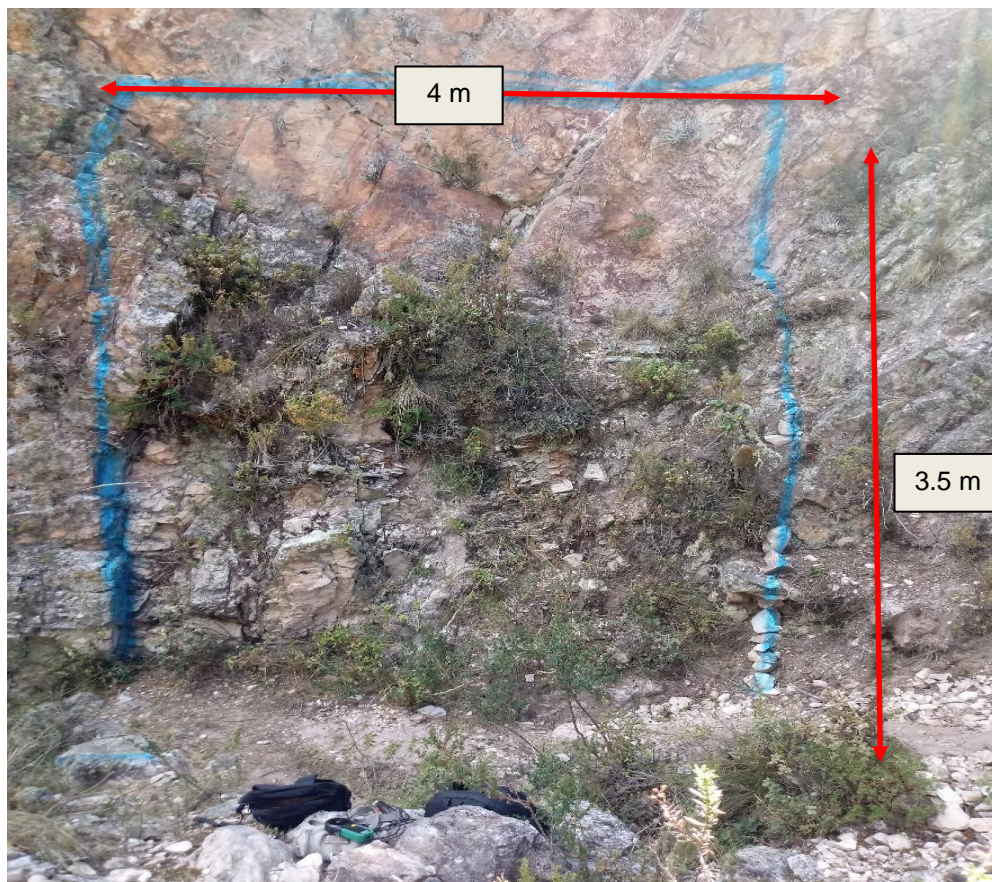


Fuente: Propia.

El acceso al depósito, los niveles de producción y el desarrollo del proyecto minero Papelillo, se realizará a través de una rampa principal con una sección de 4m de ancho y 3.5 m de altura.

Figura

*Acceso “Nivel 3000”.*



Fuente: Propia.

Tabla 4

*Coordenadas UTM “Nivel 3000”.*

ESTE	0793731
NORTE	9206002

Fuente: Propia

Tabla 5

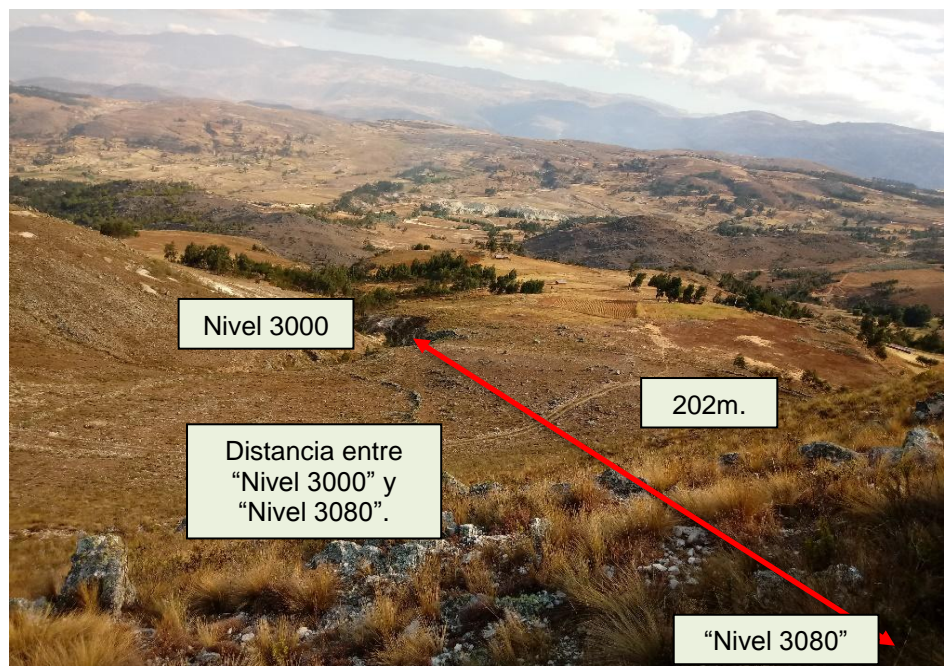
*Factores relevantes “Nivel 3000”.*

<b>ALTURA</b>	3000 msnm
<b>VELOCIDAD DEL AIRE</b>	45.17m/min
<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	42%
<b>TEMPERATURA</b>	19.8°C

Fuente: Elaboración Propia

Figura 6

*Distancia entre “Nivel 3000” y “Nivel 3080”.*



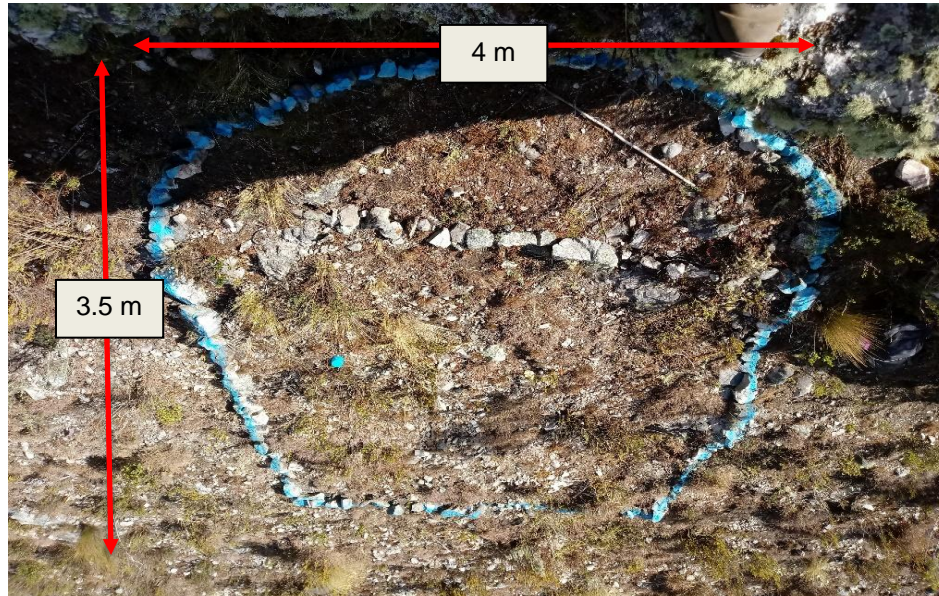
Fuente: Propia.

#### b) “Nivel 3080”

Las labores del “Nivel 3080” se realizarán a una profundidad de 100m de la superficie.

Figura 7

Acceso “Nivel 3080”.



Fuente: Propia.

Tabla 6

Coordenadas UTM “Nivel 3080”.

ESTE	0793706
NORTE	9206234

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7

Factores relevantes “Nivel 3080”.

ALTURA	3080 msnm
VELOCIDAD DEL AIRE	38.03 m/min
HUMEDAD RELATIVA	43.2%

---

TEMPERATURA 18.7°C

---

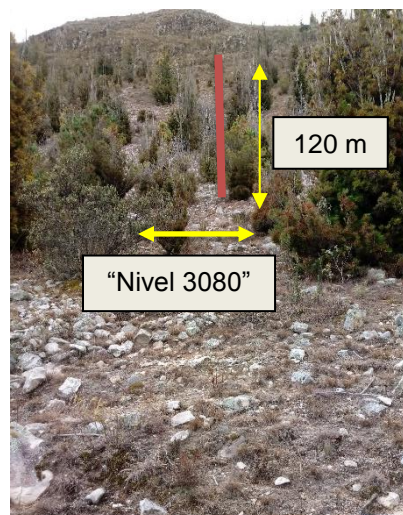
Fuente: Elaboración Propia

**c) “Nivel 3120”**

Corresponde a la ubicación de la chimenea por la que saldrá el aire viciado de las labores. Por medio de un conducto de 3m de diámetro y 120m de longitud desde el “Nivel 3000”

Figura 8

*“Nivel 3120”, chimenea.*



Fuente: Propia.

