

**PLAN DE VENTILACIÓN PARA LA MINA DE CARBÓN CARBONAPOLES,  
PERTENECIENTE AL CONTRATO DE CONCESIÓN 7241, (SAMACÁ,  
BOYACÁ).**

**MISHELLE RODRIGUEZ GARCIA**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS  
SOGAMOSO - BOYACÁ  
MARZO 2018**

**PLAN DE VENTILACIÓN PARA LA MINA DE CARBÓN CARBONAPOLES,  
PERTENECIENTE AL CONTRATO DE CONCESIÓN 7241, (SAMACÁ,  
BOYACÁ).**

**MISHELLE RODRIGUEZ GARCIA**

*“proyecto de grado, modalidad práctica empresarial, presentado como  
requisito para optar al título de ingeniero en minas”*

**Director:  
JAIME WILLIAM JOJOA  
Ingeniero en minas**

**Coordinador empresa:  
EDWIN MADRIGAL  
Ingeniero de minas**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS  
SOGAMOSO - BOYACÁ  
MARZO 2018**

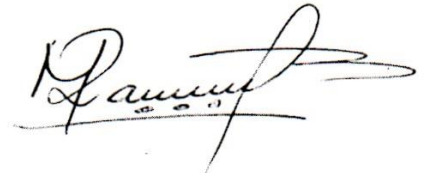
Nota de aceptación

---

---

---

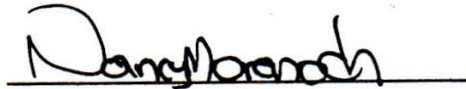
---



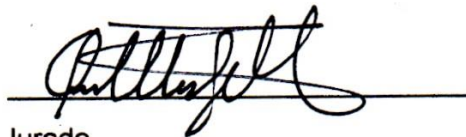
Presidente del Comité Curricular



Director del proyecto



Jurado



Jurado

Sogamoso, Mayo 17 de 2018

“LA AUTORIDAD CIENTÍFICA DE LA SEDE SECCIONAL SOGAMOSO, RESIDE  
EN LA MISMA, POR LO TANO NO RESPONDE DE LAS OPINIONES  
EXPRESADAS EN ESTE PROYECTO”

SE AUTORIZA LA REPRODUCCIÓN INDICANDO SU ORIGEN.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **EMPRESA COOPROCARBON**

**CARLOS ENRIQUE SIERRA**, Ingeniero en minas. Gerente Cooprocabon

**EDWIN MADRIGAL**, Ingeniero en minas. Coordinador empresa

**OSCAR BARRERA**, Ingeniero en minas. Coordinador empresa

**WILLIAM JOJOA**, Ingeniero en minas. Director del proyecto.

### **ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA.**

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	14
OBJETIVOS	15
OBJETIVO GENERAL	15
OBJETIVOS ESPECIFICOS	15
1. GENERALIDADES	16
1.2. LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO	16
1.3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	17
1.3.1. Geología Estructural.	17
1.3.2. Geología del yacimiento.	18
1.4. ESTADO ACTUAL DE LAS LABORES DE LA MINA	18
1.4.1. Labores de Desarrollo	18
1.4.2. Labores de Preparación.	19
1.4.3. Servicios a la mina.	19
2. SISTEMA ACTUAL DE VENTILACIÓN	21
2.1 EVALUACIÓN DE LA VENTILACIÓN	21
2.2 DESCRIPCIÓN Y CONDICIONES DEL CIRCUITO PRINCIPAL DE VENTILACIÓN	22
3. ATMOSFERA DE LA MINA	24
3.1. GASES PRESENTES EN UNA MINA	24
3.2. CONTROLES PARA POLVO DE CARBÓN	26
4. PROYECCIÓN DE LA VENTILACIÓN	27
4.1. CAUDALES REQUERIDOS PARA LA MINA	27
4.2. CALCULO RESISTENCIA Y DEPRESIÓN DE LA MINA	29
4.3. VENTILACIÓN PRINCIPAL PROYECTADA	30
4.3.1. Calculo ventilador principal.	30
4.3.2. Curva de la mina y curva del ventilador.	31
4.4. VENTILACIÓN SECUNDARIA PROYECTADA	32

4.4.1. Caudal Requerido.	32
4.4.2. Cálculos ventiladores secundarios.	32
4.4.3. Distancias requeridas para la instalación de ventiladores auxiliares y ductos.	34
4.4.4. Ubicación ductos y ventiladores secundarios	35
4.5. ACCIONES A REALIZAR PARA LA MEJORA DE LA VENTILACIÓN	37
4.6. ABERTURA EQUIVALENTE	39
5. PROTOCOLOS	40
5.1. PROTOCOLO PARA MEDICIÓN DE GASES BAJO TIERRA	40
5.2. PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE GASES EN FRENTES CON VOLADURA	41
5.3. PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE AFOROS DE VENTILACIÓN	42
5.4. PROTOCOLOS Y PROCEDIMIENTOS PARA EL CHEQUEO Y MANTENIMIENTO DE LOS VENTILADORES	46
5.4.1. Protocolo de operación del ventilador.	46
5.4.2. Protocolo para el mantenimiento de los ventiladores.	47
5.4.3. Protocolo para los ductos de ventilación.	49
5.4.4. Protocolo para la neutralización del polvo de carbón.	49
5.4.5. Protocolo para aislar trabajos abandonados.	50
5.4.6. Protocolo para la suspensión de la ventilación.	51
5.4.7. Protocolo para la activación de la ventilación.	52
5.5. PROTOCOLO PARA EL USO DEL AUTORESCATADOR	52
6. PLAN DE CONTINGENCIA	54
6.1. PLAN DE CONTINGENCIA PARA DERRUMBES	54
6.2. PLAN DE CONTINGENCIA AUSENCIA DE ENERGÍA	56
6.3. PLAN DE CONTINGENCIA FALLA DE LOS VENTILADORES	58
6.4. PLAN DE CONTINGENCIA EN CASO DE INCENDIO SUBTERRÁNEO	60
6.5 PLAN DE CONTINGENCIA EN CASO DE EXPLOSIÓN	62
6.6. PERSONAL DISPONIBLE Y DOTAR DE MATERIALES	63
6.7. FORMACIÓN DEL PERSONAL.	64
6.8 VÍAS DE EVACUACIÓN Y PUNTOS DE ENCUENTRO	65
6.9. MANTENIMIENTO DE EPP	66

CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	68
BIBLIOGRAFÍA	70
ANEXOS	71



## LISTA DE CUADROS

	pág.
<b>Cuadro 1.</b> Coordenadas del polígono del contrato de concesión 7241	16
<b>Cuadro 2.</b> Clasificación de las labores mineras subterráneas de carbón.	22
<b>Cuadro 3.</b> Condiciones operativas de los ventiladores.	23
<b>Cuadro 4.</b> Características de los gases.	24
<b>Cuadro 5.</b> Ubicación de los gases en la mina y forma de medición.	25
<b>Cuadro 6.</b> Cálculos de ventilación mina Carbonapoles.	30
<b>Cuadro 7.</b> Cálculos del ventilador principal.	30
<b>Cuadro 8.</b> Caudal requerido para cada manto de carbón.	32
<b>Cuadro 9.</b> Calculo ventiladores secundarios	33
<b>Cuadro 10.</b> Distancias para ventiladores y ductos	34
<b>Cuadro 11.</b> Cronograma de actividades	38
<b>Cuadro 12.</b> Abertura equivalente	39
<b>Cuadro 13.</b> Protocolo de medición de gases.	40
<b>Cuadro 14.</b> Protocolo de medición de gases en frentes con voladura.	41
<b>Cuadro 15.</b> Protocolo medición de aforos de ventilación.	44
<b>Cuadro 16.</b> Protocolo de operación del ventilador.	46
<b>Cuadro 17.</b> Protocolo para el mantenimiento de los ventiladores.	47
<b>Cuadro 18.</b> Protocolo para el mantenimiento de los ductos de ventilación.	49
<b>Cuadro 19.</b> Protocolo para neutralizar el polvo de carbón.	50
<b>Cuadro 20.</b> Protocolo para aislar trabajos abandonados.	50
<b>Cuadro 21.</b> Protocolo para la suspensión de la ventilación.	51
<b>Cuadro 22.</b> Protocolo para la activación de la ventilación.	52
<b>Cuadro 23.</b> Protocolo para el uso de del autorescatador	53

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Localización Mina Carbonapoles	17
<b>Figura 2.</b> Ventiladores centrífugos de 12 Kw y 5 Kw, en bocamina	23
<b>Figura 3.</b> Resultados CALVENTOM	29
<b>Figura 4.</b> Curva de la mina y del ventilador	31
<b>Figura 5.</b> Distancia para la instalación de ventiladores auxiliares	34
<b>Figura 6.</b> Perfil ducto de ventilación, manto Siete Bancos.	35
<b>Figura 7.</b> Perfil ducto de ventilación, manto La Grande	36
<b>Figura 8.</b> Perfil ducto de ventilación, manto La Grande	37
<b>Figura 9.</b> Libreta de control diario de gases Mina Carbonapoles.	41
<b>Figura 10.</b> Equipo multidetector de gases. (Drager X-am – 5600.)	42
<b>Figura 11.</b> Termohigroanemometro TMA-40A	43
<b>Figura 12.</b> Gráfico de estaciones y tablero de aforos de ventilación.	45
<b>Figura 13.</b> Tableros de control de gases y medición de ventilación.	45
<b>Figura 14.</b> Autorescatador	53
<b>Figura 15.</b> Flujograma para derrumbes.	55
<b>Figura 16.</b> Flujograma para ausencia de energía.	57
<b>Figura 17.</b> Flujograma para fallas de ventiladores.	59
<b>Figura 18.</b> Flujograma para incendios subterráneos.	61
<b>Figura 19.</b> Equipos primeros auxilios.	63
<b>Figura 20.</b> Punto de encuentro.	65

## **LISTA DE PLANOS**

- Plano 1. Plano de labores actuales manto Siete Bancos
- Plano 2. Plano de labores actuales manto La Grande y manto La Tercera
- Plano 3. Plano de labores actuales manto La Grande y manto La Limpia
- Plano 4. Ventilación actual manto 7 Bancos, (simulado en Ventsim)
- Plano 5. Ventilación actual manto La Grande, (simulado en Ventsim)
- Plano 6. Ventilación proyectada mto. 7 Bancos, (simulado en Ventsim)
- Plano 7. Ventilación proyectada mto. La Grande, (simulado en Ventsim)
- Plano 8. Ventilación proyectada mto. La Tercera (simulado en Ventsim)
- Plano 9. Ventilación proyectada mto. Limpia y Ligada (simulado en Ventsim)
- Plano 10. Rutas de evacuación

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO A. Columna estratigráfica

ANEXO B. Aforos de ventilación

ANEXO C. Protocolo control de polvos

ANEXO D. Ficha técnica ventilador principal

ANEXO E. Certificado de calibración - Termohigroanemometro

ANEXO F. Formato lista de chequeo

ANEXO G. Formato para la suspensión de la ventilación.

ANEXO H. Formato para activación de la ventilación.

ANEXO I. Registro de capacitaciones.

ANEXO J. Formato de chequeo de EPP

## **RESUMEN**

En la mina Carbonapoles, con el fin de garantizar un ambiente de trabajo seguro se implementaran los aspectos de ventilación, contemplados en el Decreto 1886 del 21 de septiembre de 2015. Para el desarrollo del plan de ventilación fue necesario evaluar aspectos como el estado de las labores, el sistema actual de ventilación y la atmosfera de la mina, para posteriormente realizar la proyección de ventilación, donde las condiciones de trabajo sean óptimas para el personal.

Para la implementación del circuito de ventilación proyectado es necesario el empleo del equipo y dispositivos seleccionados, apropiados para la ventilación, ya que fueron seleccionados según los parámetros que presenta la mina.

La mejora de la ventilación no solo conlleva la instalación del equipo adecuado, también implica, el desarrollo de los protocolos y mantenimientos para las actividades y los equipos, además de implementar un control de polvos necesario para adecuar los diferentes frentes de la mina.

El documento finaliza con una serie de conclusiones y recomendaciones derivadas del trabajo académico, que tienen como fin guiar al titular minero en la implementación del plan de ventilación.

## **INTRODUCCIÓN**

Dando cumplimiento al título II, capítulo I, artículo 35 del decreto 1886 del 21 de septiembre de 2015 correspondiente a la ventilación en labores minera subterráneas se realiza el plan de ventilación para la mina Carbonapoles, perteneciente al contrato de concesión 7241.

La realización del plan de ventilación preciso conocer y estudiar las condiciones operativas de la mina, además de la ventilación actual, con el fin de proyectar un circuito de ventilación, que logre llevar aire fresco a cada una de las labores activas, de manera que se cumpla con los estándares de ventilación estipulados en el reglamento de seguridad para labores mineras subterráneas.

Este proyecto está enfocado hacia el diseño, cálculo, análisis y proyección del circuito principal y secundario de la mina Carbonapoles, con el objeto de que la mina mantenga una atmosfera respirable, en la cual los gases que se generen sean diluidos y expulsados a través del circuito de ventilación, además de mantener niveles de temperatura y humedad que no afecten la seguridad y la salud del personal que labora.

Para cumplir con los lineamientos dados en el Decreto, el plan de ventilación se complementa con la elaboración de los protocolos para el manejo de equipos y los planes de contingencia en caso de emergencia.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un plan de ventilación para la mina Carbonapoles, con los estándares de ventilación estipulados en el decreto 1886 del 21 de septiembre de 2015, reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Reconocer e identificar las generalidades de la mina
- Diagnosticar el sistema actual de ventilación
- Calcular los caudales requeridos para la mina según las condiciones de operación.
- Establecer protocolos para la realización de mediciones, operación y mantenimiento de equipos.
- Elaborar los planes de respuesta a contingencias.
- Calcular y proyectar la ventilación principal y auxiliar óptima para la mina.

## 1. GENERALIDADES

### 1.2. LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

La Mina Carbonapoles se localiza entre las veredas Loma Redonda del municipio de Samacá y Firita Peña Arriba del municipio de Ráquira, en el centro del departamento de Boyacá en el flanco Occidental de la cordillera oriental, dentro del contrato de concesión 7241 otorgado por el Ministerio de Minas y Energía a la Cooperativa Boyacense de Productores de Carbón de Samacá. La zona de estudio ocupa un área de 761,716 Hectáreas y se halla dentro de la plancha geográfica del I.G.A.C. No. 190 - IV – B – 3, (ver cuadro 1).

**Cuadro 1.** Coordenadas del polígono del contrato de concesión 7241

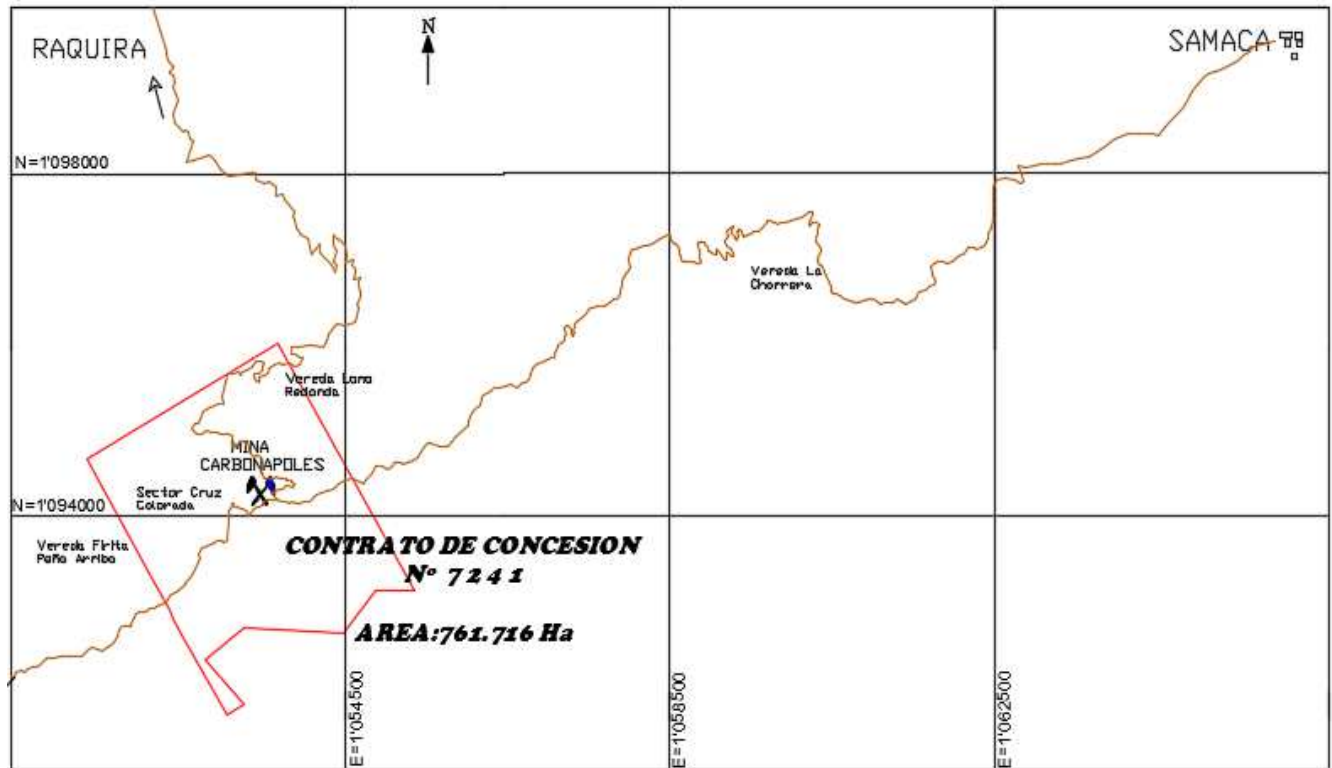
PUNTO	ESTE	NORTE
1	1'053.071,403	1'091.719,732
2	1'051.421,41	1'094.557,628
3	1'053.673,076	1'095.877,628
4	1'055.273,076	1'093.106,347
5	1'054.823,076	1'093.106,347
6	1'054.445,484	1'092.640,059
7	1'053.845,484	1'092.640,059
8	1'053.268,661	1'092.700,686
9	1'052.825,688	1'092.341,973
10	1'053.279,249	1'091.839,732

**Fuente:** Programa de trabajos y obras del contrato de concesión 7241, noviembre 2016.

El acceso se realiza por la vía de segundo orden (rizada) que comunica a la troncal del Carbón que de Samacá conduce a Guachetá; esta zona se encuentra al Noreste de la Sabana de Bogotá y al Suroeste de la ciudad de Tunja, (ver figura 1).



**Figura 1.** Localización Mina Carbonapoles



**Fuente:** Resultados de la investigación.

### 1.3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

**1.3.1. Geología Estructural.** La zona de estudio se caracteriza por presentar rocas del Cretácico Superior representadas por la parte superior del Grupo Guadalupe de la Formación Guaduas (portadora del carbón), y rocas del Terciario Inferior de las Formaciones Cacho y Bogotá.

Estructuralmente se ubica en el flanco noroeste del Sinclinal de Checua – Lenguazaque y se caracteriza por la presencia de una familia de pliegues en sedimentos plásticos carboníferos. Según cartografía de años anteriores hay presencia de gran cantidad de fallas en la parte norte del contrato.

Esta zona de estudio se caracteriza por la presencia de depósitos Cuaternarios fluvio glaciales algunos de grandes dimensiones. Por otro lado según lo propuesto por trabajos geológicos anteriores hay presencia de fallas normales, lo que indica fuerzas distensivas.

Desde este contrato parten en dirección NE fenómenos geológicos muy importantes como el Sinclinal de Carboinsa que se acompaña de otros pliegues y de la falla Piedra Gorda; como también la falla El Mineral; deformaciones que reflejan fuerzas compresivas de gran magnitud<sup>1</sup>.

