

## Evaluation of load losses in the ventilation circuit by the use of fortification in coal mines, study case: Nechí Mine, Amagá, Antioquia

Carlos Mauricio Álvarez-Álvarez <sup>1</sup>, Carlos Andrés Arias-Quintero <sup>2</sup> Juan Sebastián Builes-Carvajal <sup>2</sup>, Oswaldo Ordoñez-Carmona <sup>3</sup> & Germán Darío Zapata-Madrigal <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ing. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Facultad de Minas, [cmalvarezal@gmail.com](mailto:cmalvarezal@gmail.com)

<sup>2</sup> Est Ing. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, [caariasq@unal.edu.co](mailto:caariasq@unal.edu.co); [jsbuilesc@unal.edu.co](mailto:jsbuilesc@unal.edu.co)

<sup>3</sup> PhD., Profesor Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, [oswaldo.geologo@gmail.com](mailto:oswaldo.geologo@gmail.com)

<sup>4</sup> PhD. profesor Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, [gzapata@unal.edu.co](mailto:gzapata@unal.edu.co)

Recibido para revisar: 16-Junio-2014. Aceptado: 17-Octubre-2014. Versión final: 04-Noviembre-2014.

### ABSTRACT

The research aims to identify the variables which influence on the increase of risk for explosions in underground coal mines, especially in the accumulation of coal dust on top of the fortification, as well as analyze how these affect the load losses in the ventilation circuit and the proper evacuation of coal dust. This analysis was carried out by a guide field visits to Nechí Mine (Municipality Amagá, Antioquia) where it was observed that the coal dust accumulated significantly in the wooden doors that in the steel arches, we proceeded to simulate different geometries of fortification and the amount of these for the purpose to determine which is the geometry that contributes to reducing the load losses. After analyzing the different scenarios, the geometry that optimizes the ventilation circuit has been called geometry *Circular 2*, which shows reduction in load losses of up to 14.67% compared to other geometries analyzed under the same conditions. With this, are proposed alternatives more efficient to optimize the ventilation circuit and ensure health and safety conditions for workers inside the mine.

*Key words:* Fortification, Coal Dust, Load Losses, Resistance, Ventilation Circuit.

## 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

### RESUMEN

La investigación pretende identificar las variables que influyen en el aumento de riesgos por explosiones en minas de carbón subterráneas, especialmente en la acumulación del polvo de carbón en la parte superior de los sostenimientos, además de analizar cómo influyen estos en las pérdidas de carga del circuito de ventilación y la correcta evacuación del polvo de carbón. Dicho análisis se realizó 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, se procedió a simular 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 2*, 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.

*Palabras Clave:* Sostenimiento, Polvo de Carbón, Pérdidas de Carga, Resistencia, Circuito de Ventilación.

### 1. INTRODUCCIÓN

La minería de carbón representa uno de los factores más importantes en la economía del Suroeste Antioqueño,

principalmente de la Cuenca de la Quebrada Sinifaná, allí se agrupan tanto mineros informales como empresas constituidas

legalmente, pero predominan las minas con baja tecnificación con escalas de trabajo reducidas (Arango, Zapata, & Gómez, 2010). Problemas como subsidencia, accidentes por explosiones de atmósferas explosivas, caída de rocas y derrumbes son comunes en las minas de la región (MinMinas, 2010); por tal motivo se hacen necesarios diferentes estudios que procuren por caracterizar los fenómenos y minimizar el riesgo, así mismo la predisposición tanto del pequeño minero como de las empresas para reducir las causas de accidentes que podrían generar pérdidas económicas e incluso humanas. Algunos factores geológicos (estructuras, tipo de carbón, estado de esfuerzos actuales, etc) combinados con factores mineros (tipo de explotación, tipo de sostenimiento, circuito de ventilación, etc)

y geotécnicos podrían generar accidentes de diferentes tipos.

Dada cierta concentración de polvo de carbón en suspensión esta puede resultar explosiva (Cashdollar, 1996), por lo que la determinación del tipo de sostenimiento y del circuito de ventilación son factores clave para minimizar el riesgo de que ocurra dicha concentración. El sostenimiento debe garantizar que se reduzcan las pérdidas de presión para que el sistema de ventilación sea eficiente en una sección determinada; la correcta distribución de aire a lo largo de la mina permite la evacuación de concentraciones elevadas de polvo de carbón que se acumulan en las partes superiores de los mecanismos de sostenimiento (Figura 1).



Figura 1. Acumulación de polvo de carbón en los arcos de madera de la Mina Nechí.