Tabla 8

*Coordenadas UTM “Nivel 3120”.*

ESTE	0793717
NORTE	9206334

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 9

*Factores relevantes “Nivel 3120”.*

<b>ALTURA</b>	3120 msnm
<b>VELOCIDAD DEL AIRE</b>	118.87 m/min
<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	42.7%
<b>TEMPERATURA</b>	23.6°C

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.3. En gabinete

Se zonificó el área del proyecto minero Papelillo, se analizó el tipo de explotación, sus parámetros como la cantidad de personal, equipos, turnos, programación e intensidad de voladura, para realizar la evaluación de las condiciones de ventilación antes del inicio del proyecto.

#### a) Requerimiento de aire por personal

Este requerimiento depende de la altura de la mina en metros sobre el nivel del mar (msnm), el proyecto minero Papelillo se encuentra ubicado sobre los 3000msnm, por lo tanto, para llevar a cabo la extracción de manganeso en el proyecto necesitamos una guardia de 18 personas:

Tabla 10

*Requerimientos de aire por personal.*

<b>CARGO</b>	<b>CANTIDAD (N)</b>
Supervisor	01
Capataz de perforación	02
Perforista	02
Ayudante perforista	02

Operador	01
Obreros (U35)	09
Mecánico	01

Fuente: Elaboración Propia.

$$Q_1 = n \cdot t$$

$$Q_1 = 18 \cdot (3 \text{ m}^3/\text{min} + 70\%)$$

$$Q_1 = 90.0 \text{ m}^3/\text{min}$$

### b) Requerimiento de aire por equipos diésel

El caudal requerido en la industria minera depende de la potencia de los motores a Diésel, los equipos solicitados en el desarrollo del proyecto Papelillo son los siguientes:

Tabla 11

*Especificaciones técnicas de los equipos.*

EQUIPO MINERO	MARCA / MODELO	POTENCIA (HP/KW)
COMPRESOR	Sullair 750H	243/181
COMPRESOR	Sullair 375	140/104
CARRO MINERO	U-35	0
PALA NEUMÁTICA	EIMCO 12B	0

Fuente: Elaboración Propia

$$Q_2 = N \cdot H_p \text{ (m}^3/\text{min)}$$

Considerando que los compresores estarán ubicados, en superficie fuera de las labores de interior de mina, la pala neumática funcionará con el compresor Sullair 750H, los carros mineros U35 no requieren de combustible, tenemos un requerimiento de **0 m<sup>3</sup>/min** de aire para equipos diésel.

### c) Requerimiento de aire por voladuras

- El caudal de aire para la dilución de los contaminantes producidos por efecto del consumo de explosivos en el proyecto, aplicaremos la fórmula siguiente:

$$Q_3 = A * V * n$$

A: área de la sección promedio de la galería (4 x 3.5) = 13.1m<sup>2</sup>.

V: velocidad del aire 20m/min (art. 248, Reglamento de Seguridad y Salud Minera).

N: niveles.

$$Q_3 = 13.1\text{m}^2 * 20\text{m}/\text{min} * 2.$$

$$Q_3 = 520\text{m}^3/\text{min}.$$

- La sección de la galería principal de los Niveles 3000 y 3080, es de 3.5m ancho y 4m de altura, teniendo una forma arqueada, por lo tanto, la sección de la galería es de **13.1m<sup>2</sup>**.

### d) Requerimiento de aire por Temperatura

Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo ( $Q_{Te}$ ), según DS 024-2016-EM, anexo 38.

$$Q_{Te} = V_m * A * N \text{ (m}^3/\text{min)}$$

Donde:

$Q_{Te}$  = Caudal por temperatura (m<sup>3</sup>/min)

$V_m$  = Velocidad mínima

A = Área de la labor promedio

N = Numero de niveles con temperatura mayor a 23°C

Para mantener la temperatura de confort en el lugar de trabajo, se debe considerar en el cálculo del requerimiento de aire una velocidad mínima de 30 m/min, cuando la temperatura se encuentre en el rango de 24°C hasta 29°C como máximo.

Tabla 12

*Valores de temperatura.*

TEMPERATURA SECA (°C)	VELOCIDAD MÍNIMA (M/MIN)
< 24	0.00
24 – 29	30.00

Fuente: DS-024-2016-EM

De acuerdo a los niveles de temperatura alcanzados en el interior de mina, se limita el tiempo de permanencia del personal.

Tabla 13

*Tiempos de permanencia del personal según temperatura efectiva.*

TEMPERATURA EFECTIVA (°C)	TIEMPO DE PERMANENCIA (HORAS)
28	Sin limitación
29	6
30	4
31	2
32	0

Fuente: CS Toro Ingeniería de Proyectos Mineros

**e) Caudal requerido por fugas ( $Q_{Fu}$ ), según DS 024-2016-EM**

$$Q_{Fu} = 15\% \times Q_{TI} \text{ (m}^3 \text{ /min)}$$

$$Q_{To} = (Q_{Tr} + Q_{Te})$$

$$Q_{Fu} = 15\% (90)$$

$$Q_{Fu} = 13.5 \text{ m}^3 \text{ /min}$$

**f) Resumen de requerimiento de aire para el proyecto minero Papelillo.**

Como resultado de los cálculos numéricos realizados el proyecto minero Papelillo, para las operaciones de extracción de mineral manganeso, requiere un caudal total de:

$$Q_t = Q_{Tr.} + Q_{Eq.} + Q_{Ex.} + Q_{Fu.}$$

$$Q_t = 90 + 0 + 520 + 13.5$$

$$Q_t = 623 \text{ m}^3/\text{min} \times 35.315 \text{ cfm}$$

$$Q_t = 22018.90 \text{ cfm} \approx 23,000 \text{ cfm}$$

Tabla 14

*Resumen de aire total requerido por el proyecto minero Papelillo.*

ITEM DE OPERACIÓN	FLUJO DE AIRE REQUERIDO (m <sup>3</sup> /min)	FACTOR DE CONVERSIÓN	FLUJO DE AIRE (CFM)
Número de personas (Q <sub>Tr</sub> )	90	35.315	3178.35
Número de equipos a diésel (Q <sub>Eq</sub> )	0	35.315	0
Disolución de contaminantes de voladura (Q <sub>Ex</sub> )	520	35.315	18315.8
Por fugas (Q <sub>Fu</sub> )	13.5	35.315	476.75
<b>T O T A L</b>	<b>623.5</b>	<b>35.315</b>	<b>22018.90</b>

Fuente: Elaboración propia.

### g) Cálculo del Caudal de Aire Natural

El cálculo del caudal natural de aire en las cotas del nivel 3000, nivel 3080 y nivel 3120, del proyecto minero Papelillo, se realizó mediante la recolección de velocidad de aire en los puntos de monitoreo, con apoyo del anemómetro digital MS6552B. Se consideró tres estaciones de aforo, específicamente en las zonas donde se iniciará la excavación de las galerías, para el estudio y análisis del planeamiento del sistema de ventilación se tomó el promedio de las muestras recolectadas:

$$Q = A * V$$

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

A: Área de la sección (m<sup>2</sup>).

V: Velocidad del aire (m/min).

Tabla 15

*Resumen de aire según aforo, requerido en el proyecto minero Papelillo.*

PROFUNDIDAD (m)	VELOCIDAD DEL AIRE (m/min)	FLUJO DE AIRE (m <sup>3</sup> /min)	FLUJO DEL AIRE EN CFM
BM 3000 + 0	45.17	591.72	21118.37
BM 3080 + 1	38.03	498.19	17593.57
BM 3120 + 2	118.87	1557.19	54992.16

Fuente: Elaboración Propia.

- **Dimensionamiento del ventilador**

- **Velocidad del aire en la galería:**

En la bocamina del nivel 3000 y 3080 del proyecto el Papelillo, la velocidad del aire será:

$$V = 22028.90\text{cfm}/141\text{pie}^2.$$

$$V = 156\text{pies/min.}$$

- **Determinación de la sección de la manga:**

Según norma, la manga de ventilación deberá ser 20 veces menor que la sección de la galería.

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

Donde:

A: Área del diámetro de la manga.

D: Diámetro de la manga.

S: Área de la sección de la galería en pies<sup>2</sup>.

$$141\text{pies}^2/20 = 7.05 \text{ pies}^2$$

Realizando el cálculo tenemos que:

$$7.05\text{pies}^2 = \pi * D^2/4$$

$$D = 2.9 \text{ Pies} * 12 \text{ pul}$$

$$D = 35.95 \text{ pulg.} \approx 36 \text{ pulg.}$$

○ **Cálculo de la velocidad en la manga:**

$$V = 22028.90\text{cfm}/7.05 \text{ pies}^2$$

$$V = 3124.66\text{pies}/\text{min}$$

$$V = 952.36 \text{ m}/\text{min}$$

**Tabla 16**

*Resumen del dimensionamiento de velocidades*

<b>VELOCIDAD DEL AIRE EN LA GALERÍA</b>	156 pies/min
<b>VELOCIDAD DEL AIRE EN LA MANGA</b>	3124.66 pies/min
<b>DIÁMETRO DE LA MANGA</b>	36 pulgadas
<b>CFM REQUERIDOS</b>	23000 cfm

Fuente: Elaboración propia.