**1.3.2. Geología del yacimiento.** Los mantos de carbón definidos en el área de estudio son cinco, descritos de techo a base de la siguiente manera (ver anexo a):

**Manto 7 Bancos,** es un manto semibrillante a opaco con presencia de intercalaciones arcillosas; el espesor total de este manto varía entre 0,20 m. y 0,40 m. distribuidos de base a techo así: 0,4 m. Carbón; 2,10 m. arcillolitas de color gris y 0,40 m. Carbón.

**Manto La Grande,** se encuentra a 24 metros estratigráficos de la anterior, es un manto de aspecto semibrillante, tiene un espesor que varía entre 1,90 m. y 2,30 m; en general se presenta limpio y de carácter semiduro.

**Manto La Tercera,** se localiza por debajo del anterior a unos 13 metros, presenta aspecto brillante a semibrillante con alternancia de bandas brillantes y opacas, tiene un espesor total de 1,0 m.

**Manto La limpia,** se localiza por debajo del anterior a unos 12 metros, tiene un espesor total de 0,70 m.

**Manto La ligada,** se localiza por debajo del anterior a unos 1,5 metros, tiene un espesor total de 1,10 m.

## **1.4. ESTADO ACTUAL DE LAS LABORES DE LA MINA**

### **1.4.1. Labores de Desarrollo**

**Inclinado Principal.** La bocamina Carbonapoles se encuentra estructurada con un inclinado principal en roca con una longitud de 135 m y una inclinación promedio entre 34° y 35°.

Esta labor tiene un área libre promedio 3,15 m<sup>2</sup>, con sostenimiento en puerta alemana, es utilizada para servicio de acceso al personal, transporte de mineral, madera y herramientas, desagüe, aire comprimido, energía eléctrica, ducto de ventilación y línea de comunicación, (ver plano 1).

---

<sup>1</sup> Cooprocabon, 2008. Reporte Geológico PTO del contrato de concesión 7241.

**Cruzadas.** El manto La Grande cuenta con dos cruzadas en roca, una ubicada al final del Nivel 5 al sur-oeste que se encuentra en avance; y otra localizada al inicio del nivel principal la cual corta desde manto La Grande hasta manto La Ligada con una longitud de 66m y una inclinación de 15°, (ver plano 2).

**Guías.** El manto 7 bancos incluye una guía que corta desde el inclinado hasta el nivel 1, con una distancia de 20m, (ver plano 1).

**Ventana.** Labor en roca, con una longitud de 51 m y una sección de 2m<sup>2</sup>, que comunica manto Siete Bancos con manto La Grande, esta labor hace parte de las vías que recorre el circuito principal de ventilación, (ver plano 1).

**Bocaviento.** Labor en roca, con una longitud de 75m y un sesgo de 19°. Esta labor comunica con las labores del manto Siete bancos, lo que permite tener una entrada y salida de aire independiente.

**Inclinado interno.** Manto la limpia cuenta con un inclinado interno en carbón, con una distancia de 27,3m y una pendiente de 10°.

Existe un inclinado interno que comunica las labores de los mantos La Tercera, La Limpia y La Ligada, este tiene una distancia de 17,3m y una pendiente de 45°.

#### **1.4.2. Labores de Preparación.**

**Niveles.** El manto Siete bancos cuenta con un nivel principal con un área de 3,18m<sup>2</sup>, y 5 niveles.

Manto la Grande incluye un nivel principal desde el inclinado principal, este tiene una sección de 4,4m<sup>2</sup>, y corta el nivel 1,2 y 3.

Manto la Tercera tienen un nivel principal de 121m de extensión, manto La Ligada cuenta con dos niveles de 115m y 145,2m de longitud respectivamente y manto La Limpia incluye un nivel principal de 14,6m de distancia, dichas labores se encuentran inactivas.

#### **1.4.3. Servicios a la mina.**

**Desagüe.** La mina Carbonapoles cuenta con un pozo de desagüe ubicado al final del inclinado principal, con disposición de una bomba eléctrica estacionaria de 12 Kw que alimenta una manguera instalada de diámetro 2.0", hasta llevar el agua a superficie.

**Transporte.** Se realiza a través un malacate eléctrico de 12 Kw que se encuentra en superficie, el cual hala una vagoneta atreves de riel de cubil por el inclinado principal con capacidad de 1 Ton.

El transporte en niveles es manual mediante la misma vagoneta la cual es ubica en el inclinado principal mediante tornamesa.

**Instalaciones eléctricas.** La corriente eléctrica que se tiene al interior de la mina es de 330 V, utilizada para alimentar equipos tales como bombas y ventiladores auxiliares.

El tipo de cable en uso es cable encauchetado. Las conexiones eléctricas están compuestas por un arrancador automático para la bomba y para el ventilador taco o breaker.

**Aire comprimido.** Esta alimentado por 2 compresores uno de 100 PSI Keaser y el segundo 70 PSI, a combustible, con una manguera de 2" de diámetro de salida y que enfrenta a  $\frac{3}{4}$ " en frentes.

**Sostenimiento.** La mina cuenta con entibación cuyas dimensiones varían dependiendo de la labor. Para los inclinados y niveles se utiliza secciones trapezoidales y en las labores de preparación se emplean tacos de madera.

## 2. SISTEMA ACTUAL DE VENTILACIÓN

Actualmente la mina Carbonapoles presenta una ventilación natural, ya que cuenta con una entrada y salida de aire independiente; la ventilación principal la cual se realiza por medio de dos ventiladores centrífugos instalados en superficie, los cuales ingresan aire limpio a la mina por medio de un ducto de 0,40m de diámetro, el aire ingresa a las labores del manto La Grande.

En cuanto a la ventilación auxiliar cuenta internamente con un ventilador soplante tipo centrífugo de 7 Kw, el cual conduce el aire fresco a los frentes ciegos del manto La Grande.

### 2.1 EVALUACIÓN DE LA VENTILACIÓN

**Aforos de ventilación.** Dentro del trabajo de campo se realizó una serie de aforos de ventilación, con el objeto de determinar las condiciones de la atmosfera minera, dichos aforos fueron realizados teniendo en cuenta las normas que exponen diversos textos sobre el tema.

Los aforos se realizaron en los meses de julio, agosto y septiembre en las horas de la mañana y con personal dentro de la mina, (ver anexo b).

Con cada visita se evidenciaron cambios que mejoraron la ventilación de la mina, debido a modificaciones realizadas a las vías y equipos de ventilación; dentro de las modificaciones más importantes está, la ampliación de la sección de las principales vías de ventilación y el cambio del ducto de los ventiladores principales.

Dichos cambios contribuyeron a la disminución de la temperatura y aumento del caudal. Un efecto desfavorable fue el aumento de la humedad relativa, debido a la disminución de la temperatura, ya que la humedad relativa es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene el aire y la cantidad de vapor de agua en el aire saturado a la misma temperatura, es decir, con la disminución de la temperatura esta aumentara, lo que dificultara las condiciones de trabajo en la mina.

Con respecto a los gases, se presentó una mayor dilución del dióxido de carbono CO<sub>2</sub> y un aumento del oxígeno (O<sub>2</sub>).

Una vez realizados los aforos de ventilación en cada una de la labores mineras y de acuerdo a los datos registrados en las libretas de gases de la mina Carbonapoles esta se categoriza según el artículo 58 del decreto 1886 de 2015 como **categoría I**, de acuerdo al cuadro 2, encontrándose la mina con porcentajes inferiores a 0.0 % de gas metano en sus labores, (ver cuadro 2).

**Cuadro 2.** Clasificación de las labores mineras subterráneas de carbón.

CATEGORIA	DESCRIPCION
I. Minas o frentes de trabajo no grisutuosos.	Son aquellas labores o excavaciones subterráneas para las cuales la concentración de metano en cualquier sitio de la mina no alcanza el (0%).
II. Minas o frentes débilmente grisutuosos.	Son aquellas labores o excavaciones subterráneas para las cuales la concentración de metano en cualquier sitio de la mina sea igual o inferior a (0.3%).
III. Minas o frentes fuertemente grisutuosos.	Son aquellas labores o excavaciones subterráneas para las cuales la concentración de metano en cualquier sitio de la mina sea superior a (0.3%).

**Fuente:** Decreto 1886/2015, del Ministerio de minas y energía.

## 2.2 DESCRIPCIÓN Y CONDICIONES DEL CIRCUITO PRINCIPAL DE VENTILACIÓN

**Ventilación principal.** Consiste en la corriente de aire que recorre las principales vías de entrada y retorno de aire pasando por las labores que tenga una entrada y una salida, esta ventilación puede ser aspirante o soplante.

La ventilación principal en la mina Carbonapoles es natural, debido a que cuenta con una entrada y una salida independiente, y mecanizada, ya que dispone de dos ventiladores tipo centrífugo soplantes, de 5 y 12 Kw (ver figura 2), conectados a un ducto de 0.40 m de diámetro con una longitud de 50m; empleados para ventilar las labores de manto Siete bancos, tomando el aire fresco de superficie y llevándolo a través del inclinado al nivel principal de manto Siete Bancos, el aire viciado sale nuevamente por toda la sección del inclinado principal, (ver plano 4).

**Ventilación secundaria.** Consiste en la ubicación de un ventilador en la corriente principal de ventilación, con el fin de que este mediante un ducto envía la corriente de aire fresco a los frentes ciegos.

La mina Carbonapoles cuenta con un ventilador auxiliar de 7 Kw, ubicado en el nivel principal de manto La Grande (ver plano 5), el cual toma aire fresco del circuito de ventilación principal y lo transporta a los frentes ciegos, a través de un ducto plástico con un diámetro de 30cm, el aire viciado es retornado al nivel principal y posteriormente evacuado a superficie a través del inclinado principal.

**2.2.1. Condiciones operativas de los ventiladores.** La mina el Carbonapoles tiene instalada energía eléctrica trifásica con una carga de 330V para lo cual se tiene una disponibilidad de los siguientes ventiladores, (ver cuadro 3 y figura 2).

**Cuadro 3.** Condiciones operativas de los ventiladores.

<b>EQUIPOS DE VENTILACIÓN (VENTILADORES) MINA CARBONAPOLES.</b>					
TIPO DE EQUIPO	Kw	Ø SALIDA	Ø LLEGADA	Longitud. m.	CAUDAL DE SERVICIO
VT CENTRIFUGO SOPLANTE	12	40 cm	30 cm	50	4,2 m <sup>3</sup> /seg.
VT CENTRIFUGO SOPLANTE	5	40 cm	30 cm	50	
VT CENTRIFUGO SOPLANTE	7	30 cm	20 cm	150	0,75 m <sup>3</sup> /seg.

**Fuente:** Resultado de la investigación.

**Figura 2.** Ventiladores centrífugos de 12 Kw y 5 Kw, en bocamina



**Fuente:** Resultados de la investigación.

Ya identificadas las características que presenta la ventilación de la mina Carbonapoles, como son la concentración de gases, los caudales que recorren las diferentes labores, y demás observaciones tomadas en los aforos de ventilación, se procederá a dar los lineamientos a tener en cuenta para optimizar la ventilación de las labores y mejorar la atmosfera en cada una de estas, al igual que dar a conocer los protocolos que se deben tener en cuenta para realizar cada actividad relacionada con la ventilación en labores subterráneas y de esta manera dar cumplimiento al decreto 1886/2015, del Ministerio de minas y energía.

### 3. ATMOSFERA DE LA MINA

La ventilación en una mina tiene por objeto garantizar una atmosfera minera respirable, en la cual los gases que se generen sean diluidos y expulsados a través del circuito de ventilación, además debe mantener niveles de temperatura y humedad que no afecten la seguridad y la salud del personal que labora.

En condiciones normales el aire está compuesto mayoritariamente por Nitrógeno (78%) y Oxígeno (21%), los demás gases solo representan el 1 % de su composición; bajo estas condiciones una persona puede respirar cómodamente y desempeñar sus actividades.

A medida que el aire circula por las labores mineras su temperatura y humedad se incrementaran, también se agregan gases en su recorrido, los cuales son producto de voladuras, respiración del personal y de las mismas formaciones geológicas; estos gases modifican la composición del aire y lo pueden volver toxico para el personal.

#### 3.1. GASES PRESENTES EN UNA MINA

Dependiendo del tipo de mineral y los métodos de explotación que se empleen dentro de una mina, se pueden encontrar una serie de gases que pueden ser explosivos, asfixiantes o venenosos. Una buena ventilación debe mantener las concentraciones de gases por debajo de los límites permisibles expuestos en el decreto 1886 de 2015, del Ministerio de minas y energía.

Los gases más frecuentes en una mina de carbón y las características fisicoquímicas más relevantes de cada uno de ellos se describen en el cuadro 4.

**Ubicación de los posibles gases.** Todos los gases no presentan las mismas propiedades físicas motivo por el cual se van a comportar de manera diferente; dependiendo del peso específico que un gas tiene respecto al aire tendera a acumularse en ciertas zonas de las labores mineras, (ver cuadro 5).

**Cuadro 4.** Características de los gases.

Gases	Oxígeno O <sub>2</sub> (%)	Metano CH <sub>4</sub> (%)	Monóxido CO (ppm)	Ácido Sulfhídrico H <sub>2</sub> S (ppm)	Dióxido Carbónico (CO <sub>2</sub> ) (%)	Dióxido de Nitrogeno (No <sub>2</sub> ) (ppm)
Formula química	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	H <sub>2</sub> S	CO <sub>2</sub>	No <sub>2</sub>
V.L.P.	Min 19.5 %	1 %	25 PPM	1 PPM	0,5 % 5000 PPM	0.2 PPM



**Cuadro 4.** (Continuación)

<b>Peso Específico</b>	1,10 gr/cm <sup>3</sup>	0,5545 gr/cm <sup>3</sup>	0,967 gr/cm <sup>3</sup>	1,1912 gr/cm <sup>3</sup>	1,5291 gr/cm <sup>3</sup>	0,967 kg/m <sup>3</sup>
<b>Propiedades Físicas</b>	Incoloro Inodoro Insaboro	Incoloro Inodoro Insaboro	Incoloro Inodoro Insaboro	Sabor ácido Olor a huevo podrido	Incoloro Sabor ácido Irrita la vista	Color amarillento o Marrón Inodoro
<b>Efectos nocivos</b>	No es tóxico	Asfixiante Explosivo	Venenooso Explosivo	Venenooso Explosivo	Asfixiante	Tóxico
<b>Punto Fatal</b>	< 6,0%	Mezcla explosiva 5 -15%	- Mezcla explosiva 13 – 75% - Venenooso > 100 PPM	- 1000 PPM causa muerte inmediata - 4 % a 46% explota	> 12 %	En concentraciones bajas daña células pulmonares y en altas concentraciones daña los tejidos pulmonares.
<b>Origen en los trabajos</b>	Aire Normal	- Estratos - Mantos de carbón - Putrefacción	- Motores - Voladuras - Combustión - Incendios	- Agua de estratos - Voladuras	- Respiración - Incendios - Voladuras - Combustión	-combustión altas temperaturas

**Fuente:** Fundamentos de ventilación en labores subterráneas. Tomás Charris. 2006.

**Cuadro 5.** Ubicación de los gases en la mina y forma de medición.

<b>Formula Química</b>	<b>Peso específico (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Características</b>
O <sub>2</sub>	1,105	Se mide en la mitad de la labor minera.
NO <sub>2</sub>	0,967	Se mide en la mitad de la labor minera.
CO <sub>2</sub>	1,5291	Por ser más pesado se mide en el piso de la labor minera.
CO	0,967	Se mide en la mitad de la labor minera.
CH <sub>4</sub>	0,555	Por ser más liviano se debe medir en el techo de la labor minera.
H <sub>2</sub> S	1,191	Se mide en la mitad de la labor minera.

**Fuente:** Fundamentos de ventilación en labores subterráneas. Tomás Charris. 2006.

## 3.2. CONTROLES PARA POLVO DE CARBÓN

Las operaciones de arranque y transporte del mineral producen polvo de carbón, el cual se encuentra en forma de capas, sobre las paredes de las vías, el sostenimiento, etc, o nubes, en suspensión en la atmosfera. Las acumulaciones de polvo de carbón son explosivas en mezcla con el aire y por lo tanto se deben eliminar.

En la mina Carbonapoles se presentan nubes de polvo en los frentes activos, debido a los trabajos de arranque y evacuación de carga; para evitar explosiones, por la acumulación, se recomienda su eliminación mediante riego o mezcla con polvo inerte de caliza.

### 3.2.1. Tipos de controles.

**Riego.** Se recomienda que todas las labores dispongan de una red de agua, con una presión y caudal suficientes, con tomas de agua espaciadas a cada 50 metros y con mangueras de longitud apropiada. El agua aplicada al polvo de carbón reduce el riesgo de explosión siempre y cuando se pueda garantizar que se ha aplicado la cantidad suficiente de agua.

De acuerdo al reglamento de seguridad de labores mineras subterráneas, decreto 1886 de 2015, para garantizar que el agua aplicada al polvo de carbón reduce el riesgo de explosión las acumulaciones de polvo combustible deben mantenerse continuamente húmedas, de manera que este polvo tenga un contenido mínimo de agua del setenta y cinco por ciento (75%).

**Polvo inerte de caliza.** El método consiste en la adición de polvo inerte de caliza al polvo de carbón de manera que forman una mezcla cuyos parámetros de explosividad son reducidos.

Conforme al decreto 1886, del Ministerio de minas y energía, el polvo de caliza utilizado debe ser malla cuatrocientos (400) con un contenido de sílice menor del tres por ciento 3%.

Esta neutralización debe hacerse frecuentemente con polvo inerte de caliza en porcentaje mínimo del ochenta por ciento (80%), de tal forma que el polvo de carbón sedimentado no contenga más de veinte por ciento (20%) de partes combustibles.

**Barreras de polvo.** Las barreras de polvo son recipientes, dispuestos en tablonas, ubicados perpendicularmente al eje de la labor, estos recipientes pueden contener polvo inerte de caliza o agua.

Para el cumplimiento del plan de ventilación es necesario tener registro del control de polvos que se realice en la mina, (ver anexo c).

## 4. PROYECCIÓN DE LA VENTILACIÓN

Con el fin de optimizar las condiciones de trabajo en la mina Carbonapoles de acuerdo a las características que esta presenta, se realiza la proyección de la ventilación principal y secundaria.

### 4.1. CAUDALES REQUERIDOS PARA LA MINA

Con el objetivo de determinar la cantidad y calidad del aire que debe circular dentro de las labores mineras de la mina Carbonapoles, se definen los factores que influyen en el resultado de dicho caudal, dependiendo de las condiciones propias de la operación y del método de explotación utilizado.

Es por ello que el caudal necesario, según el personal que se encuentre en las labores subterráneas, los gases que se desprenden en los frentes de avance y la producción diaria de la mina, se establece de acuerdo a los requerimientos legales, normas de seguridad y eficiencia del trabajo.

Requerimientos de aire: para determinar el requerimiento de aire total se utilizan los siguientes parámetros operacionales:

**Caudal requerido por el número de personas.** La mina Carbonapoles tiene actualmente en el turno de mayor personal 29 trabajadores, laborando bajo tierra. La normatividad colombiana a través del decreto 1886 del 21 de septiembre del 2015, establece:

Para excavaciones mineras de mil quinientos metros (1.500m) en adelante sobre el nivel del mar, se debe tener 6 m<sup>3</sup>/min por cada trabajador.

