



Propuesta de mejora en la ventilación de la mina Carbones Torre Fuerte mediante un diseño de circuito  
de ventilación forzada

Juan Fernando Ibáñez Rodríguez  
David Montoya Gómez

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual y a Distancia

Sede Aburra Sur (Antioquia)

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

octubre de 2022

Propuesta de mejora en la ventilación de la mina Carbones Torre Fuerte mediante un diseño de circuito  
de ventilación forzada

Juan Fernando Ibáñez Rodríguez  
David Montoya Gómez

Monografía presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de  
Proyectos

Asesor(a)

Angélica Escobar Pérez

Magíster en finanzas

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual y a Distancia

Sede Aburra Sur (Antioquia)

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

octubre de 2022

## **Dedicatoria**

### ***Dedicatoria de Juan Fernando Ibáñez Rodríguez***

Este gran logro quiero dedicarlo principalmente a mis padres, que me apoyaron y estuvieron en los buenos y malos momentos. gracias por enseñarme a afrontar las dificultades sin perder nunca el horizonte de mi vida, me han enseñado a ser la persona que soy; mis principios, mis valores, mi perseverancia y mi empeño. Todo esto con una enorme dosis de amor incondicional.

También quiero dedicarle este trabajo a mi esposa Laura. Por su paciencia, por tu comprensión, por tu empeño, por tu fuerza, por tu amor.

### ***Dedicatoria de David Montoya Gómez***

Este logro alcanzado tiene un gran significado en mi vida, es un renacer para comprender que todo lo que me propongo lo puedo conseguir no importa el tiempo que demore, lo importante es llegar a la meta, lo máspreciado es saber que este logro va principalmente para mis padres quienes son el motor de mi vida, de la mano de mi hija Luna y mi hermano Álvaro. Ellos son y serán el pilar de mi vida.

## **Agradecimientos**

### ***Agradecimiento de Juan Fernando Ibáñez Rodríguez***

Agradezco a Dios por bendecir mi vida, por guiarme a lo largo de mi caminar en todo momento. Llevo conmigo siempre la gratitud para quienes me han apoyado y acompañado en este caminar, a mi jefa Clara Inés palacios, a mi jefe Carlos prisco, a mis amigos y colegas Antony Gutiérrez y Camilo florez.

### ***Agradecimiento de David Montoya Gómez***

Quiero agradecer inicialmente a carbones torre fuerte S.A.S. por ayudarnos y permitirnos realizar el proyecto de investigación basado en su mina el cual tengo certeza será de gran ayuda para la misma, también agradezco a Juan Ibáñez mi amigo y compañero de estudio quien me instruyo el conocimiento de la minería, él con su amor y pasión por su profesión logro que yo de igual forma aprendiera acerca de este tema y me retará a seguirme preparando en pro de nuestro proyecto.

## Contenido

Lista de tablas .....	7
Lista de figuras .....	8
Resumen .....	9
Abstract.....	10
1 Planteamiento del problema .....	11
2 Justificación.....	12
3 Objetivos. ....	12
3.1 Objetivo general.....	12
3.2 Objetivos específicos. ....	12
4 Marco referencial.....	13
4.1 Marco conceptual .....	13
4.2 Marco contextual.....	16
4.3 Marco teórico.....	23
4.3.1 Ambiente dentro de la mina .....	23
4.3.1.1 Naturaleza y composición del aire.....	23
4.3.2 Principios básicos de la ventilación.....	24
4.3.2.1 Temperatura. ....	25
4.3.2.2 Resistencia aerodinámica. ....	25
4.3.3 Caudal de aire requerido .....	26
4.3.4 Flujograma panorámico .....	28
4.4 Marco legal .....	30
5 Metodología.....	32
5.1 Alcance .....	32
5.2 Enfoque.....	33
5.3 Población.....	33
5.4 Delimitación espacial .....	33
5.5 Delimitación temporal .....	33
5.6 Etapas de proyecto .....	34
5.6.1 Etapa 1 identificación del problema .....	34

5.6.2	Etapa 2 Definición de objetivos. ....	34
5.6.3	Etapa 3 Diagnóstico.....	34
5.6.4	Etapa 4 Propuesta de diseño .....	34
6	Resultados.....	35
6.1	Informe técnico.....	35
6.1.1	Identificación, localización y vías de acceso .....	35
6.1.2	Identificación.....	35
6.1.3	Localización .....	35
6.1.4	Vías de acceso .....	36
6.1.5	Acceso y desarrollo .....	37
6.1.6	Preparación de labores mineras .....	37
6.1.7	Explotación.....	37
6.1.8	Servicios que se encuentran en la mina.....	38
6.2	Cálculo de caudal de ventilación la mina torre fuerte.....	45
6.2.1	Caudal de aire necesario para la respiración del personal. (Q1) .....	45
6.2.2	Caudal de aire según producción y desprendimiento de metano. Q2 .....	46
6.2.3	Caudal total .....	46
6.3	Resistencia .....	47
6.4	Cálculo de presión.....	47
6.5	Potencia del ventilador .....	48
6.6	Flujograma de implementación del diseño de ventilación .....	49
6.7	Costo de implementación .....	51
7	Conclusiones .....	53
8	Referencias.....	55

## Lista de tablas

Tabla 1 <i>Concentraciones de gases en una atmosfera minera</i> .....	23
Tabla 2 <i>Valores límites permisibles de gases contaminantes</i> .....	24
Tabla 3 <i>Coefficiente de corrección f para maquinaria</i> .....	28
Tabla 4 <i>Características del título</i> .....	35
Tabla 5 <i>Ubicación georreferenciada</i> .....	36
Tabla 6 <i>Sostenimiento entibación empleado en la mina Carbones Torre Fuerte S.A.S.</i> .....	39
Tabla 7 <i>Señalización empleada en la Mina Carbones Torre Fuerte S.A.S.</i> .....	43
Tabla 8 <i>Caudal por trabajador</i> .....	45
Tabla 9 <i>Caudal por producción</i> .....	46
Tabla 10 <i>Caudal total</i> .....	46
Tabla 11 <i>Cálculo de resistencia</i> .....	47
Tabla 12 <i>Cálculo de potencia del ventilador principal</i> .....	48
Tabla 13 <i>Costo del diseño de ventilación</i> .....	51

### Lista de figuras

Figura 1 <i>Componentes del flujograma</i> .....	30
Figura 2. <i>Flujo del proceso de plantear problemas de investigación mixta.</i> .....	32
Figura 3 <i>Bocamina de Carbones Torre Fuerte S.A.S.</i> .....	36
Figura 4 <i>Ubicación de proyecto minero torre fuerte</i> .....	37
Figura 5 <i>Ejemplo de puerta alemana</i> .....	38
Figura 6 <i>Sostenimiento en Niveles y Cruzadas</i> .....	39
Figura 7 <i>Sostenimiento en Inclinaos</i> .....	40
Figura 8 <i>Sostenimiento Cuadros en tambor peatonal</i> .....	40
Figura 9 <i>Sostenimiento Cuadros en tambores</i> .....	41
Figura 10 <i>Cuneta empleada en los niveles y las cruzadas.</i> .....	42
Figura 11 <i>Flujograma de implementación del sistema de ventilación</i> .....	50

### ANEXOS

COTIZACIONES



## Resumen

*Palabras clave: Ventilación, diseño,*

El presente trabajo, tiene como finalidad proponer un sistema de ventilación forzada en la mina Carbones Torre Fuerte ubicada en el municipio de Titiribí departamento de Antioquia como producto de las condiciones actuales de ventilación que no cumplen con la normatividad actual de Colombia, adicional presentamos se presenta una propuesta de orden lógico del diseño del circuito de ventilación, mediante un flujograma propuesto y una estimación de costos de implementación.

Esta propuesta ayudara a la empresa minera a cumplir con exigido en la normatividad vigente, puntualmente con el decreto 1886 del 2015. Se proponemos dar una alternativa de ventilación a la mina mediante un informe técnico que evalúa las labores actuales de la mina y la respectiva realización de los cálculos para determinar la potencia del ventilador adecuado para el trabajo seguro y eficiente dentro las instalaciones mineras.

## Abstract

*Keywords: coal, ventilation, underground*

Adequate ventilation not only guarantees adequate levels of oxygen and healthy air for people, but also represents a fundamental parameter for the extension of the useful life of equipment, tools, vehicles, machines, and other elements that are required for the proper development of the activities of extraction and transport of the different materials that from the point of work must be brought to the surface. The objective of this work is to evaluate the current ventilation system of the Carbone's Torre Fuerte mine to analyse its impact on the acceleration of the deterioration of the materials used for the shoring's and propose a new system that allows to prolong the useful life of the same, minimizing not only the costs derived from the permanent changes of raw material, but also to guarantee safe conditions for transit inside the mines. The spearhead for this analysis is the regulations and regulations in force in the country, they give us the precise parameters that the ventilation circuits must meet, the proper way to measure them and the maintenance conditions that must be provided. Additionally, several cases of mines located both outside and inside the national territory are studied to identify experiences that other researchers have had in the processes of evaluation and design of ventilation circuits in underground coal mines.

## **1 Planteamiento del problema**

La mina de carbón, Carbones Torre Fuerte S.A.S está ubicada en el municipio de Titiribí, Antioquia, de la cual su representante legal es la señora Clara Inés Palacios, 901332924-3. El área de contrato donde se localiza la mina Carbones torre fuerte, la mina se encuentra ubicada en un área de 66 hectáreas económicamente explotables pertenece a la llamada cuenca del Sinifaná y se encuentra en el suroeste antioqueño. Esta mina, realiza el proceso de extracción de carbón formando paneles rectangulares de explotación con niveles de cabecera o superiores y niveles de pieza o inferiores, este método es conocido como explotación por tajos largos con derrumbe dirigido, las labores de desarrollo y preparación de mina se sostienen de forma tradicional, para impedir que las rocas de las galerías abiertas caigan por efecto de la gravedad o bien sea por el paso del tiempo, esta infraestructura es realizada con madera.

Los ambientes subterráneos mineros son singularmente agresivos, pues en ellos se mezclan toda clase de problemas medioambientales que afectan tanto a personas como a los elementos que dentro de ella se encuentran. Algunos de los problemas en la mina son las altas temperaturas que se presentan, junto con la variación de la humedad relativa.