○ **Resistencia en el Ducto (R)**

$$R = \frac{K * Per * L}{A}$$

$$R = \frac{0.0022 * 2.86 * 1000}{0.65}$$

$$R = 9.68\text{Ns}^2/\text{m}^8$$

○ **Presión Estática (P)**

$$P = R * Q^2$$

$$P = (9.68\text{Ns}^2/\text{m}^8) * (10.16\text{m}^3/\text{s})^2$$

$$P = 999.22 \text{ Pa} \approx 4.01 \text{ in H}_2\text{O}$$

○ **Presión Dinámica (Pv)**

$$Pv = \gamma \frac{v^2}{2}$$

$$P_v = \gamma \frac{v^2}{2}$$

$$P_v = 0.9115 \frac{15.63^2}{2}$$

$$P_v = 111.33 \text{ Pa} \approx (11.35 \text{ mm c.a.}) \approx 0.44 \text{ inH}_2\text{O}$$

○ **Cálculo de la Presión Total**

$$P_t = P + (1 + x) P_v$$

$$X = 1.5 \text{ (coeficiente por choque)}$$

$$P_t = 999.22 + (1 + 1.5) * 111.33$$

$$P_t = 1277 \text{ Pa.}$$

$$\text{Presión Total} = 5.129 \text{ inH}_2\text{O}$$

○ **Potencia del Ventilador**

$$W = \frac{P_t * Q}{\eta}$$

$$\eta = \text{Eficiencia (76\%)}$$

$$W = \left( \frac{1277.545 * 10.16}{0.76} \right)$$

$$W = 17078.75 \text{ N.m/s}$$

$$W = 17.078 \text{ Kw}$$

**h) Accesos**

Tabla 17

*Valor K para minas metálicas*

DESCRIPCIÓN DEL RAMAL	FACTOR K (Kg/m <sup>3</sup> )	FACTOR K (Lb.min/ft <sup>4</sup> x10 <sup>-10</sup> )
<b>Rampa</b>	0.00879	47.4
<b>Galería</b>	0.01158	62.4
<b>Chimenea</b>	0.01126	60.7

FUENTE: Prosser y Wallace 1999 8Th Us Mine ventilation symposium.



Tabla 18

*Resistencias para diferentes ramales del proyecto Papelillo*

<b>DESCRIPCIÓN DEL RAMAL</b>	<b>SECCIÓN (m)</b>	<b>FACTOR K (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>RESISTENCIA NS<sup>2</sup>/m<sup>8</sup></b>
Rampa (a x h x L)	4 x 3.5 x 80	1.50	0.59
Galería (a x h x L)	4 x 3.5 x 1000	1.98	9.7
Chimenea (d x h)	3 x 120	0.54	0.28

Dónde: a = ancho, h = altura, d = diámetro

Fuente: Elaboración propia.

- **Variaciones de caudal**

Tabla 19

*Resumen del dimensionamiento de variación de caudal*

<b>PUNTOS DE AFORO</b>	<b>FLUJO DE AIRE CAMPO (CFM)</b>	<b>FLUJO DE AIRE VENTSIM (CFM)</b>	<b>DIFERENCIA</b>
Nivel 3000	21118.37	22018.90	900.53
Nivel 3080	17593.57	22018.90	4425.33
Nivel 3120	54992.16	22018.90	32973.26

Fuente: Elaboración propia.

- **Nivel 3000:**

$$\text{Variación} = \frac{\sum \text{Flujo de campo} - \sum \text{flujo software}}{\sum \text{flujo de campo}} \times 100$$

$$\text{Variación} = \frac{21118.37 - 23000}{21118.37} \times 100$$

**Variación: - 8.91%**

- **Nivel 3080:**

$$\text{Variación} = \frac{17593.57 - 23000}{17593.57} \times 100$$

**Variación: - 30.72%**

- **Nivel 3120:**

$$\text{Variación} = \frac{54992.16 - 23000}{54992.16} \times 100$$

**Variación: 54.17 %**

Tabla 20

*Resumen de la variación de flujo*

<b>PUNTOS DE AFORO</b>	<b>FLUJO DE AIRE CAMPO (CFM)</b>	<b>FLUJO DE AIRE VENTSIM (CFM)</b>	<b>PORCENTAJE DE VARIACIÓN (%)</b>
Nivel 3000	21118.37	23000	- 8.91%
Nivel 3080	17593.57	23000	- 30.72%
Nivel 3120	54992.16	23000	54.17%

FUENTE: Elaboración propia.

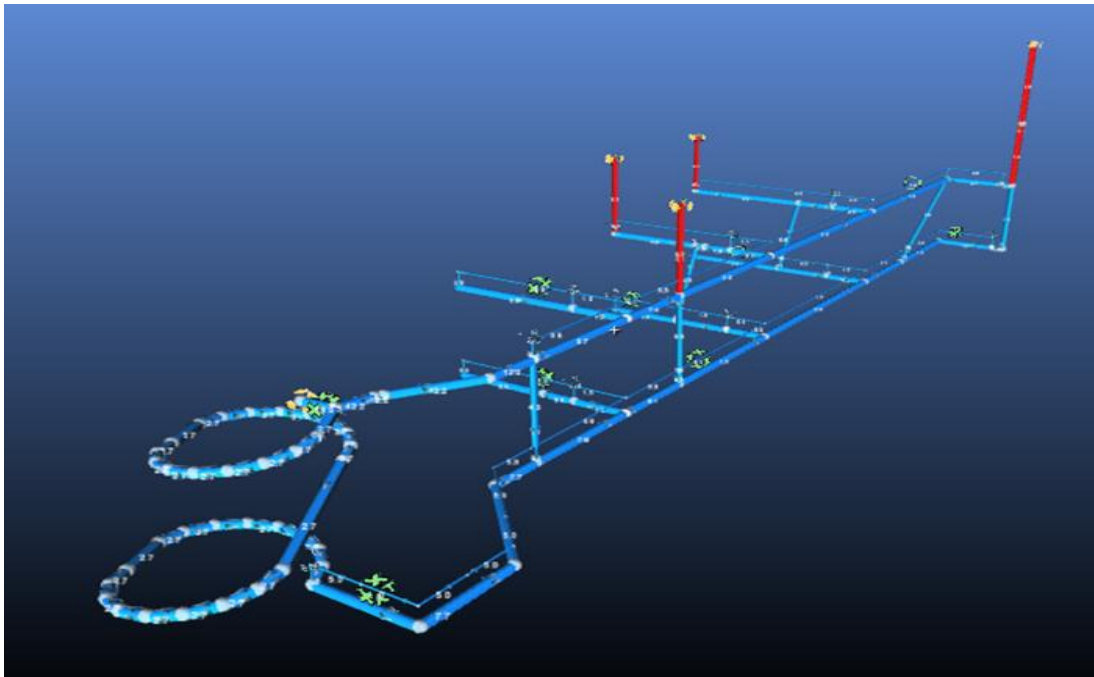
### 3.3. Objetivo Específico B

**Diseñar el sistema de ventilación del proyecto minero Papelillo.**

Después de la recopilación de datos se construye el modelo en tres dimensiones (3D) con el software VentSim 5.0™, para representar y simular el sistema de ventilación de la mina, además se adiciona los parámetros físicos y geométricos del proyecto, forma de las galerías, tipo de roca, resistencias, áreas, factor de fricción y factores de choque. El modelo se aproxima a las condiciones reales de la mina y se realiza simulaciones en diversos escenarios.

Figura 9

*Modelamiento con el software VentSim 5.0™*



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.2. Mediciones

Los aforos del flujo de aire, se practicaron usando como guía la Norma ASHRAE, “Practices for measurement, testing, adjusting and balancing of building heating, ventilation, air-conditioning and refrigeration Systems”, mediante el “método de

áreas iguales” “Method of equal areas”. Este método se basa principalmente en la aproximación del área transversal del túnel a un rectángulo para luego ser dividido en áreas iguales y en su centro realizar las mediciones de velocidad.

a) **Puntos de medición:** La selección y ubicación de los puntos, se realizó en la zona donde se construirá la entrada a la vía de ventilación principal y salida del aire viciado; la cantidad de puntos a medir depende del tipo de análisis a realizar. Como regla básica se deben medir entradas y salidas de aire, principalmente cuando se va a construir túneles nuevos.

Figura 10

*Medición de aire en entradas y salidas.*



Fuente: Propia.

Los aforos del flujo de aire realizados en los puntos de ingreso al interior de la mina en el nivel 3000, 3080 y 3120 nivel de salida, están ubicados en las coordenadas UTM especificadas para el desarrollo de las galerías del proyecto.

**Tabla 21**

*Medición de aire en entradas y salidas.*

UBICACIÓN	COORDENADAS (UTM)	Q (m <sup>3</sup> /min)	T° (°C)	HR (%)
<b>Nivel 3000</b>	0793731E/9206002N	598	19	43
<b>Nivel 3080</b>	079706E/9206234N	498.19	20	45
<b>Nivel 3120</b>	079371E/9206334N	1557.19	20	43

Q (Caudal), T° (Temperatura), HR (Humedad Relativa)

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 11**

*Medición de caudal, temperatura y humedad relativa del aire.*



Fuente: Propia.

### 3.4. Objetivo General

**Modelamiento del sistema de ventilación del proyecto minero  
Papelillo utilizando el software VentSim 5.0™.**

De acuerdo a la configuración de la mina y a los resultados de las mediciones de aire efectuadas en la zona del proyecto, se ajusta al modelo de simulación para caracterizar y finalizar el diseño preliminar de la red de ventilación.

