



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“IMPLEMENTACIÓN DE COMPUERTAS CON MODELO MATEMÁTICO PARA REDUCIR HUMO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN MINA MECANIZADA, NICARAGUA, 2018”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de minas

Autores:

Bch. Juan Diego Armando Ruiz Crespín

Bch. Ronal Orlando López Herrera

Asesor:

Dr. Ing. Glicerio Taype Quintanilla

Trujillo - Perú

2020

## **DEDICATORIA**

A nuestros padres por su apoyo incondicional durante nuestra estancia como estudiantes.

A nuestros amigos y compañeros que nos apoyaron siempre.

## **AGRADECIMIENTO**

Al Ing. MBA. Roberto Martin Zamora Nevado por sus consejos.

Al Ing. MBA. Jorge Omar Gonzales Torres por su motivación.

Al Dr. Ing. Glicerio Taype Quintanilla por su experiencia y ayuda a la culminación de esta tesis.

Al Mg. Ing. Grant Ilich Llaque Fernández por su ayuda desinteresada y apoyo en la realización de esta tesis.

Agradecimiento especial a la Universidad Privada Del Norte, adorada casa de estudios donde se forjó nuestro temple y vocación por la minería.

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>37</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>59</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>71</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>84</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	29
Tabla 2.....	33
Tabla 3.....	33
Tabla 4.....	34
Tabla 5.....	35
Tabla 6.....	59
Tabla 7.....	59
Tabla 8.....	62
Tabla 9.....	63
Tabla 10.....	65
Tabla 11.....	70
Tabla 12.....	98

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Reglamento sobre valores del límite permisibles para agentes químicos en el ambiente de trabajo Nro.015-2005-SA. ....	15
<i>Figura 2.</i> Cantidad de aire por altura, adaptado de Ministerio de Energía y Minas en el Decreto Supremo Nro. 023-2017-EM. ....	16
<i>Figura 3.</i> Vista general del procedimiento (Elaboración propia).....	38
<i>Figura 4.</i> Representación de contracción gradual de la chimenea y la compuerta.....	43
<i>Figura 5.</i> Representación de la diferencia de presiones.....	45
<i>Figura 6.</i> Descomposición de fuerzas en la compuerta.....	46
<i>Figura 7.</i> Fuerzas descompuestas en la compuerta.....	47
<i>Figura 8.</i> Condición $P1 > P2$ . ....	49
<i>Figura 9.</i> Representación del Comportamiento del aire.....	50
<i>Figura 10.</i> Resistencia del Viento. ....	53
<i>Figura 11.</i> Uso del teorema de Bernoulli en la entra de la compuerta.....	54
<i>Figura 12.</i> Prisma triangular. ....	55
<i>Figura 13.</i> Ecuación de continuidad en función de la apertura de la compuerta .....	56
<i>Figura 14.</i> Recirculación de humo escala 1/400.....	61
<i>Figura 15.</i> Crucero que conecta la galería con la chimenea.....	62
<i>Figura 16.</i> Medidas de la sección del crucero. ....	63
<i>Figura 17.</i> Diseño final de las compuertas. ....	65
<i>Figura 18.</i> Compuerta instalada Crucero 362E.....	66
<i>Figura 19.</i> Compuerta instalada Crucero 352E.....	66
<i>Figura 20.</i> Vista perfil de la compuerta instalada.....	67
<i>Figura 21.</i> Vista frontal de la compuerta instalada. ....	67
<i>Figura 22.</i> CO <sub>2</sub> - Antes y Después GL334.....	68
<i>Figura 23.</i> CO - Antes y Después GL334.....	68
<i>Figura 24.</i> SO <sub>2</sub> - Antes y Después GL334.....	69
<i>Figura 25.</i> NO <sub>2</sub> - Antes y Después GL334.....	69

## ÍNDICE DE ECUACIONES

(Ecuación 1).....	25
(Ecuación 2).....	26
(Ecuación 3).....	26
(Ecuación 4).....	26
(Ecuación 5).....	27
(Ecuación 6).....	27
(Ecuación 7).....	28
(Ecuación 8).....	28
(Ecuación 9).....	28
(Ecuación 10).....	28
(Ecuación 11).....	29
(Ecuación 12).....	30
(Ecuación 13).....	30
(Ecuación 14).....	30
(Ecuación 15).....	31
(Ecuación 16).....	31
(Ecuación 17).....	31
(Ecuación 18).....	32
(Ecuación 19).....	32
(Ecuación 20).....	64
(Ecuación 21).....	64

## RESUMEN

La presente tesis se realiza con el fin de implementar compuertas en el sistema de ventilación de una mina mecanizada ubicada en la ciudad de la Libertad – Nicaragua, para reducir el humo producido por la actividad minera mediante un modelo matemático, esta investigación es de tipo pre experimental debido a la naturaleza de la misma. Se inicia a diagnosticar el sistema de ventilación actual, tomando la concentración de gases principales tales como CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>, así como la maquinaria presente y el comportamiento del flujo de humo. Luego se inicia con el estudio para obtener el modelo matemático y con esto las dimensiones, ángulo (apertura) y posición adecuada de las compuertas, una vez diseñadas se procede a construir las compuertas en el nivel 362 y 352 tomando como costo de implementación de (130.4 USD/ compuerta). Se obtienen la concentración de humo luego de la implementación, teniendo como resultado una disminución significativa de gases, (CO<sub>2</sub> = 39%), (CO = 37%), (SO<sub>2</sub> = 99%), (NO<sub>2</sub> = 71%) llegando a la conclusión de que la implementación de las compuertas reduce el humo del sistema de ventilación de la mina mecanizada, Nicaragua, 2018.

**Palabras clave:** Compuertas, Sistema de Ventilación, Humo

## ABSTRACT

This thesis is carried out in order to implement gates in the ventilation system of a mechanized mine located in the city of La Libertad - Nicaragua, to reduce the smoke produced by mining activity through a mathematical model, this research is of the type pre experimental due to the nature of it. It begins to diagnose the current ventilation system, taking the concentration of main gases such as CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub>, as well as the present machinery and the behavior of the smoke flow. Then it begins with the study to obtain the mathematical model and with this the dimensions, angle (opening) and proper position of the gates, once designed, we proceed to build the gates at level 362 and 352 taking as implementation cost of (130.4 USD / gate). The smoke concentration is obtained after implementation, resulting in a significant decrease in gases, (CO<sub>2</sub> = 39%), (CO = 37%), (SO<sub>2</sub> = 99%), (NO<sub>2</sub> = 71%) reaching the conclusion that the implementation of the gates reduces the smoke from the ventilation system of the mechanized mine, Nicaragua, 2018.

**Keywords: Gates, Ventilation System, Smoke**

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

En todo proyecto minero de explotación subterránea, el diseño del sistema de ventilación es tan importante como el proceso de producción (Explotación del mineral) debido a que garantiza un ambiente apropiado para las actividades mineras y una buena rentabilidad de dinero, respectivamente, del mismo modo asegura un correcto contenido de oxígeno (20.95%) en la atmósfera subterránea para el normal desarrollo de todas las actividades de forma segura, cómoda y eficiente. De este modo se estaría cumpliendo los límites máximos permisibles de acuerdo a estándares internacionales en el País donde se desarrolla la minería, brindando condiciones seguras a sus trabajadores, así lo estipula la (ONU, 1948), en su artículo 23 de la declaración universal de los derechos humanos.

En el ámbito mundial, Turquía presenta un mercado fluctuante para la industria minera, además de no priorizar las exigencias medioambientales y técnicas en explotación de recursos, muchas minas no cumplen los alineamientos para la correcta realización del rubro, en lo que respecta a la ventilación, una mina de carbón ubicada en Soma, Turquía , tuvo cabida a uno de los desastres mineros más grandes de la historia, donde 151 mineros fallecieron producto de una explosión originada por un incendio debido a la pobre ventilación y la acumulación paulatinamente de gases (BBC, 2014)

En Latinoamérica donde las actividades mineras tienen mayor acogida y un desarrollo relativamente mayor con respecto a otras partes del mundo también presenta casos trágicos en el ámbito de la mala ventilación subterránea de las minas, tal es el caso de

un accidente fatal ocurrido en la mina “LA PORACOTA” ubicada en Arequipa, donde un motorista falleció producto de un gaseamiento cuando estaba realizando su labor, todo esto debido a un sistema de ventilación que permitía la acumulación de gases en algunas labores. (Osinergmin, 2018)

Centro América lugar donde la minería está empezando su apogeo, la industria minera trata de mantenerse al margen con respecto a la forma de trabajar, estándares y métodos de explotación de otros países, llevando a cabo la finalización y ejecución de muchos proyectos mineros, tales como la mina El limón, El teniente, Veta Nueva, entre otras, el tema a tratar y el motivo de esta investigación nace en una mina ubicada en la Libertad Nicaragua, lugar donde se explota un cuerpo mineralizado tipo pórfido oxido, cuyo metal principal de extracción es oro. Dicha explotación se realiza mediante el método de taladros largos, con una producción promedio de 400 toneladas día en secciones de 4 x 4 metros con un avance de 3 metros por disparo y un promedio de 32 personas en interior mina. Esto implica la utilización de maquinaria de gran capacidad de tonelaje (LHD, Camiones AD30, Jumbo de dos brazos, Mixer, Retro excavadora, Lanzadora, Equipo de levante) de combustión interna que liberan en el proceso de rezaga aproximadamente el 99% de todo el contenido de CO, llegando, en el peor de los casos, a una concentración crítica de 25 ppm de monóxido de carbono, el problema radica en el sistema de ventilación y la forma en que se eliminan el humo producido por la actividad minera, teniendo una recirculación de humo, elevando así la concentración de gases en las labores.

El sistema de ventilación actual es del tipo paralelo impelente que suministra aire limpio desde la “Bocamina”, la distribuye por las labores que la necesiten y evacua el humo por una chimenea.

El aire fresco entra por la “Bocamina” en el Nivel 390, fluye por las rampas 390\_Rpa(-) y 376\_Rpa 577(-), Llega hasta el nivel 376 y baja por la rampa 362\_Rpa(-) hasta el Nivel 362, después baja hasta el Nivel 352 por la rampa 348\_Rpa(-), al final de la rampa 348\_Rpa(-) se encuentran dos ventiladores de 100 Hp cada uno, el primero impulsa aire limpio hasta el Nivel 334 por la rampa 334\_Rpa(-), el otro impulsa aire limpio a las labores de avance del nivel 352 Enfatizando lo mencionado anteriormente, el aire limpio siempre entra por la Bocamina, y se utiliza ventiladores axiales para dispersar el aire limpio a las labores que la necesitan. El aire limpio captado de la “Bocamina” es conducido por mangas de ventilación de 12 pulgadas desde los ventiladores hasta los frentes de las labores que se estén ejecutando, el aire viciado cargado de CO, CO<sub>2</sub> y gases nitrosos, son producidos por la voladura de rocas y la combustión interna de la maquinaria, estas maquinarias representan el total de 80% gases contaminantes como el CO y CO<sub>2</sub> producido en la mina, 15 % le perteneces a la actividad de voladura de rocas y 5% por las actividades propias del personal. Por otro lado, para que el humo tenga que salir a la superficie es necesario que llegue hasta el último nivel donde será canalizado hasta la chimenea por un crucero, en cada nivel, hay un crucero que conecta con la chimenea, sin embargo, este se encuentra bloqueado en su totalidad, a excepción del ultimo nivel que se encuentra descubierto. Los cruceros solamente cuentan con una especie de compuerta pequeña que se mantiene cerrada la mayor parte del tiempo, abriéndose solamente cuando se encuentra con saturación de humo en las labores Ver ANEXO 9.

Teniendo en claro estos puntos se afirma que el sistema de ventilación en la mina mecanizada ubicada en La Libertad - Nicaragua es recirculante, por el hecho de que el humo producido en un nivel superior tiene que bajar hasta el nivel inferior donde se

encuentra el crucero de canalización de humos afectando a las labores que se encuentran en su camino. Esta anomalía es observada con mayor claridad durante de la rezaga de mineral que dura aproximadamente dos horas y media Ver ANEXO 11, llegando a concentraciones de CO de 25 ppm en los frentes de avance Ver tabla

Cada nivel de la mina mecanizada está conectada a la chimenea de extracción mediante cruceros de 3m aproximadamente, dichos cruceros están bloqueados, excepto el del ultimo nivel el cual está destinado a canalizar el aire viciado de la mina, en total hay 7 cruceros que conectan a las galerías con la chimenea de extracción. Cada crucero se encuentra bloqueado para impedir la salida del humo, obligando a conducir el flujo hasta el último nivel y evacuarlo a la superficie.

Durante las operaciones hasta el día 10/03/2018, se empleando 3 ventiladores axiales, uno de 60 Hp ubicado en el nivel 334 y los otros dos de 100 Hp ubicados en los niveles 352 y 362 respectivamente. También se empleaba un extractor axial de 100 Hp localizado en la superficie para ayudar a evacuar los humos a la superficie.

### **Bases teóricas.**

Las bases teóricas relacionadas a la ventilación minera, son originarias del Perú, debido a falta de bases teóricas relacionadas a la ingeniería de minas con especialización en ventilación de minas del país de Nicaragua, la ingeniería de minas está presente en el Perú desde 1876, por primera vez aplicada en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), aquí recae la diferencia con Nicaragua, donde no se tiene la especialidad de Ingeniería de minas en ninguna de sus universidades actualmente.

Modelo matemático.

Un modelo matemático es una representación gráfica, esquemática o analítica de una realidad, que sirve para organizar y comunicar de forma clara los elementos que la conforman y sus relaciones, los modelos constituyen la base para estudiar y entender problemas propios de muchas áreas, Ingeniería, medicina, química, física, etc.

En muchas ocasiones es de gran interés no solo representar la situación sino el conocimiento de lo que ocurrirá en las minas, cuando las variables involucradas evolucionen aquellas representaciones en las que se explica las relaciones entre variables mediante fórmulas, ecuaciones y uso de números en general, se denomina modelos matemáticos. (Bocco, 2010, p9)

Ventilación.

La ventilación en toda labor minera deberá ser con aire limpio de acuerdo a las necesidades del personal, la maquinaria que se encuentra en operación y la profundidad donde se realiza el trabajo, todo esto con el fin de evacuar los humos, partículas en suspensión y regular la temperatura. Todo esto para brindar al trabajador condiciones seguras y cómodas, respetando los límites máximos permisibles o estándar que establece el Reglamento de seguridad y salud ocupacional.

Límites máximos permisibles	
Polvos inhalable:	10mg/m <sup>3</sup>
Polvo respirable	3mg/m <sup>3</sup>
Oxígeno (O <sub>2</sub> ):	mínimo 19,5% y máx. 22,5%
Dióxido de carbono:	máximo 9000 mg/m <sup>3</sup> . ó 5000 ppm. 30000 por un lapso no superior de 15 min.
Monóxido de carbono:	máximo 29 mg/m <sup>3</sup> . ó 25 ppm
Metano (NH <sub>4</sub> ):	máximo 5000 ppm
Hidrogeno sulfurado:	máximo 14 mg/m <sup>3</sup> . ó 10 ppm
Gases nitrosos (NO <sub>2</sub> ):	máximo 5,6 mg/m <sup>3</sup> . ó de 3ppm a 5ppm
Gases nitrosos (NO):	25 ppm
Anhídrido sulfuroso:	2 ppm mínimo a 5 ppm máximo
Aldehídos:	máximo 5 ppm
Hidrogeno (H):	máximo 5000 ppm
Ozono:	máximo 0,1 ppm

Figura 1. Reglamento sobre valores del límite permisibles para agentes químicos en el ambiente de trabajo Nro.015-2005-SA.

Teniendo en consideración lo estipulado en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional aprobado por el Ministerio de Energía y Minas en el Decreto Supremo Nro. 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 suficiente de acuerdo con el número de personas, con el total de HPs de los equipos con motores de combustión interna así como para la dilución de los gases que permitan contar en el ambiente de trabajo con un mínimo de 19.5 % y un máximo de 22.5 % de oxígeno, cuando las minas se encuentren hasta 1500 metros sobre el nivel del mar, en los lugares de trabajo, la cantidad mínima de aire necesaria por hombre será de 3 metros cúbicos por minuto, en otras altitudes las cantidades de aire será de acuerdo con la siguiente escala: (Baltazar, 2016, p30)

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 diesel, la cantidad de aire circulante no será menor de tres (3) m <sup>3</sup> /min por cada HP que desarrollen los equipos.

*Figura 2.* Cantidad de aire por altura, adaptado de Ministerio de Energía y Minas en el Decreto Supremo Nro. 023-2017-EM.

En caso de emplearse equipo diésel, la cantidad de aire circulante no será menor de tres 3 metros cúbicos por minuto por cada HP que desarrollen los equipos, en ningún caso la velocidad del aire será menor de 20 metros por minuto ni superior a 250 metros por minuto en las labores de explotación incluido el desarrollo, preparación y en todo lugar donde haya personal trabajando, Cuando se emplee ANFO u otros agentes de voladura, la velocidad del aire no será menor de 25 metros por minuto. Cuando la ventilación natural no sea capaz de cumplir con lo antes señalado, deberá emplearse ventilación mecánica, instalando ventiladores principales, secundarios o auxiliares según las necesidades (D.S. Nro. 023- 2017-EM., 2017).

#### Ventilación subterránea.

La ventilación en una mina subterránea es el proceso mediante el cual se hace circular por el interior de la misma el aire necesario para asegurar una atmósfera respirable y segura para el desarrollo de los trabajos, la ventilación se realiza estableciendo un circuito para la circulación del aire a través de todas las labores. Para ello es indispensable que la mina tenga dos labores de acceso independientes: dos pozos, dos socavones, un pozo y un socavón, en las labores que sólo tienen un acceso (por

ejemplo, una galería en avance) es necesario ventilar con ayuda de una tubería, la tubería se coloca entre la entrada a la labor y el final de la labor, esta ventilación se conoce como secundaria, en oposición a la que recorre toda la mina que se conoce como principal, los ventiladores son los responsables del movimiento del aire, tanto en la ventilación principal como en la secundaria. Generalmente los ventiladores principales se colocan en el exterior de la mina, en la superficie. (De la Cuadra, 1974)

Principios de la ventilación es por:

Dos puntos de diferente presión ( $P_2 > P_1$  a  $T_2 < T_1$ ).

Diferencia de temperaturas ( $T_2 > T_1$  a  $T_2 < T_1$ )

Sistema de ventilación.

Ventilación impelente. El aire entra al frente del fondo de saco a través de la tubería, impulsado por ventiladores, y desplaza el aire viciado hacia la corriente principal de aire limpio, a través de la galería. Este es el sistema predominante usado en la mayoría de las minas (Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. 1989.)

Ventilación aspirante. En este método, el aire contaminado del frente es succionado a través del conducto debido a la depresión creada por ventiladores situados en ambos puntos de extremo. Este aire es evacuado en la corriente de ventilación principal, procedente de la cual entra aire limpio a través de la galería o conducto La boca de aspiración de la tubería debe situarse muy próxima al frente, pero, aun así, debido a la distribución de las curvas de velocidades de aire en las zonas próximas a la aspiración, este sistema no efectúa en general un buen barrido del frente, por lo que suele ser necesario el uso de la configuración denominada mixta. (Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. 1989.)

### **Antecedentes**

La investigación realizada en Ecuador por F. Reinoso y T. Herrera (2017) tuvo la finalidad de diseñar el circuito de ventilación de la mina SOMINUR, los medios que se usaron para realizar esta investigación fueron: consulta de información, trabajos de campo y pruebas de laboratorio, del que se tuvo como resultado el diagnóstico de la ventilación en la mayor parte de la mina, concluyendo así, que se realiza de forma natural, así como de solo presentar 4 subniveles en explotación, llegando a una profundidad de 300 metros, de igual manera se concluyó que la expulsión del aire viciado se hace a través de una chimenea principal y 7 chimeneas secundarias, obteniendo así un diseño adecuado a las exigencias del proveedor.

El trabajo de investigación realizado en Ecuador por C. Carabajo (2015) tuvo por objetivo diseñar el circuito de ventilación para la zona Norte de la Mina Cabo de Hornos de la Empresa Minera ELIPE S.A. Recopilando fundamentos teóricos e información histórica relacionada con indicadores de ventilación de la Mina Subterránea, teniendo como resultado el balance de masa de aire fresco con un déficit del 75% del caudal de ingreso necesario, concluyendo así, prolongar la North Shaft Alimak desde la cota 367 hasta la cota 492, teniendo un costo de inversión a corto plazo de 146 569,60 USD y 717 704,93 USD en inversión de equipos e infraestructura.

La investigación realizada en Chile por Gutiérrez (2010) tuvo la finalidad de controlar la recirculación presente en un sistema de ventilación, esta investigación se realizó usando parte del aire viciado, manteniendo los niveles de las concentraciones de los distintos contaminantes en la inyección a los frentes de trabajo, obteniendo como resultados la identificación de la única máquina que produce humo, el LHD de 7yd3 para la limpieza de mineral, así como también la identificación de las secciones de

4\*4, 4\*5, 4\*6, Concluyendo con un plan para controlar la recirculación y obtener un ahorro energético de los ventiladores.

EL trabajo de investigación realizado en Canadá por Takla, Král & Taufer (2012) se hizo con la finalidad de presentar posibles soluciones técnicas para el rediseño de la ventilación principal de los depósitos subterráneos que estaban experimentando una disminución en su producción, este trabajo se realizó mediante el análisis de los ventiladores en periodos de cambio de producción, teniendo como resultado el diagnóstico y reconocimiento del sistema de ventilación con un total 4 chimeneas secundarias de 25 metros cada una, con crucero de 5\*5 y 12 ventiladores desde 10hp a 250 hp que cumplen el rol de suministrar aire limpio a las labores, concluyendo así que el rediseño es factible para su realización.

El trabajo de investigación realizado en Canadá por De Souza & Archibald (2012), se hizo con la finalidad de reducir la resistencia al flujo de aire que presentan las labores. Este trabajo se realizó usando un revestimiento especial seguido de una evaluación económica a la aplicación de la misma, realizando pruebas y teniendo como resultado una disminución de 7% en la resistencia del flujo de aire en las labores, concluyendo así que el revestimiento delgado es efectivo en reducir la resistencia al flujo de aire para un solo nivel de explotación.

El trabajo de investigación realizado en Canadá por Calizaya, Karmawan & Wallace (2012) se hizo con la finalidad de brindar calefacción para controlar la niebla atmosférica en la mina de Papú, se realizó mediante la instalación de 2 ventiladores de calentador de 225 kW equipados con 60 calentadores separados entre sí 600 metros teniendo como resultado una disminución en el factor de humedad de 93.75%, Trabajo realizado con una duración de 5 días (40 horas labores, 8 horas por turno) paralizando

cualquier tipo de actividad de producción hasta la finalización del proyecto. concluyendo así que la implementación de los ventiladores de calefacción es eficiente en controlar la neblina atmosférica de la mina PAPÚ.

La investigación realizada en Perú por Espinoza (2014), tuvo como finalidad de modificar el sistema de ventilación de la unidad minera cobriza, este estudio se realizó con el diagnóstico del sistema de ventilación, teniendo como resultado el reconocimiento de una pérdida de presión por el uso de mangas de diámetro de 36" y ductos metálicos para deducir desde 48" a 36" en una distancia de 1.5 m, paso seguido se diseñó el sistema nuevo utilizando el Software VnetPC-2003. Teniendo como resultado la instalación de ventiladores de 300 000 cfm en el Nv 51, Nv 0 ventilador de 200 000 cfm implementación de ducto reducción de 48" a 40" de lona en una distancia de 8m. Concluyendo así que la modificación e implementación del sistema de ventilación de la unidad minera es efectiva en mejorar la ventilación.