En los interiores de la mina carbones torre fuerte se han venido presentando continuos problemas de altas temperaturas, uno de los principales factores que ocasionan esta problemática, son los cambios de temperatura bruscos que se sienten dentro de la mina, dónde no sólo se afecta la salud de los trabajadores por estar sometidos a ambientes hostiles, sino también a los materiales y herramientas utilizadas dentro de ella, como lo es la madera; por ello hay que proponer un sistema de ventilación mecanizado que mejore las condiciones de temperatura.

## 2 Justificación

Los motivos que llevaron a investigar el tema propuesto nacen de dos temáticas tan ligadas entre sí, como necesarias para la actividad minera, y son la seguridad y cumplimiento de parámetros técnico legales ya que con este proyecto se buscará mejorar las condiciones de ventilación en la mina generando un ambiente adecuado realizar el trabajo de explotación en el interior de ella.

Un sistema de ventilación forzada eficiente determina cuán seguro puede encontrarse las labores mineras subterráneas, y a su vez, su impacto directo al medioambiente por la posible degradación de maderas o no de manera rápida por efectos de la temperatura, lo que se traduciría en mayor o menor requerimiento de madera, dado el caso. Según (Bolívar león et al., 2015) la pérdida de bosques entre 1990 y 2010 en el departamento fue del 26%, y la contribución a ella de la minería de carbón, es de 0,36%. Por ello, lograr determinar los beneficios de instalar un sistema de ventilación forzada en la mina contribuyendo con el ahorro en el consumo de maderas en la vía de desarrollo principal del socavón.

## 3 Objetivos.

### 3.1 Objetivo general.

Diseñar el circuito de ventilación de la mina Carbones Torre Fuerte S.A.S. para mejorar las condiciones de circulación del aire mediante un estudio técnico y económico.

### 3.2 Objetivos específicos.

- Elaborar un diagnóstico técnico para conocer el estado actual de las labores mineras de la mina Carbones Torre Fuerte S.A.S. mediante una visita técnica.
- Calcular el sistema de ventilación forzada necesaria para la empresa Carbones Torre Fuerte S.A.S. E implementar un Flujograma de construcción para determinar el circuito de ventilación.

- Analizar el costo económico de la construcción del circuito de ventilación de la mina Carbones Torre Fuerte S.A.S. mediante un sondeo de precios de materiales y mano de obra.

## 4 Marco referencial

### 4.1 Marco conceptual

Los siguientes conceptos serán de gran ayuda para entender el léxico minero, se extraerán de forma textual del (Congreso de la República, 2015) “Por el cual se establece el Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas”. Título 1, disposiciones generales, capítulo 1 generalidades y definiciones:

**Bocamina:** Sitio en superficie por donde se accede a un yacimiento mineral

**Ademe/Fortificación/Sostenimiento:** Acciones y dispositivos aislados o estructuras de cualquier naturaleza que sirven para mantener abiertos los espacios de la labor minera subterránea con una sección suficiente para la circulación del personal, del aire y el tráfico o transporte de equipos. Además, tiene por finalidad impedir el derrumbe de los techos y paredes, mantener la cohesión de los terrenos y evitar la caída de trozos de roca de cualquier dimensión. Así mismo, se refiere al uso estructural de ciertos elementos para controlar la deformación o la caída de la roca de techo o paredes en las labores mineras subterráneas.

**Carbón:** Roca sedimentaria, de color negro a negro pardo, de fácil combustión, que contiene más del 50% en peso y más del 70% en volumen de material carbonoso incluida la humedad inherente. Formada a partir de la compactación y el endurecimiento por calor y presión, de restos de plantas químicamente alteradas y carbonizadas, durante el tiempo geológico.

**Galería:** Túnel horizontal al interior de una mina subterránea.

**Humedad relativa:** Relación entre la cantidad de vapor de agua que tiene una masa de aire y la máxima que podría tener.

**Labor Subterránea:** es toda excavación que se realice bajo tierra con propósito de explotación, cuantificación o exploración. Se incluyen además en la definición, aquellos trabajos subterráneos que se efectúen para el montaje de obras civiles, a las cuales tengan acceso a las personas.

**Madera:** se denomina madera aquella parte más sólida y fibrosa de los árboles y que se ubica debajo de su corteza.

**Mineral:** Sustancia homogénea originada por un proceso genético natural con composición química, estructura cristalina y propiedades físicas constantes dentro de ciertos límites.

**Proceso:** Es la secuencia de pasos necesarios para realizar una actividad, se puede definir de manera global que un manual es una recopilación de procesos.

**Temperatura:** La Temperatura es una magnitud que mide el nivel térmico o el calor que un cuerpo posee. Toda sustancia en determinado estado de agregación (sólido, líquido o gas), está constituida por moléculas que se encuentran en continuo movimiento. La suma de las energías de todas las moléculas del cuerpo se conoce como energía térmica; y la temperatura es la medida de esa energía promedio.

**Circuito de Ventilación:** Es la vía de la mina por donde circula una corriente de aire y es la representación de cómo se encuentran interconectadas las labores horizontales, inclinadas y verticales que componen una labor subterránea o mina; su objetivo es proporcionar a esta un flujo de aire en cantidad y calidad suficiente para diluir contaminantes a valores límites seguros en todos los lugares donde el personal esté laborando.

**Corriente de Aire o Corriente de Ventilación:** Es la cantidad de aire que circula por una vía, la dirección da el sentido de recorrido de un determinado volumen de aire.

**Gas:** Término usado por los mineros para referirse a un aire impuro, especialmente con combinaciones explosivas. Pueden estar presentes en las labores mineras subterráneas o también pueden ser producto de una voladura. Según la composición química de los elementos gaseosos y sus proporciones los gases pueden ser explosivos, tóxicos o asfixiantes. Para prevenir esos riesgos se han establecido unos topes para cada gas, los VLP (Valores Límites Permisibles) que al momento de superarlos pueden causar situación de peligro.

**Gases Explosivos:** Gases que se han mezclado en proporciones con el oxígeno, de tal manera que pueden causar una explosión, si logran la temperatura de ignición.

**Titular de Derecho Minero o Beneficiario de Derecho Minero:** Toda persona natural o jurídica que cuente con una licencia, permiso, contrato de concesión o contrato celebrado sobre áreas de aporte, vigente al entrar a regir la Ley 685 de 2001 y las situaciones jurídicas individuales, subjetivas y concretas provenientes de títulos de propiedad privada de minas perfeccionadas antes de la vigencia de la Ley 685 de 2001 (artículo 14, ibidem) o aquellas que la modifiquen o sustituyan.

**Ventilación:** Operación encargada de llevar aire fresco y puro a los frentes de explotación y evacuar de ellos el aire viciado o enrarecido, por medio de recorridos definidos en las diferentes secciones de la labor subterránea.

**Ventilación Forzada:** Presión de ventilación que se establece como resultado de un efecto mecánico, en particular un ventilador, el cual suministra la energía de ventilación para el flujo de un volumen de aire.

**Ventilación Natural:** Sistema de ventilación que tiene dos accesos, uno que funciona como entrada y el otro como salida del aire; se emplea en las labores mineras subterráneas, principalmente las localizadas en montañas, que se consigue por diferencia de cota, sin utilizar ninguna clase de equipo mecánico o eléctrico como ventiladores y extractores. La única fuerza natural que puede crear y mantener un flujo apreciable de aire es la energía térmica, debido a la diferencia de temperatura y

presión barométrica que genera una diferencia de peso específico entre el aire saliente y entrante. La ventilación natural depende de la diferencia de elevación entre la superficie y las labores mineras subterráneas; la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la labor a mayor diferencia, mayor presión y por lo tanto es mayor el flujo.

**Ventilador:** Dispositivo eléctrico o mecánico utilizado para recirculación, difusión o extracción del aire de la labor subterránea. Según su modo de operación, se clasifican en: 1. Ventiladores centrífugos, y 2. Ventiladores axiales (de tipo propulsor o mural, de tipo tubo-axial y tipo vane-axial).

**Vía de Ventilación:** Elemento de una red de ventilación: Túnel, galería transversal, tambor, entre otros, compuesto por un punto inicial (nudo inicial) y un punto final nudo final, a través del cual circula un determinado caudal de ventilación.

#### **4.2 Marco contextual**

Los siguientes estudios demuestran la importancia que distintos investigadores le han dado al tema de la ventilación de las minas, el gran registro bibliográfico dedicado a temas de diseño de sistemas de ventilación en las minas. Adicional se trae el ejemplo de una mina en Amagá para mostrar la importancia de este, para mitigar riesgos en la región y en la cuenca carbonífera del Sinifaná.

La explotación técnica y segura de carbón toma cada vez más importancia, no sólo por la creciente demanda relacionada directamente a la industria energética y por encontrarse de forma abundante en la corteza terrestre, sino por los riesgos que ponen en peligro la vida y el bienestar de los trabajadores en la explotación subterránea del mineral. Tomando esto como punto de partida y siendo conscientes del alto número de accidentes que se han presentado en los últimos años, especialmente tragedias relacionadas al déficit de la ventilación en las minas. El propósito del manuscrito es vincular y desarrollar técnicas de implementación hacia la implementación la determinación de parámetros claves en el diseño de un sistema de ventilación en una explotación minera subterránea. Lo anterior conlleva a la disminución de problemas asociados a la ventilación en labores mineras y a la generación



de consciencia sobre la importancia de la actividad, teniendo presente que la integridad física del personal en la mina debe ser garantizada y que la minería junto a la informática está a la vanguardia para la solución de problemas asociados a sus campos de aplicación. (Kerguelen, Bendeck et al., 2013)

Una correcta ventilación es fundamental para acondicionar las minas con el propósito de llevarlas a ambientes sanos y saludables para los operarios; en la actualidad se han desarrollado técnicas que satisfacen las necesidades de las personas que están en las minas. Los entes gubernamentales han identificado los casos de éxito y en base a ellos han emitido normas de obligatorio cumplimiento que garanticen una actividad segura en las minas. Estas normas recopiladas en reglamentos y códigos se convierten pues, en una guía que ayuda a los diseñadores y operadores de minas a minimizar los riesgos a los que está expuesto el personal que labora en los socavones. (Bolívar León et al., 2015)

Todos los elementos necesarios para realizar la caracterización del sistema de ventilación de una mina subterránea se exponen en el decreto 1335 de 1987 (reemplazado por el actual reglamento de seguridad en labores mineras subterráneas, decreto 1886 del 2015) que regula las actividades de explotación minera bajo tierra, en especial bajo aquellos títulos donde se tratan los temas de ventilación y temperaturas, vitales para asegurar el confort de las personas al interior de la explotación.