## 2. GENERALIDADES DE LA MINA

La Mina Nechí se encuentra ubicada a 47 km al suroeste de la ciudad de Medellín, dentro del Municipio de Amagá desviándose hacia el Corregimiento de Camilo C, sobre la margen derecha de la Quebrada Sinifaná. Es operada por SATOR S.A.S la cual es una filial del Grupo Argos. Geológicamente los tres mantos de carbón explotados de allí pertenecen al Miembro Medio de la Formación Amagá de edad Oligoceno – Mioceno y se relacionan con cuarzoareniscas, lutitas carbonosas y arcillolitas encontrándose en una cuenca pull-apart generada por el Sistema de Fallas Cauca – Romeral (Figura 2) (Grösse, 1926) (INGEOMINAS, 2005). La explotación se realiza mediante el método de ensanche de tambores, y la determinación de uso de fortificación se realiza de acuerdo a la roca techo que cada manto posea. Este sostenimiento es un factor crítico en el circuito de ventilación y a la acumulación de polvo de carbón, debido a que es en las puertas de madera donde se tiende a acumular frecuentemente y donde el riesgo principal

es que este polvo se ponga en suspensión, y llegue a una concentración necesaria para que ocurra una explosión (Yanes, 1993).

## 3. MARCO TEÓRICO

### 3.1. Sostenimiento

Los sostenimientos en la minería subterránea son de vital importancia para garantizar el desarrollo seguro y normal de las operaciones de extracción del recurso de interés económico. Del buen sostenimiento de una mina dependen en gran medida, la reducción de los accidentes laborales, sea incapacitantes o mortales. Las diferentes técnicas de sostenimiento dependen del tipo de mineral que se piensa extraer y las condiciones geológicas del mismo, al igual que el método de explotación (Ferrerías Juárez & Laín Huerta, 2003) y los recursos económicos disponibles, por esta razón la madera es comúnmente utilizada. Se pueden distinguir según su función dos tipos de sostenimiento:

- **Sostenimiento principal:** Su función es mantener la presión de techo y garantizar de forma global la estabilidad de la sección escavada (Ferrerías Juárez, Laín Huerta, 2003). En muchos casos el sostenimiento principal no es suficiente para controlar inestabilidades locales.
- **Sostenimiento secundario:** Se denomina sostenimiento auxiliar o complementario, ya que se

combina con el sostenimiento principal para controlar ciertos puntos locales o sectores donde se tenga un techo inestable.

Existen diferentes tipos de sostenimiento que se pueden agrupar en cada una de las categorías antes mencionadas y que cuya función es mantener la estabilidad del terreno y conseguir soportar la excavación, algunos ejemplos son:

