

---

---

# CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE VENTILACIÓN EN MINERÍA SUBTERRÁNEA

## CHARACTERIZATION OF VENTILATION SYSTEMS IN UNDERGROUND MINES

---

---

*Cristian Camilo Córdoba Quiceno<sup>1</sup> & Jorge Martín Molina Escobar<sup>2</sup>*

*1. Ing. de Minas y Metalurgia, 2. Ing. de Minas y Metalurgia, Profesor Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín  
cccordob@gmail.com, jmmolina@unal.edu.co*

Recibido para evaluación: 25 de Abril de 2010 / Aceptación: 1 de Julio de 2011 / Recibida versión final: 26 de Julio de 2011

### RESUMEN

Este artículo reúne todos los elementos necesarios para realizar la caracterización del sistema de ventilación de una mina subterránea, todo ello en marco del decreto 1335 de 1987 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 tocarán los temas desde el punto de vista jurídico, sino que también se abordarán desde 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 para el aire que puede circular al interior de las minas, así como los valores límites permisibles para los gases que se generan en la explotación. Para 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.

**Palabras claves:** Sistema de ventilación, ventilación principal, carbón, curvas características, resistencia aerodinámica, VENTSIM.

### ABSTRACT

This article has all the elements necessary for characterizing the ventilation system of an underground mine, all in under Decree 1335 of 1987 which regulates the activities of underground mining in Colombia, especially under those titles where issues are discussed ventilation and temperature are vital to ensure the comfort of people inside the mine.

These papers not only touched the issues from the legal standpoint, but also address the technical analysis of each of the elements identified as critical when characterizing a mine.

Among the aspects to be taken into account to ensure good ventilation, are the maximum and minimum speeds for air can circulate inside the mines and permissible exposure limits for gases that are generated on the mine.

To ensure optimal control of conditions in the mine must be monitored through gauging the flows and temperatures, and continuous monitoring of the mine atmosphere to determine the concentrations of gases all in order to control all elements that threaten the lives of those working in the mine.

**Key words:** Ventilation system, main ventilation, axial ventilators, characterized curves, aerodynamic resistance, VENTSIM.

## 1. INTRODUCCION

En los últimos años, los accidentes ocurridos en minería subterránea han generado un llamado de atención a todos aquellos agentes involucrados en la extracción de los recursos naturales del subsuelo; estos hechos han demostrado la importancia de garantizar una buena ventilación, ya que con esto se asegura el confort para las personas al interior de la explotación no solo en términos de temperaturas y concentraciones de oxígeno, sino también en función de la dilución de los gases generados por las voladuras y el metano generado en los mantos de carbón.

En este artículo se reúnen tanto las obligaciones legales impuestas por el gobierno colombiano en términos de ventilación de minas así como los elementos técnicos necesarios para caracterizar un sistema de ventilación en minería subterránea.

## 2. NORMATIVIDAD LEGAL

En Colombia las labores subterráneas se rigen bajo el decreto 1335 de 1987, que establece las velocidades mínimas para el aire que puede circular al interior de las minas, así como los valores límites permisibles para los gases que se generan en la explotación. Para 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.

El Título II de dicho decreto correspondiente al tema de ventilación, es el marco regulatorio bajo el cual se desarrolla este Artículo, y se enuncia a continuación:

### Artículo 26.

1. Todas las excavaciones subterráneas accesibles al personal deben estar recorridas de manera permanente por un volumen suficiente de aire, capaz de mantener limpia la atmósfera de trabajo para hacerla respirable.
2. El aire que se introduzca a la mina debe estar exento de gases, humos, vapores o polvos nocivos o inflamables.
3. Ningún lugar de trabajo, bajo tierra, debe ser considerado apropiado para trabajar o para pasar por él si su atmósfera contiene menos de diez y nueve por ciento (19%), en volumen de oxígeno (medido con oxígeno metro).
4. En la atmósfera de cualquier sitio de trabajo bajo tierra, para una jornada de ocho horas de trabajo, el valor límite permisible (VLP) para los siguientes gases contaminantes, debe ser el que se reglamenta a continuación:

Tabla 1. Valor límite permisible gases

Nombre del gas contaminante	Formula Química	Porcentaje en Volumen (%)	Partes por millón (PPM)
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	0.5	5000
Monóxido de Carbono	CO	0.0025	25
Acido Sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	0.0015	15
Anhídrido Sulfuroso	SO <sub>2</sub>	0.001	10
Oxido Nítrico	NO	0.0035	35
Dióxido de Nitrógeno	NO <sub>2</sub>	0.0005	5