El trabajo de tesis pre grado realizado en Perú por Sutti (2016) tuvo la finalidad de Determinar la influencia de la ventilación mecánica en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno con metodología de estudio el cual pertenece al tipo básico experimental, con un nivel de investigación que es totalmente descriptiva teniendo como resultado la instalación de dos ventiladores 25 000 cfm y 15 000 a 3.5 m de la base de la sección de 4\*4 para que no obstruya con la maquinaria que recorre las labores, concluyendo así que la ventilación mecánica si influye notablemente en las operaciones del nivel 4995 mina URANO SAC.

El trabajo de tesis pre grado realizado en Perú por Janampa (2018) tuvo la finalidad de mejorar el sistema de ventilación en la mina Colquijirca, evaluando el estado actual del sistema de ventilación y estableciendo un sistema por computador que refleje las

condiciones de mina, teniendo como resultados la implementación de 6 617.54 m<sup>3</sup>/min

faltantes y aprobación del sistema por computador que se propone, concluyendo así que la utilización de sistema por computador es eficiente en mejorar el sistema de ventilación de la mina Colquijirca. Teniendo como resultado una disminución de CO de 25 20.8 ppm, CO<sub>2</sub> de 0.10 a 0.04 % y de NO<sub>2</sub> de 0.11 a 0.1 ppm

El trabajo de tesis pre grado realizado en Perú por Vergaray (2012) se hizo con la finalidad de determinar el diseño y método de ventilación más adecuado, para optimizar el sistema de ventilación de la mina Charito, mediante la comparación de la instalación de dos ventiladores de 10 000 cfm, uno aspirante y otro impelente, teniendo como resultados una necesidad de 8 534 cfm, caudal necesario para la etapa de desarrollo y 2 966 cfm de caudal para el personal, concluyendo así que se debe usar los ventiladores en serie con un costo de implementación de 18500 USD y costo energético anual de 34435 USD

El trabajo de investigación realizado en Perú por Raico (2018) tuvo como objetivo evaluar el sistema de ventilación del túnel de exploración Chaquicocha y realizar una optimización, mediante el análisis y recopilación de información relevante, teniendo como resultado la implementación de un sistema impelente con tres ventiladores dando una cobertura de 129% de caudal de aire concluyendo que la optimización es factible en el sistema de ventilación del túnel Chaquicocha. En esta investigación se hizo uso del software VentSim V4.8, AutoCAD 2018 y Microsoft Office 2010, con respecto al primero hubo variación de 2.0% a 5.2% del caudal medido en campo, con el segundo y tercero no hubo ningún aspecto a tener en cuenta, y recomienda usar software de tipo CAD para dibujar las secciones y labores debido a su rapidez y versatilidad.

El trabajo de investigación realizado en Perú por García (2016) tuvo como finalidad determinar, evaluar la ventilación natural de las galerías subterráneas que se explotan en la concesión Mi Grimaldina I, usando muestreo repetitivo y registro de datos en las labores, teniendo como resultado un promedio de partículas en suspensión de 9.61 ug/m<sup>3</sup>, dióxido de azufre 3.36 ug/m<sup>3</sup>, monóxido de carbono de 1024.66 ug/m<sup>3</sup> y dióxido de nitrógeno de 54.41 ug/m<sup>3</sup>, concluyendo así que la optimización del sistema de ventilación de acuerdo a la topografía, a los monitoreo y al caudal será el de abrir más cámaras a la superficie ya que la explotación se considera en avance.

El trabajo de investigación realizado en Perú por Agüero & Alvarez (2012) se hizo con la finalidad de determinar y evaluar la ventilación natural de la galería principal de extracción y la evaluación mecánica de la galería 635w del nivel 1950, mediante la determinación de las características de los fenómenos observados en la realidad con detalles, así como el estudio de los métodos inductivo y deductivo para sistematizar el marco teórico del presente estudio, teniendo como resultados el caudal promedio de 165.42 m<sup>3</sup>/min, velocidad promedio de 50.28 m/min y costo de implementación de 10.88 \$/TN, concluyendo así que la ventilación natural en la galería de extracción de acuerdo a los datos obtenidos, se observa que está dentro del reglamento de seguridad y salud ocupacional, por tanto mejora a la ventilación forzada.

El trabajo de tesis pre grado realizado en Perú por Sánchez (2017) tuvo la finalidad de mejorar la ventilación de la zona de profundización de rampa 1 nivel 4230, así como reducir el tiempo de los ciclos de minado, la cantidad de ventiladores y los costos de ventilación, mediante el análisis del sistema de ventilación actual y evaluación económica, teniendo como resultados una cobertura de 121%, además de reducir en 10 el número de ventiladores, ahorrando 30,307.07 \$/mes, con un costo total de US \$

901,468.17 y tiempo de ejecución de 6 meses. Y mostrando una reducción del 20 % de CO y 30 % el CO<sub>2</sub>

La investigación realizada en Perú por Caxi (2017) tuvo como finalidad buscar alternativas de mejora para el sistema de ventilación de la minera SOTRAMI. S.A. mediante la aplicación de mediciones teniendo como resultados la selección de ventilador de 15 000 cfm, 11 pulg de H<sub>2</sub>O y 25 HP para el Crucero 2170 concluyendo así que la cobertura de aire en la veta Santa filomena es de 115 % con un superávit de 126.49 m<sup>3</sup> /min. e implementación de una compuerta de 20 m de largo por 4 de alto para delimitar el flujo de aire. En la veta Santa Rosa la cobertura de aire es de 333% con un superávit de 569.70 m<sup>3</sup> /min

El trabajo de investigación realizado en Perú por Portilla & Velarde (2018) se hizo con la finalidad de proponer la optimización del sistema de ventilación principal de una minera polimetálica ubicada a 4500 msnm, la cual no cuenta con un modelo computacional actualizado, La metodología a desarrollar incluye la recolección de data específica (mediciones en campo de las condiciones termo ambiental del flujo de aire en mina), diagnóstico de condiciones actuales y propuestas de optimización. Estas optimizaciones logran reducir el costo operativo en más del 60%, dando un margen de ahorro de más de US\$ 200 000 anuales y reduciendo la cantidad de agentes químicos en el aire en un 30%. Concluyendo así que la técnica de mejora es eficiente.

El trabajo de tesis realizado en Cuba por Grecesqui (2016) tuvo la finalidad de perfeccionar el Sistema de Ventilación del Tramo VI del Túnel Hidrotécnico Levisa-Mayarí se diagnosticó el estado actual del tema en Cuba y en el mundo, en este se exponen conceptos sobre la ventilación y su significado. Se exponen las características físico-geográficas y geológicas del área investigada en la cual se plantean todas las

condiciones geológicas de la zona en que se encuentra el túnel y el municipio Mayarí concluyendo que tanto la optimización del sistema de ventilación como la construcción del pozo de ventilación tienen un costo de 144 232, 95 \$ y que es posible el perfeccionamiento del sistema de ventilación en el tramo VI del Túnel Hidrotécnico Levisa – Mayarí.

El trabajo de investigación realizado en Colombia por Carrascal & Manzur (2014) se hizo con la finalidad de evaluar y proponer una mejora al sistema de ventilación de la mina El Maracaibo, En esta investigación se considera lo fundamental de las propiedades físicas del aire y aerodinámica minera, dentro de ello tenemos propiedades físicas del aire y parámetros básicos del aire, hace bastante énfasis en el control del gas metano en sistema de ventilación CH<sub>4</sub>, teniendo como resultado una propuesta basada en tableros de control de gases, y puertas de ventilación, concluyendo en una mejora al proceso de eliminación de gases.

EL trabajo de tesis pre grado realizado en Colombia por Castillo (2017) tuvo la finalidad de realizar una contextualización del proyecto minero El Roble en Carmen de Atrato – Chocó de la empresa Atico Mining CO, que incluye una geo-referenciación, tipo de explotación y características especiales de la misma, hasta llegar a la revisión del sistema de ventilación, realizando las mediciones y cálculos de caudales actuales. Concluye con necesidades que permitan mejorar las condiciones de trabajo que se ve afectada por constantes paradas de un sistema ineficiente de ventilación.

El trabajo de investigación realizado en Colombia por Gonzales, Kerguelen & Jiménez (2013) tuvo como finalidad vincular y desarrollar técnicas de programación hacia la determinación de parámetros claves en el diseño de un sistema de ventilación en una

explotación minera subterránea, haciendo uso de programación, teniendo como resultado en algoritmo de programación concluyendo así que para construir un sistema de ventilación óptimo cumpliendo con los todos los requerimientos es necesario usar todas las herramientas posibles, es este caso la programación hizo posible una buena planificación del sistema de ventilación.

### **Marco conceptual**

Mecánica de fluidos.

Caída de presión. La pérdida de presión está formada por dos componentes: pérdidas por fricción y pérdidas por choque. Y viene dado por:

$$H = H_f + H_x \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$H$ : Pérdida de carga o pérdida de presión.

$H_f$ : Pérdida por fricción

$H_x$ : Pérdida por choque.

La pérdida por fricción representa las pérdidas de presión en el flujo lineal, a lo largo del ducto y es producido por el rozamiento del aire contra las paredes del ducto; en cambio las pérdidas por choque son de origen local producidas por diferentes accidentes como lo son: cambiar el área, bifurcaciones o uniones, obstrucciones, cambios de dirección entre otros. (Yones, 2012, p.56)

Caudal másico de combustión. El caudal másico permite medir la variación de la masa respecto al tiempo en un área específica. Esta a su vez permitirá estimar la velocidad media de los humos producidos dentro de la galería. (Cotecno, 2015)

$$\dot{m} = 1.2 \times (PF + e \times PC) \times \frac{Pot}{n \times PCI} \text{ Kg/s}$$

Donde:

*Pot*: Potencia de la máquina (KW).

*PF*: Poder fumífero diésel (Nm<sup>3</sup>/kg o Nm<sup>3</sup>/Nm<sup>3</sup>).

*PC*: Poder carbonífero diésel (Nm<sup>3</sup>/kg o Nm<sup>3</sup>/Nm<sup>3</sup>).

*PCI*: Poder calorífero diésel (kJ/kg o kJ/Nm<sup>3</sup>)

*n*: Rendimiento (90 %)

*e*: Exceso de aire (0.05).

*Corriente de arrastre*. Flujo de aire que fluye constantemente

$$D = k \times V^2 \times A \times Cd \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

*A*: Área de la compuerta (m)

*V*: Velocidad del viento (m/s).

*k*: Coeficiente de arrastre =  $0.080 \frac{\text{Kg}}{(\text{m/s})^2 \text{m}^2}$

*Cd*: Pérdida de carga sobre la compuerta para nuestro caso se tomará valor adimensional de 2

(Ramírez, 2017, p.26)

Densidad promedio de los humos. Viene dado por la siguiente expresión:

$$\rho_{humo} = 101325 \times \frac{(1 - 0.00012 \times H)}{RT_{Hm}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

*H*: Altura sobre el nivel del mar (m)

*R*: Constante de elasticidad de los humos = 290 (J/KgK°) diésel.

*T<sub>Hm</sub>*: Temperatura media de los humos (K°)

(Cotecno, 2015, p.3)

Gases por combustión interna. Las máquinas de combustión interna, pueden liberar grandes cantidades de contaminantes, hasta  $0.28 \text{ m}^3/\text{min}$  por caballo de potencia; estos gases son CO, NO<sub>2</sub> aldehydos, humos, metano y SO<sub>2</sub>. Cabe mencionar que las cantidades no deseables varían con el ajuste de la razón de combustión de la máquina, su condición mecánica, propiedades de combustible y condiciones atmosféricas. En la mina mecanizada se ha estimado que estas variaciones pueden oscilar entre el 10 % a 14% de las emisiones de la maquinaria. Para esta investigación se tomará el valor más alto (14%) para determinar las cantidades de humos liberados con la siguiente ecuación.

$$Q = 14\% \times \frac{0.28\text{m}^3}{\text{min}} \times \text{Potencia de Maquina} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Los gases como CO, CO<sub>2</sub> son gases asfixiantes y los gases NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> son irritantes (Ramírez, 2017, p. 27)

Pérdida de presión por choque. La pérdida de presión por choque viene dada por la siguiente ecuación:

$$H_x = \frac{\varepsilon \times V^2 \times \gamma}{2g} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

$\varepsilon$ : Coeficiente de resistencia local

$\gamma$ : Peso específico (Kg/m<sup>3</sup>)

(Yones, 2015, p. 59)

Pérdida de presión por fricción. La diferencia de la presión entre dos áreas de un ducto está dada por la ecuación de Atkinson:

$$H_f = \frac{\alpha \times L_f \times Perimetro \times V^2}{A} \quad (mm \text{ ca o } \frac{Kg}{m^2}) \quad (Ecuación 7)$$

Donde:

$L_f$ : Largo de la labor (m)

$A$ : Área de la sección ( $m^2$ )

$V$ : Velocidad del viento (m/s)

$$\alpha = \frac{f \times \gamma}{8g} \quad (Kg \times \frac{s^2}{m^4}) \quad (Ecuación 8)$$

Donde:

$f$ : Coeficiente de roce.

$\gamma$ : Peso específico del aire ( $Kg/m^3$ )

$g$ : Gravedad ( $m/s^2$ )

(Yones, 2016, p. 61)

Presión ejercida por el ventilador. Usando el Teorema de Bernoulli. Establece analíticamente que la suma de la presión estática ( $P_s$  y la presión dinámica  $P_d$  y la altura, es constante para todos los puntos de un flujo

$$P_T = P_s + P_d \quad (Ecuación 9)$$

Donde:

$P_s$ : Presión estática.

$P_d$ : Presión dinámica.

(Salvador, 2015, p.4)

Presión sobre la compuerta. Esta está dada por la siguiente formula:

$$P = \frac{F}{A} \quad (Ecuación 10)$$

Donde:

$F$ : Fuerza ejercida por la velocidad del extractor (Carga del Viento)

$A$ : Área de la compuerta  $m^2$  (Fuente propia)

(Mott & Untener, 2014, p.52)

Movimiento del flujo de aire. Reynolds establece que estos movimientos se pueden clasificar como:

Tabla 1

*Clasificación del aire según su movimiento*

Valores (Re)	Tipo de fluido
$Re \leq 2000$	Flujo laminar
$2000 \leq Re \leq 4000$	Flujo intermedio
$Re \geq 4000$	Flujo turbulento

$$Re = D \times \frac{V}{\mu} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

$D$ : Diámetro de la labor (m)

$V$ : Velocidad del viento (m/s).

$\mu$ : Viscosidad cinética ( $m^2/s$ )

(Mott & Untener, 2014, p.207)

Peso específico. El peso específico del aire en interior mina se puede calcular por la siguiente ecuación:

$$\gamma = \frac{0.465P}{273 + T} \text{ Kg/m}^3$$

Donde:

$P$ : Presión barométrica (mm de Hg).

$T$ : Temperatura ( $C^0$ ).

(Yones, 2016, p. 50)

Potencia del ventilador. La potencia de un ventilador está dada por la siguiente ecuación.

$$\text{Potencia} = \frac{Q \times Ps}{75 \times n \times ME} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

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

$Ps$ : Caída de presión estática mm ca ( $Kg/m^2$ ).

$n$ : Eficiencia del ventilador.

$ME$ : Eficiencia del motor

(Zitron, 2018, p.146)

Presión dinámica. Actúa en la dirección de la velocidad del aire dentro la chimenea.

Se establece que, si el conducto es horizontal, o la diferencia de altura es inferior a 100 m, la precisión por diferencias de altura es cero. (Salvador, 2015, p.4)

Presión. Para una atmosfera absoluta se entiende la presión  $P_0 = 1\,0333 \frac{Kg}{cm^2} =$

$760 \text{ mmHg} = 1 \text{atms}$  a  $0 C^0$  al nivel del mar. Con el cambio de la altura sobre el nivel

del mar y de la temperatura, la presión  $P$  cambia según la relación siguiente:

$$\begin{aligned} & \log P \\ & = \log P_0 - \frac{h}{18.04 - 0.667T} \end{aligned} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde:

$h$ : Altura sobre el nivel del mar.

$P$ : Presión en la altura  $h$ .

$T$ : Temperatura promedio del aire entre el nivel del mar y el punto considerado ( $C^0$ )

Con fines prácticos se usará la siguiente relación:

$$P(h) = P_0 \times e^{-\delta h}$$

(Ecuación 15)

Donde:  $\delta: 1.18 \times 10^{-4} m^{-1}$

(Yones, 2016, p. 43)

Presión estática. Actúa en todos los sentidos dentro de la chimenea. Se manifiesta en el mismo sentido y en el contrario de la corriente. (Salvador, 2015, p.4)

Temperatura. El calentamiento del aire durante su ascenso en las minas se debe a su compresión. Por lo tanto, la temperatura del aire sometido a la presión atmosférica viene dado por:

$$T = T_0 + 0.0098H$$

(Ecuación 16)

$T_0$ : Temperatura promedio en superficie.

$H$ : Profundidad.

$T$ : Temperatura ( $C^0$ ).

La presión de una labor minera viene dada por:

$$P = P_0 + \gamma \times \frac{H}{13.6} \quad \text{(Ecuación 17)}$$

Donde:

$P_0$ : Presión en la superficie.

$H$ : Profundidad.

$\gamma$ : Peso específico del aire interior mina.

(Yones, 2016, p. 44)

Teorema de Bernoulli. Establece que siempre un fluido se va a mover desde un punto de mayor presión a otro de menor presión y la diferencia será H. Esto se resume en la siguiente ecuación:

$$hs_1 + hv_1 + hz_1 = hs_2 + hv_2 + hz_2 + H \quad (\text{Ecuación 18})$$

Donde:

$H$ : Pérdida de carga o pérdida de presión.

$hs$ : Carga estática.

$hv$ : Carga cinética.

$hz$ : Altura geodésica.

(Mott & Untener, 2014, p.128)

Velocidad media de humo. Es la velocidad que adquieren los humos en un determinado espacio, se puede estimar mediante la siguiente expresión:

$$v = 7.1 + 2.03x + 0.25x^2 - 0.526 \times 10^{-3}x^3 - 3.109 \times 10^{-3}x^4 \quad (\text{Ecuación 19})$$

Donde:  $x = \ln(\dot{m})$

(Cotecno, 2015, p.7)

### Gases presentes en mina.

Anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>). Es un gas que se produce por la respiración humana, por la combustión de sustancias carbonatas y por la combustión de motores diésel. Es un gas incoloro, inodoro y sabor ligeramente ácido. Su peso específico es de 1.529.

(Decreto 1886, 2015, Pág. 49)

Tabla 2

*Efecto del CO<sub>2</sub> según su concentración en el aire*

%CO <sub>2</sub>	Síntomas y tiempo de exposición
0.3 – 0.5	Aumento de frecuencia respiratoria y dolor de cabeza 6 horas
0.5	Ventilación pulmonar aumenta produciendo jadeos 5 horas
1	Fatiga, ansiedad falla energética y debilidad en las rodillas 4 horas
2	Ventilación pulmonar aumenta 50% y dolor de cabeza 3
5 - 10	Jadeo, fatiga extrema solo por respirar y dolor de cabeza agudo. Fatal para la salud, irreversible 1 hora

Anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>). Es un gas incoloro irritante y sofocante, con fuerte olor sulfuroso, muy pesado. Su peso específico es 2.26, se disuelve fácilmente en agua.

(Decreto 1886, 2015, Pág. 49)

Tabla 3

*Efectos del SO<sub>2</sub> según su concentración en el aire*

ppm	Síntomas y tiempo de exposición
1.6	Concentración máxima permisible para 8 horas

Implementación de compuertas con modelo matemático para reducir humo del sistema de ventilación en mina mecanizada, Nicaragua, 2018

20	Irritación de ojos 30 minutos
150	Muy desagradable soportable por 10 minutos
400-500	Peligroso respiración con mucha dificultad 5 min
1000	Causa la muerte en menos de un minuto

Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). Se produce por denotaciones de explosivos, así como la combustión de equipos diésel y de gasolina. Es un gas de color pardo rojizo, picante y algo dulce. Su peso específico es de 1.54. (Decreto 1886, 2015, Pág. 49)

Tabla 4

*Efectos del NO<sub>2</sub> según su concentración en el aire*

Ppm	Síntomas y tiempo de exposición
2.4	Concentración máxima permisible para 8 horas
5 – 10	Irritación de nariz y garganta 4 horas
20	Irritación de ojos 2 horas
50	Peligroso a partir de 30 minutos
100 – 200	Opresión en el pecho, bronquitis aguda y muerte menos de 30 minutos

Monóxido de carbono (CO). Es un gas sin color, sabor ni olor, débilmente soluble en agua con un peso específico de 0.97. Explota cuando se encuentra en el aire de 13% a 75%. Siendo el CO el gas que causan más del 90% de casos fatales en los incendios (Decreto 1886, 2015, Pág. 49)

Tabla 5

*Efectos del CO según su concentración en el aire*

%CO	Síntomas y tiempo de exposición
0.02	Dolor de cabeza a partir de 4 horas de exposición
0.04	Dolor de cabeza y malestar en 2 horas
0.12	Palpitaciones del corazón, pérdida del equilibrio en 1 hora y media.
0.20	Inconciencia en 30 minutos.

## **1.2. Formulación del problema**

¿La implementación de compuertas con modelo matemático reduce el humo del sistema de ventilación en mina mecanizada, Nicaragua, 2018?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Implementar compuertas con modelo matemático en la reducción de humo del sistema de ventilación en mina mecanizada, Nicaragua, 2018

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Diagnosticar el sistema de ventilación actual en la mina mecanizada

Generar modelo matemático para el diseño de las compuertas

Construcción de las compuertas

Contrastar la reducción de humo en el sistema de ventilación

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. H<sub>0</sub>**

La implementación de compuertas con modelo matemático no reduce el humo del sistema de ventilación en mina mecanizada, Nicaragua, 2018

### **1.4.2. H<sub>1</sub>**

La implementación de compuertas con modelo matemático si reduce el humo del sistema de ventilación en mina mecanizada, Nicaragua, 2018

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

Tipo de investigación pre experimental.

Según el propósito, es una investigación aplicada, ambientada en el ámbito de la ingeniería de minas debido a que en la presente se usara todos los conocimientos adquiridos en esta rama.

Según el diseño de la investigación, la presente investigación es pre experimental con prueba y post prueba, consiste en administrar un estímulo o tratamiento a un grupo y después aplicar una medición para poder observar cual es el nivel del grupo de estas.

Su grado de control y validez interna es mínimo, además se trata de estudios con diseño de un solo grupo (No hay comparaciones), este tipo de investigación es útil como primer acercamiento a la realidad, además se puede utilizar como prueba piloto.

<i>Grupo de sujetos</i>	<i>Pretest</i>	<i>Tratamiento o estímulo</i>	<i>Posttest</i>
<i>G</i>	<i>O1</i>	<i>x</i>	<i>O2</i>

Donde:

G: Gases en mina (CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>)

O1: Concentración de gases antes de la implementación

X: Implementación de compuertas con modelo matemático

O2: Concentración de gases después de la implementación

## 2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

Población: Mina mecanizada

Muestra: Sistema de ventilación de la mina mecanizada

Materiales: Pivotes de 2", varillas de metal, mangas de ventilación usadas, alambre.

Equipo humano: Tres personas

Instrumentos: Soldadora, cizalla, martillo roto percutor SDS-Plus GBH 2-20, punzón, detector de gases digital ALCOMAX

Métodos: Diagnostico basado en la observación in situ del sistema de ventilación, modelamiento matemático basado en la dinámica de fluidos, diseño en AutoCAD, construcción e instalación manual de la compuerta y mediciones de gases (Co, Co<sub>2</sub>, So<sub>2</sub>, No<sub>2</sub>) antes y después de la implementación de las compuertas.