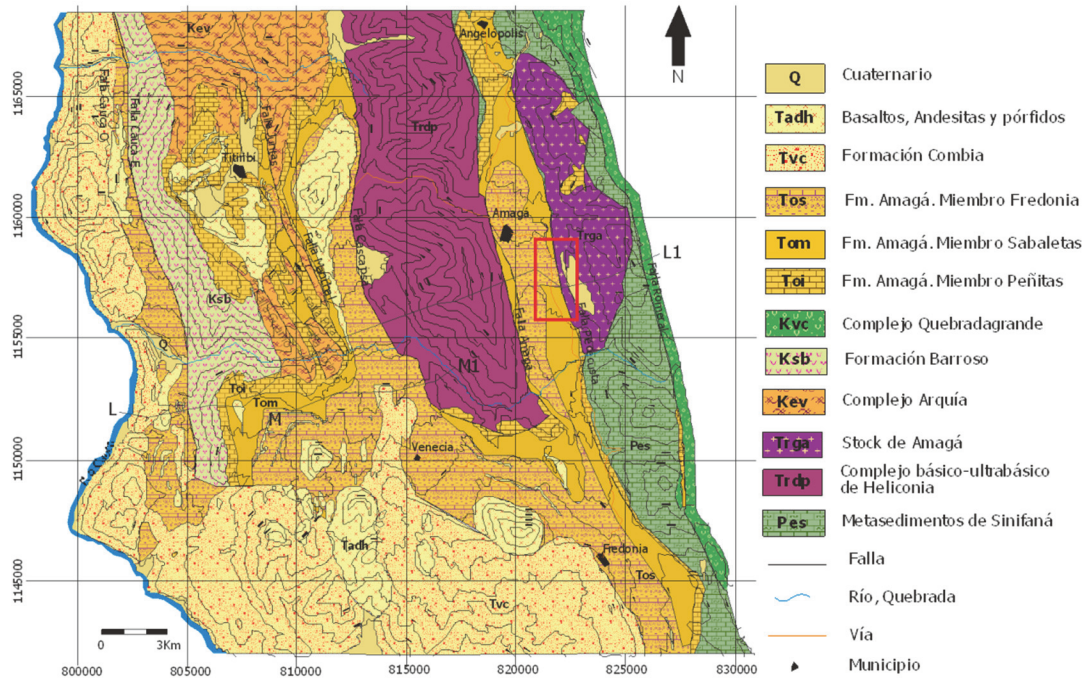


Figura 2. Marco geológico regional del Municipio de Amagá. El cuadro rojo es la zona de ubicación de la Mina Nechí. (Modificado de (Grösse, 1926)).

Tabla 1: Tipos de sostenimiento y sus usos comunes (MinMinas, 2010) (Geco.mineroartesanal) (Hoek, 1987).

Tipos de sostenimiento	Usos comunes
Tacos (madera)	Evitar el desprendimiento de material del techo y de las paredes.
Cuadros rectos (madera)	Son usados cuando la mayor presión procede del techo (Figura 3A).
Cuadros cónicos (madera)	Son usados cuando la mayor presión procede de los hastiales (laterales).
Cuadros cojos (madera)	Se utilizan en vetas angostas menores de 3 m de espesor.
Canastas (madera)	Se utilizan en túneles amplios que presentan desprendimientos de roca.
Arcos metálicos	Son empleados para túneles de larga duración, especialmente en áreas críticas de vías o intersecciones. Continúa soportando incluso después de que la deformación ocurre (Figura 3B).
Mallas	Hay de eslabones y soldada, su función general es retener pequeñas rocas sueltas o ser refuerzo del concreto lanzado.
Concreto lanzado	Obtiene resistencias altas de 34.5 a 41.4 Mpa, se utiliza en las vías más importantes y de más duración durante la explotación.
Anclajes - Pernos	Se utilizan como refuerzo provisional cuando el sostenimiento de la vía se realiza con concreto lanzado o mallas para evitar las deformaciones de la roca circundante del túnel.
Cables	Se usa para contener estructuras geológicas que representen probabilidad de falla, allí se inyecta cemento que refuerce la estructura.

### 3.2. Fluidos

El arrastre total sobre un cuerpo es debido a dos componentes: el arrastre de presión, que se debe a los

disturbios en la corriente del flujo, conforme este pasa el cuerpo, creando una excitación turbulenta; y el arrastre por



fricción, que se debe a los esfuerzos cortantes en la capa delgada del fluido cerca de la superficie del cuerpo.

Para el caso de aplicación de los mecanismos de sostenimiento se aplicará el concepto de arrastre por presión,

es decir en cómo influyen las formas geométricas, en la distribución de la corriente del flujo, y sus potenciales pérdidas (Mott, 1996).



Figura 3. A: Sostenimiento con puertas de madera. B: Sostenimiento con arcos de acero en la Mina Nechí.

### 3.3. Pérdidas de carga y resistencia de un túnel

Para el diseño de sistemas de ventilación en minería subterránea se tienen varias condiciones con respecto a los índices de las pérdidas de carga por obstáculos en las vías de ventilación. En la práctica las pérdidas de carga debido a obstáculos se calculan de forma empírica, asumiendo en muchos casos condiciones generales que pueden llevar a errados cálculos o sobredimensionar los sistemas de ventilación.

Las pérdidas de carga por rozamiento se pueden calcular con la siguiente ecuación (Alarcón Rojas, Albuérne Pérez, Fernández Bustillo et. al., 2011):

$$\Delta p = \lambda \gamma \frac{v^2 PL}{2g 4S} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Dónde:

$p$  = Presión [Pa].

$\gamma$  = Peso específico del aire [N/m<sup>3</sup>].

$\lambda$  = Coeficiente de rozamiento o frotamiento.

$v$  = Velocidad del aire [m/s].

$P$  = Perímetro de la labor [m].

$L$  = Longitud de la labor [m].

$S$  = Sección transversal del túnel de trabajo [m<sup>2</sup>].