#### a) Condiciones de simulación

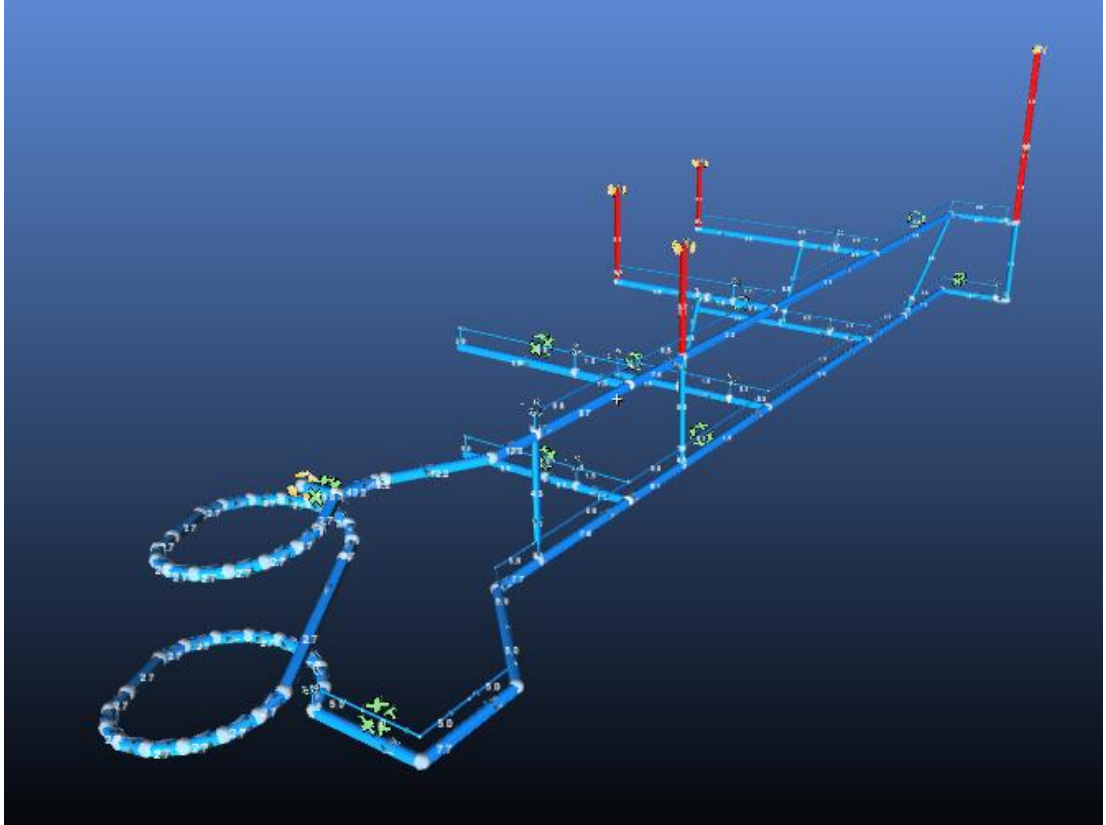
El modelo ha sido configurado con las condiciones ambientales que afectan los resultados de la simulación, como altura sobre el nivel del mar, humedad relativa, temperatura ambiental, de la calidad de estas variables dependerá la precisión de los resultados de la simulación.

#### b) Diagramas de flujo

El aire limpio ingresará por la bocamina principal nivel 3000 y 3080 dirigiéndose en dirección horizontal hacia los frentes 1,2,3 nivel 3000 y 4,5,6 nivel 3080, el aire viciado de los tajos de explotación y frentes de desarrollo se evacuará por las chimeneas 1,2 y 3 correspondientes a la primera fase del proyecto, en la fase dos la chimenea construida en el nivel 3120 cota de mayor producción de la mina, se utilizará para inyectar aire fresco hacia las galerías y frentes de trabajo, con un ventilador de 23000CFM de caudal y 5.01inH<sub>2</sub>O de presión.

Figura 12

*Diagramas de flujo en la simulación.*



Fuente: Elaboración Propia

### c) Los resultados numéricos

Los resultados numéricos del modelamiento de la red de ventilación del proyecto Papelillo, se pueden visualizar en la tabla resumen generado por el software VentSim 5.0™.

Figura 14

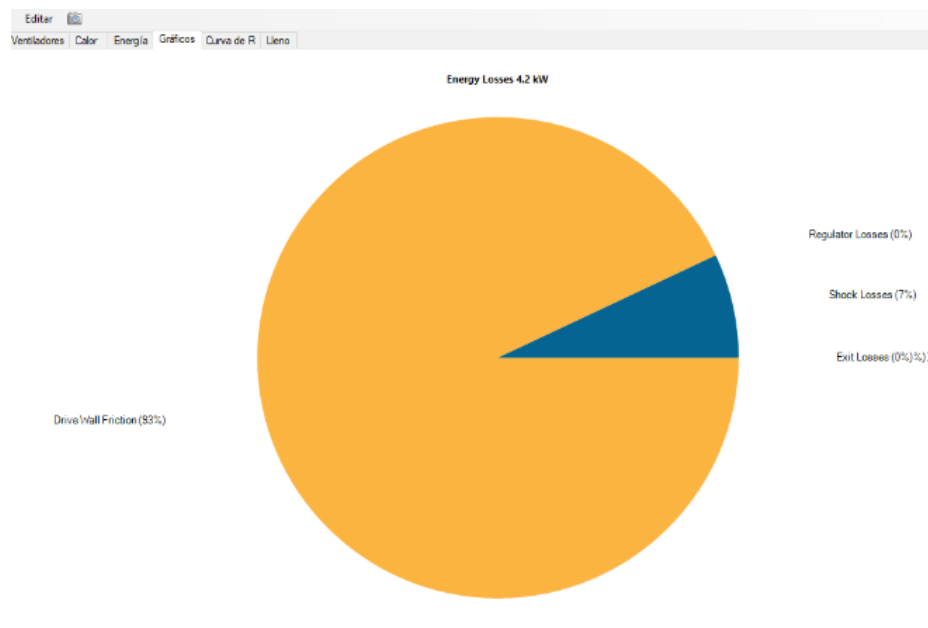
*Resumen de la red de ventilación del software VentSim 5.0™.*

NETWORK SYSTEM SUMMARY	
Compressible Airflows	Yes
Natural Ventilation Pressure	Yes
Fan Pressure Simulation Type	Total Pressure Method
Stage	0: Etapa 1
Airways	149
Total length	5,300.5 m
Total airflow intake	16.5 m <sup>3</sup> /s
Total airflow exhaust	16.5 m <sup>3</sup> /s
Total massflow	19.09 kg/s
Mine resistance (excluding duct)	0.00854 Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
Mine resistance (Including duct)	0.95612 Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
<b>POWER SUMMARY</b>	
AIR (friction loss) Power	4.3 kW Total
	0.0 kW Shaft
	0.0 kW Drive
	4.2 kW Vent Duct
Refrigeration Power Input	0.0 kW
<b>INPUT Power Electrical</b>	<b>5.6 kW</b>
<b>Network Annual Power Cost</b>	<b>\$ 4,868</b>
<b>Network Efficiency</b>	<b>76.9 %</b>
<b>Consisting of ..</b>	
0 Fans	0.0 kW
0 fixed pressures	0.0 kW
9 fixed flows	5.6 kW
0 Refrigeration	0.0 kW

Fuente: Elaboración propia.

Figura 15

*Gráfica Resumen de la red de ventilación del software VentSim 5.0™*



Fuente: Elaboración propia.



#### **d) Red de ventilación propuesto**

Este trabajo de investigación se ha desarrollado en base a un método estructurado que permite implementar un procedimiento para la puesta en marcha de un sistema de ventilación. La utilización de herramientas avanzadas de simulación como el software VentSim 5.0 TM, permite la evaluación inicial de la red y la simulación de múltiples alternativas o escenarios de diseño del sistema, de manera virtual, minimizando los errores, la complejidad, el tiempo y los costos asociados. Además de la visualización en 3D, permite vincular diversas áreas de mina en el proceso de diseño y mejoramiento de la ventilación

El modelamiento al diseño preliminar de la red de ventilación del proyecto minero Papelillo, con el software VentSim 5.0™ concluye:

Que, el sistema de ventilación estará conformado por un ventilador impelente de  $15\text{m}^3/\text{s}$  de caudal en la galería principal y tres ventiladores auxiliares impelentes de  $3\text{m}^3/\text{s}$  y 2 de  $5\text{m}^3/\text{s}$  de caudal y 200Pa de presión en los frentes ciegos 1, 2 y 3 del nivel 3000 respectivamente y un ventilador impelente de  $3\text{m}^3/\text{s}$  de en el frente 1 del nivel 3080, interconectadas a través de mangas a la red principal de las galerías y la construcción de chimeneas conforme al avance de las operaciones mineras, la eficiencia operacional del sistema es de 76.9%. Sin embargo, el diseño se optimizará cuando la mina se encuentre en ejecución de sus operaciones. Por cuanto se podrá recopilar in situ información de los parámetros que permitan evaluar en tiempo real las condiciones de la ventilación y realizar los ajustes necesarios, con la finalidad de mantener o mejorar la condición termo ambiental de trabajo al interior de la mina y para la eliminación del aire

contaminado, manteniendo de esta manera los LMP de aire en el interior de la mina.