En la mina Carbonapoles se requiere un volumen de aire por personal de:

$$Q_{personas} = 29 \text{ personas} * 6 \text{ m}^3/\text{min} = 174 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{personas} = 174 \text{ m}^3/\text{min}$$

**Caudal requerido por uso de explosivos.** La mina Carbonapoles maneja explosivos para el avance de labores en roca, por la cual se debe tener en cuenta un volumen de aire, para la dilución de los gases productos de la voladura, es por ello que se realiza un cálculo bajo la siguiente ecuación:

$$Q_{EXPLOSIVO} = \frac{100 * A * a}{0,008 * t}$$

Dónde:

A= Kg de explosivo/Voladura

a= 0,040 m<sup>3</sup>/Kg

t= Tiempo de pausa entre la voladura y el regreso al frente (min)

Para la mina, la cantidad de explosivo utilizado por voladura, teniendo en cuenta que utiliza Indugel Plus PM; cada barra de explosivo tiene un peso de 0.2451 Kg y en cada voladura se utiliza 12 barras, es decir una barra por barreno.

$$Q_{Explosivo} = \frac{100 * 2,9412Kg * 0,040 \text{ m}^3/\text{Kg}}{0,008 * 30 \text{ min}} = 49,02 \text{ m}^3/\text{min}$$

**Caudal requerido por concentración de gases nocivos.** La producción diaria máxima en la mina es de 150 ton. Considerando que en minas no grisútuosas se pueden desprender de 0 – 5 m<sup>3</sup> diarios de grisú por cada tonelada de carbón<sup>2</sup>. Para efectos de cálculo consideramos un desprendimiento de 1 m<sup>3</sup> / t, con una producción diaria máxima en la mina de 150 ton.

$$Q_{CH_4} = \frac{100 * q}{480 * p}$$

Donde:

q= Volumen de gas que se desprende en 24 horas (m<sup>3</sup>/ min)

p=Valor límite Permisible para gas grisú el cual es 1%.

$$Q_{CH_4} = \frac{100 * (150 * 1)}{480 * 1} = 31,25 \text{ m}^3/\text{min}$$

**Caudal requerido para disolución de polvos.**

$$Q_{polvo} = c * (A_D + A_P + A_E)$$

Dónde:

C= coeficiente de irregularidad de producción de polvo el cual es 0,15

A<sub>D</sub>= área de desarrollo.

A<sub>p</sub>= área de labores de preparación.

A<sub>E</sub> = área de labores de explotación.

$$Q_{polvos} = 0,15 * (2,8\text{m}^2 + 3\text{m}^2 + 3\text{m}^2) = 1,32 \text{ m}^3/\text{min}$$

---

<sup>2</sup> CHARRIS, Tomás. "Fundamentos de ventilación en labores subterráneas". 2006, 225p.

**Caudal requerido por maquinaria.** En cuanto al caudal requerido para diluir el monóxido de carbono (CO), producido por maquinaria, no es necesario, ya que actualmente en la mina no se cuenta con maquinaria que genere este gas.

**Caudal requerido por margen de seguridad.** Para este caudal se determina por bibliografía que el cálculo obtenido por seguridad es un 30% del total requerido en los anteriores factores.

$$Q_{seguridad} = Q_{total} * 0,3 = 76,677 \text{ m}^3 / \text{min}$$

Dónde:

$$Q_{total} = Q_{personas} + Q_{EXPLOSIVO} + Q_{grisú} + Q_{seguridad}$$

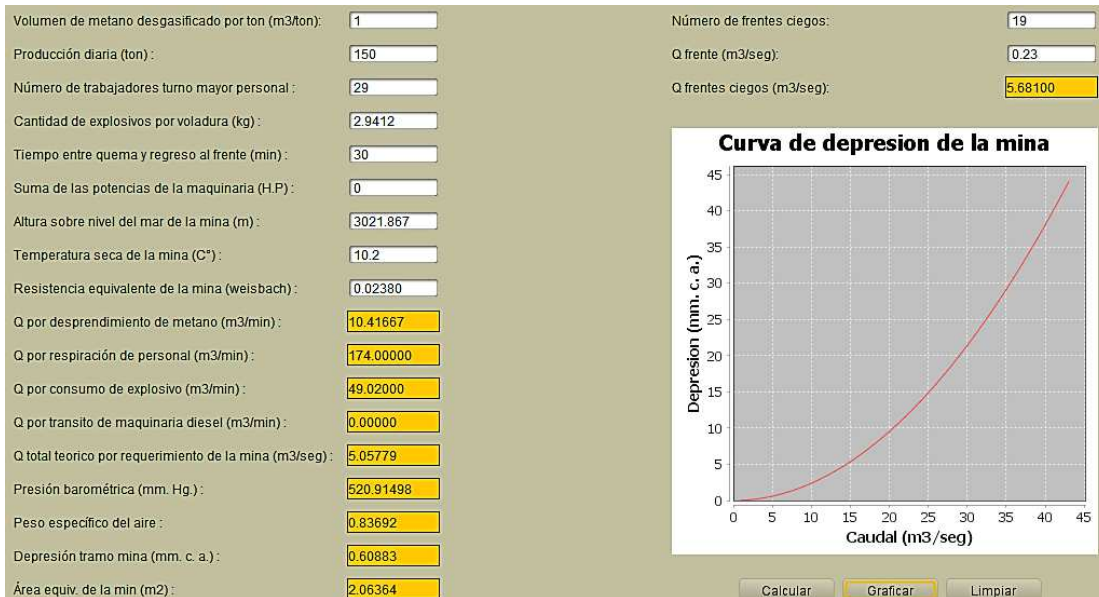
$$Q_{total} = 332,267 \text{ m}^3 / \text{min} = 5,5377 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

#### 4.2. CALCULO RESISTENCIA Y DEPRESIÓN DE LA MINA

Para este cálculo se tendrá en cuenta los caudales proyectados al igual que las características de la mina en cuanto a su altura y temperatura.

Con la ayuda del programa CALVENTOM, se realizaron los diferentes cálculos para hallar la resistencia y depresión total de la mina (ver figura 3), y con dichos datos realizar el respectivo cálculo de los ventiladores principales y secundarios que requiere la mina.

**Figura 3. Resultados CALVENTOM**



**Fuente:** Carpeta resultado de investigación, documento cálculos para la mina Carbonapoles en CALVENTOM.

### 4.3. VENTILACIÓN PRINCIPAL PROYECTADA

**4.3.1. Calculo ventilador principal.** En base a los datos obtenidos en el programa CALVENTOM, se calcula la potencia útil del ventilador para mover el caudal proyectado en la mina Carbonapoles.

A continuación se presentan los valores y parámetros calculados para obtener la potencia del ventilador principal, (ver cuadros 6 y 7).

**Cuadro 6.** Cálculos de ventilación mina Carbonapoles.

PARAMETROS A DETERMINAR	VALOR
Número máximo de trabajadores Bajo Tierra (H)	29
Norma por Persona (m <sup>3</sup> /min)	6
Caudal Requerido por Personal (m <sup>3</sup> /min) (Q <sub>1</sub> )	174
Caudal Requerido para la evacuación de nitrosos (m <sup>3</sup> /min) (Q <sub>2</sub> )	49,02
Caudal requerido Para disolución de grisú (m <sup>3</sup> /min) (Q <sub>3</sub> )	31,25
Caudal requerido Para disolución de gases de maquinaria (m <sup>3</sup> /min) (Q <sub>4</sub> )	-
Caudal requerido Para disolución de polvos (m <sup>3</sup> /min) (Q <sub>5</sub> )	1,32
Caudal requerido Para disolución de otros gases (m <sup>3</sup> /min) (Q <sub>6</sub> )	-
Caudal Por Margen de Seguridad 30% (m <sup>3</sup> /min)	76,67
<b>Caudal Mínimo total requerido (m<sup>3</sup>/min)</b>	<b>332,26</b>

**Fuente:** Resultados de la investigación.

**Cuadro 7.** Cálculos del ventilador principal.

PARAMETRO A DETERMINAR	VALOR
Caudal de aire requerido (m <sup>3</sup> /seg)	5.5376
Factor de resistencia total de las labores mineras(Wb)	0,023
Sección promedio de las labores (m <sup>2</sup> )	3,00
Corrección por altura	0,74
Presión barométrica de la mina (m.m.Hg)	520.91
Depresión total de la mina (mm C.A)	0.60883
Eficiencia del ventilador (%)	50%

**Fuente:** Resultados de la investigación.

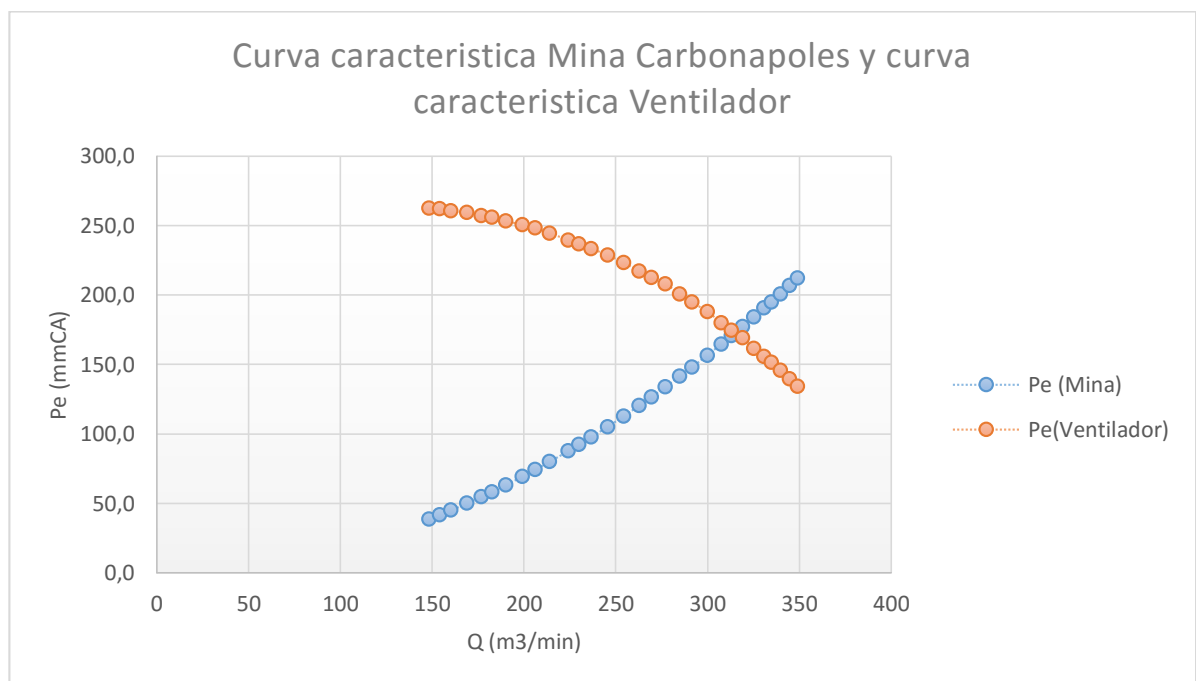
$$Pu = \frac{QT * \Delta H * 2.5}{102 * 0.5} = \frac{332.267 \frac{m^3}{min} * 0.60883 mmCA * 2.5}{102 * 0.5} = 9.9163 Kw$$

$$Pu = 13.2979 = 14Hp$$

De acuerdo a las condiciones de operación que presenta la mina, se requiere un ventilador mediano para romper la resistencia de la mina, en promedio de 14 Hp, Por razones comerciales se recomienda usar un ventilador principal con una potencia de 15 Hp, que genere alrededor de 300 m<sup>3</sup>/min; este se instalara en el bocaviento, el cual comunica con el nivel principal de manto Siete Bancos, tomando el aire de superficie y transportándolo a través de las vías principales en la totalidad de la sección.

#### 4.3.2. Curva de la mina y curva del ventilador.

**Figura 4.** Curva de la mina y del ventilador



**Fuente:** Resultados de la investigación.

En la gráfica se observa que, a una presión dada, el ventilador genera el caudal necesario, comprimiendo el aire aportándole energía en forma de presión, logrando que la corriente de aire fresco fluya por las labores principales y la corriente de aire viciado se lleve a superficie.

El ventilador seleccionado es de tipo centrífugo, adecuado para la ventilación principal de la mina ya que genera un alto caudal a presión media, (ver anexo d)

#### 4.4. VENTILACIÓN SECUNDARIA PROYECTADA

##### 4.4.1. Caudal Requerido.

**Cuadro 8.** Caudal requerido para cada manto de carbón.

Manto	Q personal (m <sup>3</sup> /min)	Q CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /min)	Q seguridad (m <sup>3</sup> /min)	Q Total (m <sup>3</sup> /min)
Siete Bancos	54	43,75	19,7	85,3666
La grande	48	8,33	16,9	73,23
La Ligada				
La limpia	66	11,66	23,3	100,96
La tercera				

**Fuente:** Resultados de la investigación.

##### 4.4.2. Cálculos ventiladores secundarios.

###### Calculo caudal a la salida del ventilador

$$Qv = \frac{Qf}{\left(1 - \frac{1.5Lt}{10000}\right)}$$

Donde:

*Qv* = caudal a la salida del ventilador

*Qf* = caudal en frentes

*Lt* = longitud desde toma de aire (m)

###### Diámetro ducto.

$$D = 0,29 * (Qv)^{0.5}$$

###### Velocidad en el ducto.

$$V = \frac{Qv}{s} = \frac{m}{s}$$



### Presión dinámica.

$$P_{dinamica} = v^2 * \frac{1,2}{2 * g} \text{ mmCA}$$

Donde:

$v$  = velocidad en el ducto

$g$  = gravedad

### Presión estática

$$P_{Estatica} = R_{ducto} * Lt = \text{mmCA}$$

### Presión Total.

$$P_{Total} = P_{dinamica} + P_{Estatica} + 30\% P_{Choque}$$

$$P_{Total} = (P_{dinamica} + P_{Estatica})30\%$$

### Potencia del ventilador

$$W = 1,2 * Qv * \frac{P_{Total}}{100 * R_{ventilador}}$$

### Cuadro 9. Calculo ventiladores secundarios

Labores manto	Q salida del ventilador	Ø Ducto (m)	Velocidad en el ducto (m/s)	P Dinámica (mmCA)	P Estática (mmCA)	P Total (mmCA)	Potencial ventilador (Hp)
Siete Bancos	1,4531	0,34	11,56	8,19	15,34	30,60	2
La grande	1,3222	0,33	10,52	6,78	56,41	82,16	4
La Ligada							
La limpia Tercera	1,9310	0,40	15,37	14,47	94,27	141,36	9

**Fuente:** Resultados de la investigación.

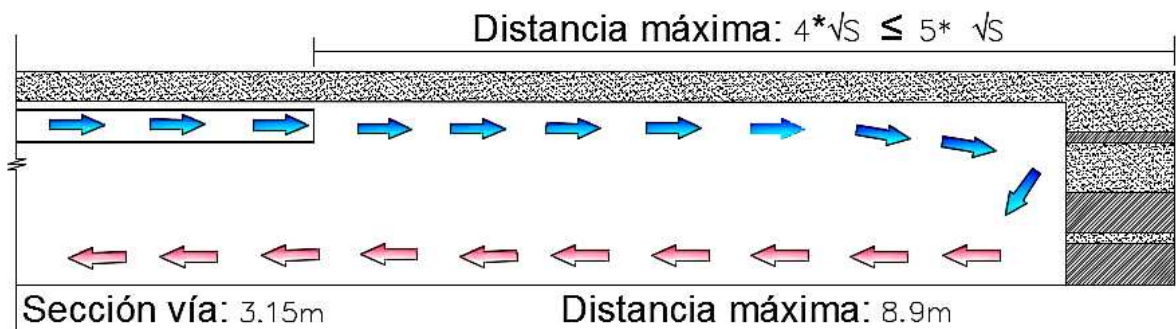
**4.4.3. Distancias requeridas para la instalación de ventiladores auxiliares y ductos.** El extremo del tubo de ventilación debe colocarse a una distancia (d) del frente a ventilar, se calcula en base a la siguiente expresión:

$$4 * \sqrt{s} \leq d \leq 5 * \sqrt{s}$$

d = distancia del extremo final del canal al frente de la labor

S = Sección de la labor

**Figura 5.** Distancia para la instalación de ventiladores auxiliares



**Fuente:** Resultados de la investigación.

**Cuadro 10.** Distancias para ventiladores y ductos

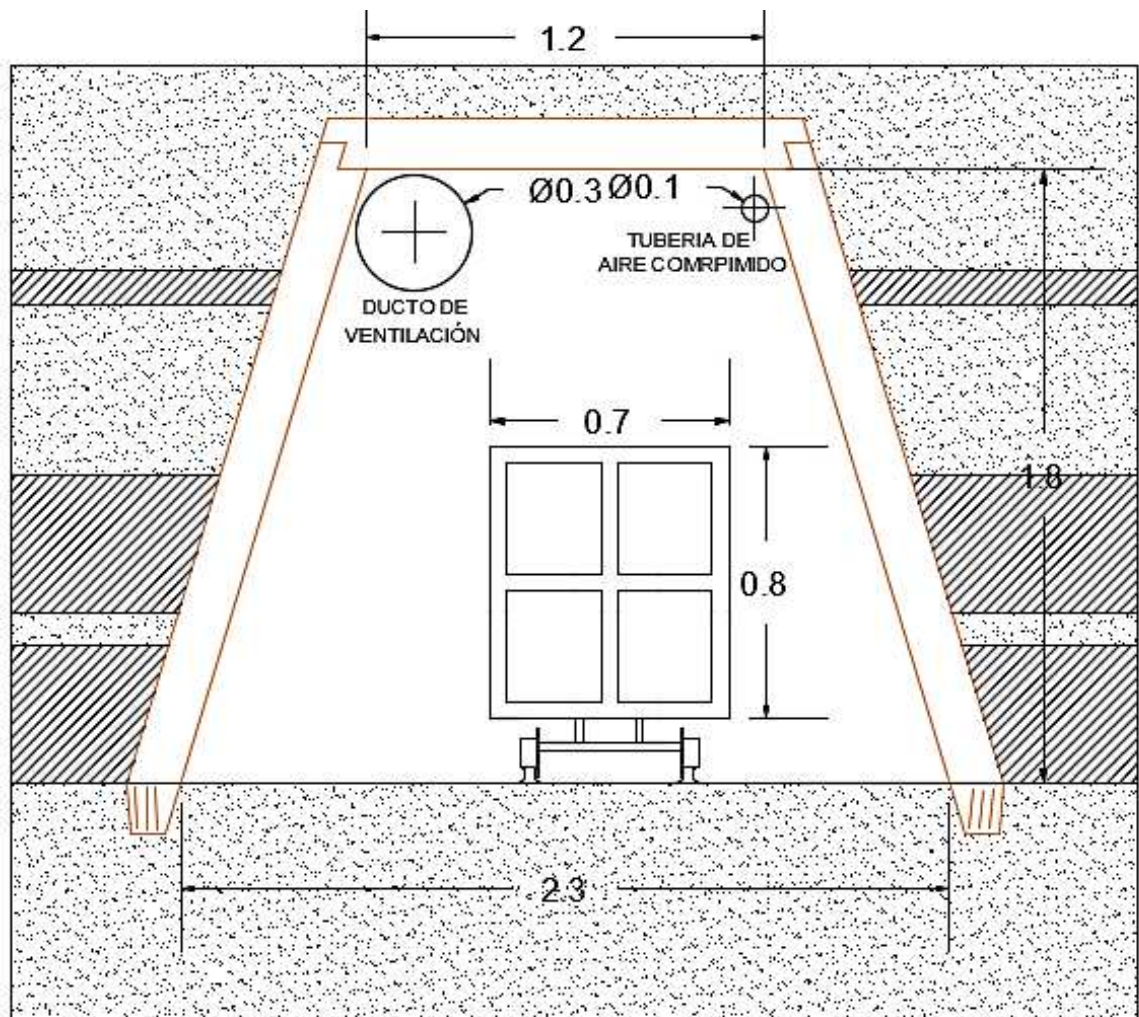
Vía	S (m <sup>2</sup> )	$4 * \sqrt{S}$	d (m)	$5 * \sqrt{S}$
Niveles principales	3,00	6,93	7,79	8,66
Mto. Siete Bancos Tambores	3,90	7,90	8,89	9,87
Mto. La grande Tambores	2,25	6,00	6,75	7,50
Mto. Tercera, limpia y Ligada Tambores	1,50	4,90	5,51	6,12
Inclinados	2,72	6,60	7,42	8,25

**Fuente:** Resultados de la investigación.

#### 4.4.4. Ubicación ductos y ventiladores secundarios

**Manto Siete Bancos.** Por razones comerciales se recomienda un ventilador de 4Hp, el cual se instalara en la intersección del Nivel principal y Nivel 4, para tomar parte del aire fresco que ingresa por el Bocaviento. Dicho ventilador se adecuara con un ducto de 0,34 m de diámetro, (ver figura 6). Para las labores de manto Siete Bancos se adecuaran seis cortinas de contención y siete muros fijos, con el fin de encausar el aire viciado y evacuarlo hacia el inclinado principal, (ver plano 6).