## 2.3. Procedimiento

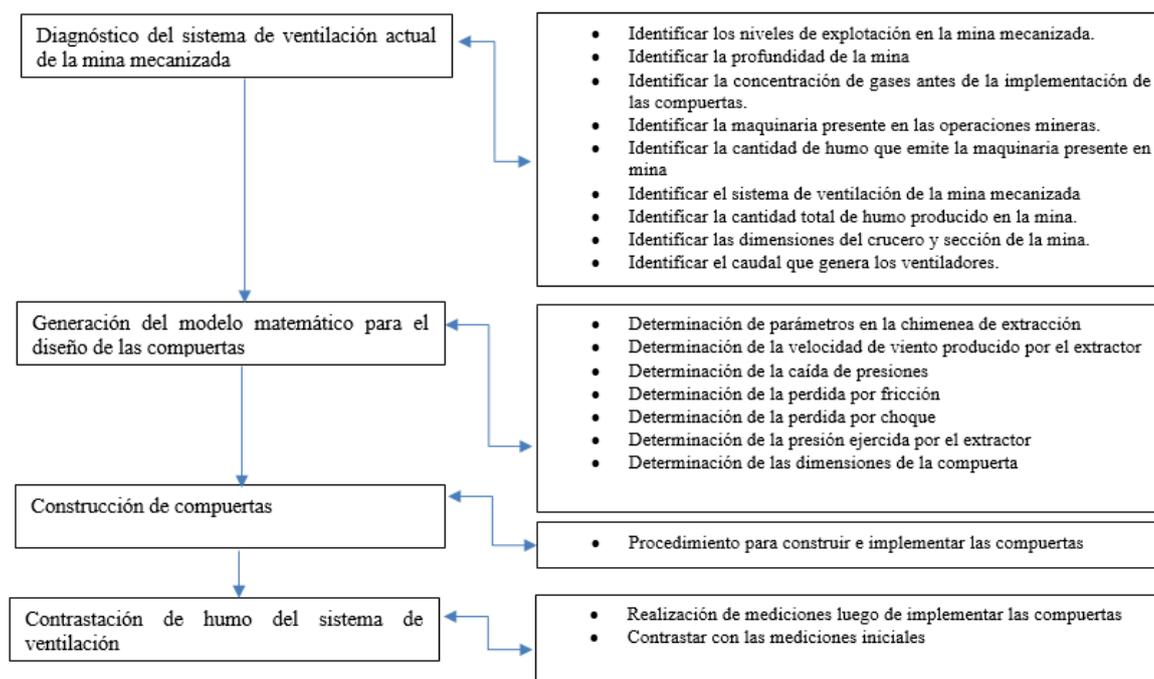


Figura 3. Vista general del procedimiento (Elaboración propia).

## **Diagnóstico del sistema de ventilación actual de la mina mecanizada ubicada en**

### **la Libertad – Nicaragua.**

Identificar los niveles de explotación en la mina mecanizada: Haciendo uso de la base de datos que ofrece el área de planeamiento (planos, mapas y esquemas) se identifica el total de niveles de explotación y el estado en el que se encuentran

Identificar la profundidad de la mina. Haciendo uso de la base de datos que ofrece el área de planeamiento (Planos, mapas, y esquemas), se identifica la profundidad de la mina mecanizada.

Identificar la concentración de gases antes de la implementación de las compuertas: Se hace 30 mediciones en GL334 con el detector de gases digital ALCOMAX, una medición por cada actividad de rezaga de mineral.

Identificar la maquinaria presente en las operaciones mineras: Haciendo uso de la base de datos que maneja el área de mantenimiento se identifica todas las maquinas que se emplean para la explotación del yacimiento.

Identificar la cantidad de humo que emite la maquinaria presente en mina: Haciendo uso de la base de datos que maneja el área de mantenimiento se identifica todas las cantidades de humo que emite cada maquinaria.

Identificar el sistema de ventilación de la mina mecanizada: Haciendo uso de base de datos que ofrece el área de planeamiento (Planos, mapas y esquemas), se identifica el sistema de ventilación de la mina.

Identificar la cantidad total de humo producido en la mina: Haciendo uso de la base de datos que ofrece el área de seguridad, se identifica la cantidad de humo producido en mina, al igual que su procedencia.

Identificar las dimensiones del crucero y sección de la mina: Haciendo uso de la base de datos que ofrece el área de planeamiento (Planos, mapas y esquemas), se identifica las dimensiones del crucero y sección de la mina

Identificar el caudal que genera los ventiladores: Haciendo uso de la base de datos que ofrece el área de planeamiento, se identifica el caudal que genera cada ventilador.

**Generación del Modelo Matemático para el diseño de las compuertas.** Para poder diseñar las compuertas, es necesario determinar y entender todos los aspectos que juegan un papel significativo en la evacuación del humo a la superficie, tales como: parámetros en la chimenea de extracción, la potencia del extractor, la resistencia al movimiento del aire, la resistencia local, la presión ejercida por el extractor, dimensiones de la compuerta, el comportamiento turbulento de viento detrás de la compuerta y el estudio de los humos durante la rezaga.

Determinación de parámetros en la chimenea de extracción: La cota de altura de la chimenea de la mina subterránea se ubica a 436 msnm, con una temperatura promedio anual 26 °, con una humedad de 70% y con vientos entre 8 km/h a 12km/h. La chimenea deciente hasta el nivel de 334, llegando a la profundidad de 102 metros. Con estos valores y usando la (Ecuación 15), se obtiene la presión en la boca de chimenea de ventilación

$$P(436) = 1 \text{ atms} \times e^{-1.18 \times 10^{-4} m^{-1} 436m}$$

$$P(436) = 0.949 \text{ atms} = 721.24 \text{ mm Hg} = 9805.32 \text{ mm ca} = 0.980 \text{ Kg/m}^2$$

Cálculo del peso específico del aire en boca de chimenea usando la (Ecuación 12)

$$\gamma = \frac{0.465(721.24 \text{ mm Hg})}{273 + 26} = 1.121 \text{ Kg/m}^3$$

Cálculo de la temperatura en interior mina usando la (Ecuación 16)

$$T = 26 C^0 + 0.0098(102m)$$

$$T = 26.9996 C^0 \sim 27 C^0$$

Luego el peso específico del aire en interior mina a una profundidad de 102 m viene dado por la (Ecuación 12):

$$\gamma = \frac{0.465(721.24 \text{ mm Hg})}{273 + 27} = 1.117 \text{ Kg/m}^3$$

Se muestra una reducción del peso específico del aire de 0.35%.

Finalmente, la presión en el interior de la chimenea en el crucero de canalización viene dado por la (Ecuación 17)

$$P = (721.24 \text{ mm Hg}) + 1.117 \text{ Kg/m}^3 \times \frac{102m}{13.6}$$

$$P = 729.62 \text{ mm Hg} = 9919.25 \text{ mm ca} = 0.991 \text{ Kg/m}^2$$

Determinación de la velocidad de viento producido por del extractor: Con la (Ecuación 13) se calcula el caudal requerido para la caída de presión dado por la (Ecuación 1). La mina mecanizada tiene un extractor de 100 hp en la boca de la chimenea. Por lo tanto:

$$100 \text{ hp} = \frac{Q \times 110 \text{ Kg/m}^2}{75 \times 76 \% \times 90\%}$$

$$Q = \frac{46.63 \text{ m}^3}{s} = 167 \ 868 \text{ m}^3/h$$

De aquí se obtiene que la velocidad del viento producido por el extractor es de:

$$V = \frac{46.63 \text{ m}^3/s}{16 \text{ m}^2} = 2.91 \text{ m/s}$$

Determinación de la caída de presiones: Para determinar la perdida de carga o de presión, se necesita conocer primero la perdida de presión por fricción y la perdida de presión por choque, tal y como se muestra en la (Ecuación 1).

Determinación de la pérdida por fricción: La mina mecanizada tiene coeficiente de roce en la chimenea de  $f=0.65$  con una longitud de 102 m y con peso especificado calculado de  $\gamma=1.117\text{Kg}/\text{m}^3$ . Por tanto, se tiene:

$$\alpha = \frac{0.65 \times 1.117\text{Kg}/\text{m}^3}{9.89 \text{ m}/\text{s}^2} = 0.0734\text{Kg} \times \frac{\text{s}^2}{\text{m}^4}$$

De la (Ecuación 7) se obtiene:

$$H_f = \frac{0.0734\text{Kg} \times \frac{\text{s}^2}{\text{m}^4} \times 102\text{m} \times 2\pi \times 2.25 \text{ m} \times 2.91^2}{16 \text{ m}^2} = 56.017 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Determinación de la pérdida por choque: Aquí es importante destacar que para determinar las dimensiones de las compuertas se asumirá que está funciona como contracción gradual en la chimenea. Ver *Figura 4*. Por otro lado, esta resistencia depende de la velocidad del aire y del peso específico.

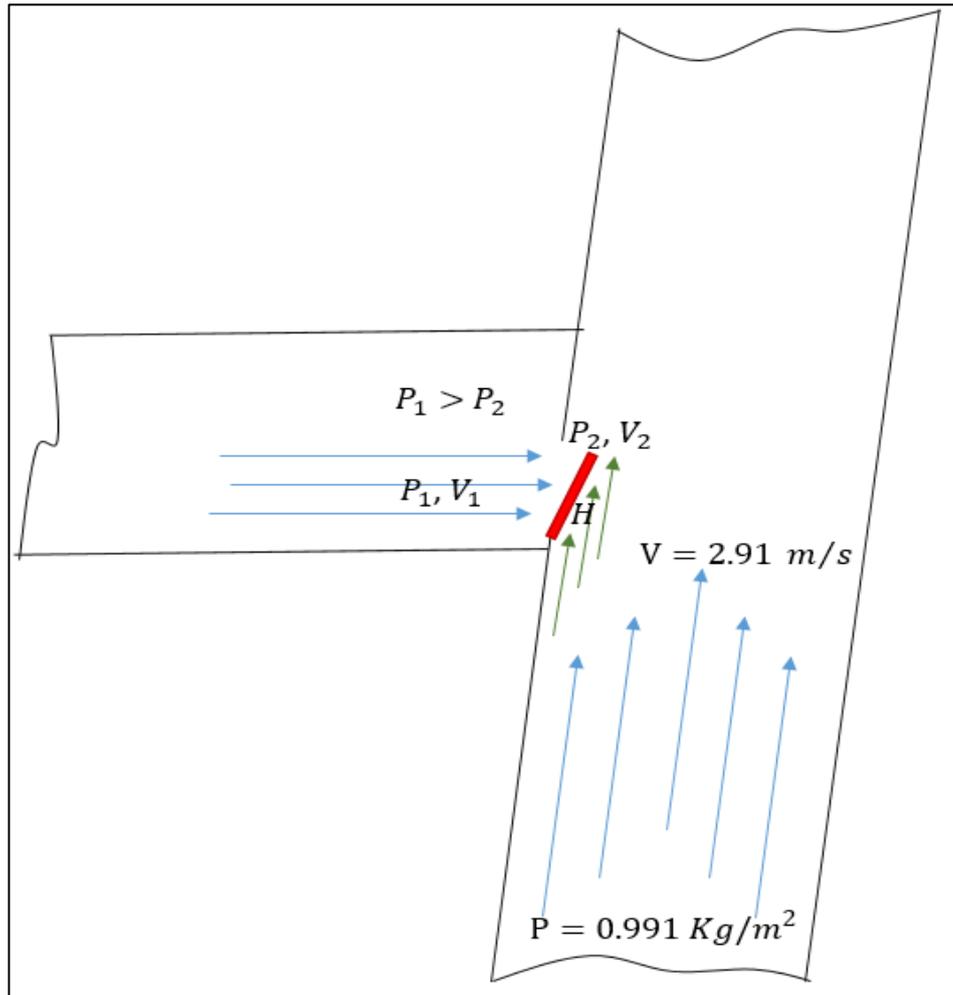


Figura 4. Representación de contracción gradual de la chimenea y la compuerta.

El método más adecuado para calcular estas pérdidas se obtiene al asimilar las pérdidas por choque en las pérdidas de fricción a través de los largos equivalentes, es decir se trata de determinar a qué largo físico de una labor minera equivale la pérdida de choque. Luego eso se puede determinar al igual las pérdidas de fricción por las pérdidas de choque

$$Hx = Hf$$

Reemplazando (Ecuación 6) y (Ecuación 17) en la última expresión, además asumiendo el largo  $L_f$  el valor de largo equivalente  $L_e$  se tiene

$$L_e = \frac{\varepsilon \times A \times \gamma}{2g \times \alpha \times Perimetro}$$

Para la mina mecanizada el valor de  $L_e$  será el nivel siguiente del punto final del crucero de acceso a la chimenea de ventilación en el nivel 334. Por lo tanto,  $L_e$  será Nivel 352 – Nivel 334, es decir  $L_e = 18$  m. Asumiendo que la estrangulación por la compuerta se reduce tan solo a 2.14 metros de radio. Se tendrá que:

$$\varepsilon = \frac{0.00158 \times \gamma}{\alpha}$$

Donde  $\alpha = 0.3$  valor de tabla L. Hartman.

Por lo tanto, se tiene

$$\varepsilon = \frac{0.0158 \times 1.117 \text{Kg/m}^3}{0.3} = 0.0588$$

Luego se obtiene reemplazando en (Ecuación 6)

$$H_x = \frac{0.0588 \times 2.91^2 \times 1.117 \text{Kg/m}^3}{2 \times (9.89 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} = 0.028 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Finalmente, la caída de Presión sobre la compuerta viene dada por la suma

$$H = H_f + H_x = 56.017 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} + 0.028 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} = 56.045 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Determinación de la presión ejercida por el extractor: Usando el Teorema de Bernoulli.

Establece analíticamente que la suma de la presión estática ( $P_s$ ) y la presión dinámica ( $P_d$ ) y la altura, es constante para todos los puntos de un flujo. Para nuestro caso como el Nivel 334, tiene una profundidad de 102 metros con respecto a la boca de chimenea. Se puede considerar que la presión por altura no es afectada. Ver *Figura 5*.

Luego:

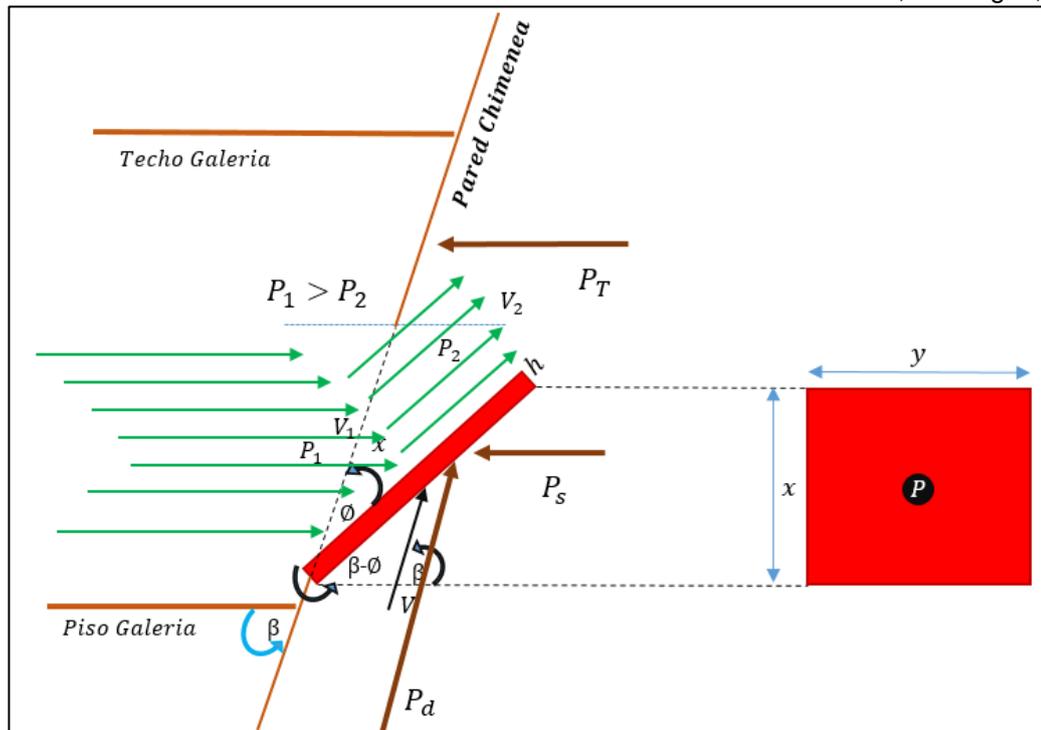


Figura 5. Representación de la diferencia de presiones.

Como la presión estática actúa en todas direcciones, se puede suponer sin pérdida de generalidad que esta se anula en la compuerta. Teniendo así solo la presión dinámica sobre la compuerta.

Determinación de las dimensiones de la compuerta: Como la compuerta sufrirá una presión generada por el extractor, tratando de cerrarla, es necesario que se determine las dimensiones con el fin de optimizar una mejor área y perímetro para la compuerta. Con el fin de permitir una diferencia de presiones entre las galerías y la chimenea, buscando así que la presión en las labores de rezaga tenga mayor presión que en la chimenea eliminando así la recirculación de humos.

Utilizando la (Ecuación 10) se obtiene la presión ejercida en la compuerta:

$$P = 0.613 \times V^2 N/m^2$$

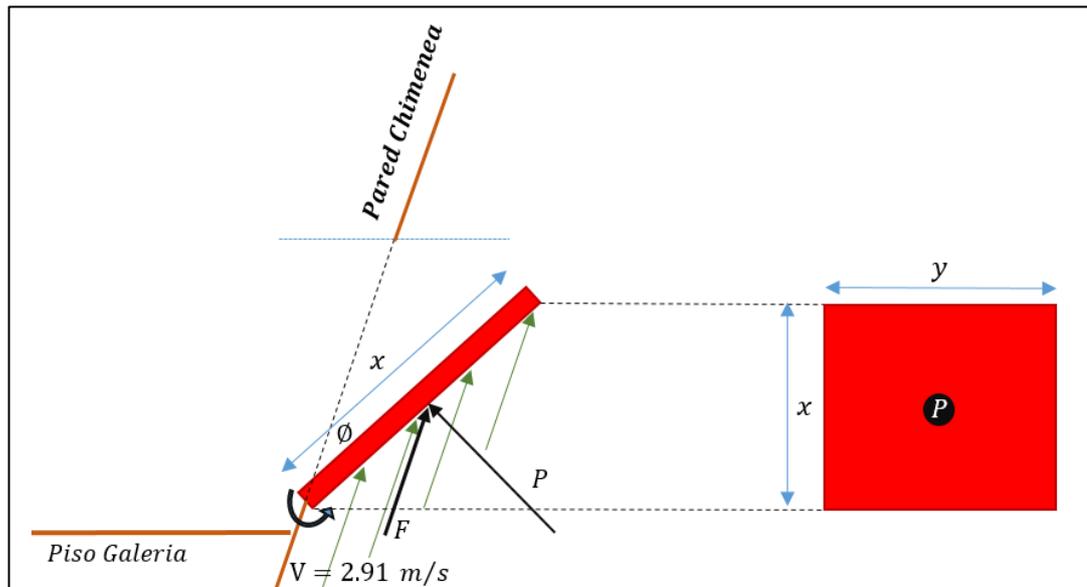
Dónde:

V: Velocidad del viento (m/s).

Luego de (Ecuación 10) se calcula la presión dinámica sobre la compuerta:

$$P = 0.613 \times \frac{2.91^2 N}{m^2} = 5.191 \frac{N}{m^2} = 0.529 Kg/m^2$$

Como la dirección de la fuerza del viento es paralela a la pared de la chimenea, esta se debe descomponer en las direcciones normales sobre la compuerta. Ver *Figura 6*.



*Figura 6.* Descomposición de fuerzas en la compuerta.

Suponiendo que la compuerta está compuesta por una masa uniforme, se tiene que el peso de la compuerta como una fuerza necesaria que contrarresta la fuerza ejercida por el viento. Ver *Figura 7*.

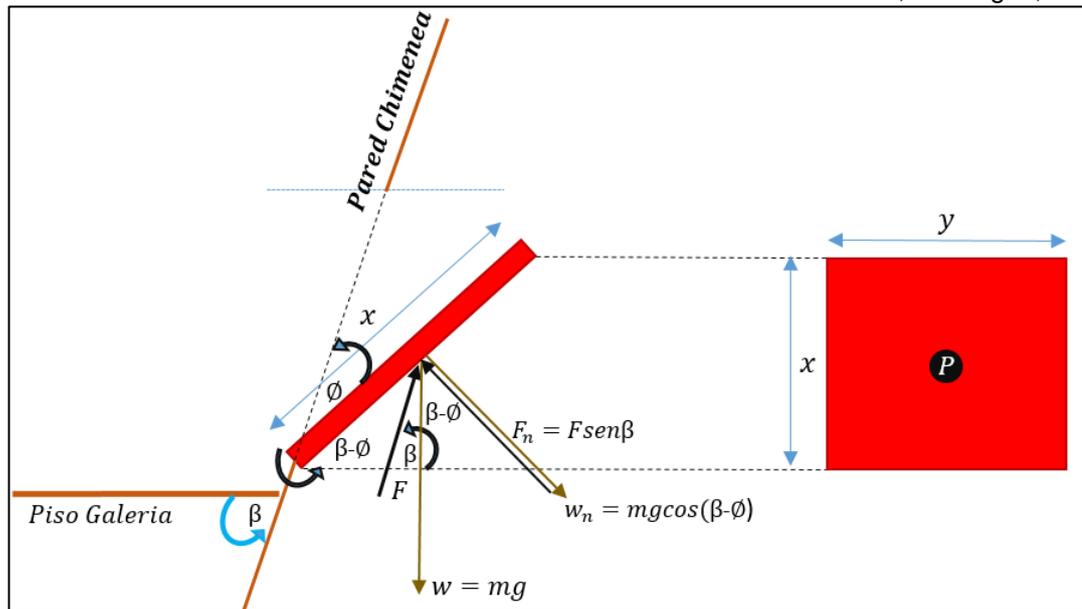


Figura 7. Fuerzas descompuestas en la compuerta.

Tomando momento en la articulación de la compuerta se tiene:

$$-\frac{x}{2} \times mg \cos(\beta - \phi) + \frac{x}{2} \times F \sin \beta = 0$$

$$F \sin \beta = mg \cos(\beta - \phi)$$

$$F = \frac{mg \cos(\beta - \phi)}{\sin \beta}$$

Donde  $\beta$  es el ángulo de inclinación de la chimenea con respecto a la horizontal. Con fines prácticos asumiremos que  $y = 1.5x$  es decir que el ancho de la compuerta es 1.5 más que alto. Luego el  $A = x \times y = x \times (1.5x) = 1.5x^2$ .

Reemplazando estos valores en la (Ecuación 13) se tiene:

$$0.529 \text{Kg/m}^2 = \frac{\frac{mg \cos(\beta - \phi)}{\sin \beta}}{1.5x^2}$$

$$x^2 = \frac{1.5 \times mg \cos(\beta - \phi)}{\sin \beta \times 0.529} \text{m}^2$$

Recordando que  $\cos(\beta - \phi) = \cos \beta \times \cos \phi + \sin \beta \times \sin \phi$  reemplazando en la expresión anterior se obtiene:

$$x^2 = \frac{1.5 \times mg \times (\cos\beta \times \cos\phi + \sin\beta \times \sin\phi)}{\sin\beta \times 0.529} m^2$$

$$x^2 = mg \left( \frac{1.5 \times \cot\beta \times \cos\phi}{0.529} + \frac{1.5 \times \cos\phi}{0.529} \right)$$

$$x^2 = 2.84 \times mg \cos\phi (\cot\beta + 1)$$

De esta última expresión se tiene dos casos:

*Caso 1.* Cuando la compuerta está totalmente cerrada el ángulo  $\phi=0$  luego  $\cos 0 = 1$ , reemplazando en (Ecuación 15) se tiene:

$$x^2 = 2.84 \times mg \times (\cot\beta + 1)$$

Pero en este caso no es consistente puesto que no se tendría una salida para los humos producidos durante las actividades mineras.