No solo se deben tocar los temas desde el punto de vista jurídico, sino que también es importante el análisis técnico de cada uno de los elementos identificados como vitales a la hora de caracterizar una mina.

Dentro de los aspectos a tener en cuenta para garantizar una buena ventilación, están las velocidades máximas y mínimas del aire que puede circular al interior de las minas, así como los valores límites permisibles para los gases que se generan en la explotación. A fin de garantizar un control óptimo de las condiciones en la mina debe hacerse un seguimiento a través de aforos de los caudales y temperaturas; y de un monitoreo continuo de la atmósfera minera para conocer las concentraciones de

gases con el fin de controlar todos aquellos elementos que pongan en peligro la vida de quienes laboran en la mina. (Córdoba y Molina, 2011)

Para la identificación de las variables que influyen en el aumento de riesgo por explosiones en minas de carbón subterráneas, se consultó la tesis nombrada evaluación de las pérdidas de carga en el circuito de ventilación por el uso de sostenimientos en minas de carbón, caso de estudio: Mina Nechí, Amagá, Antioquia.

Los autores toman como tema la acumulación del polvo de carbón en la parte superior de los sostenimientos, analizan cómo influyen estos en las pérdidas de carga del circuito de ventilación y la correcta evacuación del polvo de carbón. Dicho análisis lo realizaron mediante visitas guiadas de campo a la Mina Nechí (Municipio de Amagá Antioquia) donde se observó que el polvo de carbón se acumula más significativamente en las puertas de madera que en los arcos de acero. Posteriormente simularon diferentes geometrías del sostenimiento y la cantidad de estos con el fin de determinar cuál geometría contribuye a disminuir las pérdidas de carga. Una vez analizados los diferentes escenarios, la geometría que optimiza el circuito de ventilación es la que se ha denominado geometría Circular, la cual presenta reducciones en las pérdidas de carga de hasta un 14.67% respecto a las otras geometrías analizadas bajo las mismas condiciones. Con esto se proponen alternativas más eficientes para optimizar el circuito de ventilación y garantizar condiciones de higiene y seguridad para los trabajadores al interior de las minas. (Álvarez Arias et al., 2014)

Los estudios de sistemas de ventilación subterránea en minas, contemplan variables como el cálculo de caudales de aire necesarios para el bienestar y la salud de los trabajadores, que se ven afectados por la humedad, temperatura y concentración de gases en el lugar de trabajo. La acumulación de gases en las minas es uno de los factores de más alto riesgo, por la característica del mineral carbón, este emana micropartículas y gases tóxicos, explosivos, aumentando la accidentalidad. Un buen modelado del sistema de ventilación entrega los datos de los flujos y tiempos de licuado de gases,

usados para mejorar el circuito de ventilación existente y la técnica de control implementada en la tecnología de ventiladores inteligentes que se ajustan automáticamente a la demanda de aire cambiando instantáneamente su velocidad. Con esta información se puede construir un prototipo en madera basado en la forma de una mina real, para simular un circuito de ventilación forzada que permita la observación del comportamiento del sistema ante perturbaciones a partir de la inyección de gas de forma controlada y de esta manera generar estrategias de control para aplicar en la tecnología VSD. El prototipo cuenta con sensores de gas (butano), sensores de presión estimación de flujos y ventiladores para genera los diferentes flujos. (Nova y Moreno, 2015)

En el proyecto minero El Roble en Carmen de Atrato en el departamento del Chocó de la empresa Atico Mining Co., se desarrolló el estudio evaluación el sistema de ventilación de La mina el Roble.

Se incluyó una geo-referenciación, tipo de explotación y características especiales de la misma, hasta llegar a la revisión del sistema de ventilación, conociendo el circuito que tiene la mina, realizando las mediciones y cálculos de caudales actuales de acuerdo con la explotación. Además, se determinan los requerimientos de aire, los problemas de temperatura y contaminación por gases posteriores a los trabajos de voladuras, cargue y transporte de material. Se establece así mismo las necesidades que permitan mejorar las condiciones de trabajo que se ve afectada por constantes paradas de un sistema ineficiente de ventilación, las cuales se dan por fallas y/o errores que de alguna manera en la solución no generan un gasto sino una inversión y proporcionan una mejoría evidente en la producción para la compañía y dan cumplimiento a los requerimientos legales y la normatividad vigente colombiana. (Castillo, 2017)

Las conclusiones de este estudio, así como su metodología se acercan mucho a los objetivos planteados en este trabajo de grado propuesto, convirtiéndose en uno de los documentos de mayor riqueza conceptual para la investigación.

Otro caso de la correcta aplicación de técnicas tendientes a mejorar la ventilación se dio en la mina Carbonapoles, perteneciente al contrato de concesión 7241, ubicada en el municipio de Samacá, Boyacá. Allí con el fin de garantizar un ambiente de trabajo seguro se implementan 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 atmósfera 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. (Garcia,2018)

Así mismo en la mina El Maracaibo ubicada en el municipio de Samacá, Boyacá se realizó una intervención para evaluar el sistema de ventilación que permitirá dar cumplimiento a las exigencias de la norma, para ello fue necesario evaluar aspectos como el peso del aire, área de diferentes labores, obstáculos y sostenimientos que se encuentran en las vías para el flujo del aire, abertura equivalente de la mina y un factor importante, la pérdida de carga de la mina. Implementando equipos que permitan utilizar los conocimientos técnicos actuales y mejoren el desempeño de la mina en cuanto a ventilación se refiere, para esto el manejo de las presiones se hace necesario aumentar el área de las vías donde circula la corriente de aire. En cuanto a las mejoras que se le quiera realizar a uno de los servicios principales en una mina como lo es la ventilación, hay que tener en cuenta el comportamiento tanto del aire como de los gases que se presentan en los distintos tipos de minería bajo tierra. Para el caso de la

minería de carbón hacer especial cuidado al manejo del metano ( $\text{CH}_4$ ) o la combinación con el aire y polvo de carbón que forma el grisú.

Por medio de mediciones se le realizó un estudio de emanación con el fin de establecer su concentración real y desarrollar una técnica que permitiera reducirla a su mínima expresión en los sitios donde se concentran las operaciones de extracción, vías de retorno y circuito principal. El proyecto finaliza con una serie de recomendaciones las cuales tienen como finalidad, solucionar los inconvenientes que pueden presentarse en el proceso de la elección de la ventilación en un proyecto de explotación de carbón subterránea, y evitar de esta manera inconvenientes económicos, ambientales y sociales. (Carrascal y Manzur, 2019)

Se analizó el caso de la Mina Subterránea De Carbón Fezmine, Polonia para entender su sistema de ventilación, es de anotar que esta es la mina subterránea de carbón más grande del sur de Polonia y actualmente está siendo operada por la compañía JSW S.A. Históricamente, la mina ha tenido diversos problemas en relación con las concentraciones de metano emitidas desde los paneles de explotación de carbón, siendo una amenaza latente para la operación.

En esta investigación se diseña y analiza un sistema de ventilación que permita mantener los índices de emisión de metano inocuos para la operación, considerando la profundización de la mina con un nuevo nivel denominado 1290, que dará viabilidad a la mina hasta el año 2070. Para ello se analiza la información disponible y se formula un modelo conceptual que simplifique la problemática abordada en el estudio y que sirva como base para los modelos de simulación posteriores.

En el desarrollo de la tesis se optó por el uso del software de simulación VentSim para modelar el problema, dado el respaldo que tiene por diversos proyectos realizados alrededor del mundo. Utilizando el simulador y la información disponible se define un modelo de simulación de flujo de aire, con el que se diseña el sistema de ventilación de la mina que, una vez ajustado al utilizar reguladores y ventiladores auxiliares, cumple con los requerimientos de caudal del personal y las velocidades del flujo

establecidos por la legislación polaca. Posteriormente, se define un modelo de simulación de flujo de aire considerando las emisiones de metano desde los seis paneles de explotación de carbón, el cual sirve para estudiar el comportamiento del aire viciado que fluye a través de las labores mineras. Los resultados obtenidos en VentSim muestran el comportamiento de las emisiones de metano a través de todas las galerías de la mina, y permiten distinguir los paneles de explotación en los que el metano se pudo diluir por la acción del flujo de aire de la ventilación y aquellos en donde no es posible alcanzar diluciones adecuadas.

Para el caso de la mina el uso de la técnica minera de desgasificación, como un método accesorio a la ventilación, para cumplir con las concentraciones máximas permisibles de metano en la atmósfera de mina. Finalmente, con la ayuda del simulador, se analizaron cuatro escenarios con respecto al nivel de emisión de metano en los paneles de explotación, para definir el porcentaje de desgasificación mínimo necesario en los paneles críticos con el fin de cumplir con las concentraciones máximas estipuladas en la ley. (Alexander y Fuentes, 2019)

En la mina Cabo de Hornos se diseñó un circuito de ventilación que parte de un trabajo de investigación enfocado en establecer la situación que presentaba del sistema de ventilación, para determinar los parámetros técnico que garanticen seguridad en el trabajo y generen condiciones adecuadas para todos y cada uno de los mineros que en ella laboran, aporte que se orienta a mejorar la producción y reducir las enfermedades laborales. (Nova y Moreno, 2015)

### 4.3 Marco teórico

En la minería subterránea de carbón se tiene un ambiente laboral con características específicas que lo hace sumamente especial, condiciones tales como el sostenimiento, el transporte de materiales, la iluminación, el desagüe y la ventilación. Siendo esta última nuestro enfoque del proyecto de investigación. A continuación, se utilizarán teorías tales como: atmósfera minera, cálculos de caudales necesarios para laboral en ambientes mineros subterráneos y cálculo de equipos necesarios para la ventilación de la mina Carbones Torre Fuerte S.A.S.