**Figura 6.** Perfil ducto de ventilación, manto Siete Bancos.



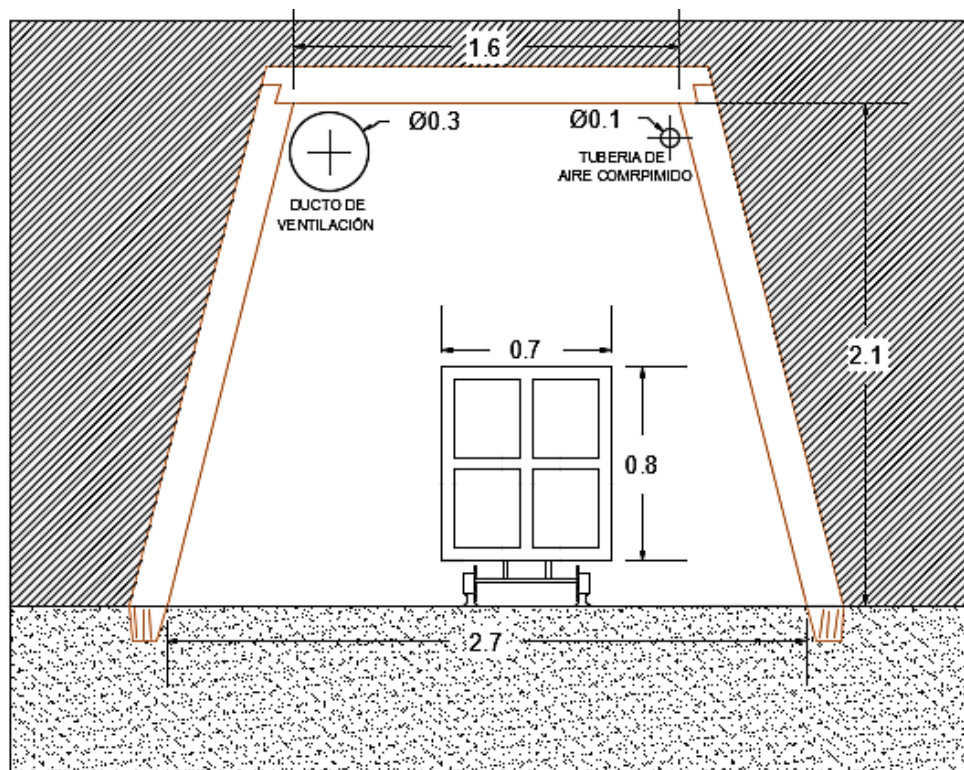
**Fuente:** Resultados de la investigación.

**Manto la grande.** Para manto La Grande se ubicara un ventilador de 4Hp, al final del nivel principal, a 17m de la ventana, el cual llevara aire limpio a las labores de Nivel 5, donde se tiene proyectado el avance, (ver plano 7).

El ducto de ventilación empleado tendrá un diámetro de 0.33m, (ver figura 7), adecuado a la sección de las labores ya que permite el paso de personal y transporte de vagonetas.

Se aislaran herméticamente todas las labores antiguas o en las que no se tenga proyectado realizar avances, esto, con el fin de evitar que parte de la corriente de aire se disipe.

**Figura 7.** Perfil ducto de ventilación, manto La Grande



**Fuente:** Resultados de la investigación.

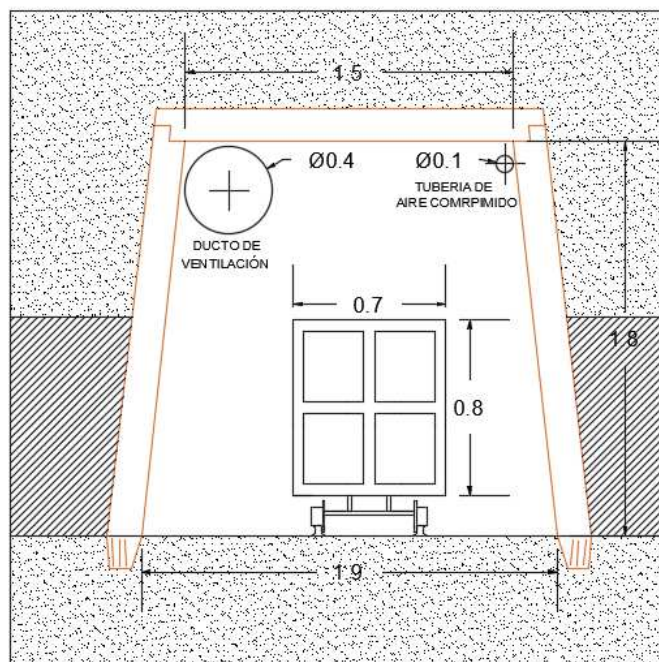
**Manto Limpia, Tercera y Ligada.** Se ubicara un ventilador de 9Hp con un ducto de 0.40m de diámetro (ver figura 8), en el inclinado interno que comunica los mantos Limpia y Tercera, el cual tomara aire fresco de una extensión del ducto que ventilara manto Ligada, (ver plano 8 y 9).

Con el fin de evitar que el aire viciado proveniente del nivel principal de manto La grande ingrese a las labores de manto la ligada, se ubicara una cortina de contención en la cruzada.

Posterior a la simulación en VETSIM, y de acuerdo a los ventiladores auxiliares determinados, se observó que la velocidad de retorno del aire viciado, proveniente de las labores de manto La Ligada, La Limpia y la Tercera, no era suficiente para su evacuación, por ende se estableció la ubicación de un extractor en la cruzada que comunica manto la limpia con el inclinado principal, labor proyectada para evacuar todo el aire viciado, (ver plano 8 y 9).

Acorde a los cálculos realizados el extractor debe expulsar aproximadamente  $180\text{m}^3/\text{min}$ , por lo que se requiere con una capacidad de 8Hp.

**Figura 8.** Perfil ducto de ventilación, manto La Grande



**Fuente:** Resultados de la investigación.

#### 4.5. ACCIONES A REALIZAR PARA LA MEJORA DE LA VENTILACIÓN

Con el objeto de optimizar la ventilación y garantizar una atmosfera adecuada para el personal que labora en la mina, se presenta el siguiente cronograma de actividades que permitirá mejorar paulatinamente la ventilación, a corto y mediano plazo, (ver cuadro 11).

**Cuadro 11. Cronograma de actividades**

N°	ACTIVIDAD	DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	PERSONAL	FECHA DE INICIO	DURACION DE LA LABOR
1	Eliminar resistencias de los ductos	Revisar los ductos de ventilación, eliminar las resistencias como son dobleces, ubicarlos correctamente y evitar reducciones bruscas.	2	08/2017	2 días
2	Implementar libro de ventilación	Realizar los respectivos registros de mediciones de ventilación de la mina, al igual que los mantenimientos de los equipos de ventilación, en un libro específico para esta actividad.	1	08/2017	1 día
3	Sellar labores antiguas	Se deben sellar de forma hermética todas las labores antiguas o abandonadas que no se requieran.	2	08/2017	2 semana
4	Complementar tableros de gases	Colocar en cada frente activo el respectivo tablero de medición de gases	1	08/2017	1 semana
5	Implementar un ducto de mayor diámetro	Cambiar el ducto actual por uno de mayor diámetro que evite las pérdidas de aire	2	08/2017	1 mes
6	Instalar ventiladores	Instalar ventilador principal en el bocaviento, ventiladores auxiliares en Mto Siete Bancos, La Grande y la Ligada y un extractor en la cruzada de Mto. La Limpia, con sus respectivos ductos.	2	11/2017	2 mes
7	Limpieza de los ventiladores	Realizar de forma periódica la limpieza de los ventiladores.	1	Cuando se requiera	2 días
8	Instalar cortinas temporales y muros fijos	Ubicar cortinas temporales y muros fijos, (ver planos 6, 7, 8 y 9), para encausar el aire limpio y viciado.	2	01/2018	1 mes
9	Implementar estaciones de aforo	Realizar en las labores del manto La Grande una estación de aforo y una segunda estación en las labores del manto la limpia	2	02/2018	1 mes
10	Realizar comunicación con las labores del manto la tercera	Proyectar una labor que permita generar un circuito de ventilación, y que igualmente habilite una ruta de evacuación para el personal, en el manto La tercera.	4	03/2018	3 meses

**Fuente:** Resultados de la investigación.



#### 4.6. ABERTURA EQUIVALENTE

Se define como el valor en metros cuadrados de una sección de pared delgada, a través del cual circulará un determinado caudal de aire “Q” en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s), bajo una diferencia de presión en mm columna de agua “ΔX”, en (kg/m<sup>2</sup>), como sucedería en la mina, a condiciones normales de presión atmosférica y temperatura del aire.

Ella se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\Omega = 0,348 * Q * \frac{\sqrt{w}}{\sqrt{\Delta X}} \quad \text{ó} \quad \Omega = 0,348 * \frac{\sqrt{w}}{\sqrt{Re}}$$

En donde:

Ω = Abertura equivalente en m<sup>2</sup>

w = peso específico del aire en kg/m<sup>3</sup>. Se calcula mediante a formula

$$w = 0,462 * \left( \frac{Pb}{273 + Ts} \right)$$

Q = Caudal del aire en m<sup>3</sup>/segundo

Δ X = Presión del Ventilador o Pérdida de Carga de la mina en kg/m<sup>2</sup> o mm C.A.

Re = Resistencia especifica de la mina en Wb, weisbach.

$$\Omega = 0,348 * \frac{\sqrt{0,8497}}{\sqrt{0,02380}} = 2,0793$$

#### Cuadro 12. Abertura equivalente

TIPO DE MINA	Ω (m <sup>2</sup> )	RESISTENCIA ESPECIFICA (WB)
1. Minas estrechas : difíciles de ventilar	0-1	>0,145 Wb
2. Minas regulares: con mediano grado de dificultad para ventilar	1-2	0,142-0,035 Wb
3. Minas amplias: Fáciles de ventilar	>2	<0,035Wb

**Fuente:** Norma para el registro y cálculo de abertura equivalente. Tomás Charris. 2004.

La mina es fácil de ventilar, debido a la baja resistencia que presenta al paso del aire, por las amplias secciones, y poca rugosidad en las paredes de las labores.

## 5. PROTOCOLOS

Ya caracterizada la mina, en cuanto a las necesidades y sus proyecciones es de vital importancia dar a conocer y tener el conocimiento de los protocolos que se deben tener en cuenta a la hora de operar los equipos de ventilación, los equipos de medición de gases y de aforos de ventilación.

Es de vital importancia que cada una de las tareas se desarrolle de forma óptima y segura a fin de disminuir los riesgos tanto para la persona que los realiza como para las personas que dependen de ella.

### 5.1. PROTOCOLO PARA MEDICIÓN DE GASES BAJO TIERRA

Para asegurar la buena práctica operacional en la mina Carbonapoles, teniendo en cuenta la salud de los que allí trabajan, es necesario mantener un monitoreo continuo para determinar las condiciones atmosféricas bajo tierra en todos los frentes de explotación existentes, determinando las concentraciones de gases nocivos tales como: **CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, CO, NO<sub>2</sub>**.

Para ellos es necesario considerar un protocolo de medición de gases diarios, (ver cuadro 13).

#### **Cuadro 13.** Protocolo de medición de gases.

##### **Medición de gases bajo tierra.**

1. Tomar el equipó de 6 gases y encender (en superficie).  
Se debe verificar que el equipo se encuentra debidamente calibrado, con su respectivo stiker.
2. Realizar la encerada de sensores en un área libre de contaminación de gases (en superficie).
3. Encerar picos obtenido de mediciones anteriores.
4. Verificar que la ventilación este funcionado adecuadamente.
5. Realizar ingreso único por parte de la persona encargada a pie haciendo un barrido en toda el área de excavación.
6. A medida que se realiza el ingreso, es necesario ir a los frentes de explotación, puntos críticos de las labores (especialmente zonas de concentración de agua, y labores antiguas) y realizar medición.
7. Registrar en tableros de control de medición de gases los resultados obtenidos producto de la medición, determinar si es apto y firmar.
8. Si en la medición se presentan concentraciones de gases por encima de los valores límites permisibles, se deben de tomar las medidas necesarias antes de permitir el ingreso del personal.
9. Anotar en libretas de registro de gases los resultados de la medición y firmar, ver figura 9.
10. Salir a bocamina y dar a conocer los resultados de la medición de gases a los colaboradores de la mina con fin de permitir el ingreso de estos.
11. Realizar la encerada de sensores en un área libre de contaminación de gases (en superficie) para utilizar nuevamente el multidetector.
12. Realizar la medición de gases durante la jornada laboral.

**Fuente:** Resultado de la investigación.



## 5.2. PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE GASES EN FRENTE CON VOLADURA

Es de vital importancia que en cada mina se cuente con un protocolo de medición de gases cuando se realicen quemas o voladuras en los frentes de explotación, (ver cuadro 14).

**Cuadro 14.** Protocolo de medición de gases en frentes con voladura.

Medición en frentes con voladura	
1.	El encargado de la supervisión del plan de ventilación delegará a un colaborador de la mina, capacitado y responsable para que efectúe la medición de gases nocivos bajo tierra.
2.	Tener disponible equipo de medición de gases, es decir un multidetector de 6 gases.
3.	Realizar calibración y encerada del equipo antes de medir (en superficie).
4.	Realizar la medición antes de la voladura y tener especial cuidado en el gas <b>CH<sub>4</sub></b>
5.	Monitorear el CH <sub>4</sub> en un área de 20 mts en contra del circuito de ventilación.
6.	Después de realizada la voladura esperar el tiempo prudente calculado según el circuito de ventilación y tamaño de la mina.
7.	Mantener la ventilación necesaria para la dilución de gases en el frente de voladura.
8.	Realizar medición de gases teniendo en cuenta especial cuidado en el <b>CO<sub>2</sub></b> y <b>NO<sub>2</sub></b> .
9.	Una vez monitoreada la atmosfera del frente en que se realizó la voladura, se autoriza el ingreso si los niveles de los gases están por debajo de los valores límites permisibles.

**Fuente:** Resultados de la investigación.

**Figura 9.** Libreta de control diario de gases Mina Carbonapoles.



**Fuente:** Resultados de la investigación.

Equipos utilizados para la medición de gases en la mina Carbonapoles son: Multidetector de seis (6) Gases: Tipo Drager X-am – 5600: No V-07EG005, (ver figura 10).

**Figura 10.** Equipo multidetector de gases. (Dräger X-am – 5600.)



**Fuente:** Resultados de la investigación.

### **5.3. PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE AFOROS DE VENTILACIÓN**

El aforo consiste en realizar medidas de ventilación en algunas áreas de la mina, previamente establecidas, es decir en las estaciones de control de aforo y frentes activos, con el fin de controlar, evaluar y calcular requerimientos de aire actual y futuro.

Es recomendable ubicar las estaciones de aforo en un sitio intermedio de la vía entre dos nudos y donde no se presenten obstáculos, asimismo, las mediciones se deben realizar cuando los trabajos de operación, el sistema de transporte y ventilación se encuentren suspendidos.

Con el objeto de realizar un aforo de ventilación completo y obtener los datos necesarios, las mediciones que se deben realizar son:

- Velocidad del aire: se utiliza para el cálculo de los caudales, esta se mide usando anemómetro o tubo de humo, dependiendo de la sensibilidad del equipo. En una labor se deben ubicar los puntos de medición de manera uniforme, con el fin de abarcar toda la longitud.
- Temperaturas y humedad relativa: se considera las temperaturas seca y húmeda, medidas, al igual que la humedad relativa, con Psicrómetro.
- Sección de la labor: medición realizada en cada estación de aforo y se toma dependiendo de la forma que presente esta.

**Equipos de medición de aforo de ventilación.** Los equipos para medición de variables atmosféricas, son los elementos que se utilizan para hacer los aforos de ventilación, por parte del departamento de ventilación de COOPROCARBON se cuenta con los siguientes equipos para realizar dichas mediciones, entre estos se tiene:

- Multidetector de 6 gases.
- Termohigroanemometro digital (ver figura 11).
- Tubos de humo tipo Dräger.
- Bomba para los tubos tipo Dräger.
- Cronometro.
- Flexómetro.

**Figura 11.** Termohigroanemometro TMA-40A



**Fuente:** Resultados de la investigación.

Para realizar una correcta medición de gases y aforos, los equipos cuentan con certificado de calibración, (ver anexo e).

El periodo de los aforos en la mina Carbonapoles es una vez al mes o antes dependiendo de la necesidad y/o cambios que se puedan presentar en el avance de las labores.

Para estas mediciones se considera tener en cuenta el siguiente protocolo, (ver cuadro 15), con el fin de realizar con la mayor exactitud cada medición.

**Cuadro 15.** Protocolo medición de aforos de ventilación.

<b>MEDICION DE AFOROS DE VENTILACION</b>
<ol style="list-style-type: none"><li>1. El encargado de la supervisión del plan de ventilación delegará a un colaborador de la mina, capacitado y responsable para que efectúe la medición de aforos de ventilación.</li><li>2. Se deben verificar las condiciones de los equipos a utilizar antes de entrar a la mina y tomar datos en superficie (encerrarlos).</li><li>3. Efectuar las mediciones en los sitios que se indicaron para tal fin (estaciones de aforo se las hay), y/o en los inclinados y niveles principales, donde se tenga el circuito de ventilación.</li><li>4. Identificar en el plano los sitios donde se realizaran las mediciones.</li><li>5. Medir aproximadamente la sección útil de la labor donde se realiza la medición,</li><li>6. Realizar las mediciones de concentración de gases.</li><li>7. Realizar las mediciones de velocidad, temperaturas y caudales identificando el sentido del flujo de aire.</li><li>8. Anotar, en el apartado de observaciones, los equipos, instalaciones y obstáculos que hay montados entre este punto y el anterior.</li><li>9. Registrar los resultados en los tableros de medida dispuestos en las estaciones de control de aforos.</li><li>10. Registrar en la libreta los resultados de las mediciones, y en la oficina en el respectivo libro de registro.</li><li>11. Difundir y hacer público el resultado de la medición al personal de la mina</li><li>12. Realizar la medición cada mes o antes, si el encargado de la supervisión del plan de ventilación así lo determina.</li><li>13. El encargado de la medición deberá monitorear continuamente los frentes evaluados como críticos o de especial cuidado.</li></ol>

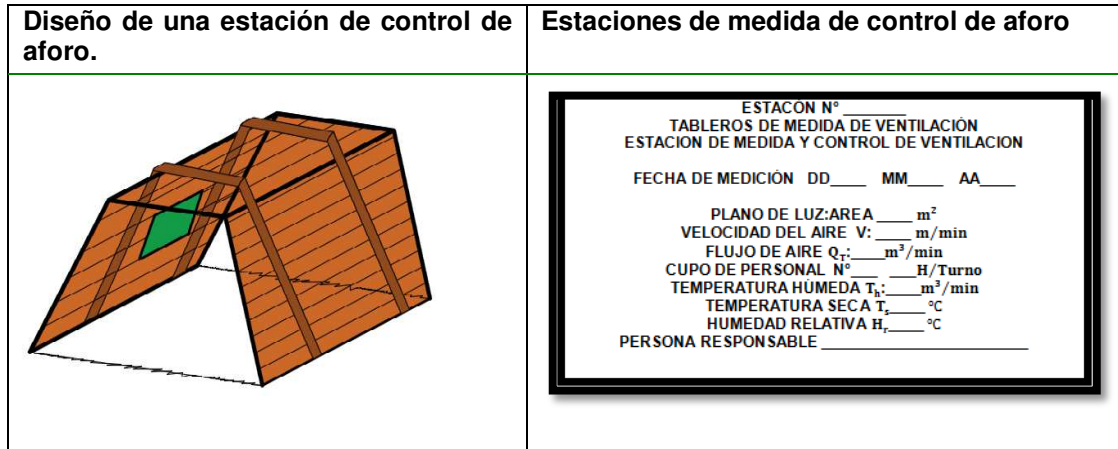
**Fuente:** Resultados de la investigación.