*Caso 2.* Cuando la compuerta está totalmente abierta el ángulo  $\phi=\beta$  luego  $\cos\phi=\cos\beta$ , reemplazando en (Ecuación 15) se tiene:

$$x^2 = 2.84 \times mg \times \cos\beta \times (\cot\beta + 1)$$

En este caso sería lo más apropiado, ya que existiría una salida a la chimenea de ventilación. Sin embargo, eso solo sucedería si la Presión y la velocidad del viento en las galerías que se conectan a la chimenea sean mayores que las presiones ejercidas por el extractor sobre las paredes de la chimenea.

Por lo tanto para determinar el ángulo  $\phi$  para obtener la condición que los humos salgan de las galerías sin que el humo de las chimeneas ingrese nuevamente a las galerías se tiene que cumplir lo siguiente  $P_1 > P_2$ . Ver *Figura 8*.

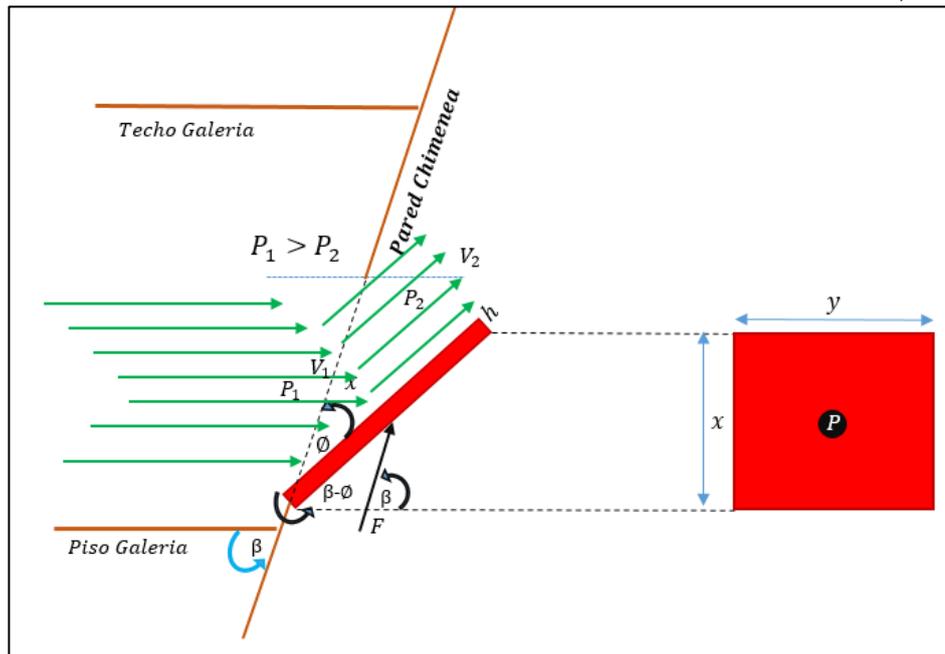


Figura 8. Condición  $P_1 > P_2$ .

Determinar el comportamiento turbulento del viento detrás de la compuerta es un fenómeno importante al implementar compuertas y en general dentro de cualquier labor minera, es la generación de flujos turbulentos a lo largo de las paredes de la labor. Como bien es sabido el movimiento lento del aire, se compone de hilos separados que no se separan entre si y se mueven paralelamente. Ver *Figura 9*. Mientras que, si la velocidad del aire aumenta, los hilos comienzan a mezclarse entre sí

Para la chimenea de ventilación se tiene,  $D = 2.13 \text{ m}$ ,  $V = 2.91 \text{ m/s}$ . Para determinar la viscosidad cinética del aire en el interior mina a  $27 \text{ C}^\circ$ , se interpola de la tabla de (Ecuación 2). Obteniéndose  $\mu = 1.5756 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ . Luego se reemplaza en la (Ecuación 11) y se tiene:

$$Re = 2.13 \text{ m} \times \frac{2.91 \text{ m/s}}{1.5756 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} \approx 393393$$

Siendo este último valor un flujo turbulento en la chimenea. Cabe mencionar existen una zona detrás de la compuerta que forma turbulencia, en esta zona la presión es baja

debido a la pérdida de velocidad, aquí se produce un fenómeno llamado corriente de arrastre que tira hacia dentro de la compuerta dada por la (Ecuación 3)

Luego de la (Ecuación 3) se obtiene:

$$D = 0.080 \frac{Kg}{(m/s)^2 m^2} \times (2.91 m/s)^2 m \times 1.5 x^2 m^2 \times 2$$

$$D = 2.032 x^2 Kg$$

Esta última expresión que representa el arrastre detrás de la compuerta, queda en función del área de la compuerta. Esto quiere decir que mientras más grande sea la compuerta el arrastre será mayor.

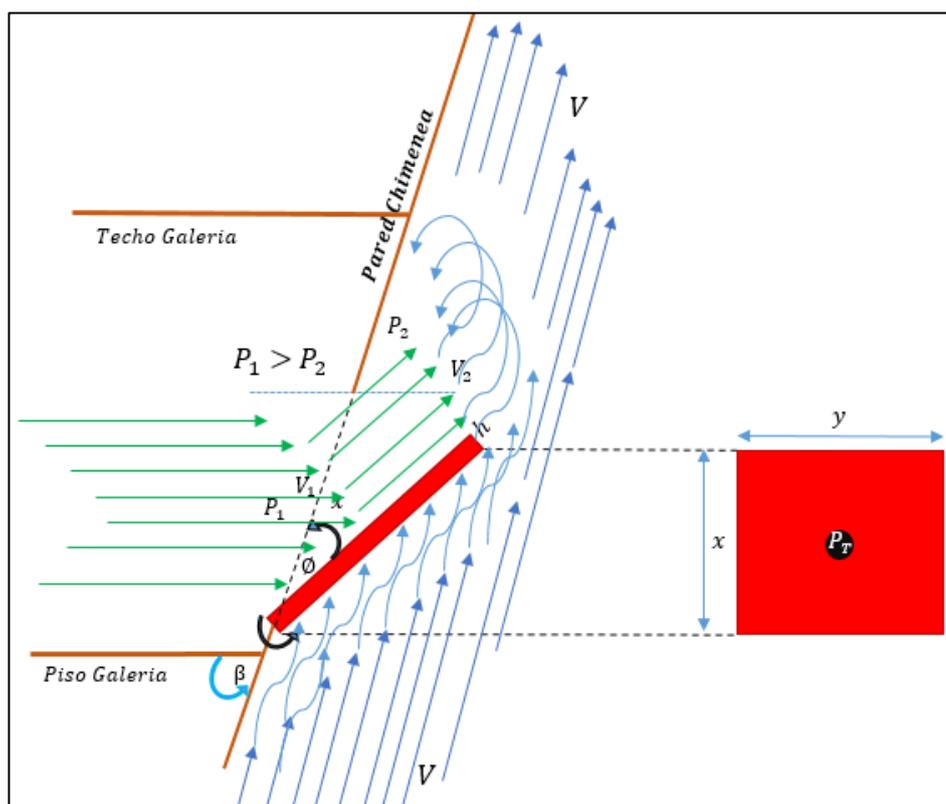


Figura 9. Representación del Comportamiento del aire.

Del mismo modo durante la rezaga del mineral, las maquinas en proceso de trabajo liberan gran cantidad de humos en las labores, estos humos tienen características especiales al comportarse como un fluido dentro de una chimenea convencional. Para este caso supondremos que las labores que conectan a la chimenea de ventilación son

como grandes tubos de escape de una caldera de combustión. Luego de acuerdo a la

(Ecuación 5) se tiene:

$$Q_{LHD} = 114\% \times \frac{0.28m^3}{min} \times 353 = 112.67 \frac{m^3}{min}$$

$$Q_{Camion} = 114\% \times \frac{0.28m^3}{min} \times 377 = 120.33 \frac{m^3}{min}$$

$$Q_T = Q_{LHD} + Q_{Camion} = 233 \frac{m^3}{min} \text{ de humos}$$

La velocidad de escape de los humos disminuye al salir de las maquinas, éstas se ven frenadas por la resistencia de las paredes.

El nivel de la galería se ubica a 352 m sobre el nivel del mar, mientras que la temperatura promedio de escape de humos en las maquinas es 600 C°.

Luego con la (Ecuación 4) se obtiene:

$$\rho_{humo} = 101325 \times \frac{(1 - 0.00012 \times 352) Kg}{290 \times (273.15 + 600) m^3} = 0.383 \frac{Kg}{m^3}$$

Luego calculamos el caudal másico para cada máquina LHD (263 kW) y camión de bajo perfil (281 kW) Se tiene de la (Ecuación 2). Datos del diésel: PCI: 42 300 KJ/Nm<sup>3</sup>; PC: 11.5; PF: 12.3

$$\dot{m}_{LHD} = 1.2 \times (12.3 + 0.05 \times 11.5) \times \frac{263}{0.9 \times 42\,300} \frac{Kg}{s} = 0.106 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{Camión} = 1.2 \times (12.3 + 0.05 \times 11.5) \times \frac{281}{0.9 \times 42\,300} \frac{Kg}{s} = 0.114 \text{ kg/s}$$

Luego en la galería de rezaga se tiene que el flujo másico:

$$\dot{m} = \dot{m}_{Camión} + \dot{m}_{LHD} = 0.114 \frac{kg}{s} + 0.106 \frac{kg}{s} = 0.220 \text{ kg/s}$$

Ahora se Calcula la velocidad media de los humos en la galería usando la (Ecuación 19)

$$x = \ln(0.220) = -1.51$$

Reemplazando en (Ecuación 19) se obtiene:

$$\begin{aligned} v &= 7.1 + 2.03(-1.51) + 0.25(-1.51)^2 - 0.526 \times 10^{-3}(-1.51)^3 \\ &\quad - 3.109 \times 10^{-3}(-1.51)^4 \\ v &= 4.59 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Esta velocidad es a la salida del tubo de escape de las maquinas. El cual va disminuyendo conforme se desplaza el flujo a lo largo de la galería. Suponiendo que la pérdida por fricción en la galería es un 77 % de la velocidad de escape, se tiene que la velocidad en la entrada en la compuerta es:

$$V_c = (100 - 77)\% \times 4.59 \frac{m}{s} = 1.05 \text{ m/s}$$

Por otro lado, presión dinámica ejercida sobre el área de la compuerta viene dada por:

$$P = 0.613 \times \frac{1.05^2 N}{m^2} = 0.676 \frac{N}{m^2} = 0.0689 \text{ Kg/m}^2$$

Esta presión tiene que vencer la resistencia ( $D$ ) del viento tras la compuerta. Ver *Figura 10*.

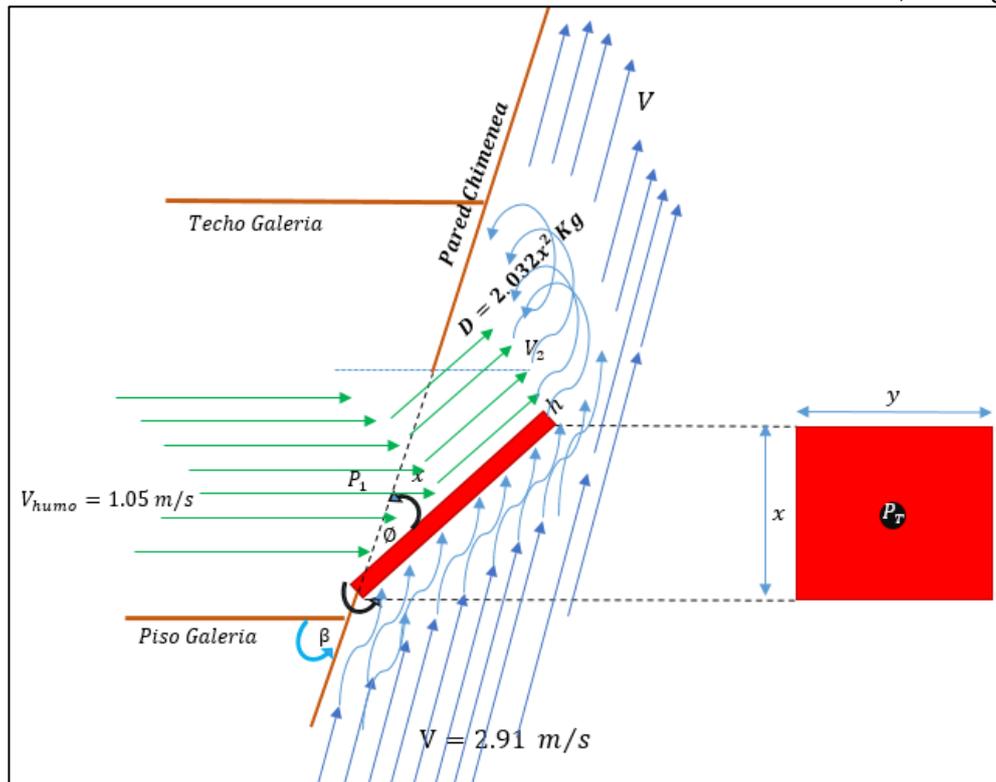


Figura 10. Resistencia del Viento.

Es decir:  $P_{humo} > D = 2.032x^2$

Usando el teorema de Bernoulli para la entrada de la compuerta Ver Figura 11. se tiene:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho_{humo}V_1^2 + \rho_{humo}gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho_{humo}V_2^2 + \rho_{humo}gh_2$$

Como la diferencia de altura es mínima, se puede tomar como cero en la galería, luego

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho_{humo}V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho_{humo}V_2^2$$

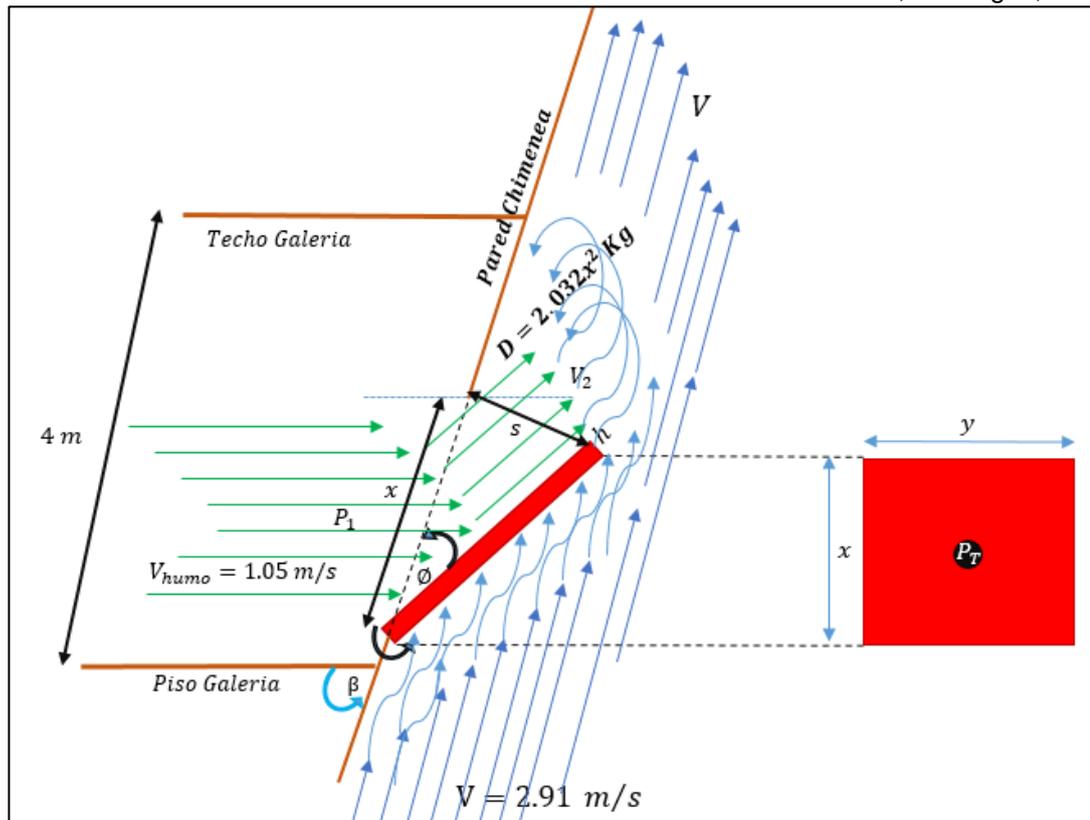


Figura 11. Uso del teorema de Bernoulli en la entra de la compuerta.

Por otro lado para determinar la  $P_2$  se tendrá que desarrollar en función del área de apertura por la compuerta. Se puede modelar la apertura de la compuerta como un prisma triangular de lados  $A^1, B^1, C^1, A, B$  y  $C$ . Ver Figura 12.

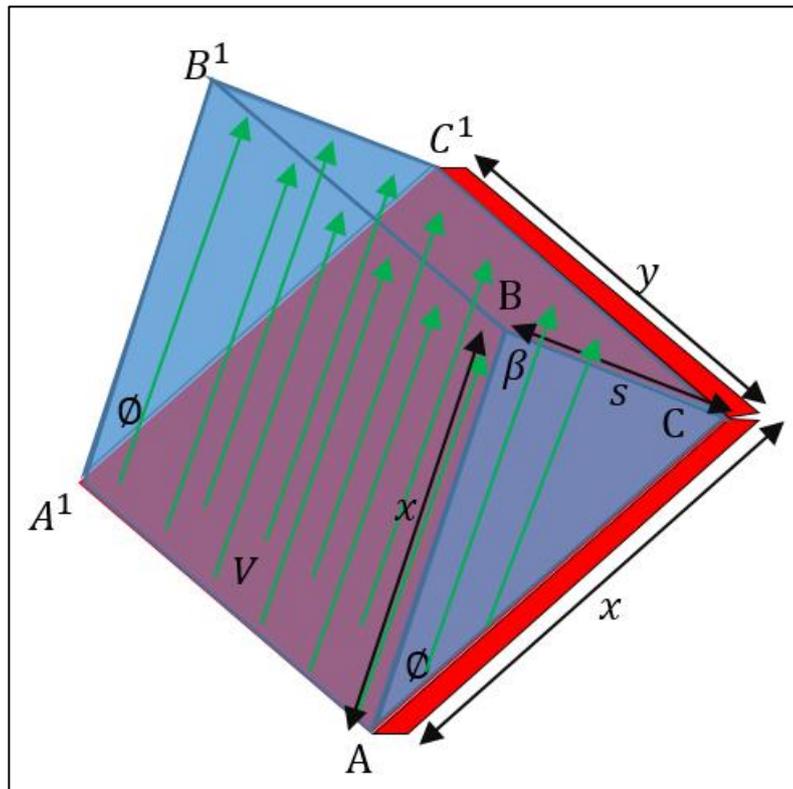


Figura 12. Prisma triangular.

El área del triángulo isósceles ABC viene dado por:  $A = \frac{1}{2} s \times x \times \cos\left(\frac{\phi}{2}\right)$ , y la longitud de  $s$  en función del ángulo  $\phi$  es:  $s = 2x \cos\left(90 - \frac{\phi}{2}\right)$ , luego el volumen del prisma triangular quedaría:  $Vol = x^2 y \cos\left(90 - \frac{\phi}{2}\right) \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) = A \left(x \cos\left(90 - \frac{\phi}{2}\right) \cos\left(\frac{\phi}{2}\right)\right)$

Donde  $A$ , es el área de la compuerta.

De la ecuación de continuidad se tiene. Ver Figura 13.

$$Q_1 = Q_2 = V_1 A_1 = V_2 A_2$$

Como la sección de la galería es de  $A_1 = 16 \text{ m}^2$  y la velocidad de humo es  $V_1 = 1.05 \text{ m/s}$  se obtiene:  $Q_1 = 16.8 \text{ m}^3/\text{s}$

Es decir que el volumen del prisma deberá ser tal que permita pasar los  $16.8 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Sin pérdida de generalidad se tendrá:

$$\frac{16.8 \text{ m}^3}{s} = A \left( x \cos \left( 90 - \frac{\phi}{2} \right) \cos \left( \frac{\phi}{2} \right) \right)$$

De aquí se desprende que la  $V_2 = \left( x \cos \left( 90 - \frac{\phi}{2} \right) \cos \left( \frac{\phi}{2} \right) \right) \text{ m/s}$ . Como la longitud  $x$  es constante, se infiere que la velocidad  $V_2$  está en función de la apertura de la compuerta.

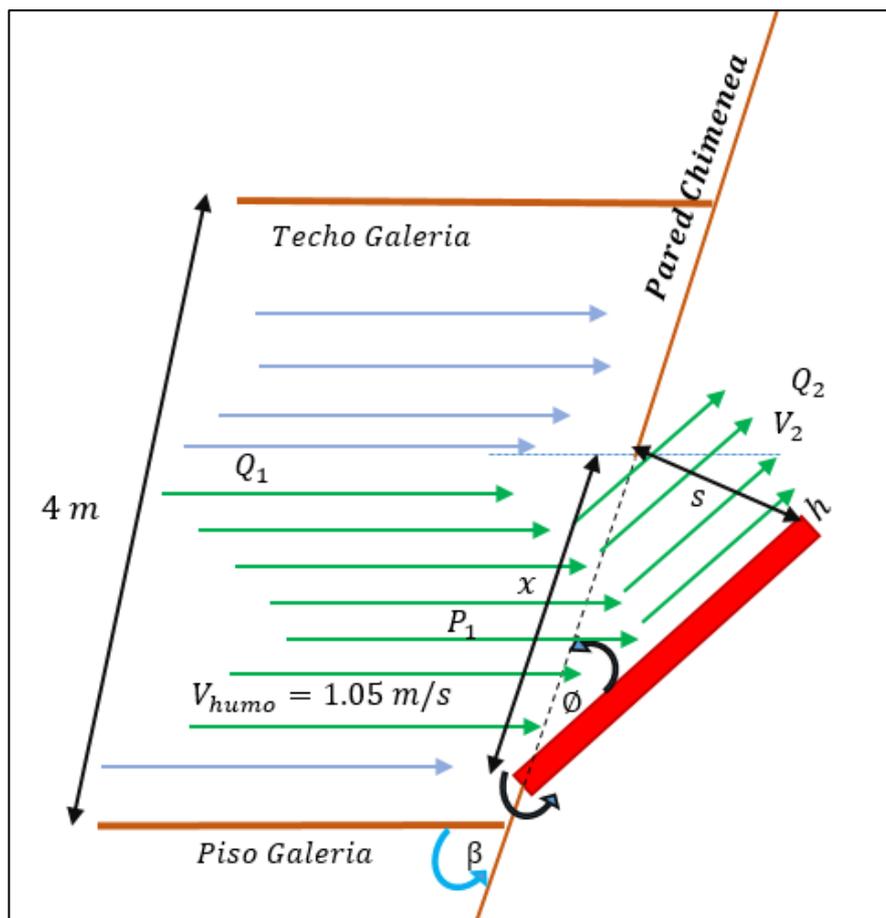


Figura 13. Ecuación de continuidad en función de la apertura de la compuerta

Finalmente, el problema de diseño de la compuerta se reduce a la determinación del área de una compuerta a un problema de programación no lineal, el cual se plantea de la siguiente manera:

Determinar el área óptima  $A = 1.5x^2$ , sujeta a las siguientes condiciones:

$$x^2 = 2.84 \times mg \cos\phi (\cot\beta + 1)$$

$$2.91 < \left( x \cos \left( 90 - \frac{\phi}{2} \right) \cos \left( \frac{\phi}{2} \right) \right)$$

$$2.032x^2 < 0.613 \left( x \cos \left( 90 - \frac{\phi}{2} \right) \cos \left( \frac{\phi}{2} \right) \right)$$

Dónde:  $0 < \phi < \pi$ ,  $\beta = 6^\circ$ ,  $m$ : masa de la compuerta y  $g$ : gravedad

Sin embargo, este problema tiene una gran dificultad para la solución, el cual limita su desarrollo por los métodos tradicionales, el cual se aleja del objetivo de esta tesis. Es así que, para obtener algunos resultados, este problema se reduce a optimizar el diseño de la compuerta sujeto a solo una condición.