La red de ventilación para el proyecto Papelillo, se suministrará de aire por el ingreso a las galerías principales con un flujo total de 23000CFM y 5.1 inH<sub>2</sub>O de presión, caudal que permitirá mantener los LMP de la temperatura, gases y polvo. Los contaminantes generados en el interior de mina serán evacuados por las chimeneas 1, 2, 3 y 4, según diseño, evitando la recirculación. El cálculo del caudal de aire requerido para el proyecto del sistema de ventilación ha sido calculado considerando los contaminantes generados y los estándares establecidos.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

a) Lili`c Nikola<sup>1</sup>, `Cokorilo Vojin<sup>1</sup>, Cvjetic Aleksasndar<sup>1</sup>, Milisavlljevi`c Vladimir<sup>1</sup> (2012), en la tesis “Planificación y diseño de ventilación de la mina de Omerler B”, analizan la importancia de los requisitos de la ventilación y recomiendan una configuración del sistema basada en resultados de ejercicios de modelación. En este punto coincidimos con su teoría, ya que el diseño y modelamiento mediante un software, es muy beneficioso, porque permite un análisis más profundo y detallado de las probables acciones en un sistema de ventilación en minería subterránea.

b) Manohar Raoa, SVSS Ramalingeswarudub, G. Venkateswarluc (2015), India, el estudio de caso del proyecto Adriyala Longwall de The Singareni Collieries Company Limited (SCCL), indican que además de la planificación de ventilación óptima y adecuada, también se deben planear sistemas de refrigeración con la eficiencia posicional y operativa. Al respecto podemos inferir que nuestra investigación ha sido desarrollada en base a la planificación y diseño de un sistema de ventilación de una mina metálica, haciendo una evaluación y análisis de los parámetros que requiere la ventilación de minas y el modelamiento con el software VentSim 5.0™. Los autores de las investigaciones no hicieron uso de una herramienta informática, con el propósito de diseñar y modelar el proyecto de ventilación planificado.

c) Claudio A. Gutiérrez Aravena (2010) Chile; Universidad de Chile, concluye que a partir del modelo de flujos y concentraciones se logró comprender los parámetros más relevantes en la recirculación controlada. El software VentSim 5.0™, facilita la

modelación de los flujos y concentraciones del aire y contaminantes, además permite identificar la recirculación en una determinada área del sistema de ventilación. El autor solamente basó su investigación en cálculos numéricos, que también son considerados válidos.

**d)** Claverias, Q (2014), Perú. Tesis “Evaluación y optimización del sistema de ventilación de la compañía minera Caraveli SAC, aplicando el software VentSim, Visual 3, realizó la evaluación y simulación con el cálculo de parámetros de ventilación, con el propósito de optimizar el sistema de ventilación. Dichos parámetros también han sido aplicados en la presente tesis, y se ha podido comprobar la optimización en el sistema de ventilación del proyecto minero Papelillo.

**e)** Sacsi, U (2014), Perú. Tesis “Cálculo de parámetros y diseño de red de ventilación en labores de veta clara de acuerdo al DS 055-2010 E.M, en mina San Juan de Chorunga”. Investigación que ha sido desarrollada en base a los parámetros indicados en el DS 055-2010-EM. Estamos de acuerdo con los parámetros utilizados en el DS 055-2010 EM. Que en la actualidad ha sido mejorado con el DS 024-2016 EM, que ha sido aplicado en esta tesis.

**f)** Arias (2015), Puno - Perú. Tesis “Comparación económica de tipos de ventilación y ventiladores en minería caso práctico” concluye y establece que un sistema de ventilación es complicado y de un costo elevado, sugiere realizar un análisis comparativo de las especificaciones técnicas. Nuestra investigación se sustenta en el diseño y modelamiento preliminar de un sistema de ventilación de una mina metálica, con apoyo del software VentSim versión 5.0<sup>TM</sup>, usando los parámetros que permiten los cálculos de ventilación

y la norma peruana que regula la ventilación minera. Indicadores que también han sido tomados en consideración por los investigadores antes citados.

## 4.2 Conclusiones

De acuerdo con los factores y parámetros dimensionados, un sistema de ventilación de tiro natural, no podría desarrollarse en el proyecto Papelillo, por la recirculación y déficit de aire, por los cambios de dirección del flujo de aire en el día y la noche, aspectos importantes vinculados a las estaciones.

El diseño preliminar del sistema de ventilación, tendrá que ser evaluado al momento de iniciar operaciones y se realizará de manera constante con el avance y según los requerimientos de mina.

El modelamiento de un sistema de ventilación con el software VentSim 5.0™, es una técnica viable y confiable, permite evitar gastos innecesarios en equipos e infraestructura. Sin embargo, en algunas compañías mineras realizan el planeamiento de minado sin tener en cuenta cómo van a ventilar sus operaciones.

## REFERENCIAS

Aguero Zarate, H. O., & Alvares Ticllasuca, H. (2012). Arequipa. Influencia de ventilación natural y mecánica en el diseño de sistema de ventilación de las galerías del “Nivel 1”950 mina- Calpa. AIRTEC.(2016).

Arias Montalico, M. E. (2015). Puno. Ventilación de minas subterráneas y circuitos de ventilación.

Castro Meza, A. (2015). Arequipa. Estudio y simulación de las condiciones de mina central Sociedad Minera Corona Yauricocha.

Quispe, G. (2011). Lima, Centeno. Criterios de ventilación minera (usando el software de ventilación VentSim 5.0™).

Claverias Quicaña, J. S. (2014). Puno. Evaluación de Ventilación Puntual y Mecánica que Influye en el Sistema de Ventilación de Galería 639 “Nivel 1”950 Mina Colpa.

Enrique Ramos, F. J. (2011). Puno. Evaluación y Optimización de un sistema de Ventilación de la Compañía Minera Caraveli Aplicando el Software visual 3

Enrique Ramos, J. R. (2011). Puno. Evaluación del sistema de ventilación de la mina San Vicente, compañía minera San Ignacio de Morococha.

Jiménez, A. (1999). Ventilación de Minas Subterránea y Túneles.

Vejarano Sánchez, A. (2000). Lima. Ventilación Mina



## ANEXOS

### ANEXO 1

#### *Herramientas para la toma de datos.*



Fuente: Propia.

- Anemómetro digital Mastech.
- Brújula Brunton Azimutal.
- GPS GARMIN.
- Libreta Topográfica.
- Mapa geológico.
- Laptop Toshiba.
- Lápiz.
- Esmalte en Spray.



## ANEXO 2

### *Anemómetro digital Mastech<sup>R</sup>.*



#### **Características:**

- Anemómetro digital profesional con sensor de temperatura y humedad relativa muestra.
- Para medir temperatura ambiente, humedad, temperatura del punto de rocío, temperatura de bulbo húmedo, volumen de aire y velocidad del viento.
- Varias unidades para opciones: unidades de área ( $m^2$ ,  $FT^2$ ), unidades de velocidad del viento (m/s, km/h, Mil/h, m/h, m/s, nudos), unidades de volumen de aire (CFM) y unidades de temperatura (grados Celsius, Fahrenheit).
- Energía suministrada por: 1 \* 9 V 6F22 Batería (no incluida).
- Temperatura de funcionamiento: 0 °C a 40 grados centígrados humedad de funcionamiento: de 0 85% RH (sin condensación).
- Temperatura de almacenamiento: total de usuarios no anónimos centígrados -10 A 50 °C.
- Humedad de almacenamiento: 0 al 80% RH (sin condensación).
- Certificado: EMC.

### ANEXO 3

#### *Mediciones con Anemómetro Digital.*



## ANEXO 4

### *Mediciones con Anemómetro Digital, nivel 3080.*



## ANEXO 5

### *Brújula Brunton Azimutal*



#### **Características:**

- Mecanismo de bloqueo de aguja ajustable.
- Clinómetro bisagra con incrementos de  $1^\circ$  de  $1/2^\circ$  mediciones por inmersión legibles.
- Dos largos de nivel de burbujas en el exterior de la carcasa de aluminio sin nivelación, conjetura desde los lados o la parte inferior.
- Monumentos de estilo Buck Horn para una mayor precisión al disparar azimut o verticales ángulos.
- Exactitud de acimut  $\pm 1/2^\circ$  con  $1^\circ$  graduaciones
- Ángulo vertical  $\pm$  exactitud de  $1/2^\circ$  de  $1^\circ$  graduaciones y 10 minutos Vernier mediciones de ángulo vertical de  $\pm 90^\circ$  o 100% de grado.
- Escala de calificaciones por ciento, con incrementos del 5%.
- Ajuste de la declinación magnética permite el este o el oeste ajustes de declinación a  $\pm 180$

## ANEXO 6

### *Medición de buzamiento de ingreso “Nivel 3000” con brújula Brunton*



## ANEXO 7

### GPS GARMIN



#### **Características:**

- Mapa base mundial.
- Pantalla de 2,2” de 65.000 colores que se lee con la luz del sol.
- Satélites GPS y GLONASS para adquirir la posición de forma más rápida.
- Geocaching.
- Batería de 25 h. con dos pilas AA