Si en la Ecuación (1) se reemplaza la velocidad por:

$$v = \frac{Q}{S}$$

Donde  $Q$  [m<sup>3</sup>/s] es el caudal medio del aire, se obtiene entonces:

$$\Delta p = \lambda \gamma \frac{PL}{8gS} Q^2 \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde  $g$  es la gravedad [9.8 m/s<sup>2</sup>]

El concepto de resistencia de una galería, se define como la suma de la resistencia debida al rozamiento del aire con las paredes y el suelo, de las resistencias adicionales por obstáculos y las resistencias debidas a las variaciones de la forma geométrica del sostenimiento (Alarcón Rojas, Albuérne Pérez, Fernández Bustillo et. al., 2011). Así dicha resistencia se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$R = \lambda \gamma \frac{PL}{8gS^3} [k \text{ murgues}] \quad \text{Ecuación (3)}$$

Luque Cabal, 1988 propone la siguiente fórmula general para la resistencia de una galería:

$$R = \frac{10^3 \lambda \gamma P L}{8g S^3} \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$R = 12,74 \frac{\lambda \gamma P L}{S^3} \quad [k \text{ murgues}]$$

Dónde:

$g$  = Aceleración de la gravedad [m/s<sup>2</sup>].

$\lambda$  = Coeficiente de frotamiento.

$\gamma$  = Densidad del fluido [kg/m<sup>3</sup>].

$P$  = Perímetro de la Sección [m].

$L$  = Longitud de La sección [m].

$S$  = Sección recta (para el caso de galerías con sostenimiento, es la sección bajo el cuadro de madera) [m<sup>2</sup>].

Si la galería varía entre tramos, entonces la resistencia se puede dividir en tantos tramos como variaciones se encuentren y la resistencia total será la suma de todas las resistencias halladas.

Para tener más claro el concepto de resistencia se deben clasificar las resistencias características por obstáculos según si son:

- **Obstáculos lineales:** Son instalaciones y elementos fijos a lo largo de la labor y cuya resistencia debe ser integrada a la resistencia general.
- **Obstáculos puntuales:** Son obstáculos móviles o fijos con un valor conocido de resistencia y que se deben sumar individualmente a la resistencia general.
- **Obstáculos largos:** Obstáculos móviles o fijos ubicados en el interior de la labor que se deben analizar de forma diferente a los demás obstáculos; estos obstáculos representan una resistencia en un tramo largo de la labor y se deben tratar como obstáculos lineales, por su longitud, y obstáculos puntuales. Es el caso particular de las locomotoras.

Con la anterior caracterización de cada obstáculo, se puede determinar la resistencia característica de los diferentes sostenimientos utilizados en minería (Figura 4).

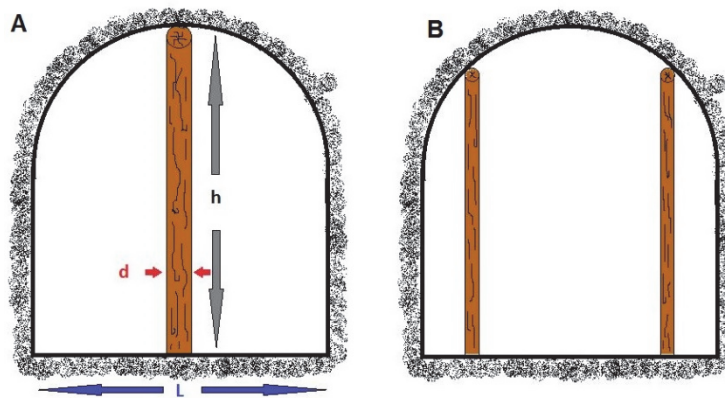


Figura 4. A. Sostenimiento en el centro de la sección. B. Doble sostenimiento.

Para éste caso del sostenimiento en el centro de la sección el valor de la resistencia se puede determinar como:

$$R_x = 0,64 \frac{dh}{S^3} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Para una galería de longitud  $L$  y sostenimientos apuntalados cada  $i$  metros, se tiene que la resistencia es:

$$R_p = 0,64 \frac{dhL}{iS^3} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Para el caso de tener doble sostenimiento por sección se define primero la tasa de obstáculos y se determina la resistencia obtenida:

$$R_T = R_x \times \left(1 + \frac{\sum d_p h_p}{iAP}\right) \quad \text{Ecuación (7)}$$

Dónde:

$\lambda$  = Coeficiente de frotamiento.

$\sum d_p h_p = L$  La relación parcial de las alturas y diámetros de los sostenimientos

Luque Cabal, 1988 determina que el coeficiente de frotamiento de una galería viene dado por la siguiente fórmula:

$$\lambda = 0,7 \lambda_p + 0,3 \lambda_s \quad \text{Ecuación (8)}$$

Dónde:

$\lambda_p$  = Coeficiente de frotamiento de las paredes

$\lambda_s$  = Coeficiente de frotamiento del suelo.