**Estaciones de Control.** La estación de aforo es el sitio preparado en una labor bajo tierra para tomar las medidas de ventilación (gases, caudal, temperaturas, humedad relativa, área, y velocidad del aire).

Las estaciones de control de aforo estarán distribuidas en los puntos relevantes de la mina, con el objetivo de obtener un monitoreo de medición periódico, registrando los datos y variables en el tablero según su diseño (ver figura 12), las estaciones que se implementaran en la mina van a estar distribuidas así:

- La primera estación se encuentra en el inclinado principal, aproximadamente a 50m de la bocamina.
- La segunda estación se localiza en el nivel principal del manto siete, por donde pasa el circuito principal de ventilación.

**Figura 12.** Gráfico de estaciones y tablero de aforos de ventilación.



**Fuente:** Resultados de la investigación.

Cada una de las estaciones de aforos de ventilación cuenta con su respectivo tablero de mediciones de gases y temperaturas, (ver figura 13).

**Figura 13.** Tableros de control de gases y medición de ventilación.



**Fuente:** Resultados de la investigación.

## 5.4. PROTOCOLOS Y PROCEDIMIENTOS PARA EL CHEQUEO Y MANTENIMIENTO DE LOS VENTILADORES

De conformidad con el artículo 35, numeral 9 del decreto 1886, correspondiente al contenido del plan de ventilación, se realizara el protocolo de mantenimiento de ventiladores.

**5.4.1. Protocolo de operación del ventilador.** Efectuar una observación mediante una lista de chequeo, (ver anexo f), sobre las condiciones físicas del ventilador antes de iniciar la jornada laboral, teniendo en cuenta que la presente revisión se hace de conformidad con lo estipulado en el decreto 1886 se establece, el siguiente protocolo de operación o puesta en marcha de los ventiladores centrífugos que se encuentran en la mina Carbonapoles, (ver cuadro 16).

**Cuadro 16.** Protocolo de operación del ventilador.

<b>PROTOCOLO DE OPERACION O PUESTA EN MARCHA DEL VENTILADOR</b>
Antes de hacer funcionar el ventilador comprobar: <b>1.</b> Que las medidas de seguridad se han seguido correctamente y que el personal técnico cuenta con la ropa y el equipo de seguridad adecuado. <b>2.</b> Que el motor del ventilador así como sus accesorios estén des-energizados y los interruptores asegurados. <b>3.</b> Que los componentes mecánicos del ventilador estén listos. a. Que las tuercas, los tornillos y los opresores están apretados. b. Que las conexiones del sistema estén hechas y apretadas correctamente. c. Que los rodamientos estén lubricados correctamente. d. Que la hélice gira libremente y la transmisión y el interior del ventilador estén limpios y libres de objetos extraños. e. Que las poleas estén colocadas en los ejes correctos. f. Que el conjunto flecha-hélice, motor y transmisión estén correctamente alineados. g. Que las bandas tengan la tensión adecuada. h. Que las protecciones especificadas estén colocadas y bien soportadas. i. Que las juntas flexibles estén correctamente instaladas. <b>4.</b> Que los componentes eléctricos del ventilador estén listos. a. El motor esté alambrado a un voltaje de alimentación apropiado. b. El motor esté puesto a tierra correctamente. c. Todos los cables conductores estén aislados correctamente y sean del calibre adecuado. d. Los interruptores termomagnéticos sean de acuerdo a la capacidad del motor. <b>5.</b> Arranque de prueba. a. Encienda el ventilador solo el tiempo necesario para que el ensamble comience a girar. b. Compruebe que la hélice gire en la dirección correcta (ver dirección de flecha indicada en embocadura). c. Revise que no haya vibraciones o ruidos anormales. d. Rectifique cualquier problema que pudiera haber sido encontrado (siga las instrucciones de seguridad,). e. Ponga en operación el ventilador.

**Fuente:** Resultados de la investigación.

**5.4.2. Protocolo para el mantenimiento de los ventiladores.** Para el mantenimiento de cada ventilador se requiere tener en cuenta las siguientes partes para su respectivo chequeo, (ver cuadro 17).

**Cuadro 17.** Protocolo para el mantenimiento de los ventiladores.

<p><b>MANTENIMIENTO DE VENTILADORES</b></p> <p><b>MANTENIMIENTO GENERAL DEL MOTOR</b> Las tres reglas básicas para el mantenimiento del motor son: Mantenerlo limpio, seco y lubricado.</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Mantener los motores y las bobinas limpios es importante porque la suciedad y el polvo sirven como aisladores térmicos.</li><li>2. Los motores se deben mantener secos para evitar los cortocircuitos eléctricos. Los motores almacenados por períodos de tiempo largos pueden presentar condensación de humedad en las bobinas. Asegúrese que el motor esté seco antes de usar.</li><li>3. Asegúrese que el motor no está sobrecargado comparando lecturas reales de amperaje contra las establecidas en la placa del motor.</li></ol> <p><b>MANTENIMIENTO DE LA HÉLICE Y LA FLECHA</b> Examine periódicamente la flecha y la hélice para saber si hay acumulación de suciedad, corrosión, y muestras de exceso de tensión o de fatiga.</p> <p><b>MANTENIMIENTO DE LA EMBOCADURA Y ESTRUCTURA EN GENERAL</b> Todos los componentes o dispositivos estructurales usados para soportar o unir el ventilador a una estructura se deben revisar en intervalos regulares. Los aisladores de vibración, tornillos, cimentaciones, etc., están expuestos a fallas por la corrosión, la erosión y otras causas. En la instalación sobre pared se debe revisar el muro para asegurar la integridad del mismo.</p> <p><b>MANTENIMIENTO DE LAS CHUMACERAS</b> Chumaceras con rodamientos de bolas pueden operar a temperaturas de 93° C (200 °F) de cualquier manera no cambie una chumacera solo porque ésta se “sienta caliente”. Comprueba la temperatura de la chumacera con un termómetro de contacto.</p> <p><b>MANTENIMIENTO DE LA TRANSMISIÓN</b> Las bandas tipo A,B necesitan inspección periódica y reemplazo ocasional. Cuando inspeccione la transmisión, busque acumulación de suciedad, rebabas u obstrucciones que pueden causar el prematuro reemplazo de la banda o de la transmisión. Si se encuentran rebabas, utilice lija fina o una piedra de esmeril fina para quitar las rebabas. Tenga cuidado de que el polvo no entre a los rodamientos. Revise las poleas para saber si hay desgaste. El deslizamiento excesivo de bandas en poleas puede causar desgaste y vibración. Sustituya las poleas gastadas por nuevas.</p>
--

**Fuente:** Resultados de la investigación.

Es necesario tener en cuenta para establecer este protocolo los tipos de mantenimiento que se deben realizar a cada ventilador:

▪ **Mantenimiento preventivo.**

Es el tipo de mantenimiento que se aplica de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes o a la experiencia del personal de mantenimiento.

Se realiza mantenimiento preventivo cada 5.000 Horas de trabajo, teniendo en cuenta el siguiente procedimiento:

1. Verificar el estado de limpieza general.
2. Verificar si hay fugas de lubricantes, si es así, revisar temperatura e histórico.
3. Verificar correcta ubicación de protectores de transmisión de acoplamientos y correas.
4. escuchar la existencia de ruidos extraños.
5. Escuchar el correcto asentamiento del ventilador sobre la bancada, observando la posible falta de rigidez cimentación, soltura de pernos, exceso de lámina de suplemento etc.
6. Registrar mantenimiento en hoja de vida de los equipos y firma del responsable.

▪ **Mantenimiento predictivo.**

Este tipo de mantenimiento se aplica para detectar las fallas desde sus inicios y vigilar su desarrollo.

Para aplicar este tipo de mantenimiento debe existir un nivel relativo de cambio en relación al histórico de referencia del caudal del ventilador, es decir, si los flujos de aire cambian, es necesario aplicar la revisión mediante mantenimiento predictivo. La constancia del caudal de aire se establece mediante un anemómetro, es decir si dentro de la relación de su caudal efectivo y potencia, su curva de trabajo es estable o no de conformidad con las características preestablecidas para ese ventilador.

▪ **Mantenimiento correctivo.**

Es el mantenimiento que se aplica para corregir una falla imprevista o prevista. Para dar paso al mantenimiento correctivo tienen que existir 2 escenarios, en el que se establecerán procedimientos según su corresponda el tipo y la causa.

Cuando deje de funcionar el ventilador en su totalidad:

1. El encargado de la supervisión de las labores y del plan de ventilación en mina tiene como deber, accionar el plan de emergencia y evacuación del personal.
2. Reemplazar el ventilador averiado o con fallas, por otro de igual características o mejores, pero nunca de menor potencia.
3. El ventilador averiado deberá ser revisado por una persona encargada para esa labor la cual deberá:
4. Realizar una observación detallada del ventilador.
5. Determinar las causas de la falla originada.



6. El encargado de dicha labor debe determinar si hay que realizar cambio de repuesto o cambio total de la equipo.
7. Suprimir causa y realizar cambio según sea el caso.

Cuando se determine una anomalía:

1. El encargado deberá monitorear el ventilador cada 8 horas o cuando determine que la maquina muestre indicios de reparación, bien sea por, ruido, vibración y/o temperatura.
2. El encargado deberá seguir los pasos anteriormente nombrados cuando se determina realizar mantenimiento correctivo.
3. Registrar mantenimiento en hoja de vida de los equipos y firma del responsable.

**5.4.3. Protocolo para los ductos de ventilación.** Al igual que los ventiladores es de vital importancia realizar un chequeo y mantenimiento de los ductos de ventilación, ya que estos son parte fundamental en el sistema de ventilación, sin estos se dificultaría llevar el aire hasta los frentes de trabajo.

En la revisión de los ductos de ventilación, se hace necesario mantener una hoja de vida de estos; Para el adecuado mantenimiento se debe seguir un protocolo, (ver cuadro 18).

**Cuadro 18.** Protocolo para el mantenimiento de los ductos de ventilación.

<b>MANTENIMIENTO DUCTOS DE VENTILACION</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Informar de la actividad que se va a realizar.</li> <li>2. Suspender ventilador.</li> <li>3. Asegurar que el ventilador no pueda ser accionado accidentalmente.</li> <li>4. Desacoplar ducto de entrada y/o salida de aire.</li> <li>5. Realizar el parchado en zonas donde se presentes fisuras.</li> <li>6. Verificar el estado de las uniones de los ductos, si presentan daños: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Unión con collarines o clip metálico: proceder al reemplazo de estas</li> <li>• Soldadura: ejecutar nuevamente la soldadura para asegurar el sellado de la unión (ductos metálicos).</li> </ul> </li> <li>7. Verificar el estado de los soportes que aseguran el ducto a las paredes de las vías, si es necesario, realizar el cambio de los cables y los hojetillos.</li> <li>8. Acoplar ductos al ventilador.</li> <li>9. Accionar ventilador, verificar que no presente fugas.</li> <li>10. Realizar esta actividad en el menor tiempo posible, para no alterar el funcionamiento de la mina.</li> </ol>

**Fuente:** Resultados de la investigación.

**5.4.4. Protocolo para la neutralización del polvo de carbón.** De acuerdo al título III, capítulo I, artículo 66 del decreto 1886/2015 correspondiente a la clasificación de las minas por el contenido de polvo de carbón, independiente de la categoría, en

que esta se encuentre, se hace necesario realizar ciertas acciones para evitar y prevenir una explosión por la acumulación de este polvo en las labores mineras. Por lo tanto, se enuncian en este plan de ventilación las medidas de prevención a tener en cuenta para neutralizar el polvo de carbón, (ver cuadro 19), en los frentes activos de la mina Carbonapoles en base al decreto 1886/2015.

**Cuadro 19.** Protocolo para neutralizar el polvo de carbón.

<b>NEUTRALIZACIÓN DEL POLVO DE CARBÓN</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Evitar las acumulaciones de polvo de carbón.</li> <li>2. Humedecer los frentes de arranque y los puntos de Cargue y descargue de mineral o de estériles de manera periódica durante la jornada laboral</li> <li>3. Neutralizar los depósitos de polvo de carbón que se formen sobre los pisos, paredes y techos de las galerías principales de ventilación y transporte, con elementos tales como agua o polvo inerte de caliza.</li> <li>4. Ubicar barreras de polvo inerte de caliza o agua en las galerías principales de ventilación y transporte de carbón.</li> <li>5. Mantener una ventilación adecuada que permita controlar la dispersión del polvo de carbón a grandes distancias.</li> <li>6. Toda perforación de barrenos en roca, debe realizarse mediante el método de perforación húmeda.</li> <li>7. Realizar la limpieza y neutralización de las vías de forma periódica de tal forma que evite la acumulación del polvo de carbón.</li> </ol>

**Fuente:** Resultados de la investigación.

En cuanto al control de cada uno de los métodos a implementar para la neutralización de polvo de carbón, estos se plasman en tres formatos, (ver anexo c).

**5.4.5. Protocolo para aislar trabajos abandonados.** Con el fin de dar cumplimiento al artículo 44 del decreto 1886 de 2015, es importante aislar del circuito de ventilación los trabajos abandonados, con el fin de evitar que el aire limpio se mezcle con los posibles gases que puedan emanar de estas labores y evitar que el personal circule por estas sin previa autorización.

Por lo tanto se presenta un protocolo, (ver cuadro 20), para realizar las actividades de aislamiento de labores abandonadas.

**Cuadro 20.** Protocolo para aislar trabajos abandonados.

<b>AISLAMIENTO DE TRABAJOS ABANDONADOS</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ubicar las labores que se van a sellar y/o aislar en el plano de la mina.</li> <li>2. Por parte del supervisor de la mina debe poner en conocimiento del personal, que va a realizar dicha labor para evitar posibles interrupciones y riesgos en esta actividad.</li> <li>3. Contar con el equipo de medición de gases para evaluar la atmosfera de a labor que se va sellar y/o aislar.</li> <li>4. Disponer de los materiales con los cuales se va a realizar el aislamiento de la labor como son cinta de seguridad, plástico, lonas, señalación etc.</li> <li>5. Si la labor va hacer rellena con material estéril, disponer de los procedimientos para realizar esta labor como son descargue de material, el paleado de material etc.</li> </ol>

### **Cuadro 20. (Continuación)**

- |   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"><li>6. Si el aislamiento se realiza por medio de tabiques o muros, que tengan una salida para desgasificar la labor de forma controlada, se deben monitorear de forma periódica estas instalaciones para medir los posibles aumentos de emanaciones de gases.</li><li>7. Una vez realizada la actividad de aislamiento, esta debe quedar totalmente señalizada para evitar el tránsito de personal por estas.</li><li>8. Se deben hacer mediciones periódicas con el multidetector de gases, con el fin de monitorear las posibles concentraciones y/o emanaciones de gases de estas labores.</li><li>9. Realizar el respectivo registro de mediciones en el libro correspondiente de ventilación para llevar un control de estas labores.</li><li>10. Esta actividad se debe llevar a cabo con todas las labores que considere el supervisor de ventilación que puedan influir en el circuito principal de ventilación de la mina.</li></ol> |
|---|

**Fuente:** Resultados de la investigación.

**5.4.6. Protocolo para la suspensión de la ventilación.** De acuerdo al artículo 45 del decreto 1886 de 2015, se debe realizar cierto procedimiento para la suspensión de la ventilación principal, la auxiliar o ambas, con el fin de que esta se realice de forma controlada y permita la suspensión de las actividades en la mina sin generar posibles accidentes.

Para la suspensión de la ventilación en una mina se debe de tener en cuenta las siguientes sugerencias:

El responsable de la ejecución del plan de ventilación en la mina Carbonapoles o la persona en cargada de la supervisión de las labores debe realizar un formato, (ver anexo g), con el que autoricen por escrito la suspensión de la ventilación y el motivo por el que se realiza dicha actividad.

El procedimiento a seguir para ejecutar la orden de suspensión de la ventilación es el siguiente, (ver cuadro 21).

### **Cuadro 21. Protocolo para la suspensión de la ventilación.**

- | <b>SUSPENSIÓN DE LA VENTILACIÓN</b>   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. Se debe comunicar con anticipación al personal de la mina la suspensión de la ventilación.</li><li>2. El encargado de la ejecución de la suspensión de la ventilación debe evaluar, condiciones de seguridad, para inhabilitar equipos de ventilación.</li><li>3. Evacuar el personal en su totalidad o el de zona donde se suspenderá la ventilación.</li><li>4. Prohibir ingreso del personal hasta que el responsable de la ventilación evalúe condiciones de seguridad para restablecer el trabajo en frentes evacuados.</li><li>5. Apagar o desenergizar los ventiladores.</li><li>6. Bloquear el encendido de los equipos de ventilación, con el fin de que estos sean activados accidentalmente.</li><li>7. Realizar la actividad por la cual se suspendió la ventilación.</li><li>8. Verificar las conexiones eléctricas y de los ventiladores para poner en marcha la ventilación.</li><li>9. Aplicar el protocolo para la puesta en marcha de los ventiladores.</li><li>10. Realizar la respectiva medición de gases cuando se restituya la ventilación.</li><li>11. Realizar el registro de la actividad y las observaciones pertinentes.</li></ol> |

**Fuente:** Resultados de la investigación.

**5.4.7. Protocolo para la activación de la ventilación.** Al igual que se tiene un protocolo para la suspensión de la ventilación, de igual manera se debe de cumplir un protocolo para la activación de la ventilación, (ver anexo h), ya que con esto se busca disminuir al máximo los riesgos y accidentes al realizar cada actividad en la mina.

Por lo tanto, para la mina Carbonapoles se cuenta con el siguiente protocolo para la activación de la ventilación, (ver cuadro 22), esto, independientemente de cual haya sido el motivo de la suspensión.