## ANEXO 8

### *Mediciones en el “Nivel 3000” con GPS Garmin*



## ANEXO 9

### *Software VentSim 5.0™*



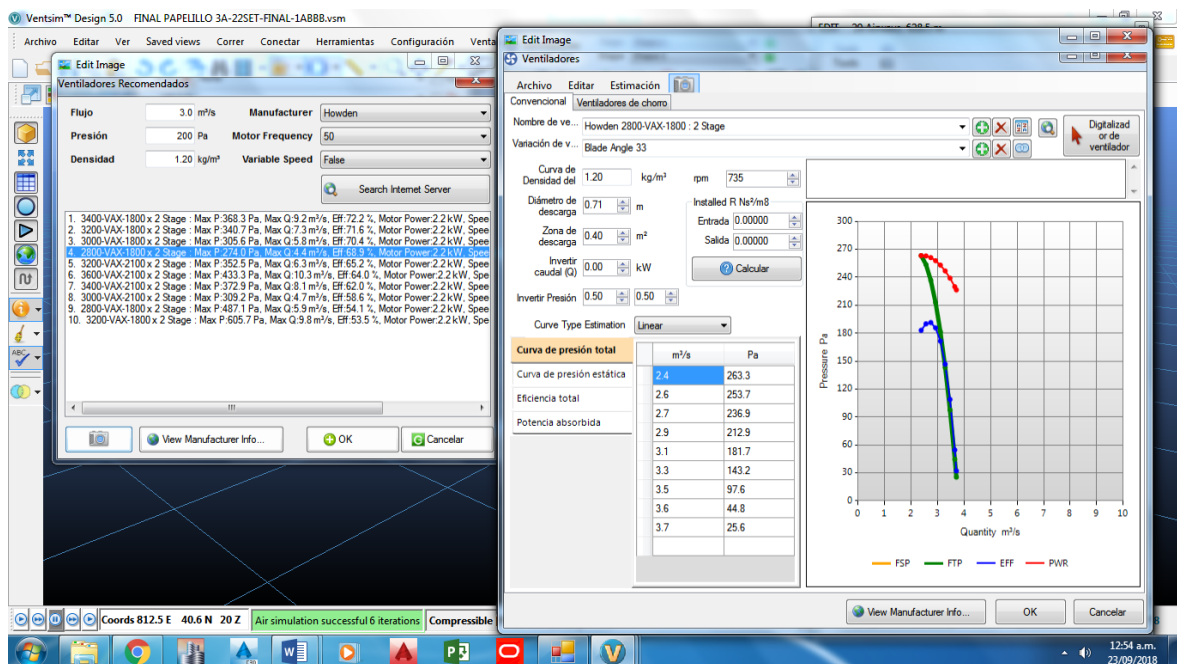
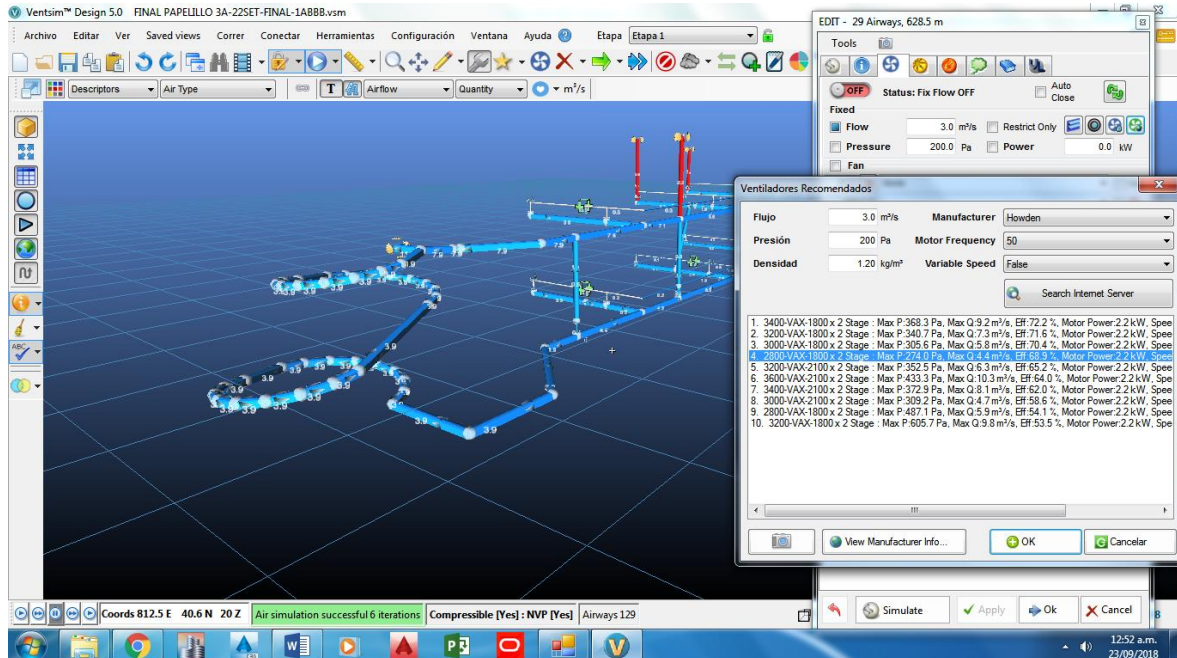
#### **Características:**

- Más de 50 mejoras en características, estabilidad, interfaz de usuario y rendimiento.
- "Etapas" siguen mejorando, correcciones significativas al rendimiento y a la integración en entornos de simulación estacional.
- Nuevas Opciones de Servidor de Licencias - empresas pueden utilizar su propio servidor para mejor velocidad y retirada de licencia automática.
- Difusión de Gas y de contaminantes- esta importante característica ya está disponible para gases y contaminantes se dispersan por advección (flujo de aire) y difusión.
- Nuevas opciones de barra de herramientas - barras de herramientas pueden moverse y ser colocadas en cualquier lugar por la pantalla.
- Herramienta de escala gráfica- escalamiento más fácil de los elementos gráficos de la pantalla
- Una gran cantidad de otras mejoras de usuario, velocidad y gráficos.



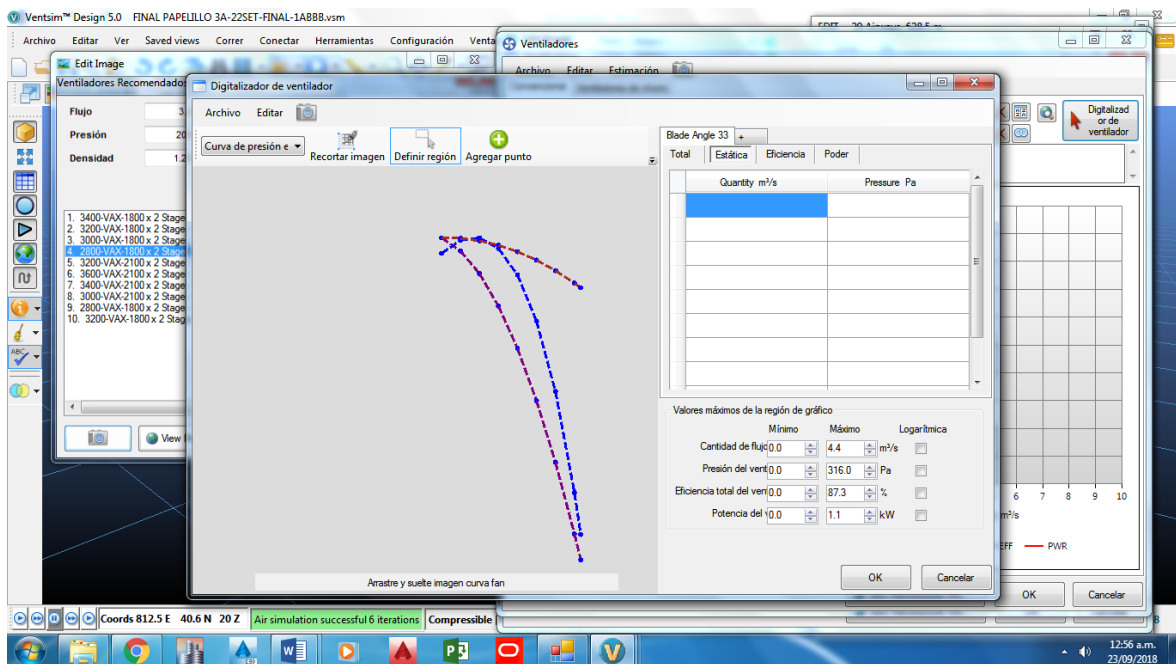
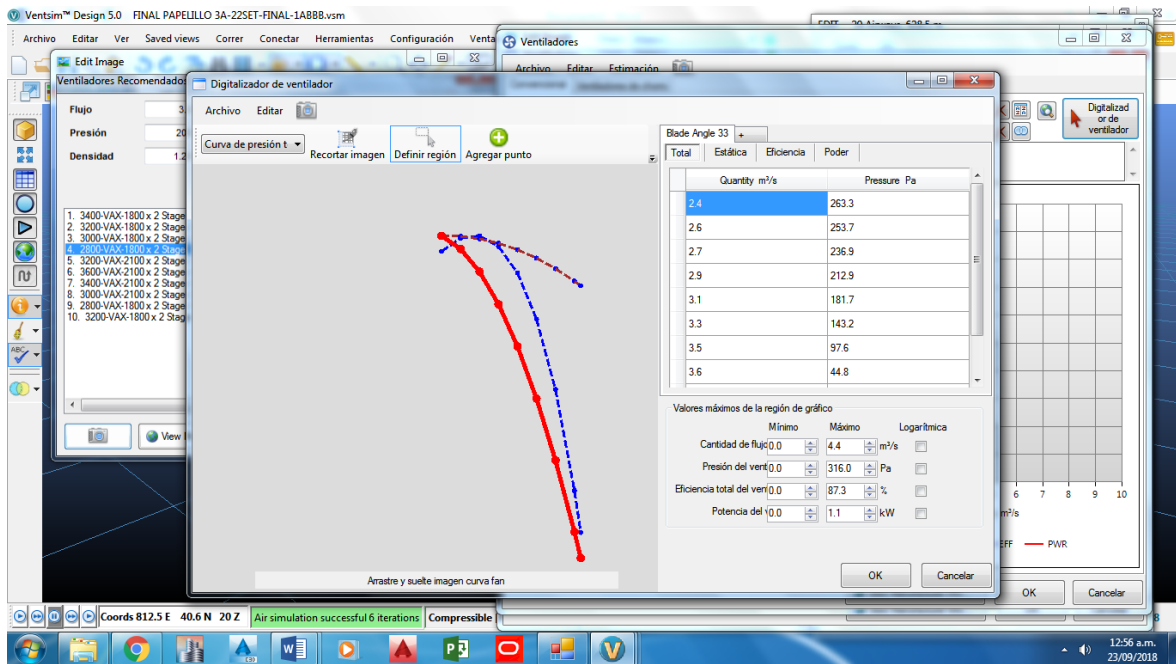
## ANEXO 10