Fuente: (Protocolo Técnico para Visita de Fiscalización, Seguimiento y Control de Títulos para Explotaciones Subterráneas, 2010) Minminas

Parágrafo. Cuando el contenido de oxígeno sea menor que el indicado en el numeral y el contenido de gases contaminantes sea mayor que el VLP, se tiene una atmósfera irrespirable. Sólo el personal de salvamento o socorredores, puede entrar a estas labores con los equipos de circuito cerrado, para restablecer las condiciones normales de los frentes.

#### **Artículo 27.**

Para el cumplimiento del artículo anterior y las subsiguientes de este capítulo, el responsable de la dirección técnica de la mina, debe nombrar un encargado de la Supervisión de la ventilación de todas las labores subterráneas a su cargo, debidamente capacitado.

#### **Artículo 28.**

El volumen mínimo de aire que circule en las labores subterráneas, debe calcularse teniendo en cuenta el turno de mayor personal, la elevación de éstas sobre el nivel del mar, gases o vapores nocivos y gases explosivos e inflamables, cumpliéndose lo siguiente:

1. Excavaciones mineras hasta 1.500 metros sobre el nivel del mar:

3 m<sup>3</sup>/min. por cada trabajador.

Parágrafo 1. Las cantidades mínimas de aire a que se refiere el presente artículo, deben ser incrementadas de acuerdo con la calidad y cantidad de los agentes nocivos presentes en la atmósfera; éstos con el propósito de mantener unas condiciones de saneamiento adecuadas.

#### **Artículo 29.**

Queda prohibida la ventilación por difusión, excepto en túneles o galerías avanzadas hasta 10 metros a partir de la atmósfera libre o de la corriente principal de ventilación, donde no haya presencia de metano o de gases contaminantes de que trata el artículo 2 de éste reglamento, ni peligro de acumulación del mismo.

#### **Artículo 30.**

La velocidad media de una corriente de aire en minas de carbón, en el área máxima libre no debe tener valores inferiores a los siguientes:

a) Excavaciones mineras con ventilación principal (Primaria).

- Vías con locomotora Trolley: Un (1) metro/segundo (m/s)
- Vías de explotación (galería o sobreguía): 0.5 m/s.

b) Excavaciones mineras con ventilación auxiliar (Secundaria).

- Vías en carbón: 0.3 m/s.
- Tambores, pozos o inclinados con avance hacia arriba: 0.5 m/s.
- Bajadas, pozos o inclinados con avance hacia abajo: 0.2 m/s.
- Vías en roca: 0.2 m/s.

c) La velocidad de una corriente de aire no debe exceder 6 m/s; lo anterior no rige para tambores, bajadas inclinadas, canales de ventilación, pozos o vías que no sirven para el tránsito normal de personal;

d) La velocidad de la corriente de aire en tajos de explotación de carbón no debe sobrepasar de 45 m/s.;

e) A una distancia de 30 metros detrás del sitio donde esta laborando el personal de un frente ciego, debe existir una velocidad mínima de 10 m/mn. Lo anterior rige para frentes de recuperación, preparación y desarrollo en minas de carbón.

#### **Artículo 31.**

En toda mina subterránea, las instalaciones para entrada y salida de aire deben ser independientes, distantes no menos de 50 metros una de otra. Los sistemas de ventilación no podrán formar circuitos cerrados.

**Artículo 32.**

Las vías de ventilación deben someterse a un mantenimiento adecuado para evitar posibles obstrucciones que puedan interrumpir el flujo normal del aire y mantenerlas accesibles al personal.

**Artículo 33.**

Las áreas de trabajo antiguo o abandonado deben ser aisladas en lo posible herméticamente, del circuito de ventilación, para evitar el tránsito de personal.

Pero el artículo 33 no solo se limita al tema de ventilación, también se tiene en cuenta el tema de las temperaturas efectivas dentro de la mina que están estipuladas en el Título X del decreto antes mencionado:

**Artículo 179.**

Se define como temperatura efectiva ( $t_e$ ) en un frente de trabajo, el valor obtenido al aplicar la siguiente fórmula:

$$T_e = 0.3T_{bs} + 0.7T_{bh} - V \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Donde:

$T_{bh}$  : Temperatura húmeda en grados centígrados.