**Cuadro 22.** Protocolo para la activación de la ventilación.

<b>ACTIVACIÓN DE LA VENTILACIÓN</b>
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Desbloquear y energizar elementos de encendido de ventiladores.</li><li>2. Verificar condiciones de seguridad para el encendido de los ventiladores</li><li>3. Aplicar el protocolo para la puesta en marcha de los ventiladores.</li><li>4. Encender ventiladores.</li><li>5. Según el circuito de ventilación para esta mina se debe esperar mínimo 1 hora.</li><li>6. Hacer medida sobre condiciones atmosféricas de gases tóxicos, una vez se cumpla el tiempo para el ingreso.</li><li>7. Realizar las medidas de las condiciones atmosféricas y establecer si es apto o no.</li><li>8. Realizar ingreso de personal.</li><li>9. Realizar el respectivo registro en los libros con las observaciones pertinentes.</li><li>10. Verificar de forma periódica las condiciones de la ventilación en todas las labores mineras.</li></ol>

**Fuente:** Resultados de la investigación.

## **5.5. PROTOCOLO PARA EL USO DEL AUTORESCATADOR**

De acuerdo al título I, capítulo IV, artículo 23, párrafo 1, el titular del derecho minero, el explotador minero y el empleador minero, proporcionará obligatoriamente autorescatadores al personal que ingrese a las labores mineras subterráneas.

Para que el trabajador minero reconozca las diferentes partes y el modo de activar el equipo en caso de emergencia, se realiza el siguiente protocolo:

## Cuadro 23. Protocolo para el uso del autorescatador

PROTOCOLO PARA EL USO DEL AUTORESCATADOR
<p>Accesorios del equipo</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Externos:<ul style="list-style-type: none"><li>○ Correa y anillos: para que el trabajador porte de manera segura el equipo, este se acopla con correa de hombro, de mano o cintura, con sus respectivos anillos.</li><li>○ Forro: el equipo cuenta con un forro en goma para reducir el desgaste, (ver figura 14)</li><li>○ Cierre de seguridad: ubicado en la parte superior del equipo para evitar aperturas accidentales</li><li>○ Ventana de estado: donde se comprueba si existe humedad en el cartucho de KO<sub>2</sub>, el cual es el generador químico del oxígeno.</li><li>○ Tapa: además del forro de goma, el equipo cuenta con una tapa de plástico que lo protege de golpes y caídas.</li></ul></li> <li>• Internos:<ul style="list-style-type: none"><li>○ Gafas: Protegen de humos y gases tóxicos</li><li>○ Pinza de nariz: evitan la inhalación de gases tóxicos</li><li>○ Boquilla dental: permite que se suministre oxígeno al trabajador a través del tubo conectado a la bolsa respiratoria</li><li>○ Iniciador: activa la generación química de oxígeno</li><li>○ Protección térmica: protege al trabajador del calor generado por el cartucho KO<sub>2</sub></li><li>○ correa para el cuello: para una sujeción segura</li><li>○ correa para el pecho: para llevar el dispositivo cerca del cuerpo</li></ul></li></ul> <p>En caso de emergencia, en ambientes inadecuados a la inhalación, es necesario activar el autorescatador de la siguiente manera:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Retirar el cierre de seguridad, consecutivamente la carcasa exterior se retirara</li><li>2. Ubicar boquilla dental, pinzas de nariz, gafas y ajustar en boca, nariz y ojos</li><li>3. El equipo se iniciara automáticamente. al momento de inhalar, llegara oxígeno al trabajador y este podrá desplazarse a la zona segura más cercana.</li></ol>

**Fuente:** Resultados de la investigación.

**Figura 14.** Autorescatador



**Fuente:** Catalogo Dräger Oxy 3000/6000 Autorescatador

## 6. PLAN DE CONTINGENCIA

De acuerdo al SG-SST de la mina Carbonapoles en su plan de preparación y respuesta ante emergencia, se identificaron las contingencias a tener en cuenta en el plan de ventilación de esta mina.

Un plan de contingencia es un tipo de plan preventivo, predictivo y reactivo. Presenta una estructura estratégica y operativa que ayudará a controlar una situación de emergencia y a minimizar sus consecuencias negativas.

Para la respuesta a las emergencias deberá desarrollarse un plan de contingencia que contenga procedimientos alternativos y operativos, divulgarlo entre los trabajadores, a quienes se capacitara adecuadamente en cada tema en específico.

Para el caso específico del sistema de ventilación de la mina Carbonapoles se pueden presentar las siguientes amenazas que pueden interrumpir el flujo de ventilación de las labores mineras:

- Derrumbes.
- Ausencia de energía.
- Falla de los ventiladores.
- Incendio subterráneo.
- Explosión.

### 6.1. PLAN DE CONTINGENCIA PARA DERRUMBES

**Objetivo.** Establecer un procedimiento que garantice el buen funcionamiento del sistema de ventilación ante la falla ocasionada por un derrumbe dentro de la mina.

**Consideraciones generales:**

- Realizar socialización y práctica de los pasos para la respuesta a contingencias con ocasión a derrumbes que afecten el sistema de ventilación, (ver figura 15).
- Si el derrumbe obstruye la ruta de evacuación que conduce al inclinado principal se debe dirigir a la vía de emergencia que permita una salida alterna por las labores del manto Siete Bancos y por estas salir a superficie.
- Toda labor de explotación deberá tener comunicación alterna para una contingencia, es decir, dado que el método de explotación a implementar es tambores paralelos con ensanche en rumbo estos deberán estar comunicados entre sí por medio de sobreguias.

- Las ventanas de igual manera deberán estar comunicadas entre labores, estas deben estar totalmente despejadas sin ningún tipo de obstrucción, con sus respectivas escaleras que permitan una rápida evacuación.

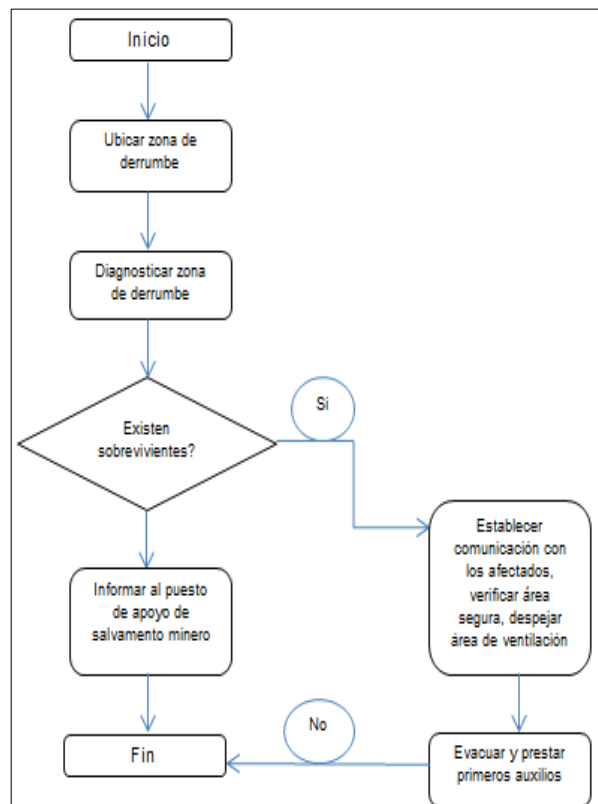
### Consideraciones de seguridad:

- Ubicar e indicar el punto de emergencia.
- Despejar vía de ventilación o ducto de ventilación en frente de trabajo.
- Establecer comunicación con los afectados.
- Verificar área segura.

### Requerimientos:

- Palas
- Pica
- Varilla
- Auto rescatador
- Equipo de primeros auxilios
- Tramos de tubería si se requiere inyectar aire.

**Figura 15.** Flujograma para derrumbes.



**Fuente:** Resultados de la investigación.

## **6.2. PLAN DE CONTINGENCIA AUSENCIA DE ENERGÍA**

**Objetivo.** Establecer un procedimiento que garantice el buen funcionamiento del sistema de ventilación ante la falla ocasionada por la ausencia de energía.

### **Consideraciones generales:**

- Realizar socialización y práctica de los pasos para la respuesta a contingencias con ocasión a la ausencia de energía que afecte el sistema de ventilación, (ver figura 16).
- Establecer una opción alterna para la generación de energía, que para este caso apuntaría a una planta de energía con funcionamiento a diesel y que garantice la salida de todo el personal de la mina.
- Implementar un dispositivo de protección contra sobretensiones (DPS) y banco de condensadores para equipo eléctrico de ventilación.

### **Consideraciones de seguridad:**

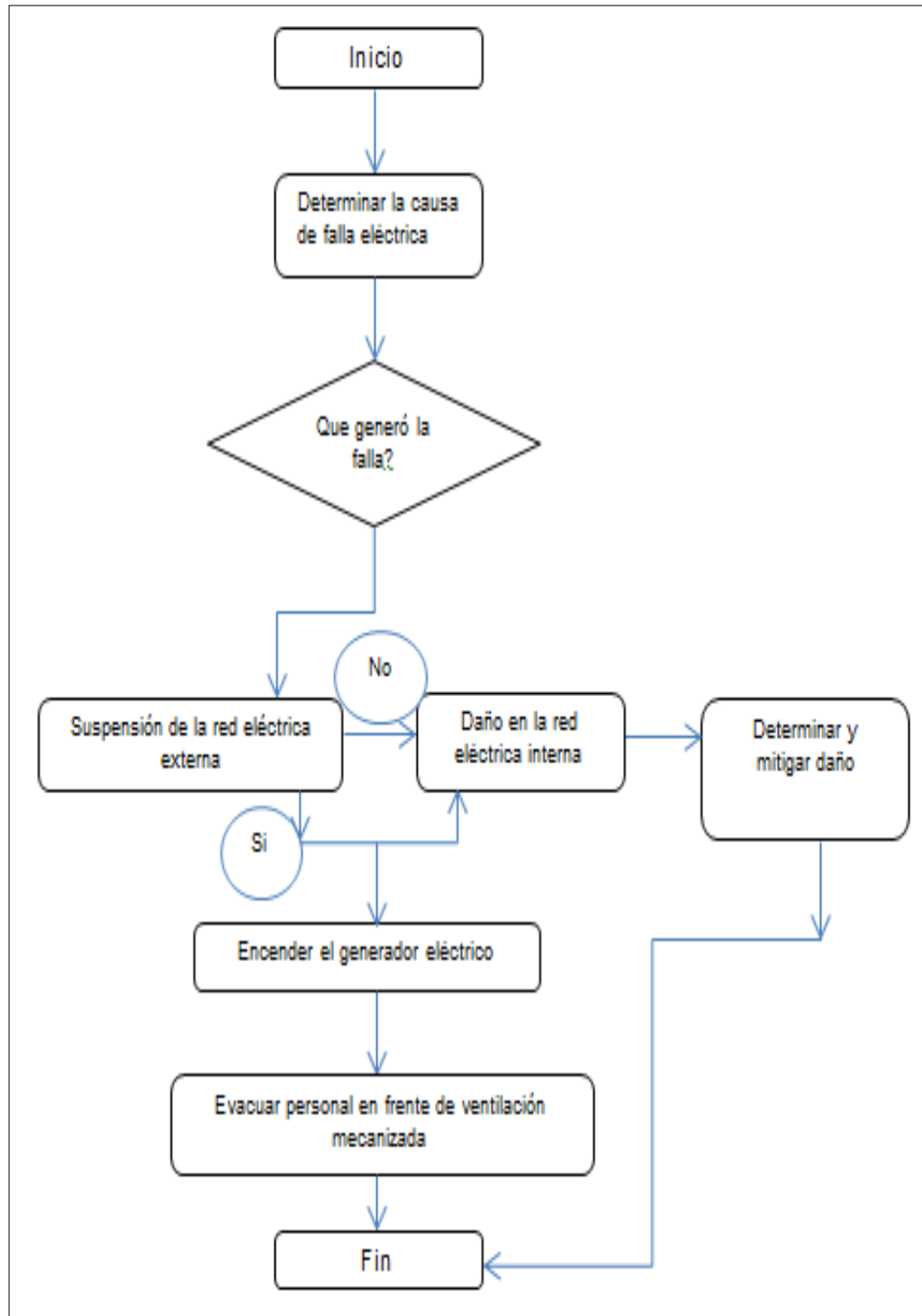
- Garantizar el mantenimiento y disponibilidad de planta de generación de energía.
- Designar la persona encargada para su accionar en cada turno o implementar sistema automático de encendido.
- En caso de que el frente de trabajo requiera de ventilación forzada evacuar inmediatamente el frente.
- Evacuar el personal total de la mina si el daño persiste más del tiempo estipulado por el protocolo interno que se tiene en la mina, que para la mina Carbonapoles es de 30 minutos.

### **Requerimientos:**

- Planta de generación de energía con capacidad suficiente para mover el sistema de ventilación forzada.
- Banco de condensadores.
- Dispositivo de Protección contra sobretensiones DPS.
- Probador de corriente no invasivo (sin tener contacto a cables).



**Figura 16.** Flujograma para ausencia de energía.



**Fuente:** Resultados de la investigación.

### **6.3. PLAN DE CONTINGENCIA FALLA DE LOS VENTILADORES**

**Objetivo:** Establecer un procedimiento que garantice el buen funcionamiento del sistema de ventilación ante la falla de los ventiladores.

#### **Consideraciones generales:**

- Realizar socialización y práctica de los pasos para la respuesta a contingencias con ocasión a afectación del sistema de ventilación por falla de ventiladores, (ver figura 17).
- Garantizar que el mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los ventiladores se esté ejecutando según lo establecido en su protocolo.
- Disponer de un ventilador de reserva con las mismas características que garantice el funcionamiento del circuito de ventilación preestablecido en caso de falla para remplazo inmediato.

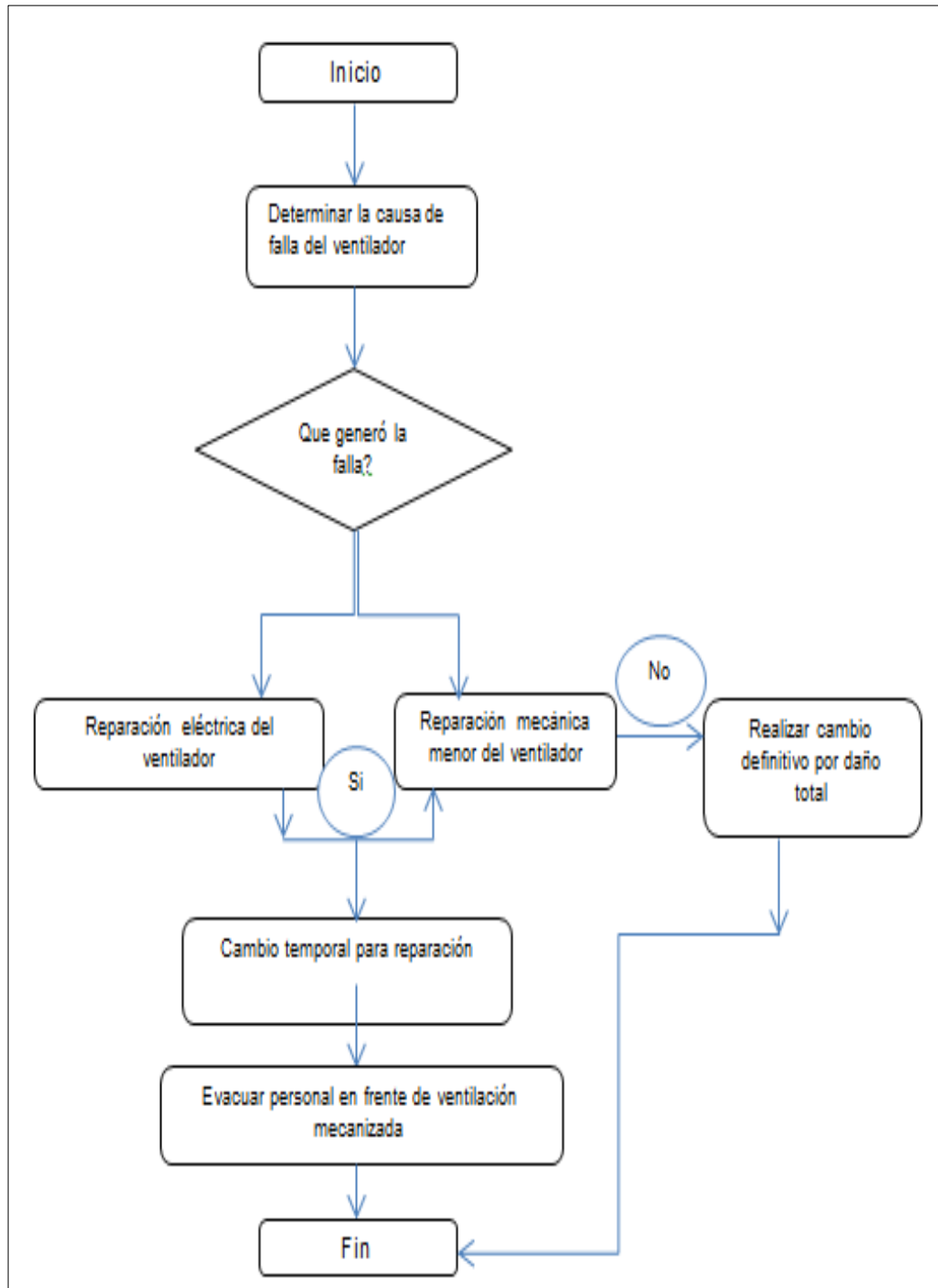
#### **Consideraciones de seguridad:**

- Implementar DPS y banco de condensadores en caso de la falla sea producto de un pico de energía.
- Garantizar que la ubicación del ventilador no afecte su buen funcionamiento.
- Es de vital importancia que la mina cuente con un circuito de ventilación natural (entrada y una salida) que permita mantener las condiciones atmosféricas mínimas hasta reactivar nuevamente la ventilación forzada.

#### **Requerimientos:**

- Realizar el respectivo chequeo de los ventiladores de forma periódica, con el fin de disminuir el riesgo por falla de estos.
- Disponibilidad del mantenimiento mecánico de los ventiladores para dar cumplimiento al programa establecido.
- Banco de condensadores.
- Dispositivo de Protección contra sobretensiones DPS.
- Probador de corriente no invasivo (sin tener contacto a cables).

**Figura 17.** Flujograma para fallas de ventiladores.



**Fuente:** Resultados de la investigación.

## 6.4. PLAN DE CONTINGENCIA EN CASO DE INCENDIO SUBTERRÁNEO

**Objetivo:** Establecer un procedimiento que garantice el buen funcionamiento del sistema de ventilación ante un incendio de subterráneo.

### Consideraciones generales:

- Realizar socialización y práctica de los pasos para la respuesta a contingencias con ocasión a incendio subterráneo que afecte el sistema de ventilación, (ver figura 18).
- Desenergizar los ventiladores para evitar la oxigenación al incendio.
- Dar aviso al personal para la evacuación inmediata mediante la vía de entrada de caudal de aire para su salida.
- Dar aviso al PASSM (Punto de apoyo de seguridad y salvamento minero) Cooprocabon Samacá.
- Ubicar punto de incendio.
- Aislar el área donde se produjo el incendio, con el fin de que este propague y llegue a las corrientes de aire de ventilación principal.
- Dar aviso a la autoridad minera.