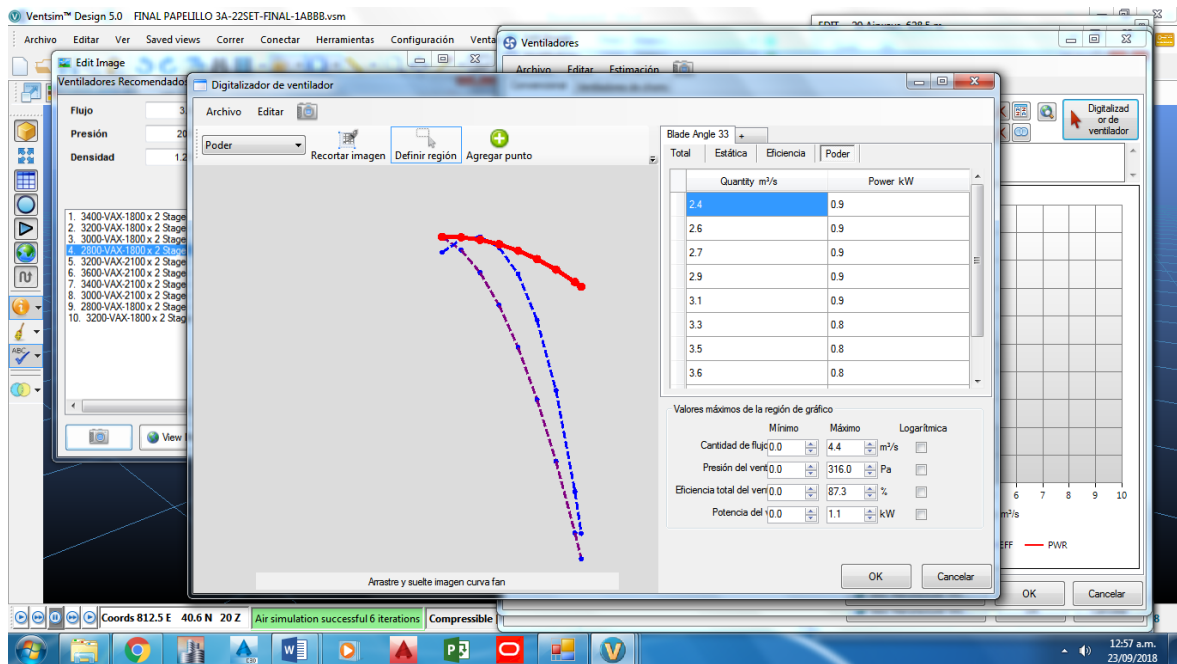
### Ventiladores recomendados para la Etapa 1.



ANEXO 11

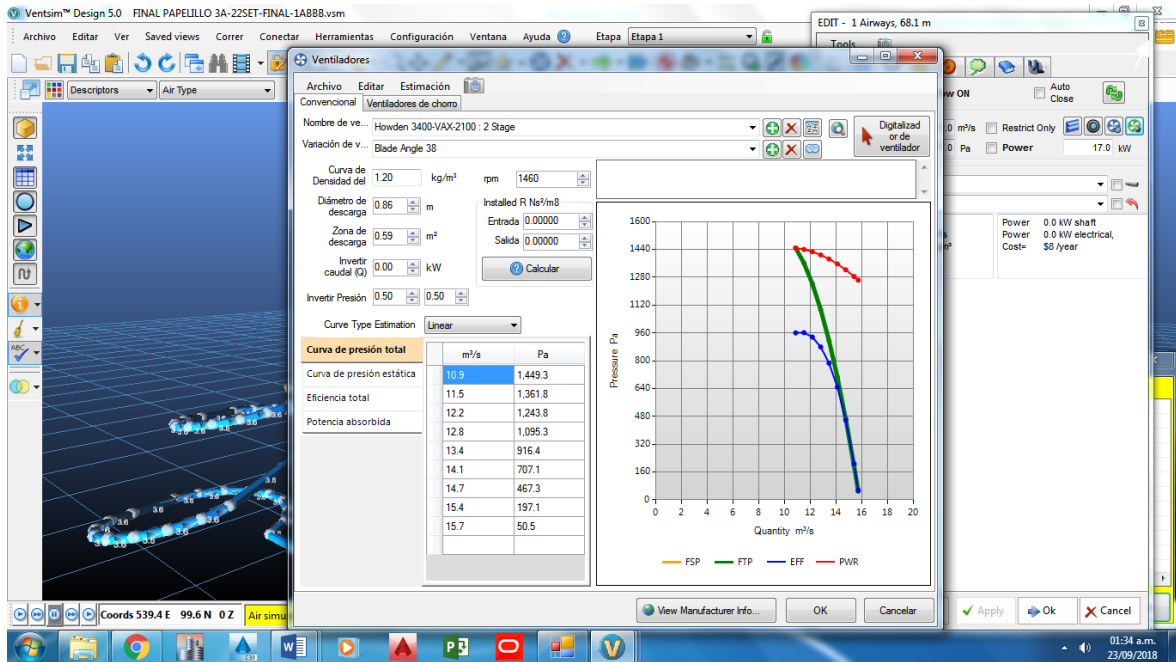
*Digitalizador de ventiladores*





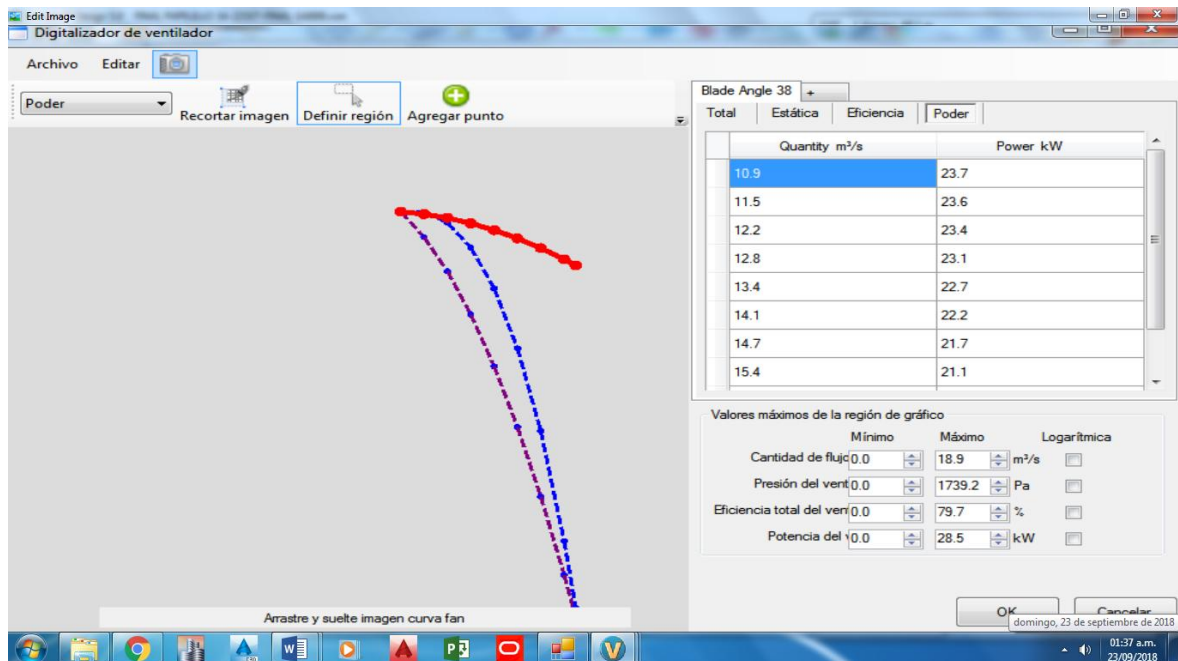
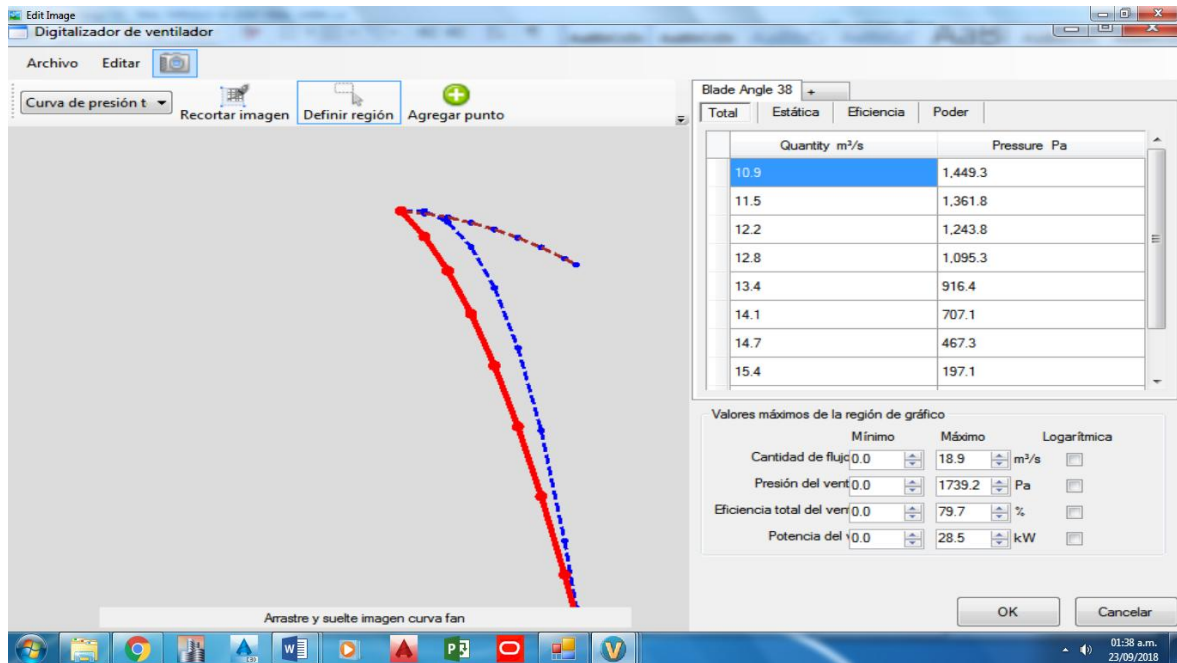
## ANEXO 12