#### 4.3.1 Ambiente dentro de la mina

##### 4.3.1.1 Naturaleza y composición del aire

La sustancia fluida de preocupación principal en el ambiente de la mina es el aire. El aire Es una mezcla gaseosa existiendo como un vapor que constituye la atmósfera natural de la superficie de la Tierra termodinámicamente, puede pensarse que es como una mezcla mecánica de aire fresco y vapor de agua; cuya conducta es complicada por los cambios de estado en el vapor de agua químicamente la composición del aire seco al nivel del mar como se puede ver en la tabla 1. (Howard, 2017)

**Tabla 1**

*Concentraciones de gases en una atmosfera minera*

GAS	VOL %	Wt %
NITROGENO	78.09	75.55
OXIGENO	20.95	23.13
DIOXIDO DE CARBONO	0.03	0.05
ARGON Y OTROS GASES	0.93	1.27

(Howard, 2017)

#### 4.3.1.2 Los valores límites permisibles para gases contaminantes

Ningún lugar de trabajo bajo tierra puede ser considerado apropiado para trabajar o transitar si su atmósfera contiene menos del 19.5% o más del 23.5% en volumen de oxígeno en la atmosfera de cualquier labor subterránea. (Congreso de la república, 2015)

Los valores límites permisibles para los siguientes gases contaminantes son:

**Tabla 2**

*Valores límites permisibles de gases contaminantes*

GAS	FORMULA	TLV-TWA	TLV-STEL
UNIDADES		ppm	ppm
DIOXIDO DE CARBONO	CO <sub>2</sub>	5.000	30.000
MONOXIDO DE CARBONO	CO	25	-
ACIDO SULFIHRICO	H <sub>2</sub> S	1	5
ANHIDRIDO SULFUROSO	SO <sub>2</sub>	-	0,25
OXIDO NITRICO	NO	25	-
DIOXIDO DE NITROGENO	NO <sub>2</sub>	0,2	-

Nota: esta atmosfera son de los gases nocivos los cuales hay que diluir en la ventilación

(Congreso de la República, 2015)

#### 4.3.2 Principios básicos de la ventilación

El caudal es el volumen de aire que circula por una sección en un tiempo establecido, las unidades de caudal están dadas por unidades de volumen sobre unidades de tiempo ( $m^3/\text{min}$ ). La cantidad de aire se calcula como:

$$Q = V \times A \quad (1)$$



**Donde:**

V: velocidad del aire (m/min)

A: área de la sección (m<sup>2</sup>)

Nota. La velocidad de aire se calcula mediante el termohigroanemometro

**4.3.2.1 Temperatura.** Es la cantidad de calor que experimenta el ser humano en un ambiente de trabajo. En la mina existen dos clases de temperaturas: húmeda y seca.

**4.3.2.2 Resistencia aerodinámica.** es la resistencia que encuentra el caudal de aire a su paso por una galería túnel, debido a su sección, paredes, techo, piso, elementos de sostenimiento y longitud.

$$R = \frac{KxPx(L + Leq)}{A^3} \quad (2)$$

**Donde:**

K: coeficiente aerodinámico. Nsg<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>

P: perímetro de la vía. m

L: longitud de la vía. m

Leq: longitud equivalente. M

A: área de sección de la vía. M<sup>2</sup>

**4.3.2.3 Presión**

Con la presión necesaria se calcula sirve para el cálculo de la potencia necesaria del ventilador.

$$H_t = R \times Q^2 \quad (3)$$

Donde:

R: resistencia aerodinámica. Nsg<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>

Q: caudal m<sup>3</sup>/min

#### 4.3.2.4 Potencia: la potencia del ventilador requerido.

$$P = Q \times Ht/102 \quad (4)$$

Donde:

Q: caudal. m<sup>3</sup>/min

Ht: presión

#### 4.3.3 Caudal de aire requerido

El aire mínimo necesario para cumplir con el reglamento de seguridad e higiene en labores mineras subterráneas, decreto 1886 del 2015 este dado por la formula. (Congreso de la república, 2015).

a continuación, se explican cada uno de los cálculos de los caudales.

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (5)$$

Donde:

Q<sub>1</sub>= Caudal de aire para la respiración del personal.

Q<sub>2</sub>= Caudal de aire según producción y desprendimiento de metano.

Q<sub>3</sub>= Caudal necesario para diluir los gases de maquinaria.

##### 4.3.3.1 Cálculo del caudal de aire necesario para la respiración del personal. (Q<sub>1</sub>)

$$Q_1 = q \times n \quad (6)$$

Donde:

q: caudal de aire por persona (según Artículo 54 Decreto 1886/2015)

n: número de trabajadores, en el turno con mayor personal.

Nota: En excavaciones mineras menores a 1.500 m.s.n.m se debe dar un caudal de  $3\text{m}^3/\text{min}$  para cada trabajador y para excavaciones mineras superiores a 1.500 m.s.n.m se deben dar un caudal de  $6\text{m}^3/\text{min}$  para cada trabajador. (republica, 2015)

**4.3.3.2 Cálculo Caudal necesario para diluir gases de producción. (Q2).** En el año de 1974, el Ingeniero Tomás Charris, en Acerías Paz del Río S.A. trabajó en el establecimiento de la desorción de metano de los mantos 4, 6 y 7 de la mina La Chapa, encontrando un contenido de metano de 6, 4 y 2  $\text{m}^3/\text{ton}$ , respectivamente. En promedio podría hablarse de  $4\text{m}^3/\text{ton}$  explotado (141, 26  $\text{cfm}/\text{ton}$ ); él ha venido recomendando que en los cálculos de ventilación se trabaje con un estándar de seguridad de 10  $\text{m}^3/\text{ton}$ , para las minas localizadas en el sinclinal Checua-Lenguazaque.

$$Q = \mu \times T \quad (7)$$

**Donde:**

$\mu$ : Norma de aire por tonelada de producción diaria, ( $\text{m}^3/\text{min}$ ).

T: Producción diaria en toneladas.

Para minas de carbón  $\mu$  varía generalmente entre 1 y  $1.7\text{m}^3/\text{min}$ , por tonelada Extraída. Para minas metálicas, con poco consumo de madera, varía entre 0,6 a  $1\text{m}^3/\text{min}$ . Si el consumo de madera es alto puede llegar hasta  $1.25\text{m}^3/\text{min}$ . (Congreso de la República, 2015)

**4.3.3.3 Cálculo del caudal necesario para diluir los gases de maquinaria. (Q4).** Para el cálculo de este caudal se debe tener en cuenta el artículo 54 parágrafo 2 del decreto 1886 de 2018, en las labores subterráneas donde haya tránsito de maquinaria diésel locomotora están los cargadores. Debe de haber el siguiente volumen de aire por contenido de monóxido en los gases del exosto de la máquina.

$6\text{m}^3/\text{min}$  ppor cada horse power HP, si los gases del exosto no su pera el 0.12% o 1200 partes por millón en adelante ppm del contenido a monóxido de carbono.

4 m<sup>3</sup>/min por cada HP sin los gases del exosto no superan los 0.08% o 800 ppm del contenido de monóxido de carbono.

El resultado tenido se multiplica con un factor de corrección *f* que depende el tipo de máquina y si poseo no filtro catalizador.

**Tabla 3**

*Coefficiente de corrección f para maquinaria*

Tipo de maquinaria	Con filtro	Sin filtro
Pala cargadora	1.08	2.16
Volquetas	0.67	0.84
Locomotoras	0.65	0.82

(Howard, 2017)

Hasta esta parte se habla de las bases teóricas necesarias para calcular las necesidades que puede llegar a tener la mina, que en la parte de resultados se realizarán los cálculos desde estos referentes.

#### **4.3.4 Flujograma panorámico**

Un Flujograma panorámico es un diagrama contiene, en un solo plano, la totalidad de la secuencia de acciones de que consta un proceso. Como tal, su flujo de procesos puede combinar sentidos verticales y horizontales, así como acciones simultáneas. (Cardenas, 2014)

Por tanto, la principal utilidad de un flujograma es que muestra de un solo vistazo un proceso que puede ser complejo.

Así mismo Cárdenas (2014) afirma que existen una serie de ventajas en este tipo de diagramas que son las siguientes:

1. En primer lugar, sencillez. En una sola imagen tendremos suficiente información para saber qué tenemos que hacer y tomar decisiones al respecto.

2. En segundo lugar, permite conocer aquellos puntos donde puede existir un problema y podemos realizar las correspondientes mejoras a posteriori e implementarlas.

3. En tercer lugar, facilita las relaciones personales entre las personas implicadas. Por eso, en los trabajos en equipos (incluidos los virtuales) es de una enorme utilidad. Cada parte tiene clara cuál es su parte dentro del proceso

4. En cuarto y último lugar, esta forma de representar procesos permite entender fácilmente los diferentes protocolos implementados en la empresa.

**4.3.4.1 Cómo hacer un flujograma.** la mejor forma de generar estos modelos es hacerlo de manera sencilla y ágil, a veces, se encuentran diagramas de este tipo que en vez de aclarar confunden. Por eso, conviene tener en cuenta unas recomendaciones básicas. (Cardenas, 2014)

A. *Planificar.* Todo parte de un plan. Por eso, para crear una imagen de un proceso debemos tener claro cuáles son los pasos que se van a dar. Tiene que ser lo más detallado posible.