Minimizar  $A = 1.5x^2$ , sujeto a :

$$2.91 < \left( x \cos \left( 90 - \frac{\phi}{2} \right) \cos \left( \frac{\phi}{2} \right) \right)$$

$$2.032x^2 < 0.613 \left( x \cos \left( 90 - \frac{\phi}{2} \right) \cos \left( \frac{\phi}{2} \right) \right)$$

Dónde:  $0 < \phi \leq \pi$ ,  $x > 0$

Solución del problema:

Haciendo un cambio de variables

$$R = \cos \left( 90 - \frac{\phi}{2} \right) \cos \left( \frac{\phi}{2} \right)$$

$$2.91 < xR \dots (\alpha)$$

$$2.032x^2 < 0.613xR, x > 0$$

Despejando  $x$

$$2.032x^2 < 0.613xR$$

$$x < \frac{0.613R}{2.032}$$

$$x < 0.302R \dots (\beta)$$

De  $(\alpha)$  se tiene:

$$\frac{2.91}{R} < x$$

De( $\beta$ ) se tiene:

$$\frac{2.91}{R} < 0.302R$$

$$\frac{2.91}{0.302} < R^2$$

$$9.636 < R^2$$

$$-3.104 < R < 3.104$$

Volviendo a:  $-3.104 < \cos\left(90 - \frac{\theta}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) < 3.104$

### **Construcción de compuertas.**

Inicialmente se procede con reunir el personal y las herramientas para luego cortar las varillas de metal conforme a las dimensiones establecidas en el diseño, seguidamente se corta una manga de ventilación para cubrir la superficie de la compuerta luego se une todo el armazón y la manga de ventilación por medio de alambres para después adicionar a la base de la compuerta dos pivotes de 2", luego se coloca la compuerta en un ángulo de 18° y finalmente se asegura los componentes y se delimita para zona.

### **Contrastación en la reducción de humo en el sistema de ventilación.**

Se realizar 30 mediciones con respecto a la concentración de gases en la GL334 usando el detector de gases digital ARCOMAX para el CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>.

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

#### Resultados del diagnóstico del sistema de ventilación en la mina mecanizada.

Niveles de explotación en la mina mecanizada, con una profundidad de 112 metros.

Tabla 6

*Niveles de explotación del (2/11/2017)*

Nivel	Descripción
436	Nivel donde se evacua el humo al ambiente.
418	Nivel de reparación, labor inactiva, (2/11/2017)
404	Nivel de preparación, labor inactiva, (2/11/2017)
390	Nivel donde se sitúa "Bocamina" y donde entra en aire limpio.
376	Nivel de preparación, labor inactiva, (2/11/2017)
362	Nivel de preparación, labor parcialmente activa (2/11/2017)
352	Nivel actual de captación de aire viciado. (2/11/2017) y labor en actividad
334	Nivel de preparación, labor activa, (2/11/2017)

Maquinaria presente en las operaciones mineras y cantidad de humo que emana según las horas de trabajo del motor diésel.

Tabla 7

*Cantidad de humo estimado por maquinaria de perforación*

Maquinaria de perforación	Modelo	Potencia (HP)	Tiempo de Trabajo diario del motor diésel	Volumen de humo estimado m <sup>3</sup> /hr
Jumbo 2 brazos	1PJ02	73	1	207.65
Jumbo 2 brazos	1PJ05	73	1	207.65
Raptor taladro largo	44XP	96	1	273.07
Bolter DS311	1PR05	83	1	236.09

Bolter DS311	1PR07	83	1	236.09
LHD	1CB07	353	4	1004.12
LHD	1CB04	350	4	995.59
Camión AD30	1CA05	377	5	1072.39
Camión AD30	1CA07	377	5	1072.39
Mezcladora Fiori	3ME07	113	4	321.43
Mezcladora Carmix	3ME10	111	4	315.74
Lanzadora robótica	1BL04	73	1	207.65
Cargador frontal CAT	05	101	8	287.29
IT14	14	140	8	398.23
Retroexcavadora CAT	415F2	68	8	193.42

Sistema de ventilación presente en la mina mecanizada.

Se observa 3 actividades mineras Ver Figura 14., la Actividad N°1 “Rezaga de mineral” en el nivel 376, la Actividad N°2 “Fortificación” en el nivel 362 y la Actividad N°3 “Perforación”, todo realizándose al mismo tiempo. De las actividades mencionadas, la Actividad N°1 es la que genera más humo, producto de la combustión interna de la maquinaria de rezaga (LHD, Camión AD30), el aire se contamina con esos gases y se observa una saturación evidente. Ver anexo 4. El humo parte de esa actividad, luego sigue hasta el nivel 362 afectando al personal que se encuentra realizando la actividad N°2, paso seguido el humo sigue su trayectoria hasta el nivel 352 donde afecta al personal que está realizando la actividad N3, para finalmente llegar hasta el último nivel y ser evacuado a la superficie por la chimenea.

Claramente el humo producido en el nivel superior 376 por la rezaga de mineral representa un problema a los niveles inferiores ya que afecta directamente al personal y a la realización de las actividades. Y esto implicaría posibles accidentes debido a la poca visibilidad y problemas de la salud, todo esto significaría una baja en la producción por las tantas pérdidas económicas.

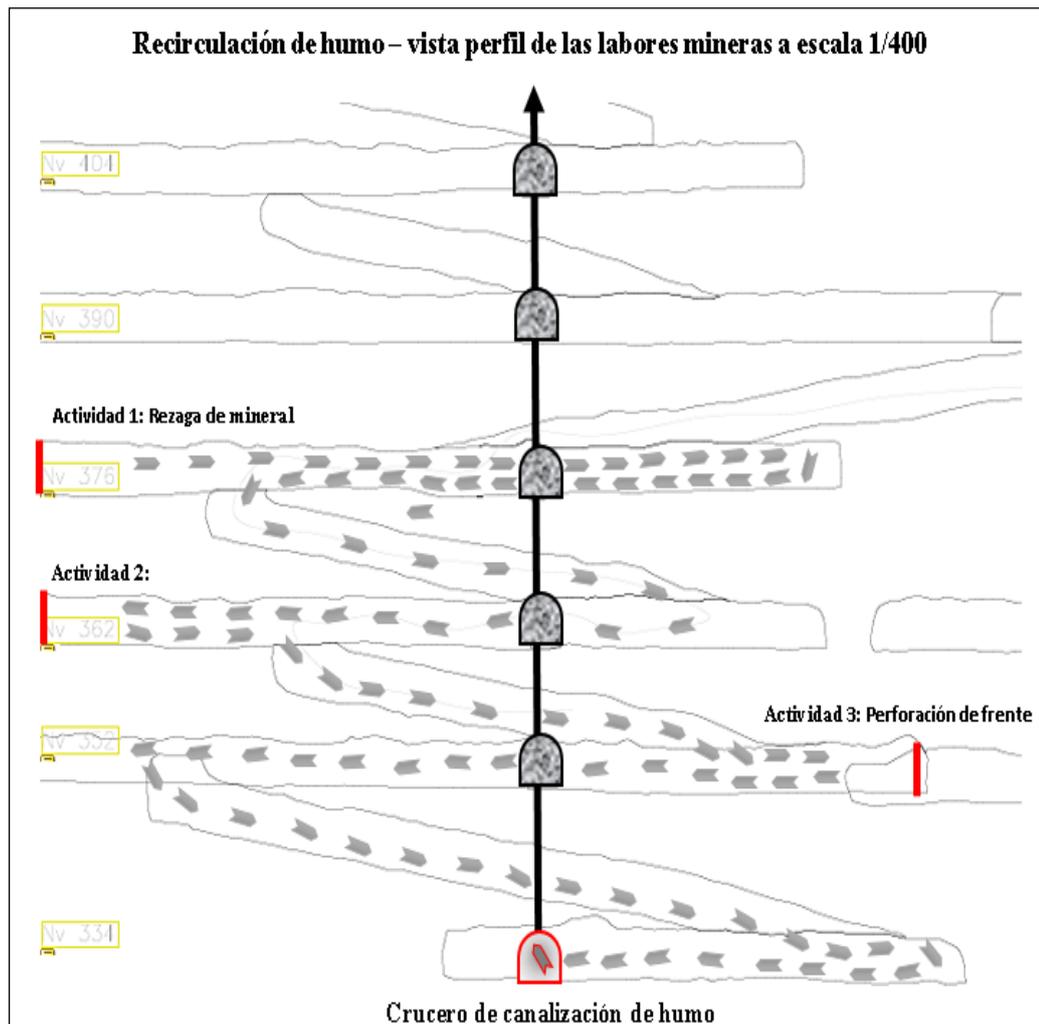


Figura 14. Recirculación de humo escala 1/400.

Cantidad total de humo producido en la mina mecanizada, según la procedencia.

Tabla 8

*Volumen total de humo producido según la procedencia*

Procedencia	Volumen total de humo ( $m^3/h$ )
Maquinaria	7028.86
Personal	3.62

Representación de los cruceros que conectan las galerías principales con la chimenea de extracción de humos, el cual está hecho en una sección de 4\*4 m con una pequeña puerta removible en el centro de esta.

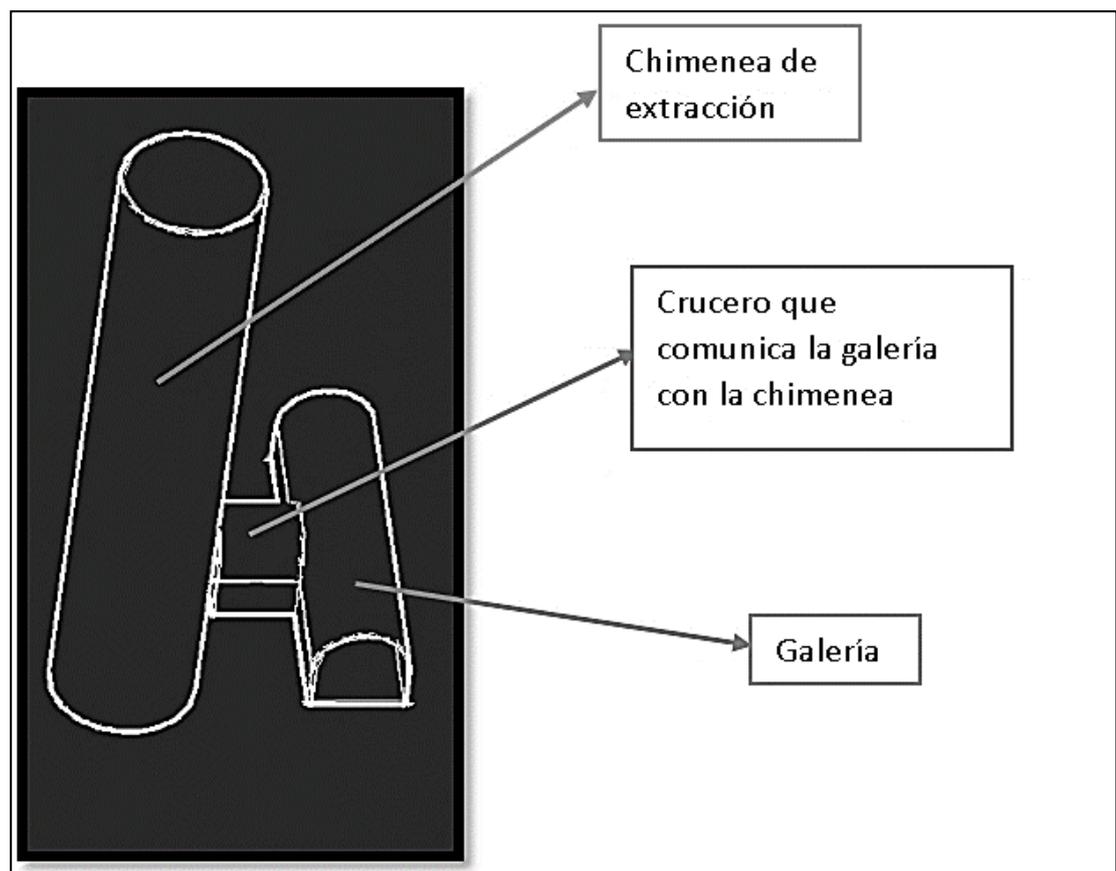


Figura 15. Cruceo que conecta la galería con la chimenea.

Dimensión de la sección del crucero, cada crucero excepto el último nivel, se encuentra bloqueado para impedir la salida del humo, obligando a conducir a este hasta el último nivel y evacuarlo a la superficie

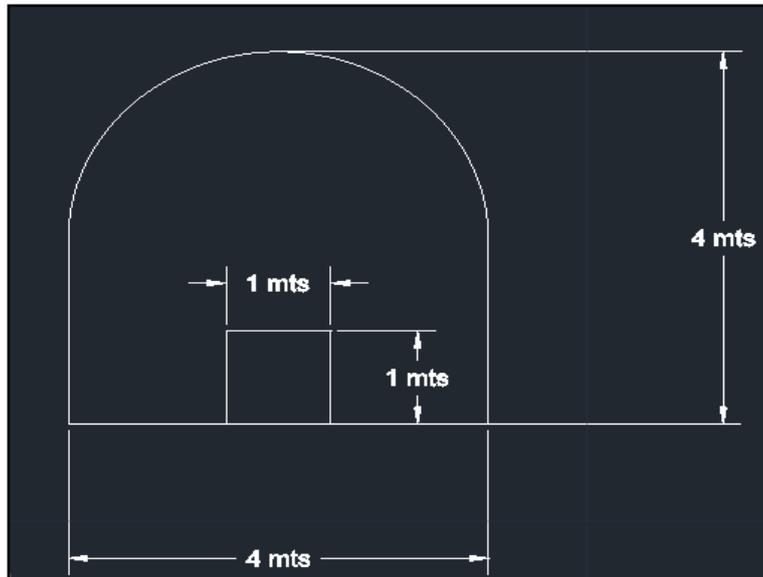


Figura 16. Medidas de la sección del crucero.

Caudal total de aire que genera los ventiladores en el sistema de ventilación de la mina mecanizada.

Tabla 9

*Caudal que máximo de aire que genera cada equipo*

Equipos	Potencia (Hp)	Área de Sección (m <sup>2</sup> )	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)
Ventilador 1	60	9	127800
Ventilador 2	100	16	156800
Ventilador 3	100	16	156800
Extractor 1	100	16	156800

## Resultados de la generación del modelo matemático para el diseño de las compuertas.

Modelo matemático para el ángulo ideal de las compuertas.

$$\theta = 2(2\pi n + \pi), \quad n \in Z \quad (\text{Ecuación 20})$$

Por otro lado, de ( $\alpha$ ) y ( $\beta$ )

$$2.91 < xR$$

$$x < 0.302R, \quad x > 0$$

$$\frac{2.91}{x} < \frac{xR}{0.302R}, \quad R \neq 0$$

$$0.878 < x^2$$

$$\sqrt{0.878} < x$$

$$0.937 < x$$

$$x = 0.95 \text{ m}$$

Por lo tanto, el área mínima de la compuerta es:

$$A = 1.5 * x^2 \quad (\text{Ecuación 21})$$

Reemplazo

$$x = 0.95 \text{ m}$$

$$A = 1.5 * 0.95^2$$

$A = 1.35 \text{ m}^2$ , con un ángulo de apertura de la compuerta de  $18^\circ$

Dimensiones ideales para las compuertas.

Tabla 10

<i>Dimensiones ideales para la construcción de las compuertas.</i>	
Largo	1.42 m
Ancho	0.95 m
Apertura	18 ° - 25°
Material	Manga de ventilación

Compuerta diseñada con las dimensiones ideales en el software de dibujo AutoCAD 2016.

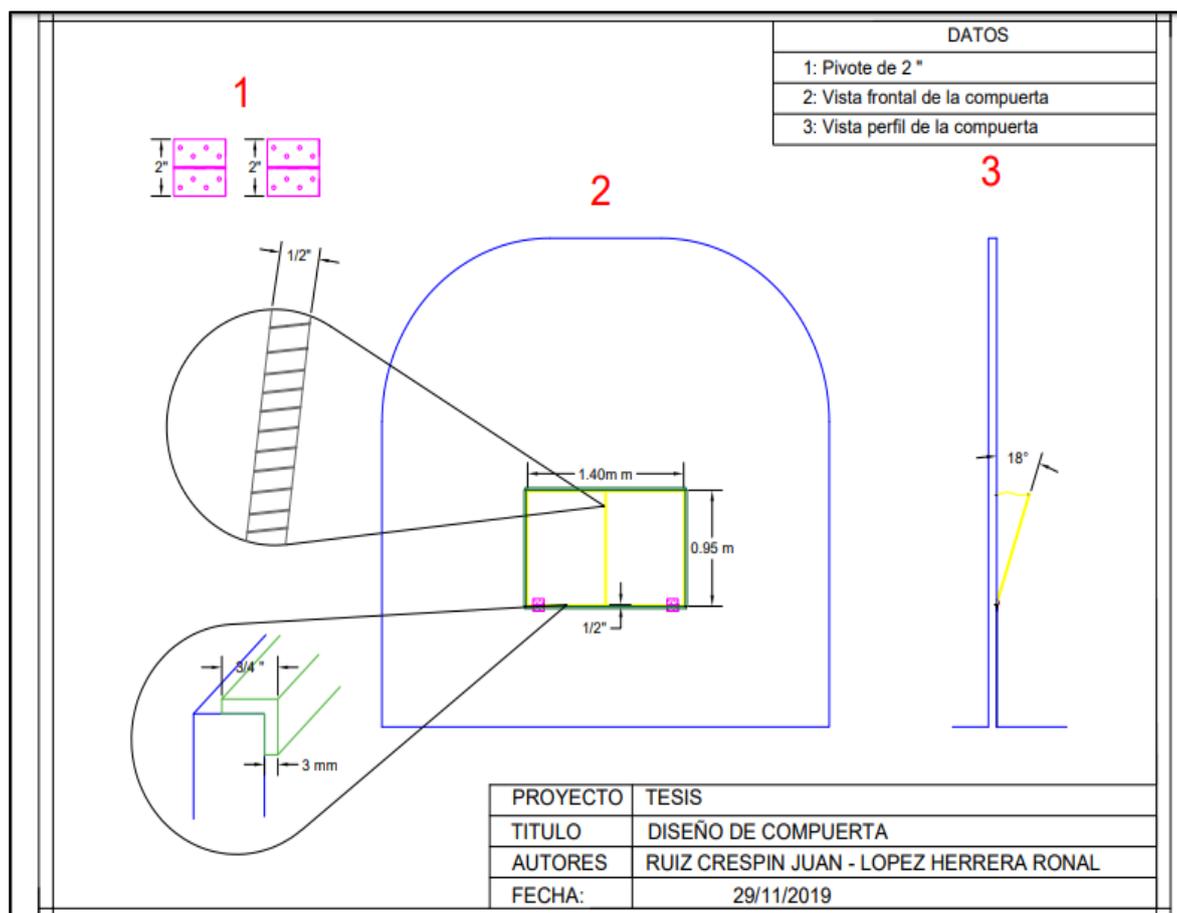


Figura 17. Diseño final de las compuertas.

### Resultados de la construcción de las compuertas.

Compuerta instalada en los cruceros 362E y 352E, costos y recursos usados.

Materiales y recursos	Precio	Unidad	cantidad	Costo
Pivotes para la compuerta	10	USD/u	2	20
Varillas de metal	3.5	USD/m	6	21
Mangas de ventilacion	0	m2	1.5	0
Alambre	3	Kg	1	3
Costo por ayudante	1.2	USD/Hr	24	28.8
Costo por Tres ayudantes	28.8	USD/persona	3	86.4
<b>Total</b>		<b>USD</b>		<b>130.4</b>

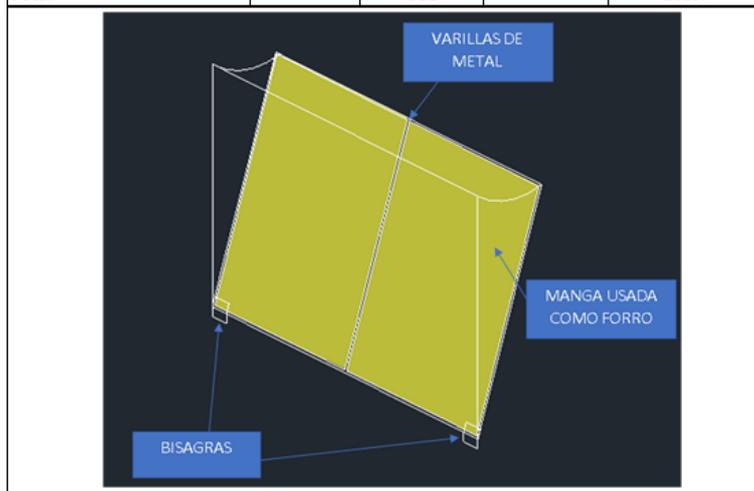


Figura 18. Compuerta instalada Crucero 362E.

Materiales y recursos	Precio	Unidad	cantidad	Costo
Pivotes para la compuerta	10	USD/u	2	20
Varillas de metal	3.5	USD/m	6	21
Mangas de ventilacion	0	m2	1.5	0
Alambre	3	Kg	1	3
Costo por ayudante	1.2	USD/Hr	24	28.8
Costo por Tres ayudantes	28.8	USD/persona	3	86.4
<b>Total</b>		<b>USD</b>		<b>130.4</b>

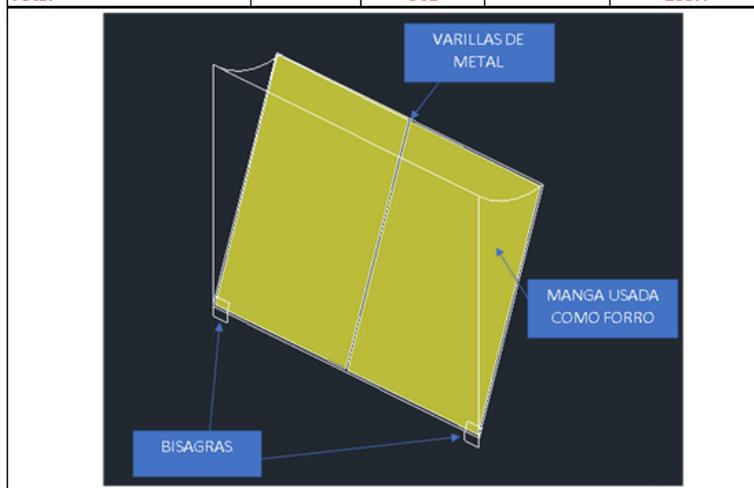


Figura 19. Compuerta instalada Crucero 352E.

Vista de perfil de las compuertas instaladas, con un ángulo de  $18^\circ$  adaptado con un sujetador para mantener dicho ángulo.