### *Ventiladores recomendados para la Etapa 2.*



## ANEXO 13

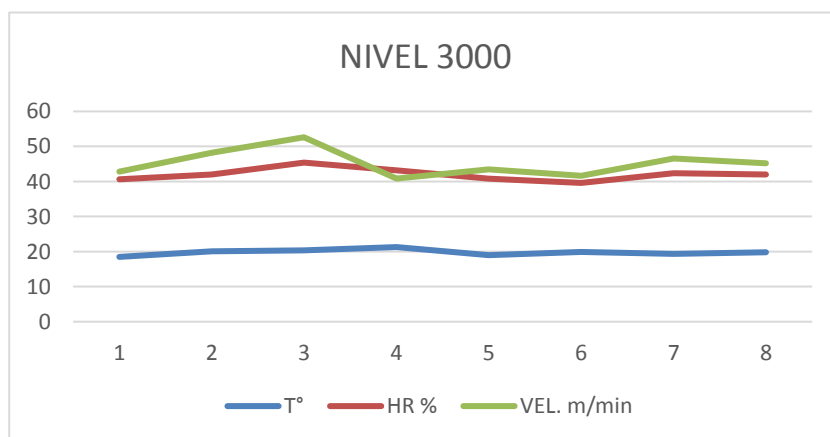
### *Digitador de ventiladores para la Etapa 2.*



ANEXO 14

*Condiciones de aire en el nivel 3000*

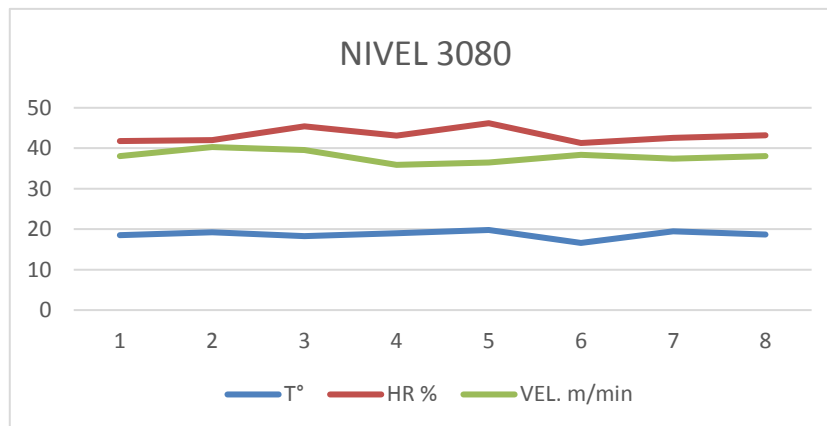
.PROMEDIO DATOS 3000	T°	HR %	VEL. m/min
<b>1</b>	18.5	40.6	42.81
<b>2</b>	20.1	42	48.26
<b>3</b>	20.4	45.4	52.63
<b>4</b>	21.3	43.2	40.85
<b>5</b>	19	40.8	43.44
<b>6</b>	19.9	39.6	41.65
<b>7</b>	19.4	42.4	46.58
<b>PROMEDIO</b>	<b>19.80</b>	<b>42.00</b>	<b>45.17</b>



## ANEXO 15

### *Condiciones de aire en el nivel 3080*

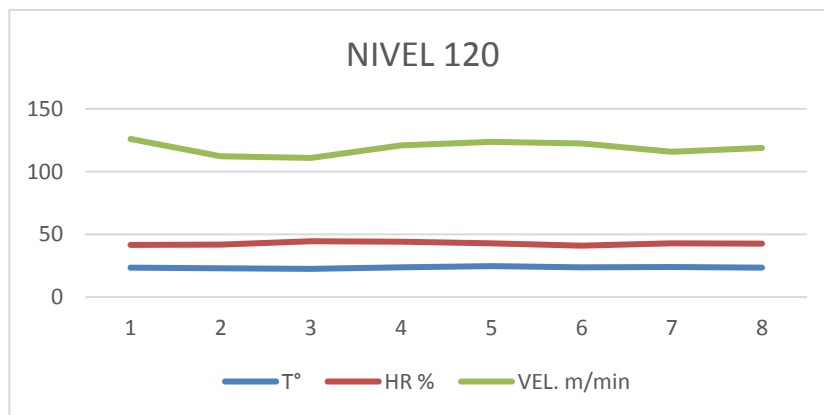
PROMEDIO DATOS 3080	T°	HR %	VEL. m/min
<b>1</b>	18.5	41.8	38.1
<b>2</b>	19.2	42	40.3
<b>3</b>	18.3	45.4	39.6
<b>4</b>	19	43.1	35.9
<b>5</b>	19.8	46.2	36.5
<b>6</b>	16.6	41.3	38.4
<b>7</b>	19.5	42.6	37.4
<b>PROMEDIO</b>	<b>18.70</b>	<b>43.20</b>	<b>38.03</b>



ANEXO 16

*Condiciones de aire en el nivel 3120*

PROMEDIO DATOS 3120	T°	HR %	VEL. m/min
<b>1</b>	23.6	41.6	126
<b>2</b>	22.9	41.9	112.3
<b>3</b>	22.5	44.5	110.9
<b>4</b>	23.8	44.1	120.8
<b>5</b>	24.7	42.9	123.7
<b>6</b>	23.8	41	122.5
<b>7</b>	23.9	42.9	115.9
<b>PROMEDIO</b>	<b>23.60</b>	<b>42.70</b>	<b>118.87</b>





## ANEXO 17

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

#### *Requerimientos de aire por personal.*

<b>CARGO</b>	<b>CANTIDAD (N)</b>
Supervisor	
Capataz de perforación	
Perforista	
Ayudante perforista	
Operador	
Obreros (U35)	
Mecánico	

Fuente: Elaboración Propia.

## ANEXO 18

*Instrumentos para la recolección de datos.*

*Resumen de aire total requerido por el proyecto minero Papelillo.*

Fuente: Elaboración propia.

<b>ITEM DE OPERACIÓN</b>	<b>FLUJO DE AIRE REQUERIDO (m<sup>3</sup>/min)</b>	<b>FACTOR DE CONVERSIÓN</b>	<b>FLUJO DE AIRE (CFM)</b>
Número de personas (Q <sub>Tr</sub> )			
Número de equipos a diésel (Q <sub>Eq</sub> )			
Disolución de contaminantes de voladura (Q <sub>Ex</sub> )			
Por fugas (Q <sub>Fu</sub> )			
<b>T O T A L</b>			

## ANEXO 19

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

*Resumen de aire según aforo, requerido en el proyecto minero Papelillo.*

<b>PROFUNDIDAD</b> (m)	<b>VELOCIDAD DEL</b> <b>AIRE (m/min)</b>	<b>FLUJO DE</b> <b>AIRE (m<sup>3</sup>/min)</b>	<b>FLUJO DEL</b> <b>AIRE EN CFM</b>
<b>BM 3000 + 0</b>			
<b>BM 3080 + 1</b>			
<b>BM 3120 + 2</b>			

Fuente: Elaboración Propia.

## ANEXO 20

*Instrumentos para la recolección de datos.*

*Resumen del dimensionamiento de velocidades*

---

**VELOCIDAD DEL AIRE EN LA GALERÍA**

---

**VELOCIDAD DEL AIRE EN LA MANGA**

---

**DIÁMETRO DE LA MANGA**

---

**CFM REQUERIDOS**

---

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 21

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

#### *Resumen del dimensionamiento de variación de caudal*

<b>PUNTOS DE AFORO</b>	<b>FLUJO DE AIRE CAMPO (CFM)</b>	<b>FLUJO DE AIRE VENTSIM (CFM)</b>	<b>DIFERENCIA</b>

Fuente: Elaboración propia.