Este autor propone una serie de valores de coeficientes de frotamiento en base a una sección de 10 m<sup>2</sup>, que está corregida por el factor de abombamiento  $K$ , este es un factor que corrige el área en función de su forma.

Sin embargo, para el caso de aplicación colombiano, y de las minas en general del mundo, es difícil cumplir con esta sección base de 10 m<sup>2</sup>, por lo que se propone la ecuación:

$$\lambda = \frac{\lambda_{10}}{(0,75+0,25 \log S)^2} \quad \text{Ecuación (9)}$$

Esta ecuación permite hallar el coeficiente de frotamiento de una sección a partir del área que esta ocupa, además está normalizada por el valor de  $\lambda_{10}$  para el suelo y las paredes expresado en (Luque Cabal, 1988), y tiene en cuenta un factor de obstáculos de 0,15 que corresponde a galerías con sostenimiento o entibación, este factor depende de los obstáculos interpuestos en la galería.

#### 4. METODOLOGÍA

En la Mina Nechí se observaron dos tipos de sostenimiento (Figura 3), uno con arcos de acero que no tiene una acumulación significativa de polvo de carbón, y además permite que el aire tenga una circulación por un área efectiva y uniforme que es la que se ubica inmediatamente debajo del arco, y otro con puertas de madera que por su geometría y ajuste a la sección de la galería contribuye a la acumulación significativa de polvo de carbón (Figura 1); por ende el análisis se centrará en simular mediante CFD (*Computational Fluid Dynamics*) y las variaciones en la geometría y cantidad de los sostenimientos en puertas de madera y como estas afectan la pérdida dadas ciertas condiciones del circuito de ventilación y sección del túnel; con esto se determinará teóricamente la(s) geometría(s) que obtengan una menor pérdida de presión con el fin de evaluar en la práctica su implementación en la unidad minera.

#### 5. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Debido a su forma y colocación, los sostenimientos en puertas de madera representan un obstáculo largo, ya que se encuentran a lo largo de la labor y se puede determinar su resistencia individual.

La *ecuación 1* es una forma general de describir las pérdidas de carga, pero no contempla a detalle las pérdidas por el aumento en el uso de sostenimientos. Para determinar esas pérdidas se ha propuesto un modelo de simulación para diferentes tipos de perfiles de sostenimientos usando el software CFD (*Computational Fluid Dynamics*), con el cual se obtendrán los resultados de las pérdidas de carga para cada perfil mediante el uso del modelo K - Epsilon.

Para la evaluación se han determinado las siguientes condiciones, de las cuales se han obtenido en visitas previas a la Mina Nechí los valores de sección, velocidad del aire, separación entre perfiles, caudal de aire. Las áreas de las secciones de los perfiles a evaluar se han tomado como dato de referencia y estimación del valor real que pudiesen tener en la práctica:

- Sección de la galería:* 12 m<sup>2</sup>
- Separación entre perfiles:* 1 m
- Velocidad del aire:* 0,5 m/s
- Caudal del aire:* 6 m<sup>3</sup>/s
- Área sostenimiento Circular:* 86,2 cm<sup>2</sup>
- Área sostenimiento Cuadrado:* 144 cm<sup>2</sup>
- Área sostenimiento Circular 2:* 86,2 cm<sup>2</sup>

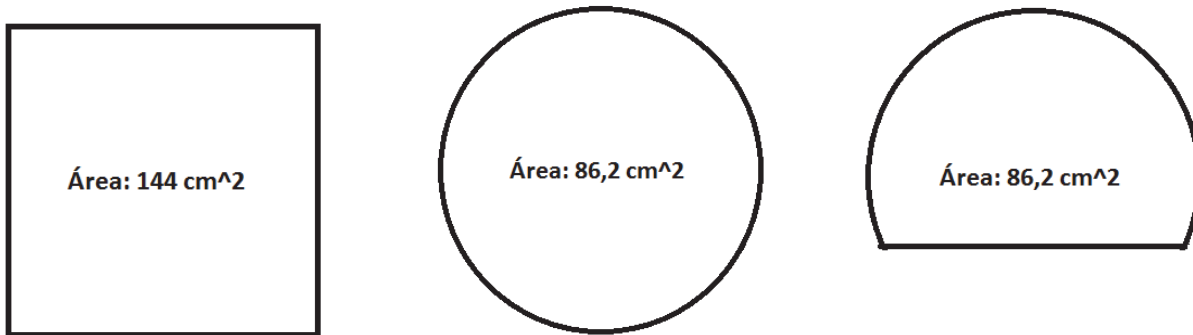


Figura 5. Perfiles a evaluar Cuadrado, Circular y Circular 2.