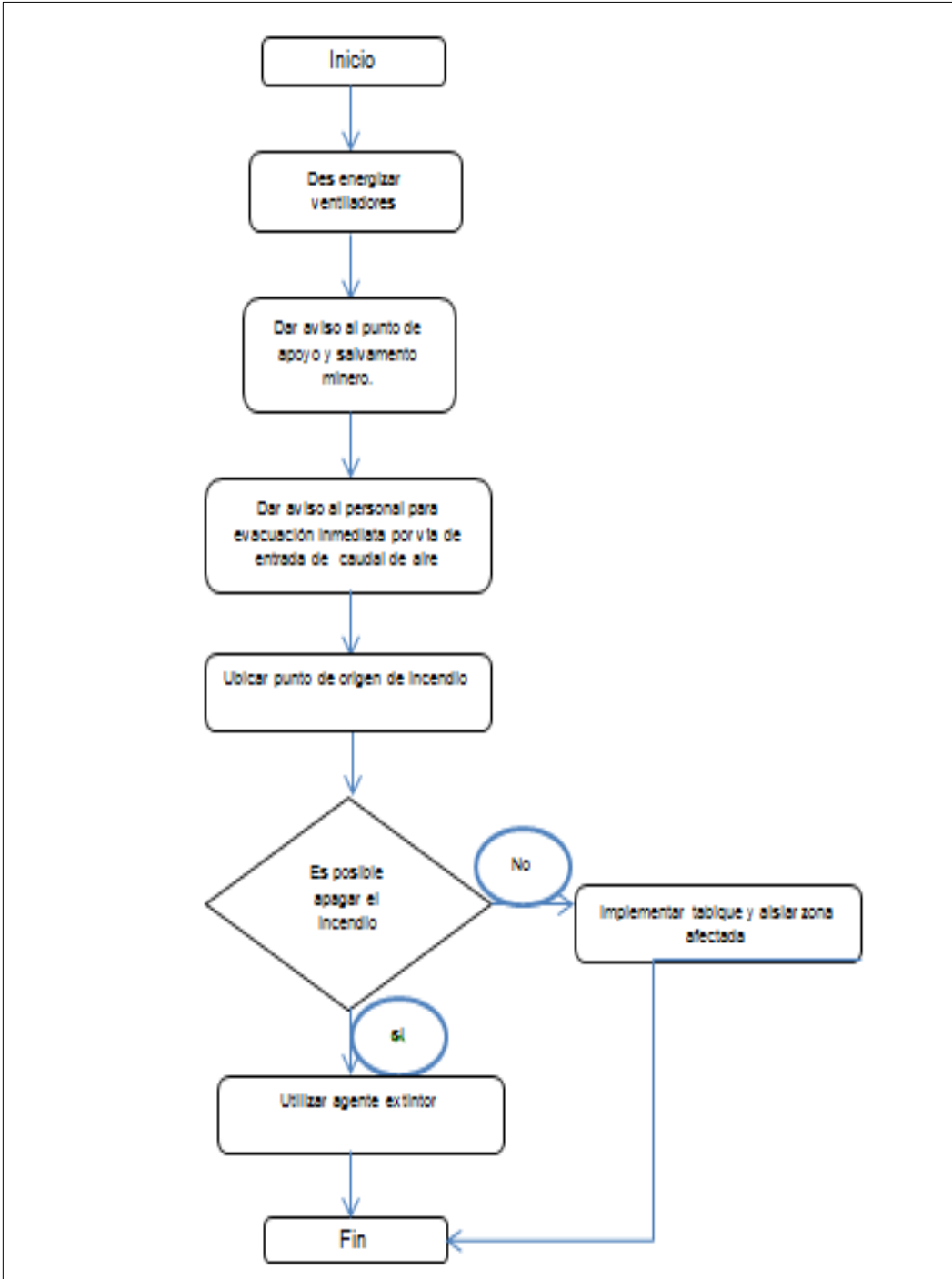
### Consideraciones de seguridad:

- Brindar primeros Auxilios.
- Deshornado si se puede, y evacuación rápida del carbón caliente para evitar la propagación del fuego
- Evitar que lleguen corrientes de aire al foco de incendio, que permitan aumentar su propagación.
- Hacer uso de equipos de circuito cerrado de oxigenación (auto rescatadores).
- Atacar el foco por medios ordenados (extintores, arena, agua, etc).
- Determinar y mitigar causa del incendio.
- Si el incendio es mínimo apagar con agua o extintor multipropósito, si no aislar la zona afectada mediante construcción de tabiques o muros.
- Monitorear periódicamente el área donde se produjo el incendio, con el fin de que este pueda volver a aparecer.
- Tabicar si el incendio no se ha podido dominar.

### Requerimientos:

- Extintor multipropósito 30 lbs en cada sitio donde se tengan equipos eléctricos y vías principales.
- Equipos de circuito cerrado de oxigenación (autorrescatadores)
- Equipo de medición de gases.
- Equipo de primeros auxilios.
- Palas.
- Depósitos de arena.

**Figura 18.** Flujograma para incendios subterráneos.



**Fuente:** Resultados de la investigación.

## **6.5 PLAN DE CONTINGENCIA EN CASO DE EXPLOSIÓN**

**Objetivo:** Establecer un procedimiento que garantice el buen funcionamiento del sistema de ventilación ante una explosión dentro de la mina.

### **Consideraciones generales:**

- Realizar socialización y práctica de los pasos para la respuesta a contingencias con ocasión a una explosión que afecte el sistema de ventilación.
- Utilizar el autorescatador.
- Dar aviso al personal para la evacuación inmediata, si la emergencia lo permite.
- Dar aviso al PASSM (Punto de apoyo de seguridad y salvamento minero) Cooprocarrón Samacá.
- Aumentar el flujo de aire en la zona donde se produjo la explosión.
- Dar aviso a la autoridad minera.

### **Consideraciones de seguridad:**

- Se deben realizar los respectivos simulacros de evacuación en caso de explosiones.
- Utilizar el auto rescatador de forma permanente.
- Se debe mantener una adecuada ventilación en todas las labores de la mina
- Mantener toda la señalización correspondiente a las rutas de evacuación.
- Mantener una entrada y salida de forma independiente que permita una rápida evacuación.
- Brindar primeros Auxilios.
- Chequear de manera periódica las conexiones eléctricas.
- Verificar el aumento de temperaturas de manera repentina.
- Evitar la acumulación de grisú, al igual que de polvo de carbón en los frentes de explotación, realizar la respectiva neutralización de estos.
- Eliminar la acumulación de madera y materias muy combustibles cerca de instalaciones eléctricas y pozos o labores de entra de aire.
- Monitorear periódicamente todas las labores durante la jornada laboral.

### **Requerimientos:**

- Autorescatadores.
- Extintor multipropósito 30 lbs en cada sitio donde se tengan equipos eléctricos y vías principales.
- Equipo de medición de gases en cada frente de explotación.
- Equipo de primeros auxilios en superficie y bajo tierra.

## 6.6. PERSONAL DISPONIBLE Y DOTAR DE MATERIALES

Para dar cumplimiento con el plan de contingencia que se generó a causa de las amenazas que pueden interrumpir la ventilación de la mina Carbonapoles, es importante identificar los elementos necesarios que se tienen por parte de la mina para enfrentar las emergencia que se pueden presentar en la actividad minera. De allí que exista la disponibilidad de un grupo de socorredores que estará constituida directamente por la plantilla de empleados de la empresa.

Actualmente la mina Carbonapoles no cuenta con grupo de socorredores aunque ya existe un proyecto para la formación de estos.

La mina Carbonapoles cuenta con elementos mínimos de emergencia como: camilla, botiquín, y extintor, (ver figura 19).

**Figura 19.** Equipos primeros auxilios.



**Fuente:** Resultados de la investigación.

Es de tener en cuenta de quienes están en la capacidad para atender la emergencia son los miembros del PASSM (Puesto de apoyo de seguridad y salvamento minero) de Samacá de Cooprocarrón.

Cooprocabon, como empresa titular, está en la obligación de velar por los que allí operan, es por ello que dentro de su función está el salvaguardar la vida de los empleados.

El Puesto de Salvamento minero está constituido con las siguientes características:

**Ubicación:** Instalaciones del departamento de salvamento minero: oficinas Cooprocabon en el casco urbano del municipio de Samacá.

**Socorredores mineros:** Actualmente PASSM de COOPROCARBON, cuenta con 6 socorredores activos.

**Auxiliares de socorredores mineros:** COOPROCARON cuenta con 3 socorredores mineros.

**Equipos disponibles:** Equipo de circuito cerrado marca facer A-W70, Auto respiradores A1-9, camillas y botiquín de primeros auxilios y vehículos de transporte.

## **6.7. FORMACIÓN DEL PERSONAL.**

La formación del personal de la mina Carbonapoles estará centrada en capacitaciones de temas relacionados con la naturaleza de los casos de emergencias que relacionados con la ventilación puedan surgir.

Para construir una base sólida de formación, el jefe de salvamento minero del PASSM COOPROCARBON, dirigirán capacitaciones con el apoyo de simulacros que permitan fortalecer lo socializado en los temas de derrumbes, incendios, ausencia de energía y explosiones.

Todo el personal recibirá una formación referente a las normas establecidas en el plan de emergencia. Las personas que tengan responsabilidades y labores asignadas recibirán una formación específica y programada.

Los temas a discutir y para las cuales estará dirigida la formación del personal con una duración mínima de 4 horas son:

- Primeros auxilios.
- Plan de emergencia para respuesta a contingencia que tendrán como mínimo que saber los colaboradores: cómo dar la alarma, acciones a tomar de acuerdo a la emergencia.
- Cuáles son las vías de evacuación disponibles, los medios de extinción y control disponibles, cómo se emplea autorescatador, entre otras.
- EPP.
- Respuesta a los diferentes tipos de amenazas que se identificaron en la mina Carbonapoles.



Para las capacitaciones relacionadas con el área de ventilación se tiene en el siguiente formato, (ver anexo i), donde se especifica el tema a tratar con su respectivo registro.

## 6.8 VÍAS DE EVACUACIÓN Y PUNTOS DE ENCUENTRO

Se determinarán las vías de evacuación y emergencia en función de las distancias a recorrer, el número de personas a evacuar y labores existentes. Estas vías estarán señalizadas y figurarán en los planos publicados. Es fundamental que estén siempre libres de objetos que obstaculicen el libre desplazamiento por estas vías.

Las vías de evacuación en la mina Carbonapoles estarán también designadas de conformidad con el análisis de riesgos establecidos y de acuerdo a la necesidad del personal, en tanto que estas serán objeto de replanteo, a medida que surjan vías alternas de salida y exista mayor avance en las labores de explotación y requerimiento de personal.

Evaluando las condiciones actuales de las labores y frentes de explotación en la mina Carbonapoles y sujeto a este criterio, se estableció una ruta de emergencia la cual actualmente es el inclinado principal, y una segunda ruta es por las labores del manto Siete Bancos, (ver plano 10).

**6.8.1. Puntos de encuentro.** Se establecerán los puntos de reunión necesarios, donde se concentrará el personal evacuado, el cual estará señalizado y concertado en un área libre de peligro, para lo cual siendo el caso de la mina Carbonapoles este se ubica en superficie cerca al campamento, (ver figura 20).

**Figura 20.** Punto de encuentro.



**Fuente:** Resultados de la investigación.

## **6.9. MANTENIMIENTO DE EPP**

Se establecerá de acuerdo con la legislación vigente un método de comprobación del correcto estado de los equipos de protección, el cual se realizara mediante una lista de chequeo, (ver anexo j).

## CONCLUSIONES

- Se logró reconocer e identificar las generalidades de la mina en cuanto a la localización, geología y estado actual de las labores.
- Se evaluó y analizo la ventilación actual de la mina, mediante las mediciones de gases y aforos realizados en las visitas a campo; con dicha información se efectuaron una serie de recomendaciones, con el fin de mejorar el circuito de ingreso y salida de aire.
- Con los datos obtenidos en el trabajo de campo y la simulación por medio del software Ventsim, se calculó y proyecto la ventilación principal y auxiliar óptima para la mina.
- Las labores de entrada y salida independiente y distantes una de otra 50m, brindan a la mina una atmosfera de aire respirable, donde los gases que se generan, con el adecuado encause del aire fresco, son fácilmente diluidos, además de mantener temperaturas óptimas para el personal.
- En la evaluación de la ventilación actual de la mina Carbonapoles, se observaron cambios que afectaron de manera positiva las condiciones de la mina, mejorando el caudal de llegada y las temperaturas registradas.
- Para el diseño, análisis y cálculo del circuito de ventilación fue necesario conocer las diferentes labores y las condiciones operativas de la mina; con el fin que el caudal de aire fresco llegue a todos los frentes activos, diluyendo los gases generados y la corriente de aire viciado sea evacuada a superficie.
- El cálculo de los ductos de ventilación secundaria, se realizó con dimensiones apropiadas para evitar la obstrucción del acceso del personal y el transporte de mineral.
- La ventilación natural en este caso es insuficiente ya que no produce el caudal necesario para el personal y los gases emanados en la mina, por consiguiente, es necesario la instalación de un ventilador principal el cual utilizara como ducto la totalidad de la sección, generando una corriente de aire fresco adecuada para la mina.

## RECOMENDACIONES

- Con el objeto de evitar accidentes por el acumulamiento de aire viciado o gases en labores antiguas o abandonadas, así mismo, el desvío de la corriente de aire limpio a través de estas labores, se recomienda aislar herméticamente del circuito de ventilación y ubicar la respectiva señalización para evitar el tránsito de personal.
- La instalación de los ventiladores se debe realizar a cierta distancia de las paredes, donde la entrada y salida de aire no este obstruida; así mismo, que el equipo se ubique alejado del piso, con el fin que el aire que ingresa no este mezclado con polvo o cualquier otro compuesto. La base en la cual se ubica el ventilador debe ser sólida y elevada para mantener el equipo fijo, sin riesgo de choques con el transporte. Para el correcto funcionamiento del ventilador no debe obstruirse la entrada y salida con ningún objeto, además, los cables conductores deben estar aislados correctamente para evitar cortocircuitos.
- Se aconseja utilizar los accesorios (acoples, reducciones, etc.) adecuados de acuerdo a las dimensiones de entrada y salida del ventilador, igualmente, el mantenimiento periódico de los ductos, para eliminar resistencias y perdidas de aire que causen la disminución en el caudal de llegada.
- Se debe programar un mantenimiento preventivo periódico para las vías de ventilación, con el fin de evitar obstrucciones que puedan interrumpir el flujo normal del aire, y con esto garantizar la seguridad del personal y la operación de la mina.
- Una vez realizada la voladura, es necesario esperar de 15 a 30min antes de ingresar al frente, para que los gases y el polvo se diluyan, además de realizar el monitoreo para confirmar que los gases se encuentren dentro de los límites permisibles.
- El personal encargado de realizar los aforos y medición de gases debe estar debidamente capacitado, con el fin de que este disponga de autoridad para dar aviso y evacuar al personal, cuando los gases se encuentren dentro de límites peligrosos.

- Se aconseja que los ventiladores principales y secundarios por adquirir sean ensamblados por industrias, ya que estos garantizan una vida útil mayor y no incrementan el costo de energía.
- Aplicar cada uno de los protocolos expuestos en este plan de ventilación, para optimizar la calidad de vida de los trabajadores y disminuir los riesgos a causa de un mal procedimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- CARRASCAL BUELVAS, Alfonso Andrés y MANZUR ÁMEL, Camilo Andrés. Evaluación y propuesta del mejoramiento de la ventilación para la mina “EL MARACAIBO” municipio de Samacá, departamento de Boyacá. Sogamoso, Boyacá, 2014. 70 p. Proyecto de grado (ingeniero de minas). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad seccional Sogamoso. Escuela de ingeniería de minas.
- CASTILLO ARANGUREN, Daniel Ricardo. Evaluación del sistema de ventilación de la mina EL ROBLE. Sogamoso, Boyacá, 2017. 150 p. Proyecto de grado (ingeniero de minas). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad seccional Sogamoso. Escuela de ingeniería de minas.
- CALDERÓN AMAYA, Diego armando y DELUQUEZ BAUTE, Gerson Javier. Diseño, mejora y proyección de la red de ventilación de la mina didáctica del Centro Minero Sogamoso- Vereda Morca – Boyacá. Sogamoso, Boyacá, 2012. 75 p. Proyecto de grado (ingeniero de minas). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad seccional Sogamoso. Escuela de ingeniería de minas.
- COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto 1886 (21, septiembre, 2015). Por el cual se establece el Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas. Diario oficial. Bogotá, D.C., 2015. p 1-89.
- COOPROCARBON. Actualización y Modificación del Programa de Trabajos y Obras (PTO), del contrato 7241. Samacá, Boyacá: Ing. Oscar Iván Barrera., 2016.
- CHARRIS, Tomas. Fundamentos de ventilación en labores subterráneas. Universidad Nacional de Colombia. Medellín 2006. Libro inédito.
- HARTMAN, Howard L., MUTMANSKY, Jan M., RAMANI, Raja V. y WANG, Y. J. Mine Ventilation and Air Conditioning. 3 ed. California: John Wiley y Song, 1997. 752 pg. ISBN 978-0-471-11635-6.
- NOVISKY, Alejandro. Ventilación de Minas. Argentina: H F MARTINEZ DE MURGUIA. 528 p. ISBN 9789999032711.

# **ANEXOS**

**COLUMNA ESTRATIGRAFICA**  
**FORMACION GUADUAS NIVEL K2E1g3**  
**MINA CARBONERA**  
**Vereda Loma Redonda, Samacá**

PUNTO DE INICIALIZACION: X= 1.057.236  
 Y= 1.095.686  
 Z= 3.151

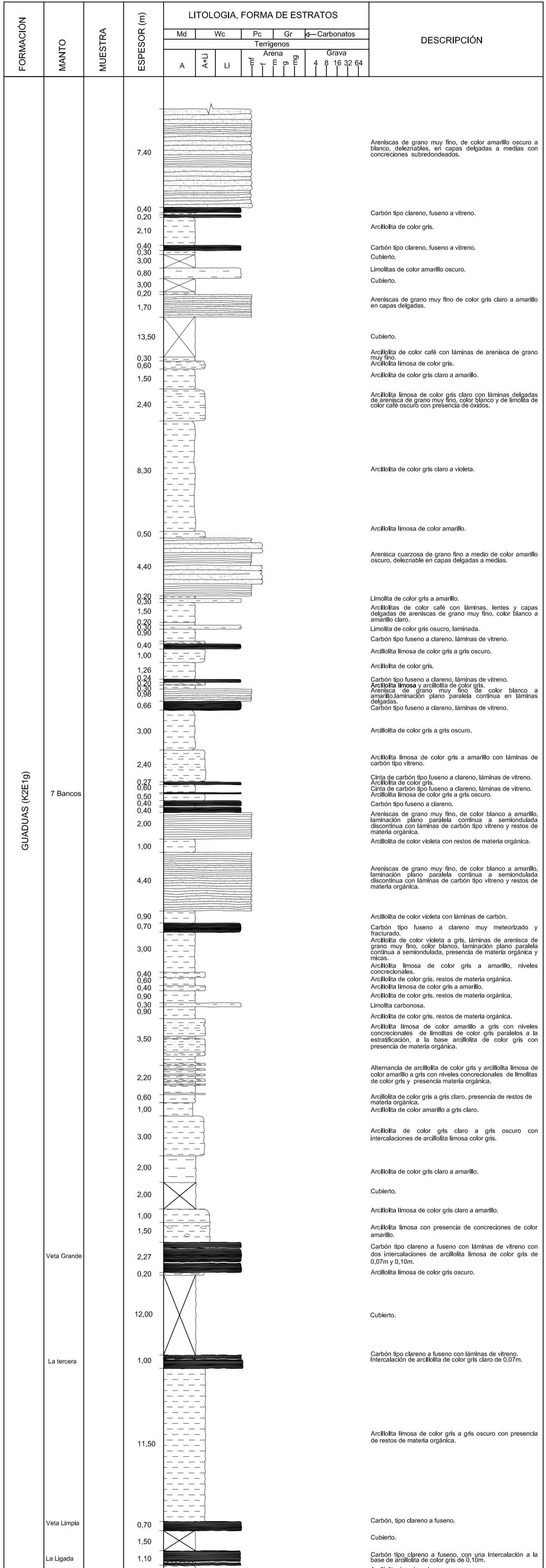
PUNTO DE FINALIZACION: X= 1.057.350  
 Y= 1.095.619  
 Z= 3.189

AUTOR: Fernando Andrés Parra  
 Claudia Inés Duarte B.