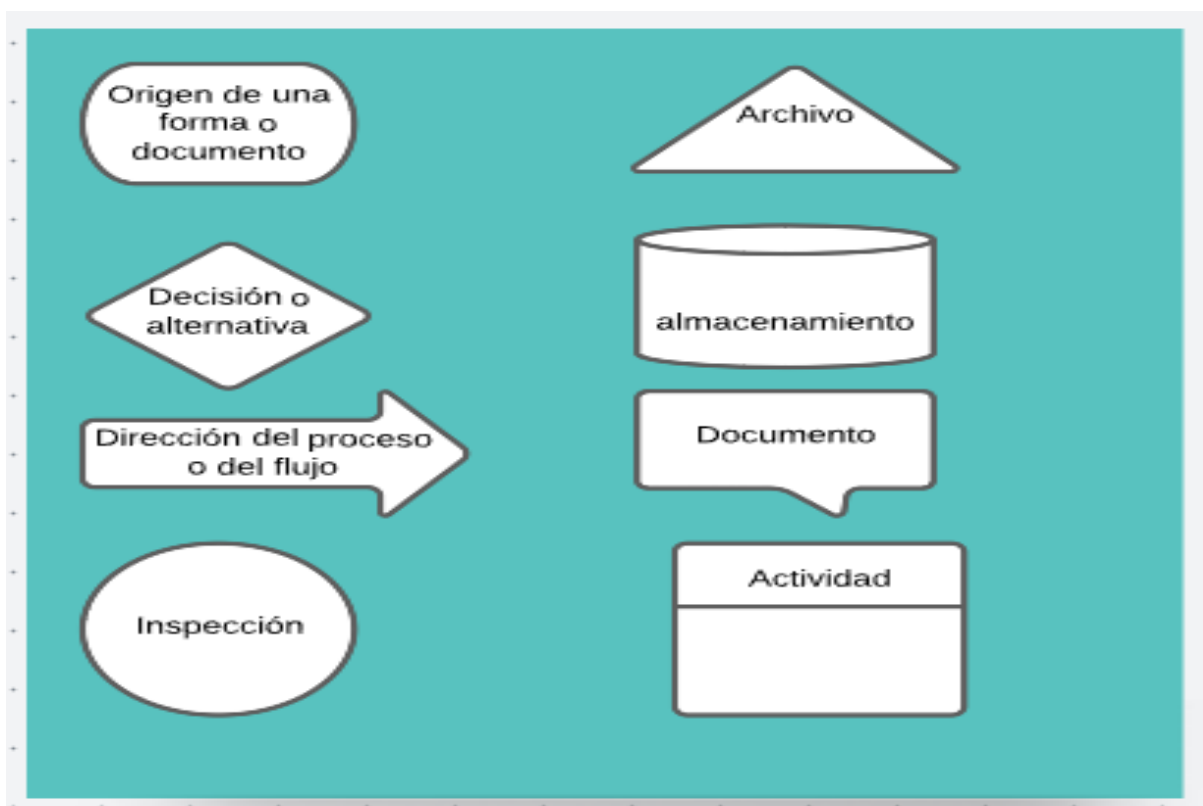
B. *Elegir.* Una vez tenemos claro a dónde queremos ir, hay que elegir el camino. Para hacerlo, decidiremos cómo lo quisiéramos representar, con qué colores, figuras o diseño. Porque no solo debe ser sencillo, también es importante que sea atractivo a la vista.

C. *Ejecutar.* Este paso es, quizá, el más relevante. Deberíamos crearlo y hacerlo con lógica. El ejemplo que se presenta al final es un caso sencillo, pero los procesos reales pueden complicarse mucho.

Como se muestra en la figura es indispensable contar con diferentes figuras para entender cada proceso o para ser más claro

**Figura 1**

*Componentes del flujograma*



(Cardenas, 2014)

#### **4.4 Marco legal**

Constitución Política de 1991. En la constitución política de Colombia se contemplan los siguientes aspectos relacionados con el uso y aprovechamiento de los recursos naturales en los artículos (8, 80, 81, 95,334).

Ley 685 del 2001. (Código de minas). El presente Código tiene como objetivos de interés público fomentar la exploración técnica y la explotación de los recursos mineros de propiedad estatal y privada; estimular estas actividades en orden a satisfacer los requerimientos de la demanda interna y externa de los mismos y a que su aprovechamiento se realice en forma armónica con los principios y normas de

explotación racional de los recursos naturales no renovables y del ambiente, dentro de un concepto integral de desarrollo sostenible y del fortalecimiento económico y social del país.

Decreto 1886 de 2015. Por el cual se establece el Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas.

En los artículos siguientes Son partes de la ley que regulan los aspectos de ventilación en las minas:

ARTÍCULO 35. Plan de ventilación.

ARTÍCULO 36. Calidad del aire en el sitio de trabajo.

ARTÍCULO 37. Objetivos de la ventilación

ARTÍCULO 38. Volumen de oxígeno.

ARTÍCULO 39. Valores límites permisibles para gases contaminantes.

ARTÍCULO 46. Equipos de medición de gases

ARTÍCULO 54. Cálculo del volumen mínimo de aire.

ARTÍCULO 55. Prohibición de la ventilación por difusión.

ARTÍCULO 56. Velocidad de las corrientes de aire.

ARTÍCULO 57. Verificación de caudales de ventilación.

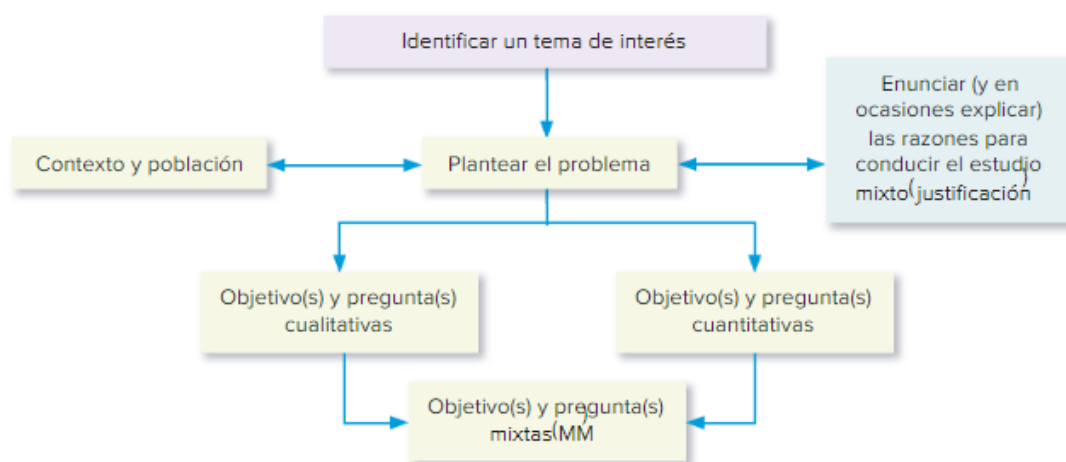
## 5 Metodología

El presente trabajo se configura bajo la metodología MIXTA, esto es, se combinan procedimientos cuantitativos y cualitativos de manera alternada siguiendo un orden lógico que permita tanto obtener datos e información como su análisis.

A continuación, se describen los procesos metodológicos del proyecto en sus diferentes etapas: alcance, enfoque, población, delimitación espacio temporal, etapas de proyecto y cronograma.

**Figura 2.**

*Flujo del proceso de plantear problemas de investigación mixta.*



(Hernández y Mendoza, 2018)

### 5.1 Alcance

Presentar una propuesta de un diseño de ventilación forzada a la empresa Carbones Torre Fuerte S.A.S. Mediante una secuencia lógica y organizada. Para mejorar la condición actual de la empresa minera, en la cual se han identificado diferentes problemas de ventilación además de no cumplir con el decreto 1886 por el cual se establece el reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas.



Se presenta entonces, una propuesta mediante la cual, se realice un diseño de ventilación forzada, de manera que cumpla con toda la normatividad establecida y mejore las condiciones atmosféricas actuales de la mina y se adapta a la necesidad de la empresa.

## **5.2 Enfoque**

Referente al diseño metodológico se emplea un enfoque mixto, en el que se logrará obtener el estado actual de las condiciones de ventilación que tiene la mina en mediciones de caudales de aire, temperaturas, mediciones de gases, entre otros; y el segundo, con la recolección de datos compararlos con los establecidos por las normas generando un estudio de diseño e implementación del circuito de ventilación con sus costos de implementación. Este enfoque se basa principalmente en condiciones actuales con condiciones óptimas y establecidas según la ley vigente. (Hernández y Mendoza, 2018)

## **5.3 Población**

La población a la cual está orientada dicha investigación indica las siguientes características: Carbones Torre Fuerte S.A.S. es una compañía minera de carácter privado, que se encarga de la explotación subterránea de carbón tipo térmico. Empresa que realiza el proceso de extracción hace aproximadamente 4 años; en la actualidad esta organización cuenta con un total de 100 empleados que cubren todos los procesos administrativos y productivos.

## **5.4 Delimitación espacial**

La mina Carbones Torre Fuerte S.A.S. está comprendida en el título de explotación minera BTH-152, se encuentra ubicada en la vereda corcovado en el municipio de titiribí departamento de Antioquia. Véase también Figura 3.

## **5.5 Delimitación temporal**

El tiempo de realización de este proyecto se extiende entre el 27 de agosto del 2022 y el 29 de octubre del 2022.

## **5.6 Etapas de proyecto**

### **5.6.1 Etapa 1 identificación del problema**

En la empresa Carbones Torre Fuerte S.A.S. Se observa que no cuenta con condiciones óptimas de trabajo e incumplimiento de las normas establecidas para laborar legalmente a falta de un circuito de ventilación forzada, para ello se busca diseñar un circuito de ventilación que cumpla con estándares legales y de seguridad en las labores subterráneas.

### **5.6.2 Etapa 2 Definición de objetivos.**

En esta etapa se construyen los objetivos en relación con las necesidades que se presentaron a lo largo de proyecto. Esto con el fin de plantear un diseño de mejora que permita la solución de los antecedentes presentados.

### **5.6.3 Etapa 3 Diagnóstico**

En esta etapa se realiza un diagnóstico para tener un punto de partida de cómo se encuentra las labores actuales subterráneas para sustentar las necesidades ya mencionadas, para esto se realizará diferentes tomas de datos en campo y tabulación de estos.

### **5.6.4 Etapa 4 Propuesta de diseño**

En esta etapa del proyecto con los datos obtenidos de campo y condiciones de las labores subterráneas se procederá a realizar los cálculos necesarios de equipos requeridos en la implementación de una secuencia lógica de instalación con un análisis financiero de lo conlleva la realización del proyecto.