Una vez determinadas las geometrías se procede a simular varios escenarios de pérdidas de carga variando la cantidad de sostenimientos para un perfil de la galería. La intensidad en el color azul indica las zonas con mayores pérdidas de carga.

Con un sostenimiento se tiene el siguiente resultado (Figura 6):

En la figura 6, las zonas de color azul representan los puntos de mayor caída de presión generado por cada uno de

los perfiles; las zonas de color rojo indican los puntos en los que no se presenta caída de presión ni alteraciones del flujo debidas a cada uno de los perfiles.

Con las simulaciones del comportamiento del caudal y caídas de presión debidas a cada uno de los diferentes perfiles se puede realizar una comparación con la proyección de la caída de presión al aumentar el número de sostenimientos de cada perfil (Figura 7).

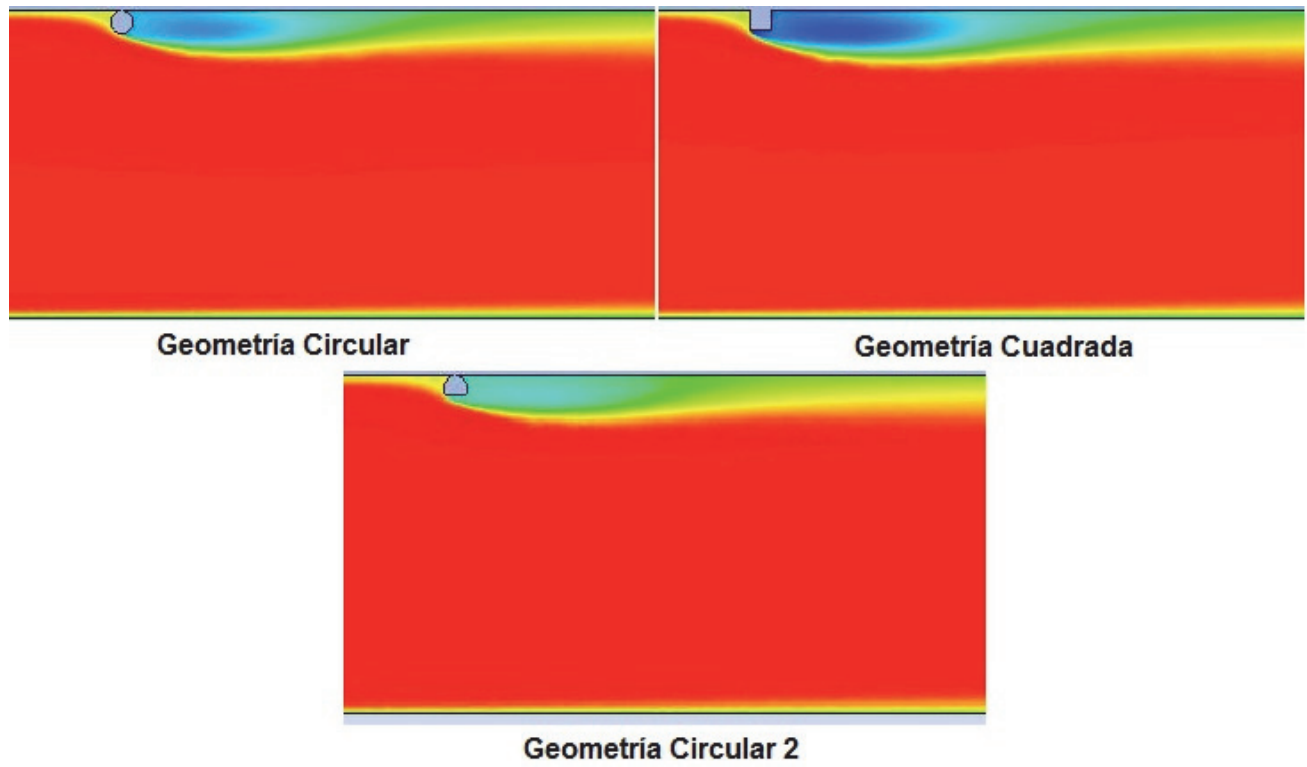


Figura 6. Comportamiento de la pérdida de carga para diferentes geometrías del sostenimiento.