$T_{bs}$  : Temperatura seca en grados centígrados.

V: Velocidad de la corriente de aire en m/s

Fuente: (Reglamento de seguridad en las labores subterráneas, Decreto 1335, 1987) Ministerio de Minas y Energías

**Artículo 180.**

De acuerdo a la caracterización anterior, se definirán los tiempos de permanencia del personal en los frentes de trabajo, según la siguiente tabla:

**Tabla 3.** Tiempo de permanencia según la temperatura efectiva.

$t_e$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tiempo de permanencia (Horas)
28	Sin limitación
29	6
30	4
31	2
32	0

Fuente: (Reglamento de seguridad en las labores subterráneas, Decreto 1335, 1987) Minminas

**3. CONTROLES Y MONITOREO CONTINUO**

El caudal de aire es el principal factor en la caracterización de un sistema de ventilación, ya que establece las condiciones ambientales de la mina, tales como temperatura y humedad, las cuales les brindan a los trabajadores un confort en sus labores. El caudal se ve afectado por las resistencias generadas por las galerías y la capacidad de los ventiladores.

**3.1 Medición de la velocidad promedio**

La velocidad promedio se utiliza para el cálculo de los caudales. Esta se mide usando un anemómetro digital o de paletas, dependiendo de la sensibilidad del equipo. En una galería se deben ubicar los puntos de medición de una manera uniforme; con el fin de abarcar toda la longitud de dicha galería e identificar zonas en donde existan fugas y cambios de sección, muy comunes en la explotación.

**3.2 Medición de la sección transversal de la galería**

Esta medición debe realizarse en cada estación de aforo de caudal y se debe tomar dependiendo de la forma que presente la galería.

Los parámetros medidos son anotados en campo, para posteriormente ser usados en un software, tipo CAD, quien suministrará las áreas requeridas.

### 3.3 Cálculo de Caudal

Los caudales se calculan a partir de la velocidad promedio medida y el área transversal de la galería. La ecuación utilizada es la siguiente:

$$Q = V \times S \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal (m}^3/\text{s)}$$

$$V = \text{velocidad promedio (m/s)}$$

$$S = \text{Área de la sección transversal (m}^2\text{)}$$

### 3.4 Caudales de aire mínimos requeridos

El caudal de aire en una mina depende de los siguientes factores:

#### 3.4.1 Caudal de aire mínimo por trabajadores

El volumen mínimo de aire que circule en las labores subterráneas, debe calcularse teniendo en cuenta el turno de mayor personal, la elevación de éstas sobre el nivel del mar, gases o vapores nocivos y gases explosivos e inflamables, cumpliéndose lo siguiente:

Excavaciones mineras hasta 1.500 metros sobre el nivel del mar:

**3 m<sup>3</sup>/min. por cada trabajador.**

#### 3.4.2 Caudal de aire mínimo por explosivos

Para el cálculo de la cantidad de aire requerido para diluir los gases producto de la voladura se hace uso de la ecuación diferencial para la dilución de gases (Luque 1988) mostrada a continuación:

$$\frac{dk}{dt} = [\text{Rapidez con que entra el gas}] - [\text{Rapidez con que sale el gas}]$$

$$\frac{dk}{dt} = Q_1 \cdot c_1 - Q_2 \cdot c_2; c = \frac{K(t)}{V_0}$$

Donde:

$c$  = Concentración de los gases de la explosión (%)

$k(t)$  = Volumen del gas en el tiempo.

$V_0$  = Volumen de la galería (m<sup>3</sup>)

Suponiendo que la concentración inicial de gases nocivos y tóxicos  $c_1$  en el aire es cero, se obtiene que:

$$\frac{dk}{dt} = -Q \cdot \frac{K(t)}{V_0}$$

$$\ln k \frac{K_2 = VLP \cdot V_0}{K_1} = - \frac{Q}{V_0} \cdot t \Big|_{t_1=0}^{t_2}$$

Integrando, obtenemos que:

Donde:

$K_1$  = Concentración inicial.

$K_2$  = Concentración deseada.