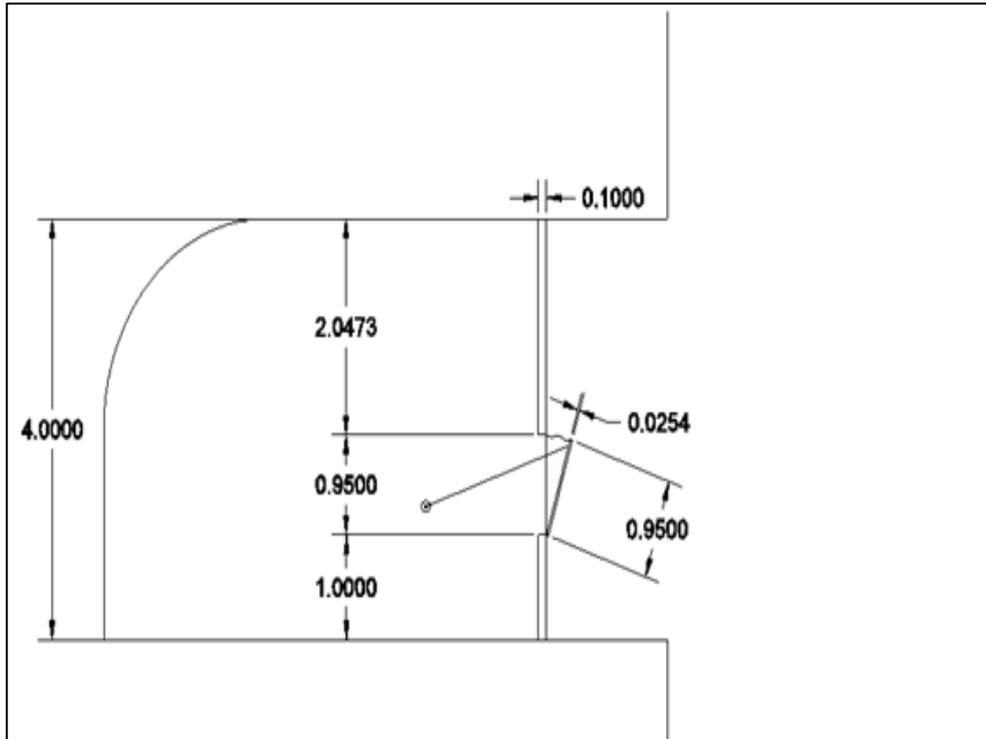


Figura 20. Vista perfil de la compuerta instalada.

Vista frontal de las compuertas instaladas, con un área de 1.349 metros cuadrados.

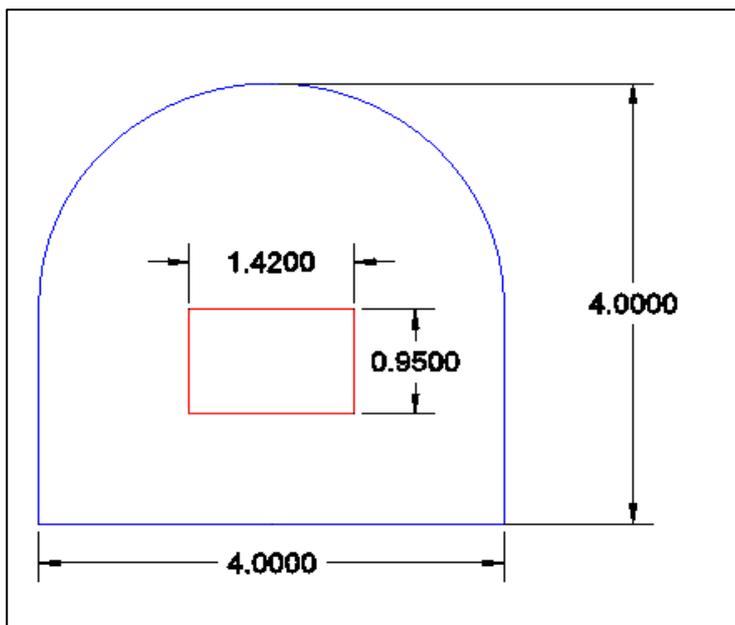


Figura 21. Vista frontal de la compuerta instalada.

**Resultados de contrastación en la reducción de humo del sistema de ventilación.**

Contrastación en la concentración de CO<sub>2</sub>, luego de la instalación de las compuertas.

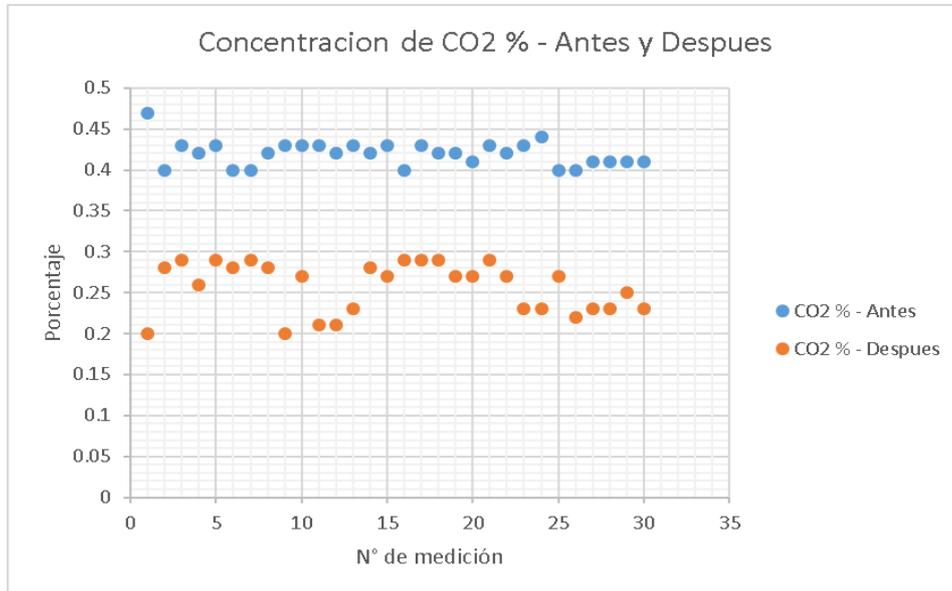


Figura 22. CO<sub>2</sub> - Antes y Después GL334.

Contrastación en la concentración de CO, luego de la instalación de las compuertas.

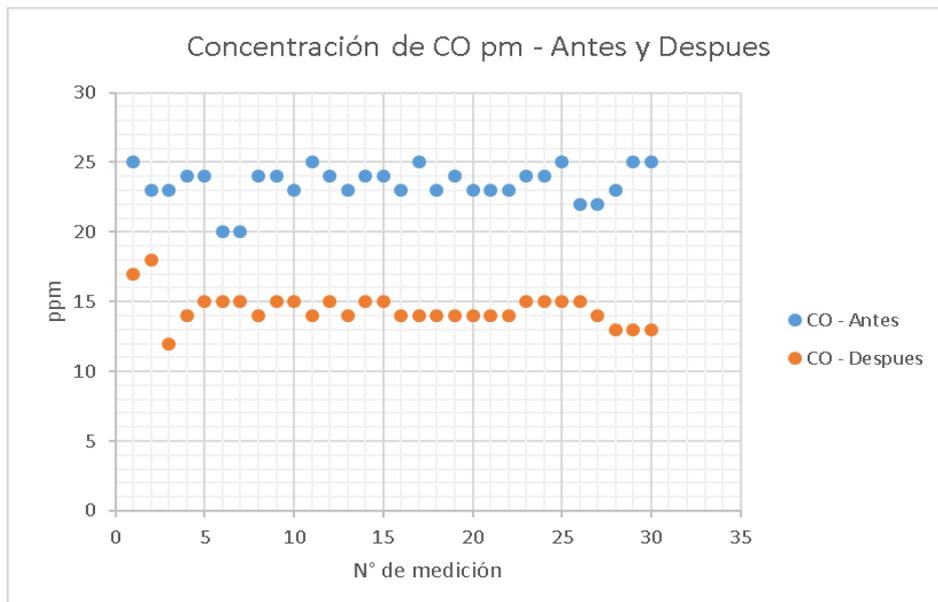


Figura 23. CO - Antes y Después GL334.

Contrastación en la concentración de SO<sub>2</sub>, luego de la instalación de las compuertas.

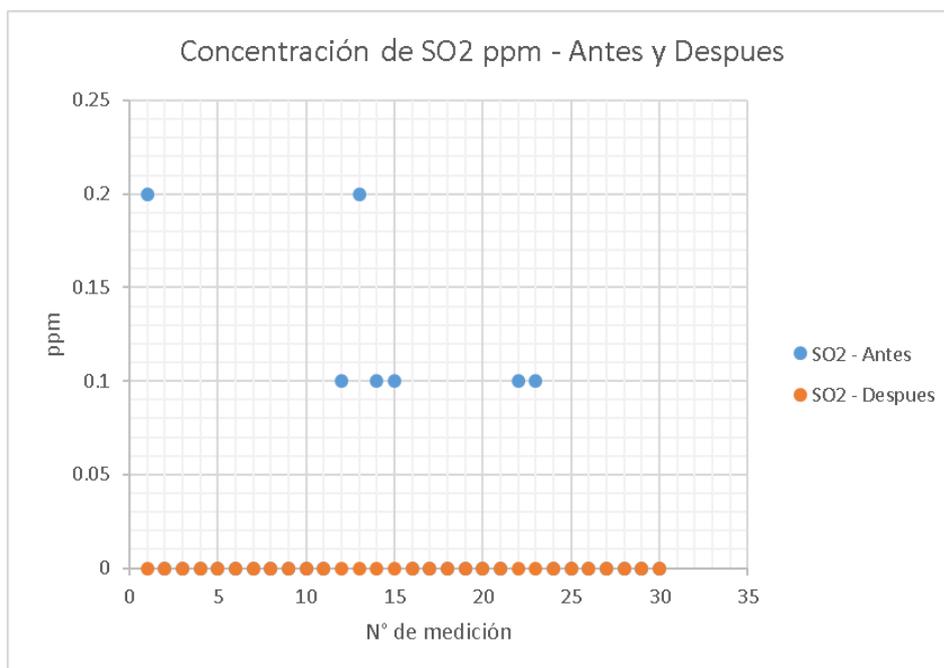


Figura 24. SO<sub>2</sub> - Antes y Después GL334.

Contrastación en la concentración de NO<sub>2</sub>, luego de la instalación de las compuertas.

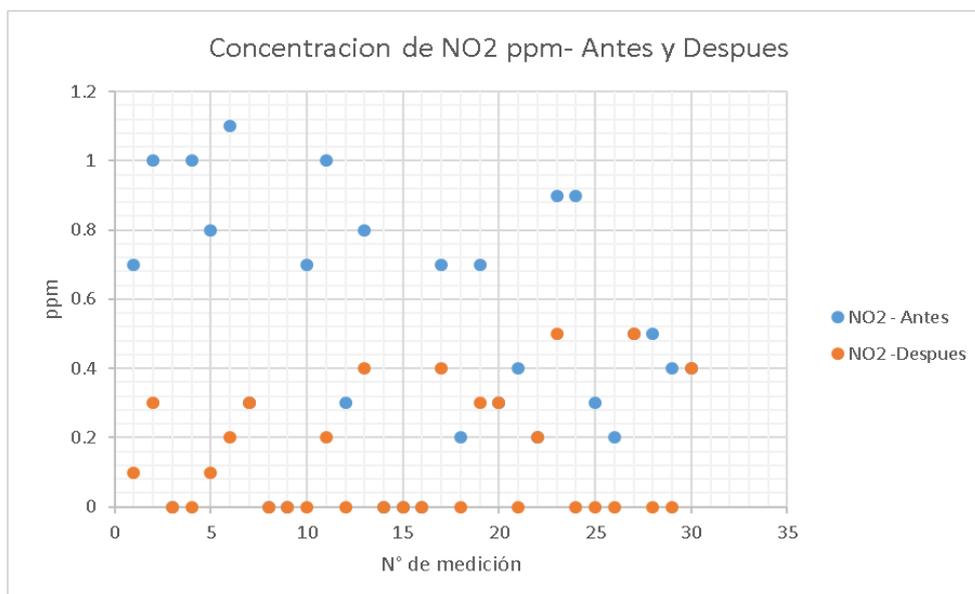


Figura 25. NO<sub>2</sub> - Antes y Después GL334.

Promedio en la concentración de gases antes y después, la cual presenta una desviación estándar de 0.015 y Error típico de 0.003, así mismo una reducción evidente luego de implementar las compuertas.

Tabla 11

*Resumen de la contrastación en la reducción de humo – GL334*

	Media - Antes	Media - Después	Porcentaje de reducción
CO2 (%)	0,420	0,257	38,8%
CO (ppm)	23,467	14,467	38,4%
SO2 (ppm)	0,030	0,000	99,7%
NO2 (ppm)	0,477	0,144	70,6%

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

En la **Tabla 6** se muestra los niveles de explotación de la mina, teniendo un total 8 niveles principales, de las cuales solo 3 se encuentran activas, por lo que son los únicos niveles donde se genera el humo que contamina el ambiente laboral, por su parte (De Souza & Archibald, 2002), el sistema de ventilación donde se desarrolla su investigación, solo cuenta con un nivel de explotación el cual está en actividad todos los días, haciendo que el control de los parámetros de ventilación sea más fácil y llevando a la implementación de su sistema a 7% de reducción a la resistencia del aire, todo esto lo confirma, ( ETSIM, 2007), quien dice que una mina se vuelve más compleja de estudiarla y trabajarla a medida que uno profundiza en ella, es por eso que este estudio tuvo resultados tan positivos, debido a la falta de niveles. Por otro lado, la **Tabla 7** muestra que en la mina mecanizada se emplea 15 máquinas, de las cuales las que presentan mayor potencia en su motor son los camiones AD30 y los LHD, emitiendo estos dos tipos la mayor cantidad de humo al sistema de ventilación en total el 99 % del humo presenta durante las operaciones, (Gutiérrez, 2010) en su investigación solo se diagnostica la presencia en un tipo de maquinaria, se trata del LHD de 7 yd<sup>3</sup>, en secciones máximas de 4\*6, secciones y variedad de maquinaria diferentes al entorno de la mina mecanizada obteniendo el resultado en un ahorro energético de los ventiladores, resultado que difiere del de ésta, debido a la diferencia de maquinaria y tamaño de la labor, reafirmando lo que menciona (ETSIM, 2007), quien dice que las máquinas a diésel de mayor potencia, representan una

problemática en el área de ventilación de cualquier mina subterránea, debido a la cantidad de humo que estos generan, contrastando con el proyecto de (Gutiérrez, 2010), donde se usa solamente un LHD de 7 yd<sup>3</sup>, la presente tesis contempla el uso de 4 maquinarias de gran potencia, funcionando con un motor diésel, motivo de la saturación de humo.

La *Figura 14.* muestra la forma en que los humos son evacuados de la mina mecanizada, teniendo como resultado un sistema recirculante y en **Tabla 8**, muestra el flujo de aire que genera cada ventilador, además en la *Figura 15.* y *Figura 16.* nos muestra las dimensiones y la forma de los cruceros, por su parte (Reinoso, 2017), establece en su estudio que el sistema de ventilación de la empresa Nueva Rojas CIA. Emplea 7 chimeneas principales secundarias para evacuar todo el aire viciado producido por sus operaciones, usando también la ventilación natural para abastecer a sus labores de aire fresco, además que contar con 4 subniveles de explotación llegando a los 300 metros de profundidad. obteniendo como resultado diseño eficiente en la evacuación de humos, debido a lo que menciona (Malcon & McPherson, 2018) quien dice que la ventilación natural es mucho mejor a la mecánica, sin embargo, existe mayor variación debido a la época del año en que se encuentra realizando la actividad minera.

Por ultimo en la **Tabla 9** muestra el número de ventiladores y las características que estas presentan, 3 ventiladores de 100 Hp y 1 de 60 Hp, generando un caudal de 127800 m<sup>3</sup> en el de 60 Hp y 156800 en los de 100 hp, del mismo modo ( Takla, Král & Taufer, 2002) en su investigación establece la presencia de 12 ventiladores desde 10 HP hasta 250 HP en labores de 5\*5 que cumple el rol de suministrar aire limpio a sus labores diferenciándose con el sistema de ventilación en la mina mecanizada, que

solo cuenta con 4 ventiladores en labores de 4\*4. Y obteniendo resultados muy alejados a los de esta tesis, reafirmando lo que dice (Malcon & McPherson, 2018), quien enfatiza que el número de ventiladores juega un papel muy importante al momento de suministrar aire limpio y evacuar humos en minería subterránea.

En la (*Ecuación 20*), (*Ecuación 21*) & **Tabla 10** se muestra, el modelo matemático, las dimensiones ideales y la inclinación adecuada para la compuerta, Largo = 1.42m, ancho = 0.95 m e inclinación de 18 ° a 25° que arrojo el modelo matemático:  $A = 1.5 * x^2$ ;  $\theta = 2(2\pi n + \pi)$ ,  $n \in \mathbf{Z}$ , así confirmando las teórica de modelo matemático (Bocco, 2010) quien menciona que esta es una representación analítica de elementos de importancia, para luego ordenarlos y presentarlos. Por su parte(Espinoza, 2014) en su estudio para la mejora de la ventilación en la empresa Cobriza, la implementación de ducto reducción de 48” a 40” de lona en una distancia de 8m se hizo sin el uso de ningún modelo matemático, solamente con antecedentes de trabajos en minas anteriores y el uso de muchas pruebas de laboratorio, del mismo modo (Tasilla, 2018) en su investigación establece una variación de resultados de 2.0% a 5.2% con respecto al estudio basado en el software VENTSIM y a los resultados obtenidos en campo, existiendo un gran diferencia con los resultados obtenidos para el diseño de las compuertas.

La presente tesis no hace uso de software, si no, el uso de un modelo matemático que acopla la mayor parte de detalles para obtener resultados satisfactorios, en este caso la evidencia de reducción de humo en las labores. Por su parte (Sutty, 2016) en los resultados donde muestra la instalación de dos ventiladores 25000 cfm y 15000 cfm a 3.5m de la base de la sección de 4\*4, este autor lo hace sin el uso de modelos matemáticos ni software, por su parte realiza esta investigación de forma básica

experimental y que los resultados se obtuvieron a base la prueba y error con datos obtenidos en campo donde el nivel de investigación es netamente descriptivo. Todo esto es abalado por (Bocco, 2010) quien menciona que los modelos matemáticos requieren menos tiempo y es menos caro que experimentar con el objeto o la situación real, permiten una identificación rápida de las expectativas esperadas y reducen los riesgos asociados con la experimentación real.

En la *Figura 17.* muestra las dimensiones fijas, la posición y la forma en cómo debe ir instalada las compuertas 1.40 \* 0.95 m y una inclinación de 18 °, así como también los materiales a emplear, todo esto dibujado en el software AutoCAD 2016, por su parte (Caxi, 2017) tiene como resultado para la mejora del sistema de ventilación de la minera SOTRAMI S.A. la implementación de una compuerta de 20 m de largo por 4 alto para delimitar el flujo de aire, debido a la cantidad de caudal que fluye por su sistema de ventilación con un superávit de 333% de aire, en comparación a las compuertas diseñadas en el sistema de ventilación de la mina mecanizada que son mucho más grandes y controlan mayor flujo de aire, esto lo reafirma (Malcom & McPherson, 2018), quien menciona que entre más grande sea la sección mayor flujo de aire va a tener y más fácil va a ser su ventilación, así como la necesidad de ventiladores de gran capacidad para abastecer al sistema de ventilación.

En la *Figura 18. & Figura 19.* muestra las compuertas instaladas, el material y los recursos que se usó, haciendo énfasis en el costo de la implementación de 130.4 USD por compuerta, por su parte (Vergaray, 2016) en su investigación para la optimización del sistema de ventilación para la compañía minera “La Poderosa” tiene como costo de implementación de 18500 USD y costo energético anual de 34 435 USD, del mismo modo (Carabajo, 2015) en su investigación para el diseño del

circuito de ventilación de la zona norte de la mina cabo de hornos tuvo como resultado un costo de inversión a corto plazo de 146 569,60 USD y 717 704,93 USD en inversión de equipos e infraestructura. Este resultado reafirma lo que menciona (Pimentel, 2008), quien dice que entre mayor sea el proyecto, mayor inversión se necesitara, así como también mayores los beneficios, la presente tesis se basa en un inversión relativamente pequeña, menor riesgo y buen beneficio.

Por su parte Gonzales, Kerguelen & Jiménez (2018) en su trabajo para mejora del sistema de ventilación principal de una operación minera subterránea, logro reducir el costo operativo en más del 60%, dando un margen de ahorro de más de US\$ 200 000 anuales, contrastando con los resultados en el tema económico. Las compuertas implementadas en esta tesis representan un costo relativamente bajo en comparación con los resultados de los antecedentes, además no representa un ahorro ni reducción de costo operativo. Debido a la simplicidad en su ejecución e implementación, esto lo confirma (Pimentel, 2008), quien dice que un buen proyecto es aquel que no necesita de mucha inversión, y representa un mayor beneficio, en este caso el beneficio de esta tesis es brindar a los trabajadores y maquinarias un ambiente labores agradable, y porque la naturaleza de la misma es que no se obtuvieron ningún tipo de margen de ahorro operativo.

En la *Figura 20.* & *Figura 21.* muestra la posición final de las compuertas con una duración de construcción de 24 horas de trabajo en total 3 turnos de 8 horas cada uno, por su parte ( Calizaya, Karmawan & Wallace, 2002) en su trabajo para la implementación de extractores tuvo una duración de 5 días (40 horas labores, 8 horas por turno) paralizando cualquier tipo de actividad de producción hasta finalizar con el proyecto, diferenciado así de la construcción de las compuertas en la mina

mecanizada, donde las operaciones no se paralizaron para la implementación de la compuerta debido a la simplicidad de la misma, teniendo como resultado un rápida implementación en comparación al otro proyecto. Reafirmando lo que menciona (Pimentel, 2008), quien dice que la simplicidad de ejecución representa un mayor beneficio para cualquier proyecto de inversión, es por esa razón que la presente tesis tuvo mejores resultados en comparación al trabajo de (Calizaya, Karmawan & Wallace, 2002)

En la *Figura 22.*, *Figura 23.*, *Figura 24.*, *Figura 25.*, muestra las mediciones con respecto a la concentración de gases en la GAL334 (CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>), en la **Tabla 11** muestra el porcentaje de reducción de gases (38.8%, 38.4%, 99.7% y 70.6%) respectivamente, por su parte (Janampa, 2018) en su trabajo para la mejora del sistema de ventilación de la mina COLQUIJIRCA tuvo como resultado una disminución de Co de 25 a 20.8 ppm, Co<sub>2</sub> de 0.10 a 0.04 % y de No<sub>2</sub> de 0.11 a 0.1 ppm. Acercándose bastante a nuestros resultados, sin embargo, no considerante al SO<sub>2</sub> en su investigación, debido a que el método de explotación que se emplea es el de Sublevel Stopping, en comparación con la presente de tesis que explota con del método de taladros largos y el uso de Trackless. Es por esa razón que los resultados son similares, reafirmando lo que menciona (Reyes, 2005) quien dice que todos los métodos de explotación, requieren de maquinaria y equipos con el mismo propósito, y por ende generando los mismos problemas en el ámbito de la ventilación si se diera el caso de maquinaria a diésel, además las labores y secciones se asemejan mucho a de la presente tesis, es por eso que existe una similitud en los resultados de reducción de humo. Por otro lado (Agama, 2016) en su investigación para la optimización en mina subterránea carbonífera MI GRIMALDINA tuvo como resultado un promedio

de partículas en suspensión de 9.61 ug/m<sup>3</sup>, dióxido de azufre 3.36 ug/m<sup>3</sup>, monóxido de carbono de 1024.66 ug/m<sup>3</sup> y dióxido de nitrógeno de 54.41 ug/m<sup>3</sup>, omitiendo también el monitoreo del SO<sub>2</sub> y agregando el estudio y monitoreo de partículas en suspensión, monitoreo que no contemple la presente tesis, del mismo modo (Sánchez, 2017) en su investigación para la mejora del circuito de ventilación del nivel 4230 de la unidad minera HUACHOCOLPA, tuvo como resultados , una cobertura de 121% de aire limpio, además de reducir en 10 el número de ventiladores, ahorrando 30 307.07 \$/mes, con un costo total de US \$ 901 468.17 y tiempo de ejecución de 6 meses. Y mostrando una reducción del 20 % de Co y 30 % el Co<sub>2</sub>, contrastando con nuestros resultados en lo que respecta a las concentraciones de gases, solamente se monitoria el CO y CO<sub>2</sub>, omitiendo el SO<sub>2</sub> y el NO<sub>2</sub>. Por su parte (M. Romero, 2014) en su trabajo para el mejoramiento de la ventilación para la MINA “EL MARACAIBO” hace énfasis en el estudio de la presencia del gas metano CH<sub>4</sub> teniendo como resultados la implementación de un tablero de control de gases, debido a la existencia de un riesgo elevado, en comparación con los gases que se monitores en la presente tesis, como son el CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>., ninguno de los resultados de los antecedentes antes mencionados, hacen el monitoreo de los 4 gases que se analiza en este proyecto debido a que no todas las minas son iguales, reafirmando lo que mencionan (Gavilanes & Haro, 2017) autores que concuerdan que cada mina es un mundo nuevo que presenta su propias características y peculiaridades, debido a esto que es que en algunas minas no se hizo el control de ciertos gases y se omitió el monitoreo de aspectos relacionados a la ventilación como son las partículas en suspensión, así como agregar al monitoreo gases como SO<sub>2</sub> y el CH<sub>4</sub>.