## 6 Resultados

### 6.1 Informe técnico

#### 6.1.1 Identificación, localización y vías de acceso

Las labores mineras de carbones Torre Fuerte S.A.S. Comprenden todos aquellos trabajos que van encaminados al aprovechamiento de un yacimiento, los cuales están agrupados en cuatro etapas las cuales son Acceso, Desarrollo, Preparación y Explotación. Dentro del área del contrato de legalización minera se ha desarrollado labores que permiten conocer el comportamiento geológico del yacimiento carbonífero, desarrollando actividades mineras en los mantos de la formación carbonera denominados como manto solapuda, manto la grande y manto la aguja, para los cuales se realizan diversas labores mineras estos mantos diversas labores mineras.

#### 6.1.2 Identificación.

La mina Carbones Torre Fuerte S.A.S. Está comprendida con matrícula de mina ante las autoridades el título BTH-152, se encuentra vigente hasta la fecha.

**Tabla 4**

*Características del título*

CODIGO DEL CONTRATO	NIT	SITUACION JURIDICA	AREA HECTAREAS
BTH – 152	901332924-3	TITULO	66

(Prisco C. A., 2022)

#### 6.1.3 Localización

El título minero se encuentra ubicado en la vereda El corcovado, del municipio de Titiribí, Antioquia.

**Tabla 5***Ubicación georreferenciada*

Coordenadas Bocamina	
1.143899,396 E	1.161.788,934 N
Cota: 1761 msnm	

(Prisco C. A., 2022)

**Figura 3***Bocamina de Carbones Torre Fuerte S.A.S.*

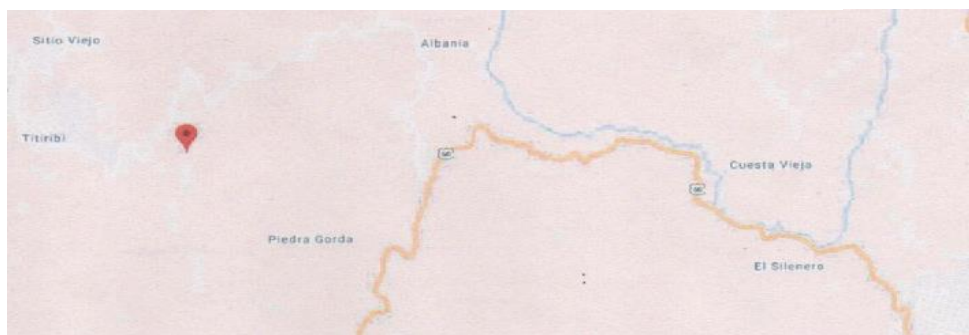
Nota. tomada por Juan Fernando Ibañez la bocamina de la empresa.

#### **6.1.4 Vías de acceso**

A la mina se llega partiendo del municipio de Amagá hasta los Andes entrada a la vereda el Corcovado carretera pavimentada; en ese punto se gira hacia la izquierda por la vía carreteable de acceso destapada en buenas condiciones que nos lleva a la mina. Véase también en la figura 4.

**Figura 4**

*Ubicación de proyecto minero torre fuerte*



Nota: la vía de acceso a la mina son 2 kilómetros después del desvío en la ruta principal al municipio de titiribí Antioquia.

#### **6.1.5 Acceso y desarrollo**

En la mina se encuentra activa la bocamina del manto La Solapada, donde tiene activo el acceso de personal, tambor de ventilación y dos niveles sobre el manto hacia el norte y desarrollo es por medio de un inclinado principal y el buzamiento promedio es de 38°.

#### **6.1.6 Preparación de labores mineras**

En el inclinado principal, se realizan niveles hacia el norte y sur, hasta llegar al límite de la explotación, los tambores se marcan cada 60 metros para formar pilares de (60m x 40m) las vías de preparación tienen un ancho de 2 metros en la parte inferior de la labor y cumpliendo la altura establecida por el decreto 1886 de 1.8 metros libres de altura.

#### **6.1.7 Explotación**

La explotación consiste en recuperar los niveles avanzados y en bloques de 40 x 200 metros en retirada, utilizando un método de sostenimiento con canastas recuperadas y tacos con cabecera para la caída de rocas en el frente de arranque de carbón.

### **6.1.8 Servicios que se encuentran en la mina**

Los servicios mineros son actividades realizadas, con el fin de extraer el carbón del macizo rocoso mediante el empleo de herramientas, maquinaria y equipo; el tratamiento que se debe hacer al espacio vacío y la creación de un ambiente sano y seguro para el personal.

#### **6.1.8.1 Sostenimiento**

En los niveles de la mina se utilizan puertas alemanas con diente sencillo, con diámetros que oscilan entre 15 y 20 centímetros, estas son unidas por medio de atices en el techo y las paredes, el espaciamiento de estas puertas oscila entre 1 y 1.2 metros dependiendo de la zona y del estado del techo.

#### **Figura 5**

*Ejemplo de puerta alemana*



Nota. Tomada por Juan Fernando Ibañez

Para las labores de preparación como lo son los tambores y las sobreguias se realiza, la instalación de cuadros de madera a una distancia de 0.8 a 1 metro en zonas donde el techo se presenta en malas condiciones, los elementos madereros utilizados son de espesor entre 8 y 10 centímetros aproximadamente.

En las zonas de explotación se utilizan estemples o tacos de madera con cabezal, el diámetro de las palancas varía de acuerdo con el espesor del manto. En la siguiente tabla y figuras se establece los diámetros de madera en las diversas labores que desarrolla la Mina Carbones Torre Fuerte S.A.S.

Tabla 6

*Sostenimiento entibación empleado en la mina Carbones Torre Fuerte S.A.S.*

LABOR	TIPO DE SOSTENIMIENTO	SEPARACIÓN	DIÁMETRO DE LA MADERA
Inclinados	Puerta Alemana - Diente sencillo- arcos de acero	0.8 m – 1 m	0.18m - 0.20 m
Niveles - Cruzadas	Puerta Alemana - Diente sencillo	1 m – 1.2 m	0.15 m -0.20 m
Tambores y sobreguias	Cuadros de madera	0.8 m – 1 m	0.10 m – 0.12 m
Descuñes/explotación	tacos con cabecero	0.8m – 1.0 m	0.10 m – 0.12 m

(Prisco, 2022)

Figura 6

*Sostenimiento en Niveles y Cruzadas*



Nota. Propia del documento tomada por Juan Ibañez

**Figura 7**

*Sostenimiento en Inclinados*



Nota. propia del documento tomada por Juan Ibañez

**Figura 8**

*Sostenimiento Cuadros en tambor peatonal*



Nota. Elaboración propia del documento tomada por Juan Ibañez



**Figura 9**

*Sostenimiento Cuadros en tambores*



Nota: las maderas que se utilizan en las labores de sostenimiento son eucalipto y pino.

#### **6.1.8.2 Desagüe**

El agua que se filtra por medio de planos de diaclasamiento generados por labores anteriores, y/o las quebradas cercanas a las bocaminas; el agua dentro de la mina es media, obedeciendo a un caudal de 1 a 1.5 litros/minuto y únicamente se evidencia en el subnivel del manto la grande y nivel 6 norte del manto solapuda, el sistema de drenajes implementados en los niveles, es por acción de la gravedad debido que los niveles se diseñaron y elaboraron con pendiente ascendente de 3% e implementado cunetas de ancho de 0.5 con una altura de 0.3 m.

**Figura 10**

*Cuneta empleada en los niveles y las cruzadas.*



Nota: elaboración propia

Esta agua es llevada y almacena en el pozo del inclinado por el manto de carbón solapada, en este inclinado se encuentran dos electrobombas, este pozo o tanquilla tienen dimensiones ancho 2m, largo 2m y profundo 4m (16m<sup>3</sup>) la primera electrobomba se encuentra a 3 metros del pozo de 10 Hp y envía agua a 100 metros del inclinado, luego el agua es recibida por la segunda electrobomba de 9 Hp y la envía hasta el patio de la boca mina del inclinado la grande donde se encuentran tanquillas para dar un tratamiento de sedimentación, luego estas pasan por medio de mangueras a depósitos de agua o lagunas para su vertimiento en los drenajes que se encuentran dentro del área del polígono.

### **6.1.8.3 Señalización**

La mina Carbones Torre Fuerte S.A.S. cuenta con la respectiva señalización en los trabajos subterráneos y en superficie. La señalización se construye con material reflectivo con el fin de que visiblemente y fácil de ubicar los mensajes y su contenido. Además, existe comunicación con superficie desde el interior de la mina, por medio de timbres y teléfonos; los cuales solo pueden ser operados por el personal autorizado. La señalización de lugares, equipos y riesgos que se presentan en la mina son exigidos por el sistema de gestión ya que permite que personal o visitante identifique el lugar o riesgo

presente. En la tabla se demuestran la señalización implementada en la mina Carbones Torre Fuerte S.A.S.

**Tabla 7**

*Señalización empleada en la Mina Carbones Torre Fuerte S.A.S.*

Tipo de señalización	Evidencia fotográfica
<p><b>Infraestructura superficial:</b> letreros utilizados para identificar el lugar (oficinas, tolvas, campamento, restaurante, taller etc.)</p>	
<p><b>Equipos superficiales:</b> se utilizan letreros para identificar equipos, maquinas ubicados en superficie como compresor, malacate.</p>	
<p><b>Suministros superficie:</b> se utilizan letreros para almacenaje de suministros como madera, combustible.</p>	