VLP: Valor limite permisible según la norma

### 3.4.3 Caudal de aire mínimo por maquinaria

En las labores subterráneas donde haya tránsito de maquinaria diesel (locomotoras, transcargadores, etc.), debe haber el siguiente volumen de aire por contenido de CO en los gases de exósto.

a) Seis metros cúbicos (6 m<sup>3</sup>) por minuto por cada H. P. De la máquina, cuando el contenido de monóxido de carbono (CO) en los gases del exósto no sea superior a 0.12%.

b) Cuatro (4) m<sup>3</sup> por minuto por cada H. P. de la máquina cuando el contenido de monóxido de carbono (CO) en los gases del exosto no sea superior de 0.08%.

### 3.5 Gases presentes en la atmósfera minera.

En las minas es común encontrar la presencia de gases, los cuales son producidos por diferentes fuentes, tales como explosivos, propiedades intrínsecas del material de la zona, descomposición de la madera, entre otros.

*Metano:* El gas metano (CH<sub>4</sub>) es un gas incoloro, con una densidad relativa al aire de 0,554. Debido a que su peso específico es inferior al del aire, se acumula en las partes superiores de las labores mineras. Es insoluble en agua, es **tóxico** y se mezcla bien con el aire. Comúnmente, se le nombra como **grisú**, aunque realmente el grisú esta compuesto en promedio de 95% de metano y pequeños porcentajes de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), nitrógeno (N<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), entre otros.

La principal propiedad del grisú, es su combustibilidad y puede formar mezclas explosivas con el aire. El límite de explosividad comprende entre 5% y 14% de grisú, pero estos límites dependen de la temperatura, presión, presencia de otros gases, etc.

*Monóxido de carbono (CO):* Gas sin color, sin sabor, ni olor. Tóxico y combustible; combustible cuando su contenido es de 13 a 75%. Es un gas bastante venenoso que tiene mucha mas afinidad por la hemoglobina de la sangre que el oxígeno, formando la carboxihemoglobina, reduciendo en esta forma el aporte de oxígeno a los tejidos.

El efecto inmediato del CO es comparable con el de un anestésico suave; el peligro del CO radica principalmente en que el individuo aun conciente puede notar en su organismo un cierto estado general de intoxicación, pero la debilidad que se presenta le impide retirarse de la zona de peligro, por sus propios medios.

*Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):* Gas sin color, inodoro con un sabor ligeramente ácido. Existe en trazas (0.03%) en el aire natural, cuando su concentración alcanza el 0.5% ocasional el aumento del ritmo y la profundidad de la respiración, con 2% de CO<sub>2</sub> la respiración aumenta en 50%, con 5% la respiración se hace mas penosa, con 10% no se puede resistir unos pocos minutos.

Las causas de origen del CO<sub>2</sub> son la respiración de las personas, las voladuras y la oxidación de la madera o carbón. Esta última es más importante y en algunos lugares se le atribuyen los 16/17 del CO<sub>2</sub> producido en la mina.

Para detección de estos gases se usan sistemas de detecciones personales o sistemas de monitoreo continuo. (Luque, 1988)

### 3.6 Temperatura

Se seleccionarán puntos críticos de la mina donde se harán constantes seguimiento. Se considerará temperatura de bulbo seco, húmedo y efectiva. Las dos primeras serán medidas con un termohigroanemómetro y se calculará la temperatura efectiva. Estas temperaturas se explican a continuación:

Temperatura de bulbo seco (T<sub>bs</sub>)

Es la verdadera temperatura del aire húmedo y con frecuencia solo se le denomina temperatura del aire. **Temperatura de bulbo húmedo (T<sub>bh</sub>)**

Es la temperatura que da un termómetro con el bulbo envuelto en algodón húmedo bajo una corriente de aire. La corriente de aire se produce mediante un pequeño ventilador o poniendo el termómetro en un molinete y haciéndolo girar. Al evaporarse el agua, absorbe calor, rebajando la temperatura, efecto que reflejará el termómetro. Cuanto menor sea la humedad relativa del ambiente, más rápidamente se evapora el agua que empapa el paño. Se utiliza para calcular la humedad relativa, esto se hace usando una carta psicrométrica.

**Temperatura efectiva (T<sub>e</sub>)**

Es un criterio que permite medir el nivel de bienestar a que está sometida una persona al momento de desempeñar su trabajo en un ambiente determinado. A su vez la permanencia de una persona en labores subterráneas, esta limitada por este indicador.