## 4.2 Conclusiones

Se diagnosticó el sistema de ventilación de la mina mecanizada, y se llegó a la conclusión de que existía una elevada concentración de CO llegando a puntos de hasta (25 ppm) en el nivel 334 producto de la combustión interna de la maquinaria a diésel, la mayor parte proveniente de los camiones AD30 y LHD, tomando como referencia los límites máximos permisibles, además se concluyó que el sistema de ventilación es recirculante debido a que el humo procedente en los niveles superiores afecta a los niveles inferiores.

Se generó el modelo matemático para el diseño las compuertas, y se concluyó con dimensiones adecuadas a las características de presión y comportamiento de los fluidos (1.42 m de largo y 0.95 m de ancho), además de establecer una inclinación adecuada para el evitar el reingreso o recirculación del humo ( $18^{\circ}$ - $25^{\circ}$ ).

Se construyó las compuertas, en los cruceros que conectan las galerías con la chimenea, de los niveles 362 y 352, y se llegó a conclusión de que el costo de implementación por compuerta es de 130.4 USD, en total 260.8 USD para la construcción e implementación de las dos compuertas en un periodo de 24 horas de trabajo, 3 turno de 8 horas cada uno.

Se contrastó la concentración de humo antes y después de la implementación las compuertas, con una reducción de (38.8% de CO<sub>2</sub>, 38.4% de CO, 99.7% de SO<sub>2</sub> y 70.6% de NO<sub>2</sub>), concluyendo así que la implementación de las compuertas redujo el humo del sistema de ventilación en la mina mecanizada, Nicaragua, 2018.

## REFERENCIAS

- Agúero H. & Alvarez H. (2012). Influencia de la ventilación natural y mecánica en el diseño del sistema de ventilación de las galerías-del Nivel 1950 mina Calpa-Arequipa (tesis pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica. Perú
- Aponte E. (2014). Modificación e implementación del sistema de ventilación de la unidad minera cobriza zona norte (área coris) (tesis pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima. Perú
- Baltazar R. (2016). Influencia de los ventiladores en el sistema ventilación de la mina Kazán de la compañía minera Paraíso. Universidad Nacional del Centro del Perú. Recuperado de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4592>
- Bocco M. (2010). Funciones elementales para construir modelos matemáticos. Colección: Las ciencias naturales y la matemática. Argentina. Recuperado de <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL001843.pdf>
- Borja F. & Pineda J. (2015). Recirculación del aire en minas. Universidad central de Ecuador. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/273053574/Recirculacion-de-Aire>
- BBC. (2014, mayo, 14). Turquía: confirman 151 muertos en explosión en mina. BBC News. Recuperado de <https://www.bbc.com>
- Calizaya F., Karmawan k. & Wallace K. (2012). Utilization of heater fans to control mine atmospherie fogging. *Swets Zeitlinger*. Recuperado de <https://books.google.com.pe/>

- Castillo R. (2017). Evaluación del sistema de ventilación de la mina el Roble (tesis pregrado). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Boyacá. Colombia
- Carabajo C. (2015). Diseño del circuito de ventilación de la zona norte de la mina Cabo de Hornos, ubicada en el distrito aurífero - polimetálico Portovelo – Zaruma (tesis pregrado). Universidad Central del Ecuador. Quito. Ecuador.
- Carrascal A. & Manzur A. (2014). Evaluación y propuesta del mejoramiento de la ventilación para la mina El Maracaibo municipio de Samacá (tesis pregrado). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Boyacá. Colombia
- Caxi Y. (2017). Estudio de ventilación e implementación de mejoras en el circuito de ventilación de Minera Sotrami S.A. UEA Santa Filomena- Aplicando el Software Ventsin (tesis pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa. Perú.
- Cotecno S. (2015). Cálculo de chimenea de evacuación de humos. *Consulting Tecni*. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es>
- Decreto 1886. Ministerio de Minas y Energía. Bogotá. Colombia. 21 de septiembre de 2015.
- Decreto Supremo N° 015-2005-SA. Ministerio de Salud. Lima. Perú. 6 de julio de 2005.
- Decreto Supremo N° 023-2017-EM. Ministerio de Energía y Minas. Lima. Perú. 15 de agosto de 2017.
- De la Cuadra I. (1974). Curso de Laboreo de Minas. Universidad Politécnica de Madrid. ISBN 84-600-6254-6. Madrid. España

- De Souza E. & Archibald J. (2012). Reduction airflow resistance characteristics with thim spray-on liners. *A.A. Balkema Publishers*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/395167383/Book>
- Díaz, R. (1993). Colección de términos técnicos y vocablos propios de los trabajadores que laboran en la mina el teniente. Recuperado de <http://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-10252.html>
- Fidias G. (1999) El proyecto de investigación guía para su elaboración. Editorial Epistememorial Ediciones. Recuperado de <https://ebevidencia.com/wp-content/uploads/2014/12/EL>
- García E. (2016). Evaluación de la situación actual del sistema de ventilación y propuesta para su optimización en mina subterránea carbonífera Mi Grimaldina I – Cajamarca (tesis pregrado). Universidad Privada del Norte. Cajamarca. Perú
- Gonzáles V., Kerguelen J. & Jiménez J. (2013). Calculo de parámetros determinantes en la preparación de un circuito de ventilación en minería subterránea de carbón usando programación estructurada. *Boletín de Ciencias de la Tierra*. Recuperado de <ps://revistas.unal.edu.co>
- Gutiérrez C. (2010). Recirculación controlada en minería subterránea (tesis pregrado). Universidad de Chile. Santiago. Chile
- Grecesqui E. (2016). Perfeccionamiento del sistema de ventilación del Tramo VI del túnel Hidrotécnico Levisa-Mayarí del trasvase Este-Oeste (tesis pregrado). Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Moa. Cuba
- Janampa J. (2018). Mejoramiento de la ventilación en la mina subterránea-Mina Colquijirca de Minas Buenaventura S.A.A (tesis pregrado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Pasco. Perú

Kerguelen J., González V. & Jiménez J. (2013). Calculo de parámetros determinantes

en la Preparación de un circuito de ventilación En minería subterránea de carbón usando Programación estructurada. Universidad Nacional de Colombia.

Recuperado de

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/36833/45881>

Mott R. & Untener J. (2014) Applied Fluid Mechanics, Editorial Pearson Prentice.

Recuperado de hall. <https://deymerg.files.wordpress.com>

ONU. Declaración Universal de los Derechos Humanos. Art. 23. Paris. Francia. 10 de diciembre de 1948.

Osinergmin. (2018, enero, 25). Dos casos de accidente por gaseamiento. Revista Seguridad Minera. Recuperado de <http://www.revistaseguridadminera.com>

Portilla R. & Velarde B. (2018). Propuesta técnica de mejora del sistema de ventilación principal de una operación minera subterránea polimetálica (tesis pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima. Perú

Raico A. (2018). Evaluación y optimización del sistema de ventilación del túnel de exploración Chaquicocha nivel 3750-minera Yanacocha (tesis pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca. Perú

Reinoso J. (2017). Diseño del sistema de ventilación para la mina Sominur, Sector La Cascada, de la Sociedad Minera Nueva Rojas Cía (tesis pregrado). Universidad Central del Ecuador. Quito. Ecuador

Rueda, R., Toro C. & Zuleta, R. (2012). Optimización del sistema de ventilación en una mina de gran altura, Compañía Minera Raura. Universidad de Utah. Recuperado el de <http://www.ventsim.com/wpcontent>

- Sánchez P. (2017). Proyecto de la chimenea Alimak 081 para la mejora del circuito de ventilación del nivel 4230 de la unidad minera Huachocolpa Uno (tesis pregrado). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho. Perú
- Salvador E. (2015). Manual práctico de ventilación. Recuperado de <https://www.salvadorescoda.com/tecnico>
- Sutty J. (2016). Influencia de la ventilación mecánica, en el diseño del sistema de ventilación del Nivel 4955 Mina Urano Sac-Puno (tesis pregrado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno. Perú
- Takla G., Král V. & Taufer A. (2012). Redesign of the main ventilation of underground collieries with decreasing production. *Swets Zeitlinger*. Recuperado de <https://books.google.com.pe/>
- Troncoso R. (2016). Utilization of heater fans to control mine atmospheric fogging. *Swets Zeitlinger*. Recuperado de <https://books.google.com.pe/>
- Vergaray R. (2016). Optimización del sistema de ventilación de la mina Charito, compañía minera Poderosa S.A (tesis pregrado). Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú
- Yones E. (2012). Ventilación de minas. Serie formación de expertos en prevención de riesgos de la minería extractiva. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co>
- Zitrón (2010). Ventilación de minas. Gijón – España. Recuperado de <https://www.zitron.com/>

## ANEXOS

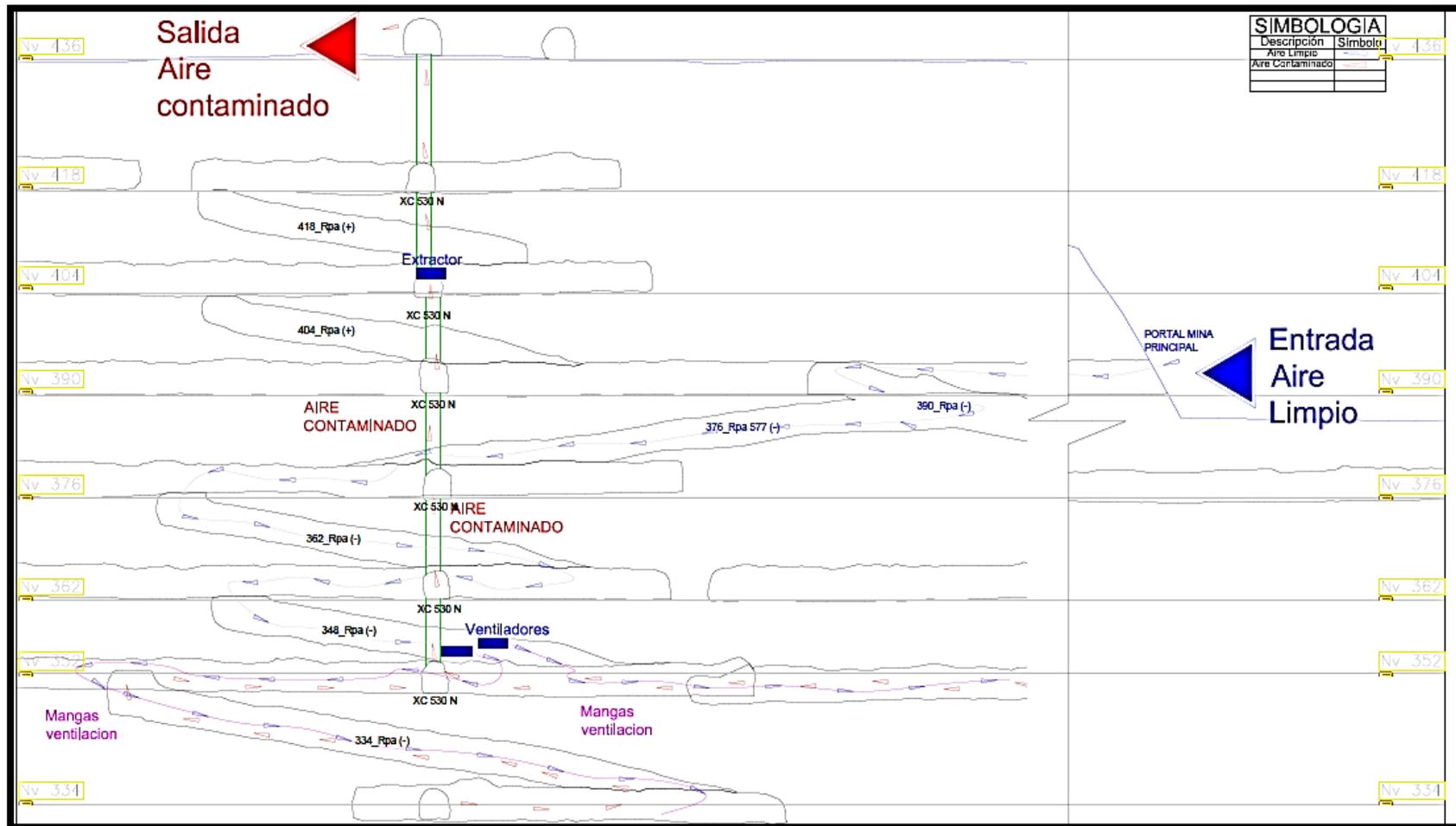
### ANEXO N 1°: Matriz de consistencia

IMPLEMENTACIÓN DE COMPUERTAS CON MODELO MATEMÁTICO PARA REDUCIR HUMO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN MINA MECANIZADA, NICARAGUA, 2018				
PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVO GENERAL	VARIABLE 1	METODOLOGIA
¿La implementación de compuertas con modelo matemático reduce el humo del sistema de ventilación en mina mecanizada, Nicaragua, 2018?	H0: La implementación de compuertas con modelo matemático no reduce el humo del sistema de ventilación en mina mecanizada, Nicaragua, 2018	- Implementación de compuertas con modelo matemático en la reducción de humo del sistema de ventilación en mina mecanizada, Nicaragua, 2018	Implementación de compuertas con modelo matemático	Dónde V1= Compuertas con modelo matemático V2= Reducción de humo del sistema de ventilación en mina mecanizada, Nicaragua, 2018 Investigación pre experimental
	H1: La implementación de compuertas con modelo matemático si reduce el humo del sistema de ventilación en mina mecanizada, Nicaragua, 2018			<i>G O1 X O2</i>
	HIPOTESIS ESPECÍFICAS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLE 2	POBLACIÓN
	- La compuerta diseñada cumple con la función de impedir el reingreso de humo a todas las labores. - La concentración de gases disminuye significativamente. - La fabricación de la compuerta con materiales disponibles en mina es de bajo costo. - Los cálculos para el diseño de la compuerta son los adecuados	- Diagnosticar el sistema de ventilación actual en la mina mecanizada - Generar modelo matemático para el diseño de las compuertas - Construcción de compuertas - Contrastar la reducción de humo en el sistema de ventilación	Reducción de humo	Mina mecanizada
				MUESTRA
				Sistema de ventilación de la mina mecanizada

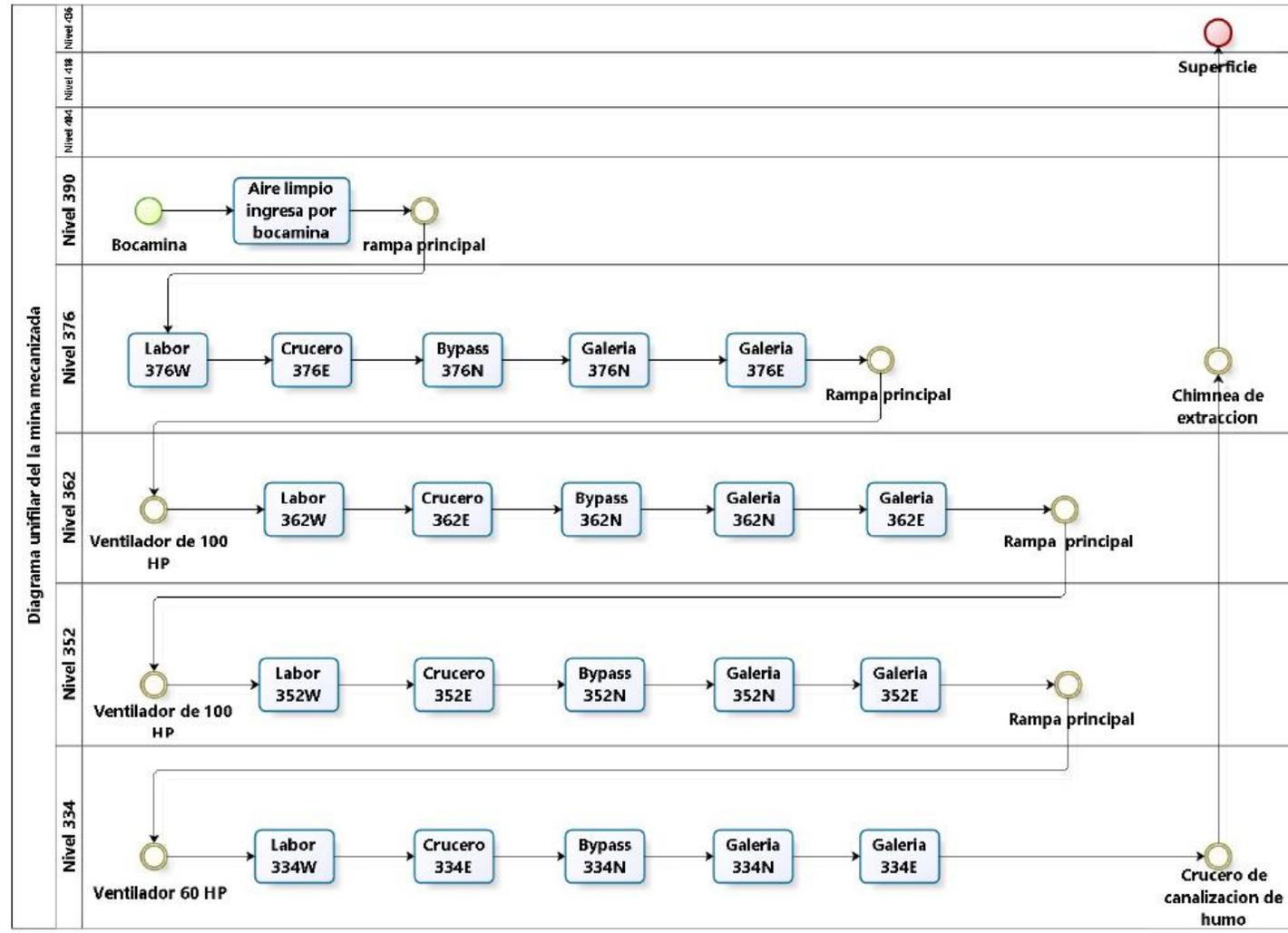
ANEXO N° 2: Operacionalización de Variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>Implementación de compuertas con modelo matemático</b>	Según la RAE, una compuerta es un portón de gruesos tablones, encajado por ambos lados en una ranura a lo largo de la cual puede deslizarse; sirve en los canales o esclusas fluviales para graduar o cortar el paso del agua.	Según el glosario minero, una compuerta minera de ventilación sirve para regular el flujo de aire y humo dentro de una labor.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dimensiones medidas exactas que debe tener las compuertas</li> <li>2. Materiales recursos necesarios para la construcción</li> <li>3. Costos parte económica del proyecto</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>a) Largo</li> <li>b) Ancho</li> <li>c) Inclinación</li> <li>d) USD/compuerta</li> <li>e) Recursos/compuerta</li> </ol>
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>Reducir humo del sistema de ventilación en Mina mecanizada, Nicaragua, 2018.</b>	Según el diccionario de definiciones, recirculación es volver a impulsar la circulación de algo dentro de un mismo circuito o sistema. El aire, el agua y la sangre, por ejemplo, son algunas de las cosas que se pueden hacer recircular.	Según el glosario minero, la recirculación de humo en minería es la puesta en marcha nuevamente del flujo de humo dentro de un sistema de ventilación	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gases Concentración de gases en mina</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>a) PPM</li> <li>b) Porcentaje (%)</li> </ol>

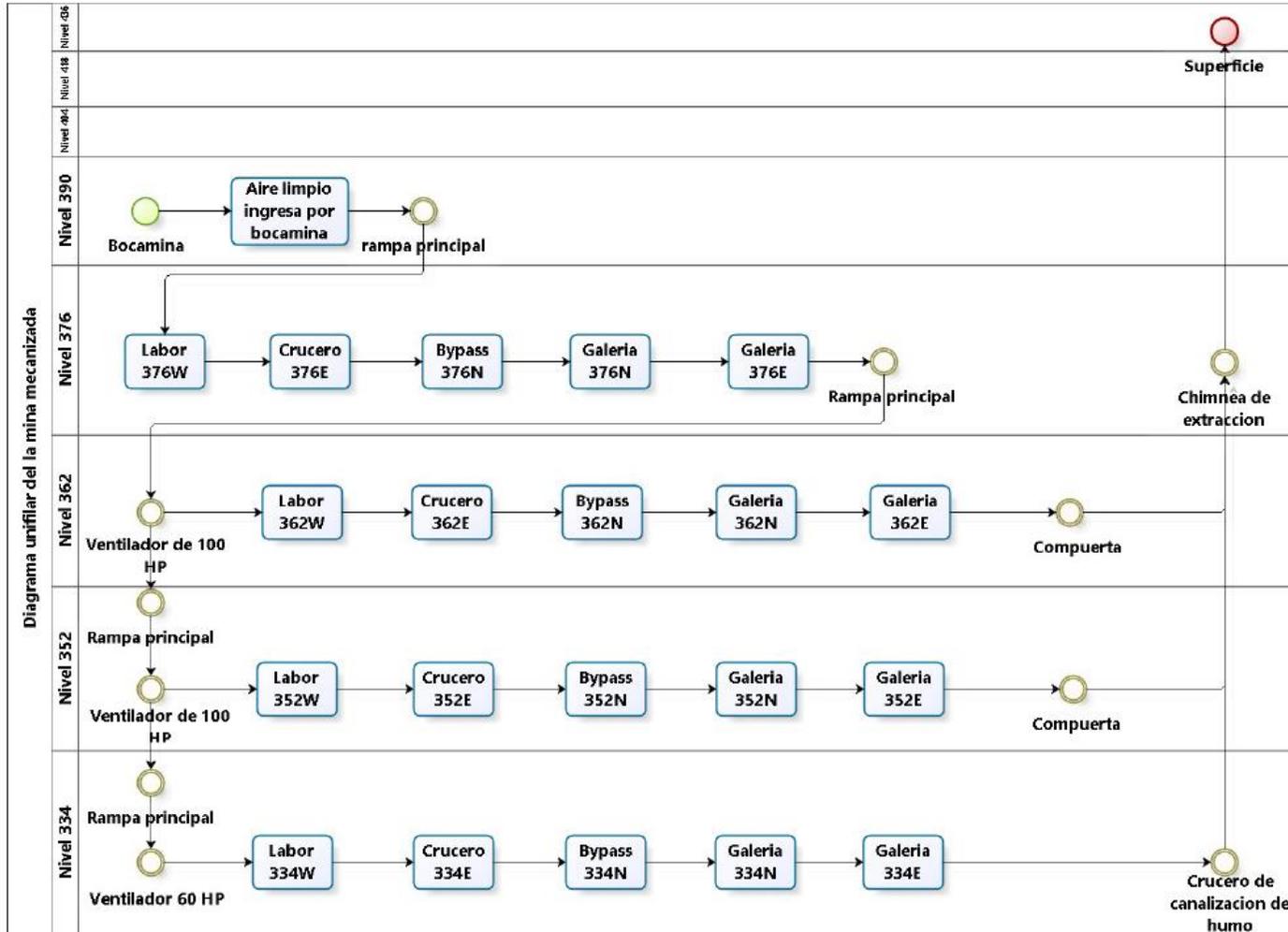
ANEXO N° 3: Sistema de ventilación de la mina mecanizada – Nicaragua. (Fuente: Informe técnico oficial de prácticas pre profesionales)