<p><b>Riesgos y prohibiciones:</b> se emplean letreros en sitios donde se puede presentar un riesgo, debido a un equipo o condición insegura o lugares donde se tiene prohibido a personal no autorizado.</p>																																																									
<p><b>Tableros de registro de ingreso de personal y gases:</b> se emplean letreros y tableros para registrar el personal que se encuentra dentro de la mina, así como la información de la concentración de los gases en las frentes activas.</p>	 <table border="1" data-bbox="792 772 1292 982"> <thead> <tr> <th colspan="7">MEDICIONES DE GASES CTE</th> </tr> <tr> <th>FECHA</th> <th colspan="6">HORA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>07/12</td> <td colspan="6">07:41 AM</td> </tr> <tr> <th>GAS</th> <th>O<sub>2</sub></th> <th>CH<sub>4</sub></th> <th>CO</th> <th>H<sub>2</sub>S</th> <th>CO<sub>2</sub></th> <th>NO<sub>2</sub></th> </tr> <tr> <td>VLP</td> <td>19,5</td> <td>1%</td> <td>10PPM</td> <td>1PPM</td> <td>0,5%</td> <td>1PPM</td> </tr> <tr> <th>HORA</th> <td>07:41</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>DIA</th> <td>07</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>LUGAR</td> <td colspan="2">Granada Sur</td> <td colspan="4">RESPONSABLE:</td> </tr> </tbody> </table>	MEDICIONES DE GASES CTE							FECHA	HORA						07/12	07:41 AM						GAS	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	H <sub>2</sub> S	CO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	VLP	19,5	1%	10PPM	1PPM	0,5%	1PPM	HORA	07:41	0	0	0	0	0	DIA	07	0	0	0	0	0	LUGAR	Granada Sur		RESPONSABLE:			
MEDICIONES DE GASES CTE																																																									
FECHA	HORA																																																								
07/12	07:41 AM																																																								
GAS	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	H <sub>2</sub> S	CO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>																																																			
VLP	19,5	1%	10PPM	1PPM	0,5%	1PPM																																																			
HORA	07:41	0	0	0	0	0																																																			
DIA	07	0	0	0	0	0																																																			
LUGAR	Granada Sur		RESPONSABLE:																																																						
<p><b>Tableros de orden y aseo:</b> se emplean estos letreros para indicar al personal de la mina y visitantes sitios donde verter su basura.</p>																																																									
<p><b>Uso de EPP:</b> se emplean letreros para dar aviso al personal el empleo de los elementos de protección personal.</p>																																																									
<p><b>Letreros de ruta de evacuación y punto de encuentro:</b> se emplean estos letreros para indicar las rutas de</p>																																																									

evacuación al personal minero y visitantes que se encuentren dentro de la mina.	
---	--

Nota. Las señalizaciones mostradas anteriormente fueron fotos tomadas por Juan Fernando Ibañez.

## 6.2 Cálculo de caudal de ventilación la mina torre fuerte.

La ventilación de la mina cuenta con ventilación natural, el aire limpio entra por el tambor de ventilación que se encuentra a una cota de 1.749 m.s.n.m y se comunica con el nivel No. 6 Norte con el inclinado principal con una cota de 1.802 m.s.n.m. en el tambor de ventilación se encuentra un ventilador centrífugo de 25 Hp; que impulsa el aire produciendo una depresión hasta el frente del nivel y las labores mineras, tiene ducto de plástico transparente de 30 cm de diámetro llevando aire a estas.

### 6.2.1 Caudal de aire necesario para la respiración del personal. (Q1)

Actualmente en el inclinado manto la Solapuda se cuenta con 60 trabajadores. Entre ellos se cuentan los trabajadores, administradores y personal auxiliar. Como se menciona en la fórmula 6

**Tabla 8**

*Caudal por trabajador*

caudal por trabajador	
ALTURA (m.s.n.m)	1802
Personal #	35
Q1 (m <sup>3</sup> /min)	210

Nota: elaboración propia

### 6.2.2 Caudal de aire según producción y desprendimiento de metano. Q2

El dato de producción fue obtenido de las dos últimas quincenas de septiembre de 2022, el cual se da de acuerdo con el control del cuadro de Excel de tablero de producción que se entrega en cada quincena fue tomada en septiembre del 2022. Como se menciona en la fórmula 7.

**Tabla 9**

*Caudal por producción*

<b>caudal por producción</b>	
Constante de producción	1.7
Producción (ton/día)	100
Q2 (m <sup>3</sup> /min)	170

Nota: elaboración propia

### 6.2.3 Caudal total

Con todos los cálculos de caudales procedemos a la suma de todos con una aplicación del 15% por pedidas de ventilación (Howard, 2017)

$$Q_t = 210 + 170$$

*Caudal total*

**Tabla 10**

*Caudal total*

<b>CAUDAL TOTAL m<sup>3</sup>/min</b>	380
<b>CAUDAL TOTAL m<sup>3</sup>/seg</b>	6,3

Nota: elaboración propia

### 6.3 Resistencia

Aplicando la fórmula 3 ya descrita en el marco teórico se realizó, el valor de la constante K se toma como constante  $k = 0,11 \text{ kg/m}^3$  (Howard, 2017), se pudo determinar el valor de la resistencia equivalente. En la tabla 13, están detallados los resultados del cálculo de la resistencia actual circuito de ventilación. Como se menciona en la fórmula 2.

$$R = \frac{0,11 \times 3,12 \times (4,5 + 6)}{1,56^3}$$

$$R = 0,951$$

**Tabla 11**

*Cálculo de resistencia*

VIA	L	Leq	L+Leq	P	A	R
	m	m	m	m	$m^2$	$N \times S^2 / m^8$
1-2	4,5	6	10,5	3,12	1,56	0,951
2-3	21,45	11	32,45	3,12	1,56	2,939
3-4	25,3	11	36,3	3,28	1,64	2,975
4-5	71	31	102	1,12	1,54	9,479
5-6	9	11	20	3,77	0,56	14,056
6-7	0,62	36	98	5,4776	1,885	6,0679
7-8	300	41	341	7,056	2,7388	10,019
8-9	300	61	361		3,528	6,392
					$\Sigma$	52,8789

Nota: Elaboración propia

### 6.4 Cálculo de presión

Con los resultados de caudal y resistencia determinados en los ítems anteriores, se utiliza la fórmula 3. Para el cálculo de potencia del ventilador es necesario que la presión se encuentre en unidades de milímetros columna de agua (mmcolH<sub>2</sub>O). Esta conversión se realiza multiplicando, por 0.101972; Ya que en 1Pascal hay 0. 101972mmcolH<sub>2</sub>O.

$$H_t = 52,87 \times 0,1019$$

$$H_t = 5,38 \times (6,3)^2$$

$$H_t = 213,5$$

Nota: elaboración propia

### 6.5 Potencia del ventilador

como el objeto final del diseño es la mejora del flujo del aire, es necesario calcular la potencia del ventilador.

Con los resultados de caudal, presión se puede aplicar la fórmula 4 y así poder calcular la potencia del ventilador principal, en la tabla 15 esta detallado este resultado.

$$P = Q \times Ht/102$$

$$P = 6,3 \times 213.53/102$$

$$P = 13.76$$

**Tabla 12**

*Cálculo de potencia del ventilador principal*

POTENCIA KW	13,76
POTENCIA HP	18,44
POTENCIA COMERCIAL	20

Nota: elaboración propia

Así como menciona Howard (1974) Esta fórmula da el resultado en kilowatts, generalmente se comercializan los ventiladores en unidades de caballos de fuerza (HP), para la potencia comercial se da una eficiencia del 80%.








## 6.6 Flujograma de implementación del diseño de ventilación

El diseño del flujograma propuesto en esta investigación es una secuencia lógica de los pasos a seguir de cómo se implementaría la metodología del diseño de ventilación forzada en la mina Carbones Torres Fuerte S.A.S. Basados en la figura 1 de este documento.

**Tabla 13**

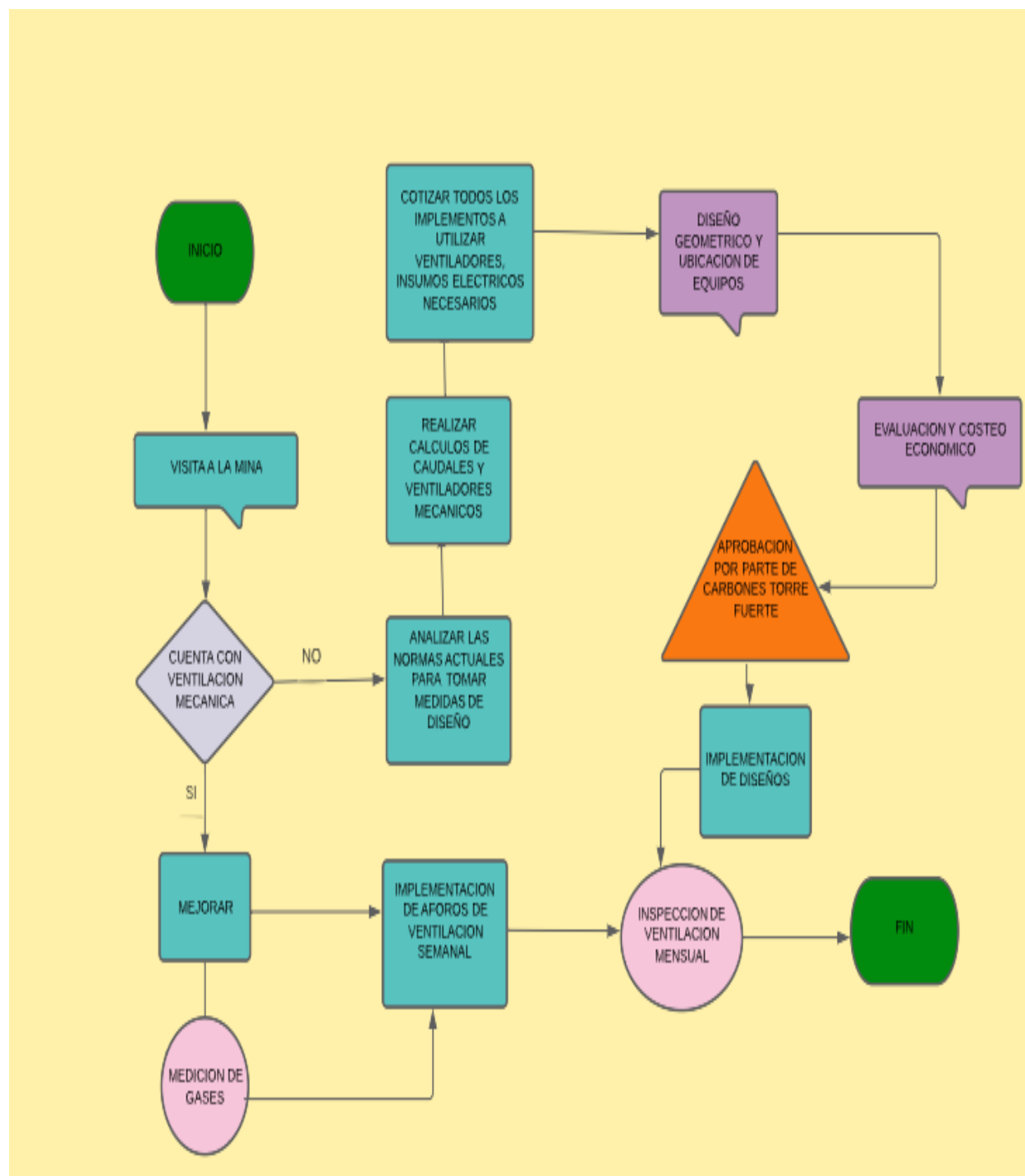
*Descripción de flujograma*

Símbolo	Descripción
	Principio y fin del proyecto
	Acción a emprender, tarea a realizar
	Pregunta que se realiza antes y/o después de cada acción con el fin de determinar el paso a seguir
	Labor de medición, inspección de parámetros
	Evaluación por parte del cliente generando la aprobación o desaprobación de los diseños presentados.