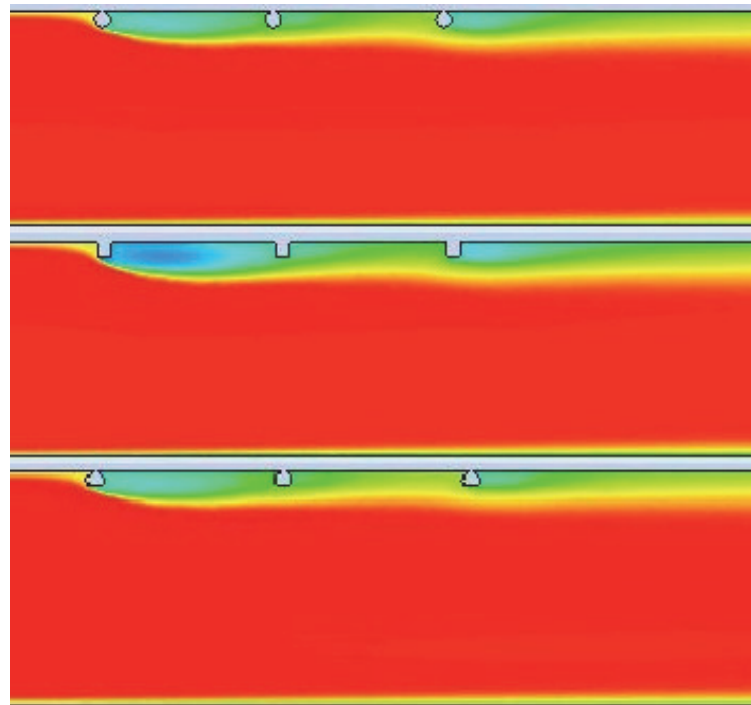


Figura 7. Comportamiento de la presión ante el aumento del uso de sostenimientos de diferentes perfiles (perfil cuadrado, perfil circular, perfil circular 2).

Con esto se puede sacar una gráfica que relacione la cantidad de sostenimientos vs. la pérdida de presión, con el fin de simular lo que sería un perfil real de una galería, para cada geometría propuesta (Figura 8-9-10).

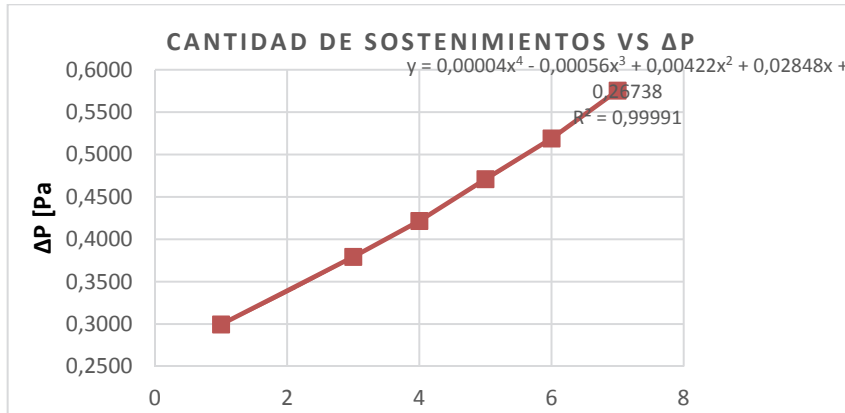


Figura 8. Relación entre cantidad de sostenimientos vs. la pérdida de presión para la geometría circular.



Figura 9. Relación entre cantidad de sostenimientos vs. la pérdida de presión para la geometría cuadrada.



Figura 10. Relación entre cantidad de sostenimientos vs. la pérdida de presión para la geometría circular 2

Los resultados obtenidos para cada una de las relaciones se obtienen mediante el software CFD (*Computational Fluid Dynamics*) el cual toma como resultado final la diferencia de presiones al inicio de la galería y lo compara con la medición final al pasar por la cantidad total de los perfiles.

De acuerdo a las simulaciones realizadas variando la geometría y cantidad de los sostenimientos en madera en una sección de una mina subterránea se obtiene que la mejor geometría es la *Circular 2*, la cual presenta reducciones en las pérdidas de carga de 9.56% respecto a la geometría



*Circular*, y un 14.67% respecto a la *Cuadrada* analizadas bajo las mismas condiciones.

## 6. CONCLUSIONES

Según lo visto en la mina, el sostenimiento en puertas de madera con la geometría actualmente utilizada (circular y cuadrada) contribuye a la acumulación de polvo de carbón en sus partes superiores aumentando la posibilidad de que dicho polvo se suspenda en el aire y así aumente el riesgo por explosión, por lo que se hace necesario re-evaluar y re-diseñar dicho sostenimiento.