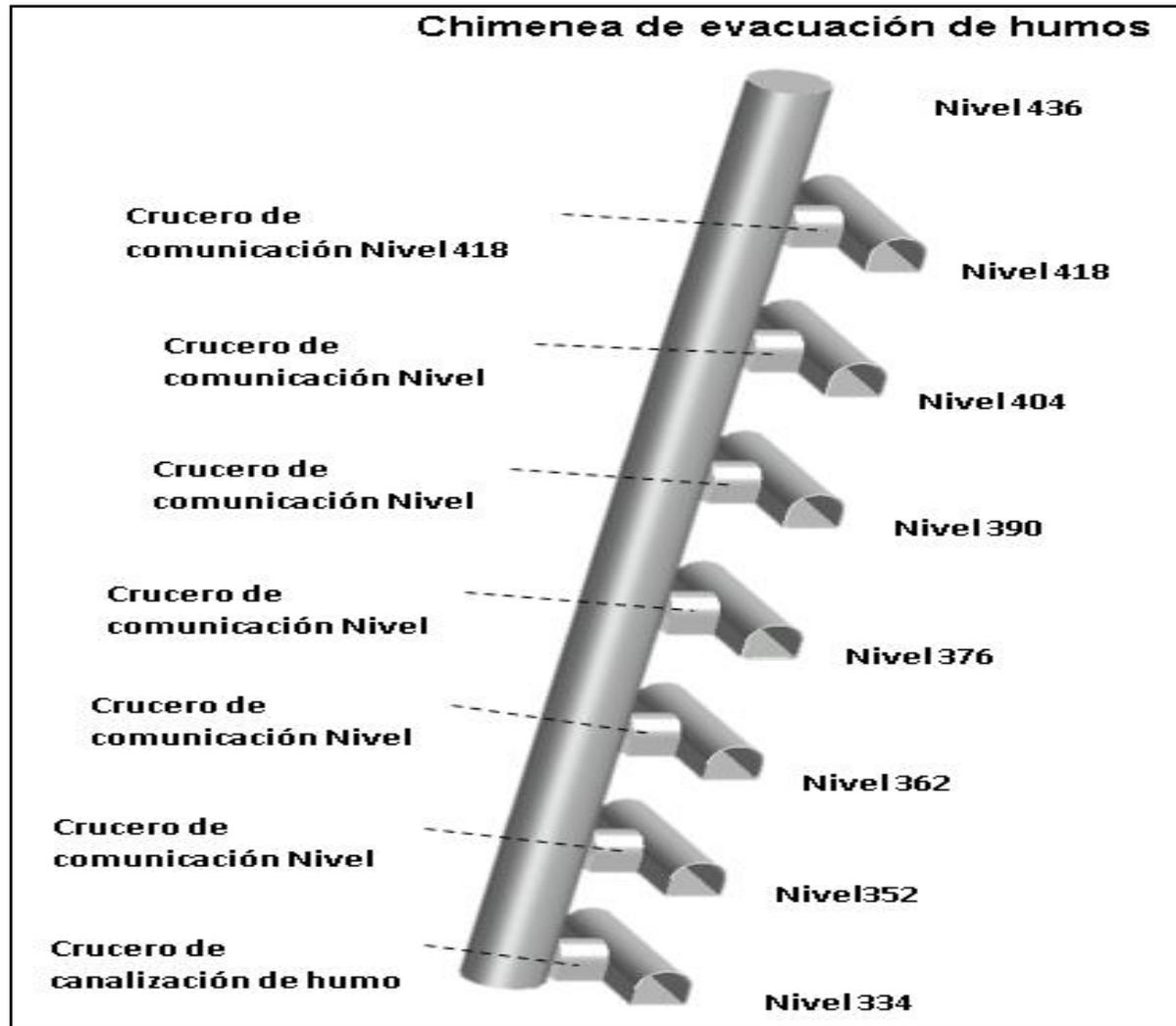
ANEXO N° 4: Diagrama unifilar del sistema de ventilación de la mina subterránea, antes de la implementación de las compuertas. (Fuente: Elaboración propia)



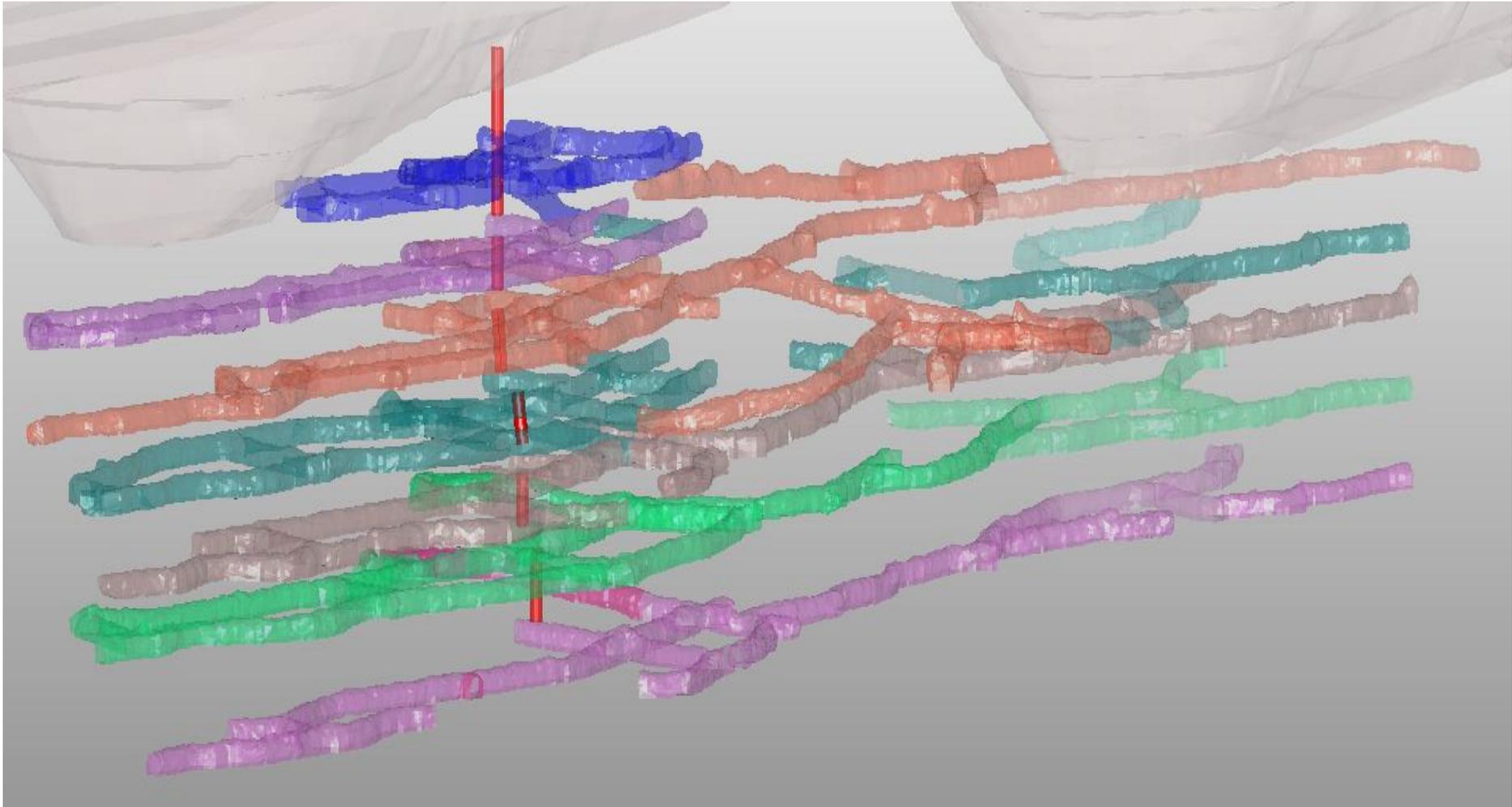
ANEXO N° 5: Diagrama unifilar del sistema de ventilación de la mina subterránea, después de la implementación de las compuertas. (Fuente: Elaboración propia)



ANEXO N° 6: Crucero que conectan las galerías con la chimenea de ventilación, imagen referencial. (Fuente: Elaboración propia)



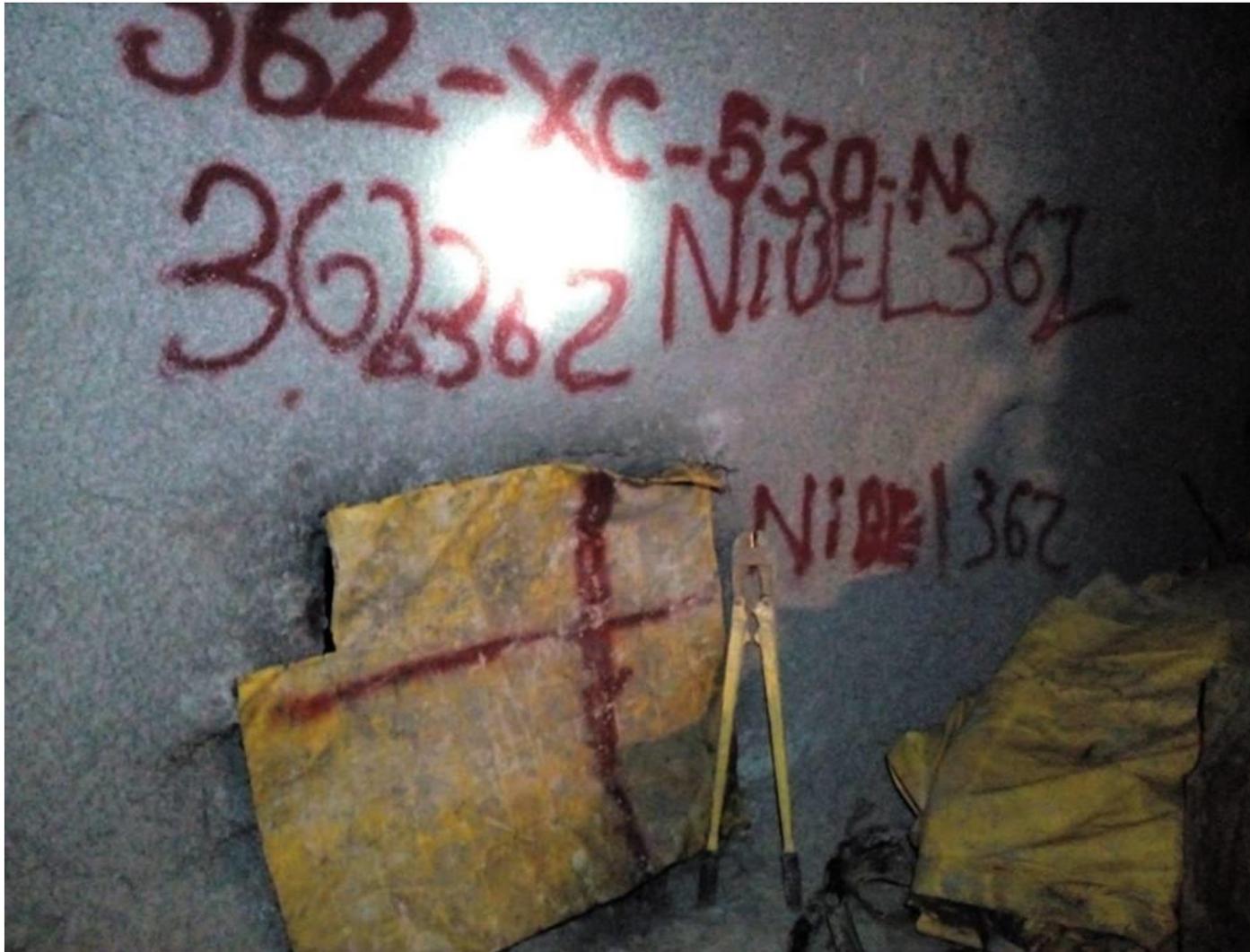
ANEXO N° 7: Vista panorámica de la mina mecanizada, con sus 7 niveles de explotación y su chimenea de extracción. (Fuente: Informe técnico oficial de prácticas pre profesionales)



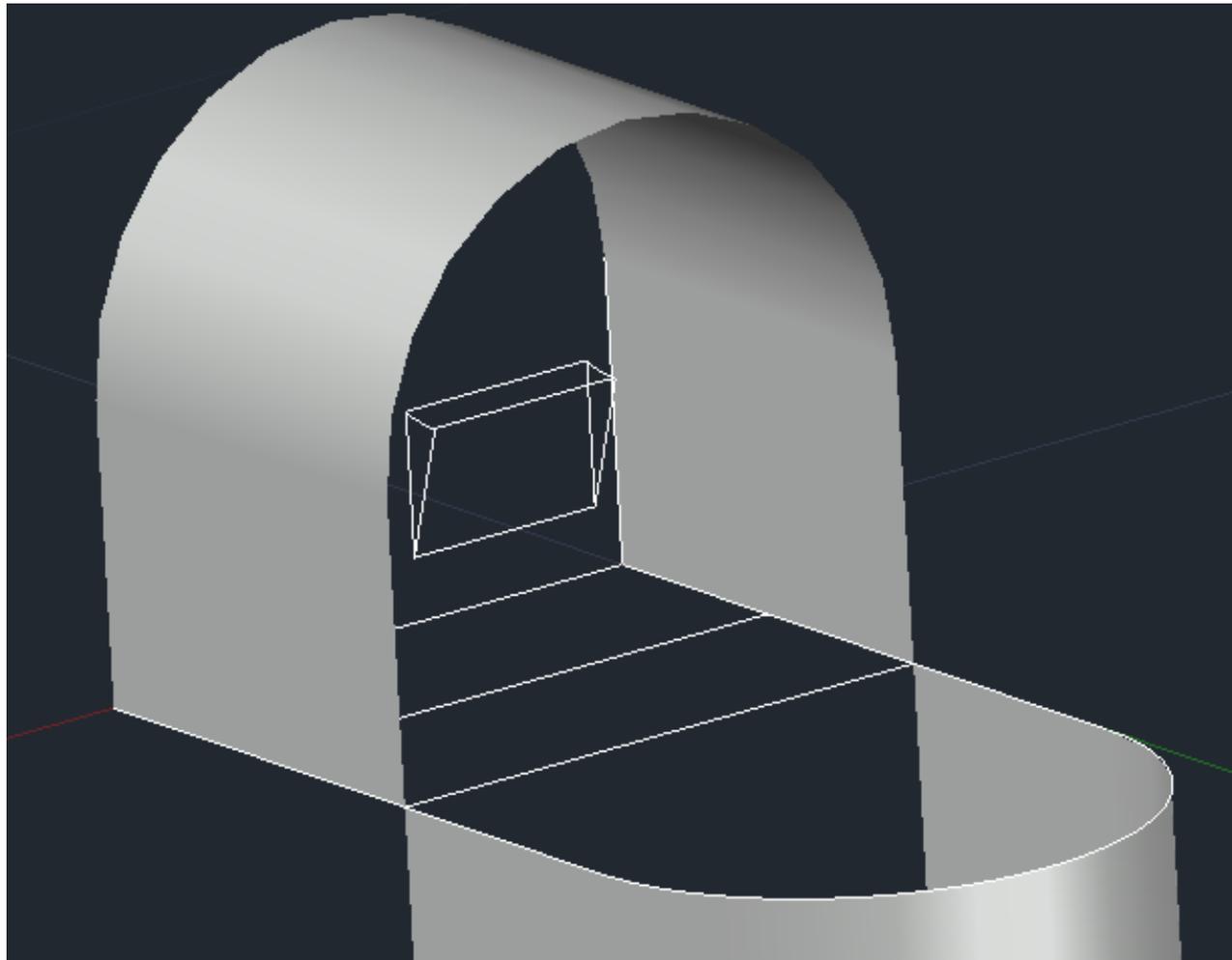
ANEXO N° 8: Mangas de ventilación para la conducción de aire limpio. (Fuente: Informe técnico oficial de prácticas pre profesionales)



ANEXO N° 9: Compuerta de ventilación cerrada en el cruceo 362, antes de la implementación. (Fuente: Informe técnico oficial de prácticas pre profesionales)



ANEXO N° 10: Vista de la compuerta diseñada en AutoCAD-2016. (Fuente: Elaboración propia)



ANEXO N° 11: Rezaga de mineral con un equipo LHD. (Fuente: Informe técnico oficial de prácticas pre profesionales)



ANEXO N° 12: Ventilador axial de 100 Hp, nivel 362. (Fuente: Informe técnico oficial de prácticas pre profesionales)



ANEXO N° 13: Contraste en la medición de gases presentes en mina durante la rezaga – GL334. (Fuente: Elaboración propia)

N° de medición	CO2 (%) - Antes	CO2 (%) - Después	Reducción de CO2	CO (ppm) - Antes	CO (ppm) - Después	Reducción de CO	SO2 (ppm) - Antes	SO2 (ppm) - Después	Reducción de SO2	NO2 (ppm) - Antes	NO2 (ppm) - Después	Reducción de NO2
1	0,47	0,2	57%	25	17	32%	0,2	0	100%	0,7	0,1	86%
2	0,4	0,28	30%	23	18	22%	0	0	0%	1	0,3	70%
3	0,43	0,29	33%	23	12	48%	0	0	0%	0	0	0%
4	0,42	0,26	38%	24	14	42%	0	0	0%	1	0	100%
5	0,43	0,29	33%	24	15	38%	0	0	0%	0,8	0,1	88%
6	0,4	0,28	30%	20	15	25%	0	0	0%	1,1	0,2	82%
7	0,4	0,29	28%	20	15	25%	0	0	0%	0,3	0,3	0%
8	0,42	0,28	33%	24	14	42%	0	0	0%	0	0	0%
9	0,43	0,2	53%	24	15	38%	0	0	0%	0	0	0%
10	0,43	0,27	37%	23	15	35%	0	0	0%	0,7	0	100%
11	0,43	0,21	51%	25	14	44%	0	0	0%	1	0,2	80%
12	0,42	0,21	50%	24	15	38%	0,1	0	100%	0,3	0	100%
13	0,43	0,23	47%	23	14	39%	0,2	0	99%	0,8	0,4	50%
14	0,42	0,28	33%	24	15	38%	0,1	0	100%	0	0	0%
15	0,43	0,27	37%	24	15	38%	0,1	0	100%	0	0	0%
16	0,4	0,29	28%	23	14	39%	0	0	0%	0	0	0%
17	0,43	0,29	33%	25	14	44%	0	0	0%	0,7	0,4	43%
18	0,42	0,29	31%	23	14	39%	0	0	0%	0,2	0	100%
19	0,42	0,27	36%	24	14	42%	0	0	0%	0,7	0,3	57%
20	0,41	0,27	34%	23	14	39%	0	0	0%	0,3	0,3	0%
21	0,43	0,29	33%	23	14	39%	0	0	0%	0,4	0	100%
22	0,42	0,27	36%	23	14	39%	0,1	0	100%	0,2	0,2	0%
23	0,43	0,23	47%	24	15	38%	0,1	0	100%	0,9	0,5	44%
24	0,44	0,23	48%	24	15	38%	0	0	0%	0,9	0	100%
25	0,4	0,27	33%	25	15	40%	0	0	0%	0,3	0	100%
26	0,4	0,22	45%	22	15	32%	0	0	0%	0,2	0	100%
27	0,41	0,23	44%	22	14	36%	0	0	0%	0,5	0,5	0%
28	0,41	0,23	44%	23	13	43%	0	0	0%	0,5	0	100%
29	0,41	0,25	39%	25	13	48%	0	0	0%	0,4	0	100%
30	0,41	0,23	44%	25	13	48%	0	0	0%	0,4	0,4	0%

ANEXO 14°: Resumen estadístico de la toma de muestra. (Fuente: Elaboración propia)

	CO2 % - Antes	CO2 % - Despues	CO - Antes	CO - Despues	SO2 - Antes	SO2 - Despues	NO2 - Antes	NO2 -Despues
<b>Media</b>	0.420	0.257	23.467	14.467	0.030	0.000	0.477	0.140
<b>Error típico</b>	0.003	0.006	0.234	0.208	0.011	0.000	0.065	0.032
<b>Mediana</b>	0.420	0.270	24.000	14.000	0.000	0.000	0.400	0.000
<b>Moda</b>	0.430	0.290	23.000	14.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>Desviación estándar</b>	0.015	0.031	1.279	1.137	0.060	0.000	0.358	0.175
<b>Varianza de la muestra</b>	0.000	0.001	1.637	1.292	0.004	0.000	0.128	0.031
<b>Curtosis</b>	2.464	-1.211	1.928	3.003	2.746	0.000	-1.259	-0.821
<b>Coefficiente de asimetría</b>	0.926	-0.515	-1.191	0.918	1.906	0.000	0.161	0.815
<b>Rango</b>	0.070	0.090	5.000	6.000	0.200	0.000	1.100	0.500
<b>Mínimo</b>	0.400	0.200	20.000	12.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>Máximo</b>	0.470	0.290	25.000	18.000	0.200	0.000	1.100	0.500
<b>Suma</b>	12.600	7.700	704.000	434.000	0.900	0.000	14.300	4.200
<b>Cuenta</b>	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000

ANEXO 15°: Concentración de gases presentes en mina – antes de la construcción de las compuertas. (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 12

*Concentración de gases presentes en mina – antes de la construcción de las compuertas*

N ° de Medición	CO2 (%)	CO ppm	SO2 ppm	NO2 ppm	Lugar
1	0.47	25.00	0.20	0.70	GL334E
2	0.40	23.00	0.00	1.00	GL334E
3	0.43	23.00	0.00	0.00	GL334E
4	0.42	24.00	0.00	1.00	GL334E
5	0.43	24.00	0.00	0.80	GL334E
6	0.40	20.00	0.00	1.10	GL334E
7	0.40	20.00	0.00	0.30	GL334E
8	0.42	24.00	0.00	0.00	GL334E
9	0.43	24.00	0.00	0.00	GL334E
10	0.43	23.00	0.00	0.70	GL334E
11	0.43	25.00	0.00	1.00	GL334E
12	0.42	24.00	0.10	0.30	GL334E
13	0.43	23.00	0.20	0.80	GL334E
14	0.42	24.00	0.10	0.00	GL334E
15	0.43	24.00	0.10	0.00	GL334E
16	0.40	23.00	0.00	0.00	GL334E
17	0.43	25.00	0.00	0.70	GL334E
18	0.42	23.00	0.00	0.20	GL334E
19	0.42	24.00	0.00	0.70	GL334E
20	0.41	23.00	0.00	0.30	GL334E
21	0.43	23.00	0.00	0.40	GL334E
22	0.42	23.00	0.10	0.20	GL334E
23	0.43	24.00	0.10	0.90	GL334E
24	0.44	24.00	0.00	0.90	GL334E
25	0.40	25.00	0.00	0.30	GL334E
26	0.40	22.00	0.00	0.20	GL334E
27	0.41	22.00	0.00	0.50	GL334E
28	0.41	23.00	0.00	0.50	GL334E
29	0.41	25.00	0.00	0.40	GL334E
30	0.41	25.00	0.00	0.40	GL334E