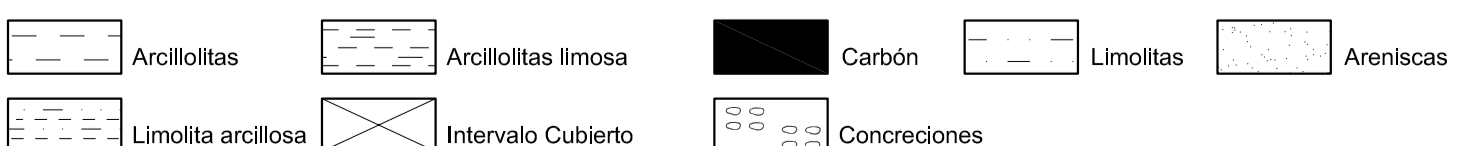
ESCALA: 1: 200

FECHA: 01-05-12

COLUMNA: 4



**CONVENCIONES**





## ANEXO B: Aforos de ventilación

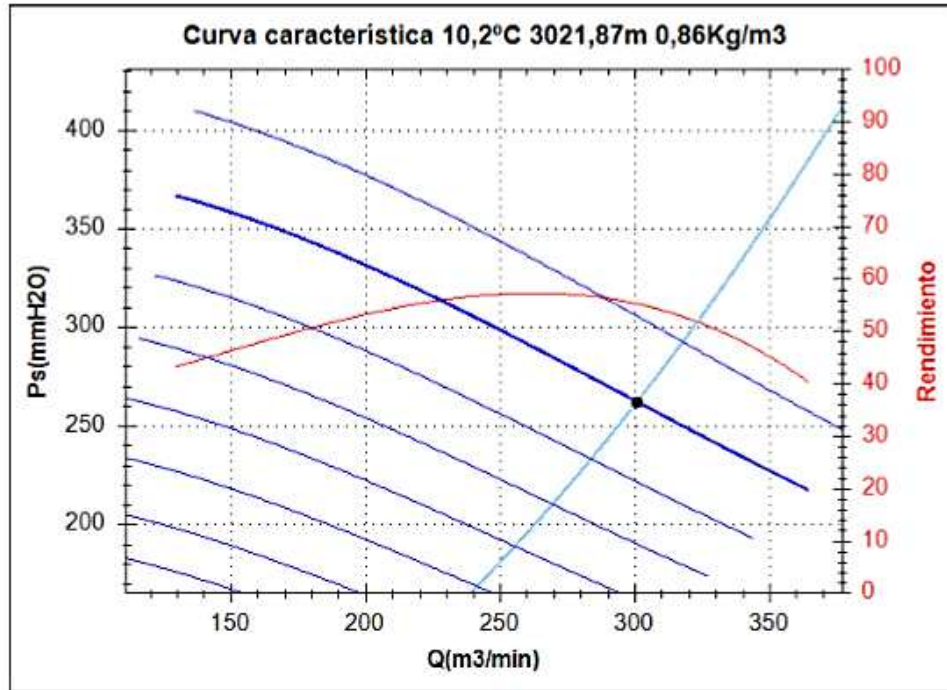
FECHA	LABOR	SECCIÓN (m <sup>2</sup> )	VEL. (m/s)	CAUDAL		DIRECCIÓN	T. Seca (C°)	T. Humedad (C°)	HR (%)
				m <sup>3</sup> /seg	m <sup>3</sup> /min				
24/07/17	Inclinado principal	3.15			113.4	Salida	19.4	20.0	77
15/08/17	Inclinado principal	3.15	0.6	1.89	113.4	Salida	18.9	21.3	80.9
26/09/17	Inclinado principal	3.15	1.0	3.15	189.0	Salida	16.5	18.3	90.9
24/07/17	Nivel principal 7 Bancos (a 40m del inclinado principal )	3.07				Salida	18.7	20.6	63.2
15/08/17	Nivel principal 7 Bancos (a 40m del inclinado principal )	4.32	0.4	3.024	181.44	Salida	15.5	17.7	69
15/08/17	Bocaviento	2.08	1.2	2.94	149.9	Entrada	16.5	11.5	60.2
26/09/17	Bocaviento	2.49	0.7	1.74	104.58	Entrada	12.6	10	72
15/08/17	Bocaviento-Tambor	3.9	1.0	3.9	234	Entrada	12.5	15.0	77.7
26/09/17	Bocaviento-Tambor	3.9	1.5			Entrada			
15/08/17	Tambor – Nivel Principal 7 Bancos	2.14	0.4	0.85	51.50	Entrada	20.1	17.2	73.5
15/08/17	Nivel Mto. 7 Bancos- Ventana com. Mto. La Grande	2.42				Entrada	22.3	17.3	77.8
26/09/17	Nivel Mto. 7 Bancos- Ventana com. Mto. La Grande	2.42	0.5	1.21	72.6	Entrada	11.6	13.7	79.1
15/08/17	Nivel principal Mto. La Grande - ventana a Mto. 7 bancos	3.4	0.66	2.24	134.64	Entrada	21.0	17.3	75.3
26/09/17	Nivel principal Mto. La Grande - ventana a Mto. 7 bancos	3.88	0.61	2.37	142.47	Entrada	11.9	13.3	84
26/09/17	Nivel principal Mto. La Grande- Tolva de descargue	4.42	0.61	2.72	163.2	Entrada	17.0	14.7	69.8

**Cuadro aforos de ventilación (continuación)**

FECHA	LABOR MEDIDA	O <sub>2</sub> (%) VLP = 19.5	CH <sub>4</sub> (%) VLP=1	CO (PPM) VLP=25	CO <sub>2</sub> (%) VLP=0,5	NO <sub>2</sub> (PPM) VLP=0,2	H <sub>2</sub> S (PPM) VLP=1
15/08/17	Inclinado principal	20.3	0.0	0.0	0.28	0.0	0.0
26/09/17	Inclinado principal	20.7	0.0	0.0	0.18	0.0	0.0
24/07/17	Nivel principal 7 Bancos (a 40m del inclinado principal )	19	0.0	0.0	0.96	0.0	0.0
15/08/17	Nivel principal 7 Bancos (a 40m del inclinado principal )	20.4	0.0	0.0	0.54	0.0	0.0
15/08/17	Bocaviento	20.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26/09/17	Bocaviento	20.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15/08/17	Bocaviento-Tambor	20.9	0.0	0.0	0.04	0.0	0.0
15/08/17	Nivel Mto. 7 Bancos-Ventana com. Mto. La Grande	20.1	0.0	0.0	0.52	0.0	0.0
26/09/17	Nivel Mto. 7 Bancos-Ventana com. Mto. La Grande	20.9	0.0	0.0	0.04	0.0	0.0
15/08/17	Nivel principal Mto. La Grande	20.6	0.0	0.0	0.09	0.0	0.0
15/08/17	Nivel principal Mto. La Grande - ventana a Mto. 7 bancos	20.8	0.0	0.0	0.05	0.0	0.0
26/09/17	Nivel principal Mto. La Grande - ventana a Mto. 7 bancos	20.8	0.0	0.0	0.06	0.0	0.0
26/09/17	Nivel principal Mto. La Grande- Tolva de descargue	20.2	0.0	0.0	0.22	0.0	0.0

## ANEXO D: Ficha técnica ventilador principal MZZM630

### Curva característica



#### Punto de diseño

Q(m3/min)	300,67
Ps(mmH2O)	262,33

#### Punto de servicio

Rpm turbina	2650
Temp. max.(°C)	100
Q(m3/min)	300,74
Ps(mmH2O)	262,45
Pd (mmH2O)	32,20
Pt(mmH2O)	294,66
Vel. aire(m/s)	27,07
Rend. (%)	55,38

### Datos técnicos

Turbina rpm	2650
Motor rpm	3552
Peso aprox.(kg)	240 + 340 (motor)

# ANEXO E: Certificado de calibración termohigroanemometro



## METROLABOR

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
CALIBRATION CERTIFICATE



**LABORATORIO:** TERMOMETRÍA  
*Laboratory*

**INSTRUMENTO:** TERMOHIGROANEMÓMETRO DIGITAL  
*Instrument*

**FABRICANTE:** AMPROBE  
*Manufacturer*

**MODELO:** TMA40-A  
*Model*

**NÚMERO DE SERIE:** 17050041  
*Serial number*

**CÓDIGO INTERNO:** NO IDENTIFICADO  
*Internal code*

**RANGO DE MEDICIÓN:** -20 °C ... 70 °C  
*Measurement range*

**RANGO DE CALIBRACIÓN:** 20 °C  
*Calibration range*

**RESOLUCIÓN DEL INSTRUMENTO:** 0.1 °C  
*Resolution*

**SOLICITANTE:** COOPROCARBÓN  
*Customer*

**DIRECCIÓN:** CALLE 5 No. 5 - 50 - SAMACÁ - BOYACÁ - COLOMBIA  
*Address*

**LUGAR DE CALIBRACIÓN DEL INSTRUMENTO:** LABORATORIO DE HUMEDAD RELATIVA  
*Calibration location*

**FECHA DE RECEPCIÓN DEL INSTRUMENTO:** 2017-12-12  
*Date of receipt*

**FECHA DE CALIBRACIÓN:** 2017-12-14  
*Date of Calibration*

**NÚMERO DE PÁGINAS INCLUYENDO ANEXOS:** DOS (2)  
*Number of pages and documents attached*

**NUMERO: MET-LT-CC 18718**  
*Number:*

Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido total o parcialmente, excepto cuando haya obtenido permiso por escrito del laboratorio que lo emite. Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados. El usuario es responsable de la calibración de sus instrumentos a intervalos apropiados.

*This certificate faithfully expresses the results of the measurements. This certificate may not be partially or totally reproduced, except when you have obtained written permission from the issuing laboratory. The results contained in this certificate refer to the moment and conditions under which measurements were made. The issuing laboratory assumes no responsibility for the misuse of the calibrated instruments. The user is responsible to have the object calibrated at appropriate intervals.*

### 1. CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE LA CALIBRACION / ENVIRONMENTAL CONDITIONS DURING CALIBRATION

Temperatura del Aire (°C) / Air temperature	23.4 ± 0.1
Humedad Relativa (%) / Relativity humidity	42.3 ± 0.1
Presión Atmosférica (hPa) / Air pressure	No medida

Los datos suministrados de las condiciones ambientales, se refieren al momento y lugar en el que se realizaron las mediciones.

*Those provided environmental condition, concern the time and place at where the measurement were made.*

### 2. TRAZABILIDAD / TRACEABILITY

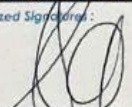
El laboratorio de calibración de termometría de Metrolabor Ltda. asegura la trazabilidad de los patrones y de los instrumentos utilizados en estas mediciones, a patrones Nacionales o Internacionales de referencia.

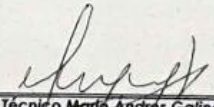
*The Metrolabor Ltda., Thermometry Lab., ensures traceability of calibration instruments used in these measurements, to national or international reference standards.*

### 2.1. IDENTIFICACION DEL PATRÓN DE REFERENCIA Y TRAZABILIDAD / REFERENCE IDENTIFICATION AND TRACEABILITY

Instrumento / Instrument: Termohigrómetro digital	Serie / Serial: L3810016+L4110010	Modelo / Model: MI70+HMP77
Fabricante / Manufacturer: Vaisala Oy	Código Interno / Internal code: LH 012	
Certificado de Calibración / Calibration certificate No.: MET-LT-CC 18249	Certificado vigente hasta / Certificate valid until: 2018-10-25	
Instrumento / Instrument: Termohigrómetro digital	Serie / Serial: L3810016+L4110011	Modelo / Model: MI70+HMP77
Fabricante / Manufacturer: Vaisala Oy	Código Interno / Internal code: LH 012	
Certificado de Calibración / Calibration certificate No.: MET-LT-CC 18250	Certificado vigente hasta / Certificate valid until: 2018-10-25	
Instrumento / Instrument: Cámara climática digital	Serie / Serial: 14-08693	Modelo / Model: KMF 240
Fabricante / Manufacturer: Binder	Código Interno / Internal code: LH 005	
Certificado de Calibración / Calibration certificate No.: MET-LT-CC 17506	Certificado vigente hasta / Certificate valid until: 2018-08-22	

Firmas Autorizadas / Authorized Signatures:

  
Metrólogo Angelo Cabrera Gonzalez  
Calibrado por: Calibrated by:

  
Director Técnico María Andrés Galindo H.  
Revisado por: Checked by:



# METROLABOR

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
CALIBRATION CERTIFICATE



NUMERO: MET-LT-CC 18718

Number:

### 3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN / CALIBRATION PROCEDURE:

Para la calibración se empleó el método de comparación directa de las indicaciones de temperatura del instrumento en calibración con las indicaciones del patrón, dentro de un medio isotermo estable; según los lineamientos del procedimiento del Centro Español de Metrología CEM, 'Procedimiento TH-001 Para la calibración de termómetros digitales', edición digital 1 de 2008. Para la presente calibración se realizó la prueba de repetibilidad y se calibró en un (1) punto de temperatura a 20 °C.

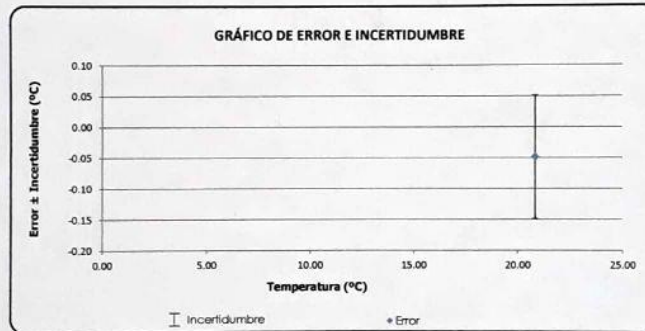
To calibrate the instrument under operating conditions, a method involving temperature direct comparison was employed; inside of a stable isothermal environment, according to the CEM document: TH-001 Digital thermometers calibration procedure, digital issue 1, 2008. For this calibration, the values taken were these: 20 °C.

### 4. RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN / CALIBRATION RESULTS:

Temperatura Indicada por el Instrumento Patrón (°C)	Temperatura Indicada por el Instrumento en calibración (°C)	Error en la Indicación (°C)	Corrección a la Indicación (°C)	Incertidumbre de la Medición (°C)
<i>Temperature Indicated by the standard instrument (°C)</i>	<i>Temperature Indicated by the instrument under calibration (°C)</i>	<i>Indication Error (°C)</i>	<i>Correction (°C)</i>	<i>Uncertainty measurement (°C)</i>
20.85	20.8	-0.05	0.05	0.10

Lectura corregida = Temperatura indicada por el instrumento + corrección a la indicación  
*Adjusted reading = Temperature indicated by the instrument + correction*

### 5. GRÁFICO DE CALIBRACIÓN/ CHART:



### 6. INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN / UNCERTAINTY OF MEASUREMENT:

El valor de incertidumbre de medición está calculado para un nivel de confianza de **95,45 %** y con un factor de cubrimiento k=2,0 para una distribución de probabilidad 1 de Student.

The measurement uncertainty estimated value, was determined for a confidence level of 95,45% with a coverage factor k=2,0 for a Student's t-distribution.

### 7. OBSERVACIONES / COMMENTS:

- \* El punto calibrado en el presente instrumento de medida fue previamente acordado con el cliente.
- \* Los resultados reportados en el ítem 4, en la tabla "Resultados de la calibración", corresponden al promedio de un (1) ciclo de medición tomado para cada punto de calibración.
- \* La versión en inglés de este documento no es una traducción literal, si en algún texto surgen dudas en la lectura, por favor remitirse al texto original en español.
- \* Calibration point of this instrument were previously agreed with the customer.
- \* The indications from the 4th item, in the "Calibration results" charts, about reference standard and the instrument under calibration, are the average of 1 cycle measurement taken for each calibration temperature.
- \* The english version of this document is not a binding translation, if any matter gives rise to doubts, please refer to the original text in spanish.

FIN DEL CERTIFICADO / END OF CERTIFICATE

### ANEXO F: Formato lista de chequeo

<b>FORMATO CHEQUEO VENTILADOR</b>	<b>EXPLORADOR:</b>			<b>Versión</b>	<b>1</b>
	<b>MINA:</b>				
	<b>RESPONSABLE DEL CHEQUEO:</b>			<b>Código N°</b>	<b>V-001</b>
	<b>FECHA:</b>			<b>Formato N°</b>	<b>1</b>
<b>CON EL VENTILADOR AISLADO COMPLETAMENTE DE LA RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA, VERIFIQUE:</b>					
	<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>		
1. Existencia de suciedad, daños o corrosión.					
2. Alineado de las poleas. Chequear la tensión de las correas.					
3. Alineamiento de los rodamientos y que estén correctamente centrados al eje.					
4. Girar el rotor con la mano y verificar que gire libremente sin ninguna obstrucción.					
5. El apriete de todos los tornillos de fijación en caso de que se hayan aflojado.					
6. Todas las guardas y rejillas estén bien ajustadas y sin obstrucciones.					
7. Las aspiraciones como la descarga están unidas a sus conductos antes de la puesta en funcionamiento.					
<b>ENCIENDA VENTILADOR, VERIFIQUE:</b>					
8. Ruidos inusuales					
9. Rozamientos o vibraciones excesivas.					
<b>ELEMENTOS</b>	<b>ESTADO</b>				
	<b>B</b>	<b>R</b>	<b>M</b>		
Rueda del motor					
Cableado del motor					
Poleas					
Correas					
Turbina					
Rodamientos					
Chumacera					

**ANEXO G: Formato para la suspensión de la ventilación.**

<b>ASOCIADO: CARBONES Y COQUES CARBONAPOLES.</b>	<b>Formato de Suspensión de la ventilación en labores subterráneas</b>					Versión	1
						Código N°	V-001
						Formato N°	1
NOMBRE DE LA MINA						FECHA	
PERSONA QUIEN AUTORIZA LA SUSPENSIÓN							
PERSONA ENCARGADA DE EJECUTAR LA SUSPENSIÓN							
MOTIVO DE LA SUSPENSIÓN.							
<b>Calidad del aire en frente de trabajos</b>							
<b>Niveles de concentración por frente antes de la suspensión en las labores</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>O<sub>2</sub></b>	<b>H<sub>2</sub>S</b>	<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>CO</b>	
Hora de suspensión de ventilación.							
Firma de la persona que autoriza.							
Observaciones:							

**ANEXO H: Formato para activación de la ventilación.**

<b>ASOCIADO: CARBONES Y COQUES CARBONAPOLES.</b>	<b>Formato de Activación de la ventilación en labores subterráneas</b>					Versión	1
						Código N°	V-001
						Formato N°	1
NOMBRE DE LA MINA					FECHA		
PERSONA QUIEN AUTORIZA LA ACTIVACIÓN							
PERSONA ENCARGADA DE EJECUTAR LA ACTIVACIÓN							
MOTIVO DE LA ACTIVACIÓN.							
<b>Calidad del aire en frente de trabajos</b>							
<b>Niveles de concentración por frente al restituir la ventilación.</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>O<sub>2</sub></b>	<b>H<sub>2</sub>S</b>	<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>CO</b>	
Hora de activación de la ventilación.							
Firma de la persona que autoriza.							



**ANEXO I: Registro de capacitaciones.**

<b>REGISTRO DE CAPACITACIONES DE VENTILACION MINA CARBONAPOLES</b>				
<b>TEMA:</b>				
<b>REALIZADO POR:</b>				
<b>FECHA:</b>			<b>HORA:</b>	
<b>N°</b>	<b>NOMBRE DEL COLABORADOR</b>	<b>CARGO</b>	<b>DOCUMENTO</b>	<b>FIRMA</b>
<b>OBSERVACIONES:</b>				