#### 4. Medición de la resistencia aerodinámica

Se considera resistencia a cualquier obstáculo o superficie que impida que el aire pueda fluir libremente por las galerías de una mina. Esta se puede caracterizar en:

##### Resistencia regulada

La resistencia regulada, representa la oposición que las paredes, pisos y techos ejercen en el movimiento de aire a través de ellas. Esta depende de variables como la sección transversal, longitud y perímetro de la galería, coeficiente de frotamiento, aceleración de la gravedad y densidad del aire (que a su vez es función de la temperatura y presión atmosférica), de la siguiente manera:

$$R = \left( \frac{10^3}{8g} \right) \cdot \lambda \cdot \rho \cdot B \cdot \left( \frac{L}{S^3} \right)$$

Donde:

R = Resistencia, Murges (μ)

g = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

λ = Coeficiente de frotamiento

ρ = Densidad específica del aire (Kg/m<sub>3</sub>)

B = Perímetro de la sección de la galería (m)

L = Longitud de la galería (m)

S = Sección transversal de la galería ( $m^2$ )

**Resistencia singular**

Existe una resistencia adicional al paso de aire debido a puntos singulares tales como estrechamientos o ensanchamientos bruscos, cambios de dirección pronunciados, etc; la cual se calcula de la siguiente manera:

$$R = 62,487 \cdot \frac{\varepsilon}{S^2}$$

Donde

R = Resistencia, Murges ( $\mu$ )

$\varepsilon$  = Coeficiente de pérdida de carga singular

S = Sección transversal de la galería ( $m^2$ )

En el caso de los codos dependiendo de si el codo es brusco o redondeado así será la expresión para el cálculo de  $\varepsilon$ , ver figura 1:

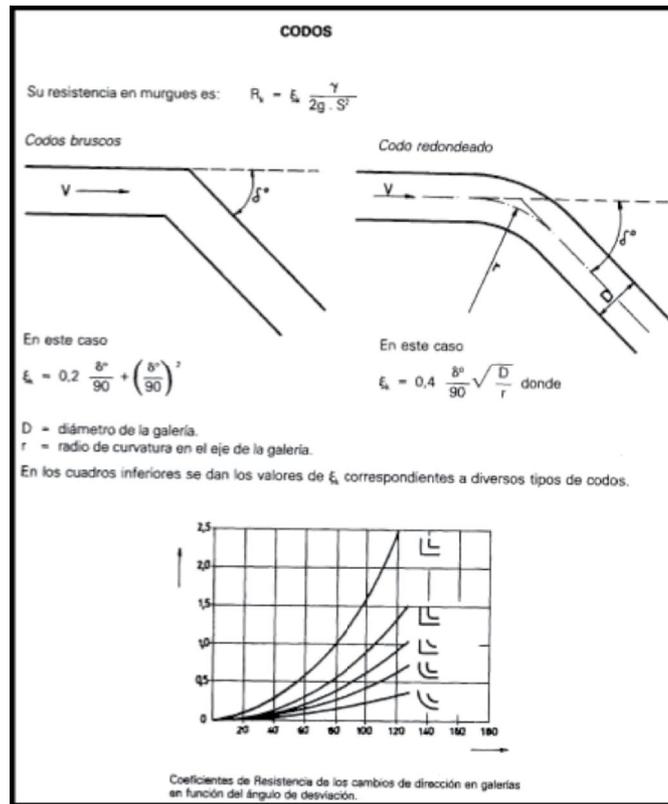


Figura 1. Cálculo de la resistencia asociada a un codo. Fuente: Leal (2003).

#### 4.1 Resistencia equivalente de la mina:

La resistencia equivalente de la mina se obtiene luego de hacer la sumatoria total de las resistencias de cada tramo de la explotación. La sumatoria de este circuito debe hacerse de manera similar a los circuitos eléctricos, es decir usando circuitos en serie, paralelo y delta.

#### 4.2 Curva característica de la mina:

Tras obtener la resistencia equivalente de la mina, se procederá a realizar la curva característica de la mina. Dicha curva graficará caída de presión ( $\Delta x$ ) vs Caudal.