Una vez simulados los diferentes escenarios (geometría y cantidad) se observó que el sostenimiento con geometría Circular 2 tiene un mejor comportamiento en cuanto a pérdidas de presión en un perfil de una sección típica.

Aunque la geometría Circular 2 disminuye las pérdidas por carga respecto a otras geometrías no se tiene en cuenta la reducción del volumen al carenar (moldear) la madera, en consecuencia no se evalúa la pérdida de efectividad para la cual fue diseñado el sostenimiento, que es soportar las presiones del techo y las paredes del túnel. Se recomienda realizar ensayos mecánicos para determinar dicha afectación.

La geometría Circular 2 representa una disminución en las pérdidas de carga de hasta un 14.67% respecto a las otras geometrías analizadas bajo las mismas condiciones.

Esta investigación hace énfasis en sólo uno de los problemas de la minería informal de carbón el cual es el riesgo por explosión y por eso los análisis se centran en la optimización del sistema de ventilación mediante la reducción de pérdidas de carga por uso de sostenimientos alternativos.

La viabilidad económica de la implementación de la geometría propuesta para el sostenimiento es difícil de determinar pues el tronco de madera se cortaría a los  $\frac{3}{4}$  del diámetro inicial, y el sobre-costos que esto implicaría (mano de obra, herramientas, energía, etc) tendría que ser evaluado para cada unidad minera a implementar.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar el agradecimiento a los funcionarios y operarios de la Mina Nechí quienes en reiteradas ocasiones nos atendieron de la mejor manera. Igualmente se agradece a la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín y su Sistema de Información de la Investigación HERMES, al Grupo de Estudio en Georrecursos, Minería y Medio Ambiente GEMMA, al Grupo de Investigación en Teleinformática y Teleautomática T&T, al Grupo de Automática GAUNAL, y COLCIENCIAS por el apoyo recibido en proyectos de investigación y fomento como el adjudicado en la convocatoria 569-2012 “Sistema Inteligente y Automatizado para el Monitoreo de Atmósferas Explosivas en Minería Subterránea de Carbón” aún en ejecución.

## REFERENCIAS

- [1] Alarcón Rojas, D., Albuerno Pérez, J., Fernández Bustillo, et al. (2011). Manual de ventilación de minas y obras subterráneas.pdf.
- [2] Arango, M., Zapata, J., & Gómez, R. (Junio - Noviembre de 2010). Estrategias en la cadena de suministro para el Distrito Minero de Amagá. Boletín de Ciencias de la Tierra(28), 27-38.
- [3] Cashdollar, K. L. (1996). Coal dust explosibility. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 9(1), 65-76.
- [4] Ferreras Juárez, R., & Lain Huerta, R. (2003). Sostenimiento de talleres en minas de carbón con entibación hidráulica individual. Recuperado el 12 de Marzo de 2014, de <http://oa.upm.es/212/1/06200318.pdf>.
- [5] Geco.mineroartesanal. (s.f.). Sostenimiento en minería subterránea. Recuperado el 15 de Febrero de 2014, de Plataforma de gestión de conocimientos para la minería artesanal: [http://geco.mineroartesanal.com/tiki-download\\_wiki\\_attachment.php?attId=1201](http://geco.mineroartesanal.com/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=1201)
- [6] Grösse, E. (1926). Estudio geológico del Terciario Carbonífero de Antioquia en la parte occidental de la Cordillera Central de Colombia entre el Río Arma y Sacaoyal. Berlín: Dietrich Reimer (Ernst Vohsen).
- [7] Hoek, E. (1987). Support in underground hard rock mines. Underground Support Systems, 35, 1-6.
- [8] INGEOMINAS. (2005). Complementación geológica, geoquímica y geofísica (magnetométrica) de las Planchas 166, 167, 186 y 187. Bogotá.
- [9] Luque Cabal, V. (1988). Manual de ventilación de minas. Madrid: Pedeca, S. Coop. Ltda.
- [10] MinMinas. (Marzo de 2010). Ministerio de Minas y Energía. Recuperado el 15 de Febrero de 2014, de <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/archivosEventos/6899.pdf>
- [11] Mott, R. (1996). Mecánica de fluidos aplicada. Pearson Education.
- [12] Yanes, E. (1993). Ventilación de minas. Santiago de Chile: SERNAGEOMIN.