(Cárdenas 2014)

Figura 11

Flujograma de implementación del sistema de ventilación



Nota: elaboración propia

## 6.7 Costo de implementación

Para la elaboración del costeo se hicieron varias cotizaciones en distintas empresas de servicios de distribución de accesorios eléctricos y varias empresas de distribución de equipos mineros. Los costos de planos y estudios son a criterio de los autores por su experiencia en proyectos mineros y en proyectos de instalaciones eléctricas.

**Tabla 14**

*Costo del diseño de ventilación*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL
<b>1</b>	<b>DIAGNÓSTICO DEL CIRCUITO PRINCIPAL ACTUAL</b>	<b>\$ 500.000</b>
1.1	recorrido y medición de las diferentes áreas del circuito de ventilación principal	\$ 450.000
1.3	Análisis de información	\$ 50.000
<b>2</b>	<b>ESTUDIO DE DISEÑO Y PLANOS PARA LOS CALCULOS DE CIRCUITO DE VENTILACION</b>	<b>\$ 2.550.000</b>
2.1	Elaboración del plano de ventilación	\$ 400.000
2.2	Realizar la modelación del sistema de ventilación	\$ 1.000.000

2.3	cálculo de equipos necesarios para el sistema de ventilación y equipos eléctricos	\$ 1.000.000
2.4	estudios de costos	\$ 150.000
<b>3</b>	<b>IMPLEMENTACION DEL CIRCUITO DE VENTILACION</b>	<b>\$ 10.946.944</b>
3.1	Ventilador extractor axial 23" 2Hp, 380w, 16A, 1 fase 220v, caudal 30.000cmh (US\$1175)	8.717.200
3.2	Cable XLPE 1/0 AWG	780.000
3.3	Caja Control acero botonera 3 botones incluye parada de emergencia	145.820
3.4	tablero brakers monofásico bifilar 2 puestos	75.000
3.5	breaker 1x20A	44.000
3.6	tubería IMC 2" (ml)	69.000
3.7	bornas empalme 1/0 barril largo	47.004
3.8	cinta super 33	18.000
3.9	cable THHN/THWN 10 AWG	250.920
3.10	Mano obra(días/pareja)	800.000
	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 13.996.944</b>

## 7 Conclusiones

Habiendo presentado una propuesta de mejora que se ajuste a las necesidades descritas, podemos entonces exponer las diferentes conclusiones que dan cuenta del rol que tiene el diseño de ventilación forzada en el proceso productivo de Carbones Torre Fuerte S.A.S.

El tipo de propuesta planteada fue estrictamente pensada en la optimización de recursos económicos. Por ende, la implementación no tendrá gran relevancia en el alcance de los recursos necesitados. Por el contrario, se espera poder mejorar el sistema de ventilación y contribuir a la disminución de madera utilizada en el sostenimiento desgastado por las altas temperaturas en algunas vías de la mina, lo cual representa altos costos para la compañía.

Las herramientas tecnológicas para la simulación de circuitos de ventilación se convierten en recurso de vital importancia en los diseños de minas dado que permiten predecir el comportamiento de las temperaturas, corrientes de aire, concentraciones de gases etc., con esta información se toman decisiones respecto a la necesidad o no de implementar sistemas de ventilación que generen atmósferas sanas en el interior de las minas.

Del mismo modo, se puede concluir que en la empresa Carbones Torre Fuerte S.A.S. Existen diferentes oportunidades de mejora importantes de gestionar adecuadamente, y que ante un sistema de ventilación forzada como el que debe de implementar la empresa, se podría mejorar el servicio de sostenimiento en las labores mineras.

La normatividad minera socializada mediante los decretos expedidos por el ministerio de mina y energía, no solo son un documento de obligatorio cumplimiento sino, que se convierte en una guía de las buenas prácticas mineras tendientes a garantizar las condiciones óptimas bajo las cuales se debe ejercer la actividad minera, su cumplimiento garantiza condiciones óptimas de seguridad para los trabajadores en el interior de los sitios de trabajo.

Las adecuaciones en locativas en los sitios de extracción d minerales, en particular, aquellas que al igual que la ventilación no constituyen un aparente incremento en los niveles de productividad de las minas, son usualmente ignoradas por los propietarios y/o administradores de las minas dado que se consideran un gasto innecesario que afecta negativamente la rentabilidad y suponen incrementos en las labores de mantenimiento; La cultura de la minería tradicional tiende a ignorar las leyes que regulan los desarrollos de la actividad minera poniendo en condiciones indeseables ( y en muchos casos de riesgo) a los empleados de las minas. Aun hoy que se cuenta con un recurso humano capacitado desde los niveles de formación técnica hasta postgrados, se sigue generando actividad minera por fuera de las recomendaciones de las autoridades del sector en complicidad con los entes encargados de regular el cumplimiento de las normas.

La infraestructura eléctrica en muchas de las minas “pequeñas” es casi inexistente, bien por la ubicación de las mismas que en muchos casos no permite la vinculación al sistema interconectado del país, bien por los altos costos que representaría llevar a red nacional hasta el punto de bocamina o por los altos costos de tener una operación basada en generadoras de ACPM, esto hace que aspectos como la ventilación forzada no sean tenidos en cuenta dado que la alimentación permanente ( y con energía de buena calidad) se convierte en una labor costosa; en virtud de lo anterior la cultura minera se confía de la ventilación natural para suplir los requerimientos de aire en el interior de los socavones.

En la actualidad la mina Carbones Torre Fuerte S.A.S. Está trabajando en condiciones que no son óptimas en cuanto a ventilación se refiere, se debe valorar en una siguiente etapa de estudio el costo económico de la reposición permanente de las maderas para establecer un retorno de inversiones pues satisfacer las finanzas de la empresa si decide hacer los cambios que tenga lugar.

## 8 Referencias

- Álvarez Álvarez Carlos Mauricio, Arias Quintero Carlos Andrés, Builes Carvajal Juan Sebastián, Ordoñez Carmona Oswaldo, Zapata Madrigal Germán Darío. *Evaluación de las pérdidas de carga en el circuito de ventilación por el uso de sostenimientos en minas de carbón, caso de estudio: mina nechí, Amagá, Antioquia*. boletín de ciencias de la tierra no 36, 33-41
- Bolivar-Leon, Rafael; Trivino-Jaimes, Neyl Richard and Garcia-Mogollon, Javier Mauricio. Estudio técnico-ambiental de las estructuras principales de fortificación usadas en la minería de carbón de norte de santander. *rev. fac. ing.* [online]. 2015, vol.24, n.38, pp.107-116. issn 0121-1129. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0121-11292015000100009&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0121-11292015000100009&script=sci_abstract&tlng=pt)
- Castillo Aranguren, d. r. (2017). Evaluación del sistema de ventilación de la mina el roble. (trabajo de grado). universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, Sogamoso. <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/1886>
- Carrascal Buelvas, a. a., Manzur Amel, c. a. (2014). Evaluación y propuesta del mejoramiento de la ventilación para la mina el Maracaibo municipio de Samacá, departamento de Boyacá. (trabajo de pregrado). universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, Sogamoso
- Córdoba Quiceno Cristian Camilo Molina Escobar Jorge Martín. Caracterización de sistemas de ventilación en minería subterránea. boletín ciencias de la tierra, no.29 Medellín jan. /june 2011, ag 12
- Decreto 1886 del 2015 “Por el cual se establece el Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas”.
- Fernández Cárdenas, David Ricardo. *Levantamieto y propuesta de mejora de proceso y elaboracion del manual de perfiles de cargos para fundacion hermano miguel(2019), pontificia universidad católica del Ecuador*.

- Hernández-Sampieri, R. & Mendoza, C (2018). **Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta**, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education, Año de edición: 2018, ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p
- Howard I Hartman, Jan m. Mutman sky, r.v. ramani, y.j. Wang. (1997) *Mine ventilation and air conditioning. jhon wiley & sons, inc.*
- Kerguelen Bendeck Jorge Luis González Martínez, Victor Alfonso, Jiménez Builes Jovani Alberto. Calculo de parámetros determinantes en la preparación de un circuito de ventilación en minería subterránea de carbón usando programación estructurada. boletín ciencias de la tierra, nro. 33, pp. 155-162. Medellín, julio de 2013. issn 0120-3630
- Nova Mojica Juan Diego, Moreno Rincón Marlon mauricio. Diseño y construcción de un prototipo para el estudio de estrategias de control aplicadas a la ventilación en la minería subterránea. (trabajo de pregrado). universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, Sogamoso. <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/1721>
- Prisco, C. (2022). *Plan de Sostenimiento mina Carbones Torre Fuerte S.A.S.*
- Prisco, C. A. (2022). *Plan de Ventilacion Mina Carbones Torre Fuerte S.A.S.*
- Ramirez Hernandez, C.Mendoza.2018. *Metodología de la investigación. las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* mcgraw hill.
- Ramírez González, Nicolas Alexander, Fuentes Ortega Claudio Fernando. (2019). Modelamiento del sistema de ventilación y control de metano con el simulador "ventsin" tm en la mina subterránea de carbón fezmine, Polonia. universidad de concepción, facultad de ingeniería, departamento de ingeniería metalúrgica.
- Rodríguez García, m. (2018). Plan de ventilación para la mina de carbón carbonapoles, perteneciente al contrato de concesión 7241, (Samacá, Boyacá. (trabajo de pregrado). universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, Sogamoso. <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2514>