La caída de presión se calcula:

$$\Delta x = R * Q^2$$

Donde:

$\Delta x$  : Caída de presión (mm de columna de Agua)

R: Resistencia equivalente de la mina (kiloMurgues)

Q: Caudal ( $m^3/seg$ )

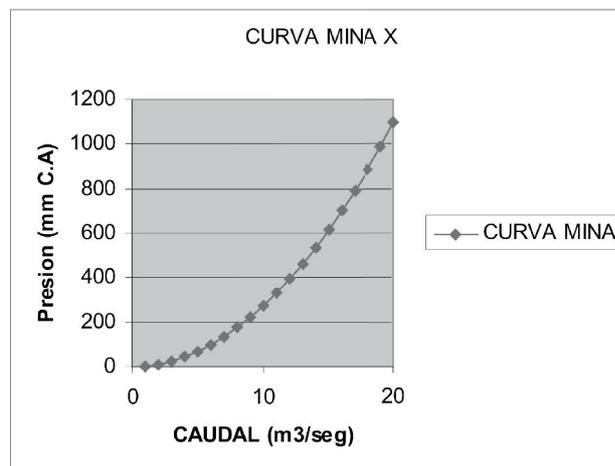


Figura 2. Curva característica de una mina (Datos de Ejemplo)

## 5. CARACTERIZACIÓN DE VENTILADORES

Si se encuentra que el flujo de aire necesario  $Q$ , debe vencer en el interior de la mina una pérdida de carga  $\Delta x$ , será necesario tener un ventilador que hará parte del circuito, y que proporcionará al movimiento del aire un aumento de carga  $H = \Delta x$  en el momento que lo atraviese un flujo igual a  $Q$ . Las características de se del ventilador  $Q$  y  $H$  se encuentran determinadas por el estudio de la red de ventilación.

La caracterización de los ventiladores u obtención de las curvas características ( $\Delta H_s$  vs.  $Q$ ), es un procedimiento indispensable para conocer el comportamiento del ventilador al variar algunos de sus parámetros (ángulo de paletas, velocidades de motor, etc.)

A continuación se describe la manera de caracterizar un ventilador según lo estipulado en las normas AMCA y ASRHAE.

## 5.1 Presión

Es necesaria su medición para la obtención de los puntos de operación del ventilador, las presiones que se medirán son presión total, dinámica y estática. La relación existente entre las presiones, se muestra en la siguiente ecuación :

$$P_e = P_t - P_d$$

Donde,

Pe: Presión estática

Pt: Presión total

Pd: Presión dinámica

### Medición de la presión total

La presión total en un punto de operación será medida con un manómetro, con una extremidad abierta a la atmósfera y la otra conectada al punto donde se va a medir la presión total, es decir al tubo central o interior del tubo de Pitot.

### Medición de la presión dinámica o presión de velocidad

La medición de la presión dinámica se hará con un manómetro, con un extremo conectado al tubo interior del Pitot (presión total), y el otro conectado al tubo exterior del Pitot (presión estática), lo que hace que se produzca una diferencia de presiones entre estas dos medidas de presión dando como resultado la presión dinámica.

### Medición de la presión estática

La presión estática de un punto puede ser leída en el manómetro, conectando el tubo exterior del Pitot a una de las extremidades del manómetro y la otra dejándola abierta a la atmósfera (presión atmosférica).

## 5.2 Caudal

Para la toma de caudal se realiza la lectura de la presión dinámica (Pd), y luego usando la ecuación de energía en donde la cabeza de velocidad esta dada por:

$$P_d = \frac{\rho V^2}{2g} \quad \text{ó} \quad V = \sqrt{\frac{2g \cdot P_d}{\rho}}$$

Donde:

Pd: Presión dinámica (mmca)

$\rho$ : Densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>)

V: Velocidad del aire (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

La velocidad obtenida por la medición de la presión dinámica se halló en el ducto, hay que calcular la velocidad en el ventilador; ésta se calcula por un balance de caudales o como se muestra en la siguiente ecuación:

$$V_v \times A_v = V_d \times A_d$$

Donde:

$A_d$ : área del ducto ( $m^2$ )

$A_v$ : área del ventilador ( $m^2$ )

$V_d$ : velocidad en el ducto (m/s)

$V_v$ : velocidad en el ventilador (m/s).

### 5.3 Procedimiento de medición

El procedimiento para caracterizar un ventilador es:

- Se fija el motor del ventilador a una velocidad determinada para mantener el caudal constante.
- Se instala el conjunto (ventilador – ducto) de acuerdo al sistema descrito.
- Se introduce el tubo de Pitot y se mide la presión en un punto, luego se desplaza sobre la línea de movimiento una cierta distancia.

Para tomar un promedio de las presiones del flujo en el ducto, se divide éste en cuatro áreas concéntricas y se hacen lecturas colocando el Pitot a intervalos de  $60^\circ + 1^\circ$  en el centro de las divisiones, en esta se ven todas las posibilidades variaciones según las normas. Es de anotar que los puntos de medición se hallan en áreas no equivalentes y que además las lecturas de la medición no se efectúan en el centro del ducto. Se han tomado estos puntos de medida según lo establecen las normas AMCA y ASRHAE para pruebas de ventiladores, las cuales no están de acuerdo con el criterio de que las áreas barridas sean proporcionales.

Acorde con las normas AMCA (esto según la experiencia de quienes trabajan con ventiladores) para la medición existen unas reglas prácticas para definir el túnel de viento y los puntos longitudinales para la toma de datos, los cuales se basan en el diámetro del ventilador.

Para el diseño del túnel, se tiene que la longitud mínima del ducto es entre 10 a 12 su diámetro ( $\phi$ ); la ubicación de medida debe ser a  $8.5\phi + 1/4\phi$  a partir del ventilador, como se muestra en la figura a continuación:

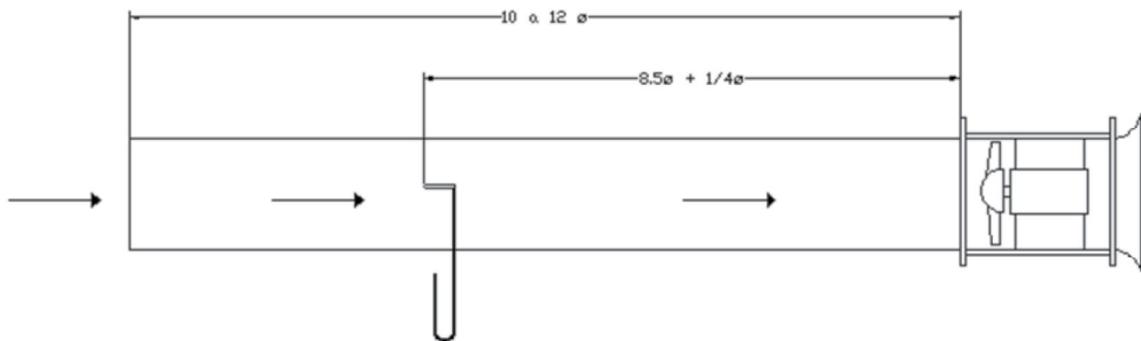


Figura 3. Túnel de viento .Fuente: Gómez G. (2007).

#### 5.4 Notas sobre los errores a tener en cuenta en la caracterización de ventiladores

En el transcurso de la ejecución de este proyecto, se han tomado algunos apuntes de los errores más comunes en la medición o caracterización de los ventiladores. A continuación se nombran los más comunes:

- Se debe asegurar que los equipos de medida estén correctamente calibrados o que no existen objetos extraños que interrumpen la medida, por ejemplo para la lectura de presión en los manómetros, se debe asegurar que no existan burbujas de aire dentro de los tubos, esto genera lecturas falsas.
  - Se debe tener especial cuidado con la ubicación de la cabeza del tubo de Pitot con respecto al flujo de aire (paralelo al flujo y perpendicular a la sección del ducto), esto se debe a que una inclinación de más de  $12^\circ$  no reporta las lecturas verdaderas en los manómetros.
  - Con respecto al túnel de viento o ducto de pruebas, en lo posible garantizar la menor rugosidad de sus paredes, esto debido a que estas generan pequeños regímenes de turbulencias y mala lectura de los datos.
  - Garantizar la hermeticidad de la unión entre el ventilador y el túnel de viento.
  - Tener cuidado con que las resistencias se mantengan fijas durante la ejecución de la prueba.
  - Se debe tener especial cuidado con el aumento en la resistencia, debido a que el ventilador entra en el punto de bombeo o punto inestable, esto se evidencia cuando se produce un ruido grave y aumenta el nivel de vibraciones.
- Ht: Presión total ,Hs: Presión estática , Hd: Presión dinámica

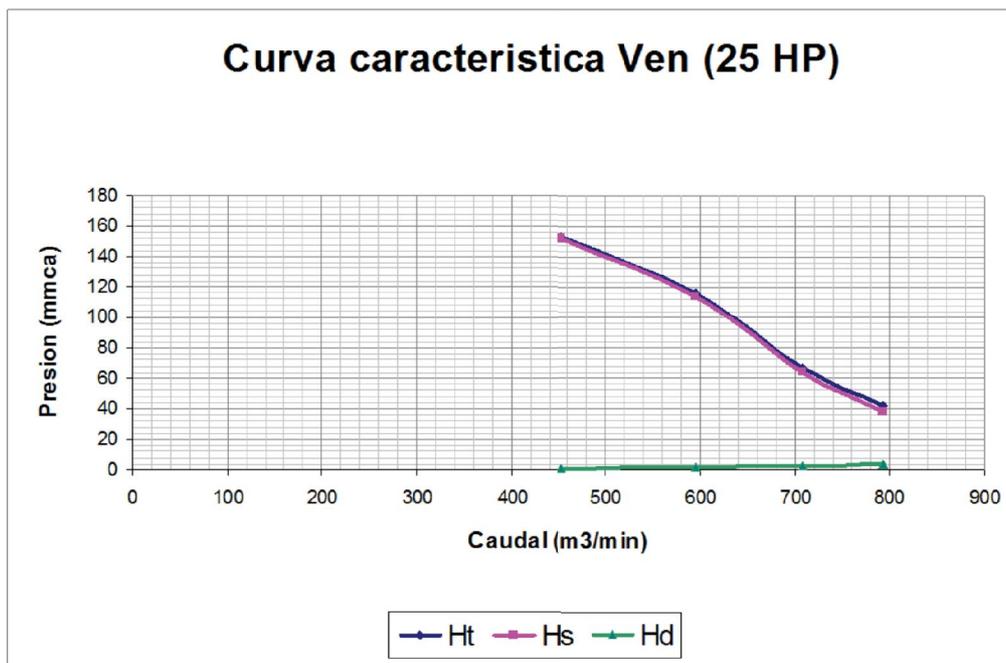


Figura 4. Curva característica de una mina.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La ventilación debe ser fundamental en toda mina, ya que es quien garantiza las condiciones necesarias para un óptimo entorno en término de las condiciones atmosféricas de la mina.

Para caracterizar un sistema de ventilación es necesario conocer las características del circuito, es decir distribución de caudales, requerimientos, áreas, perímetros, longitudes, entre otros, para así determinar la resistencia de la mina.

Es necesario establecer los requerimientos de aire para la explotación minera de acuerdo al personal en la mina, la dilución de gases tanto metano propio de la explotación como los generados por voladura y el control de polvo.

Garantizar una buena sección al interior de la mina, así como buenas condiciones de las puertas y cortinas de ventilación, es necesario para un correcto funcionamiento de ventilación.

Toda mina debe tener estaciones de aforo fijas, donde se le pueda hacer seguimiento exhaustivo a las condiciones atmosféricas de la mina, con el fin de controlar variables como la temperatura, caudales, y humedad en el ambiente.

Al tener caracterizado los ventiladores de la mina, el personal técnico podrá tomar decisiones en base a simulaciones y no al método de ensayo y error que generalmente se utiliza en las minas del país.

Se deben mantener las vías de ventilación bajo constante mantenimiento y libre de obstáculos que puedan generarle resistencia al caudal de aire que circula en la mina.

Los trabajos antiguos deben aislarse del circuito principal de ventilación.

Se propone la conformación de un grupo encargado de la ventilación para cada mina, el cual deberá realizar como mínimo una medición global del estado de la mina por semana. La medición deberá contemplar caudal, temperatura, resistencia y monitoreo de gases.

## **BIBLIOGRAFÍA**

AMCA. 2004. Supplement: Understanding Fan Curves, 8 P.

GÓMEZ E., G.A., 2007. Caracterización del sistema principal de ventilación de la mina el Bloque, c.i cardinales. Trabajo de grado. Ingeniero de Minas. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas. Medellín., 69 P.

LEAL P., R. J. y RUIZ C., A. J., 2003.. Caracterización y sistematización de la ventilación de la mina de caliza, cementos el Cairo S.A. Trabajo de grado. Ingenieros de Minas. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas Medellín., 189 P.

LUQUE, V. C., 1988. Manual de ventilación de minas. Pedeca S. Coop. Ltda, España.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. 1987Reglamento de seguridad en las labores subterráneas, Decreto 1335 .

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. 2010. Protocolo técnico para visita de fiscalización, seguimiento y control de títulos para explotaciones subterráneas.

