



**SAFETY AND VENTILATION IN COAL MINES BASED ON THE UNDERGROUND  
ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
SEGURIDAD Y VENTILACIÓN EN MINAS DE CARBÓN, BASADA EN LA INGENIERÍA  
AMBIENTAL SUBTERRÁNEA**

**Castro, Yesid.\***

*\*Msc. Yesid castro Duque, Docente Grupo Investigación en tecnología  
Cerámica GITEC e-mail: yesidcaduque@gmail.com*

**Universidad Francisco de Paula Santander. UFPS**

**Abstract:** The Underground mining operations not only generate external nature impacts, but they also create environmental problems underground, these are due to the different stages and needs in mineral exploitation. By applying the concept of Underground Environmental Engineering (Torres and Da Gama, 2005), proposes a methodology for evaluation of environmental quality and comfort in underground coal mines, which would provide safety assurance and improvement of underground environment

**Resumen:** Las operaciones mineras subterráneas no solo generan impactos en la naturaleza externa; también, crean problemas ambientales bajo tierra, estos se deben a las diferentes etapas y necesidades en la explotación de minerales. Mediante la aplicación del concepto de Ingeniería Ambiental Subterránea (Torres y Da Gama, 2005), se propone una metodología de Evaluación del confort y calidad ambiental para minas Subterráneas de carbón, que sirva para el aseguramiento de la seguridad y la mejora del ambiente bajo tierra.

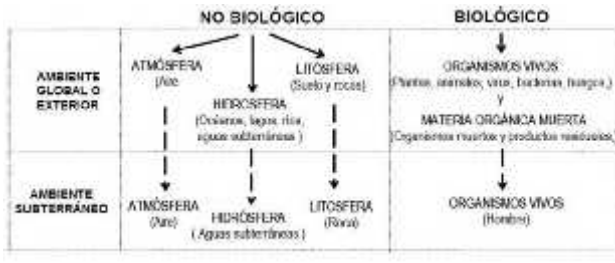
**Keywords:** Underground Environmental Engineering, ventilation, safety, coal mine.

**Palabras Clave:** Ingeniería ambiental subterránea, Ventilación, seguridad, mina de carbón.

## **1. INTRODUCCIÓN**

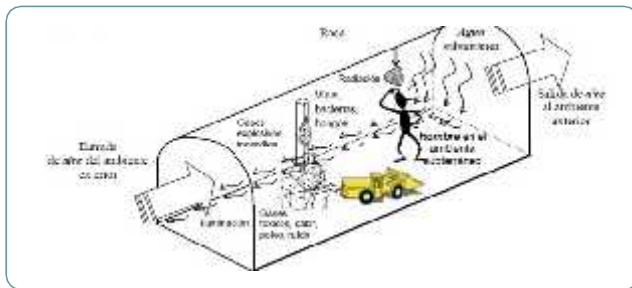
El proceso de explotación de minas, por método subterráneo, no solo genera desequilibrio en la naturaleza del ambiente exterior, sino también en el ambiente subterráneo; en este sentido, el concepto de evaluación existente para el ambiente exterior es posible ser aplicado al ambiente subterráneo (Vidal Navarro Torres 2002). Como se aprecia en la Tabla 1., los componentes fisicoquímicos y biológicos existentes en el ambiente global o exterior están presentes en el ambiente subterráneo con algunas peculiaridades.

**Tabla 1.** Componentes del ambiente externo y Subterráneo.



Fuente V Navarro; C Da Gama. 2002.

El ambiente Subterráneo está ligado estrechamente con el ambiente externo debido a su integración con la entrada y salida del aire. Figura 1.



**Figura 1.** Elementos que influyen en el Ambiente Subterráneo. (V. Navarro Torres, 2002)

La atmósfera bajo tierra es afectada por elementos naturales o introducidos, los cuales generan impactos y ambientes inseguros y no confortables. Los gases, el polvo, la temperatura, la humedad relativa, las aguas ácidas, el ruido y las vibraciones, son los elementos comunes e impactantes que se presentan en un ambiente subterráneo.

Basados en la normatividad vigente, Reglamento de seguridad e Higiene de las labores subterráneas, Decreto 1335 de 1987, se han creado matrices de evaluación de los diferentes impactos, con el fin de elaborar una metodología modelo aplicable a cualquier mina bajo tierra. Los modelos serán

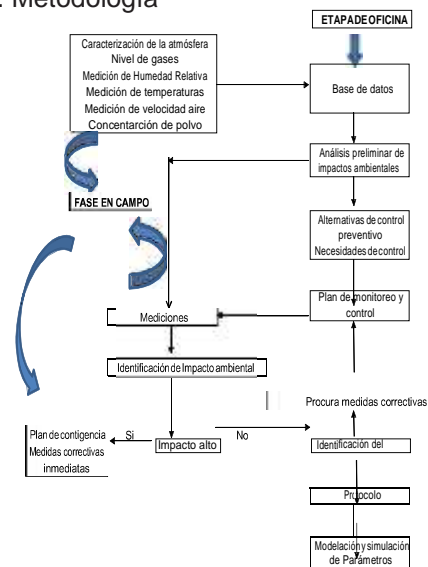
la base en la búsqueda del aseguramiento de la calidad y mejora de la seguridad industrial, a partir de la optimización del sistema de ventilación principal.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología se divide en dos etapas: la de campo y la de oficina. En la primera se realiza el muestreo y la caracterización climatológica (temperatura seca, temperatura húmeda, humedad relativa), y el aforo o medida de la concentración de gases y demás contaminantes de la atmósfera subterránea, así como la caracterización del ruido producido por los equipos. En la segunda etapa, se realiza la evaluación y calificación cualitativa de los impactos, la propuesta de las medidas correctivas, y el protocolo a seguir para la optimización de la calidad ambiental de la mina.

Los equipos básicos para la toma de datos comprenden: multi-Detectores de gases, detector digital de polvo, sonómetros, Termo-higrómetros; estos elementos deben estar certificados y calibrados por personal especializado. En la tabla 2 se detalla la metodología a seguir.

Tabla 2. Metodología



## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Impacto por presencia de Gases

Basados en la normatividad Colombiana vigente “Reglamento de Seguridad en las Labores subterráneas”, Decreto 1335/87, se elaboró la matriz que se detalla en la Tabla 3. En dicha Matriz se contempla los valores límites permisibles (VLP) de los gases más comunes presentes en ambientes bajo tierra; además, se tuvo en cuenta la concentración de los gases a partir de las cuales comienzan a afectar la fisiología de los seres humanos.

Tabla 3. Matriz Evaluación Impacto por presencia de gases

NOMBRE DEL GAS CONTAMINANTE	V.L.P. DECRETO 1335/87	NIVEL DE IMPACTO AMBIENTAL		
		Leve	Moderado	Alto
METANO CH <sub>4</sub>	1,0%	1% < CH <sub>4</sub> 1,5%	1,5% < CH <sub>4</sub> 2,0%	CH <sub>4</sub> > 2,0%
BÍOXIDO DE CARBONO CO <sub>2</sub>	0,5%	0,5% < CO <sub>2</sub> 0,6%	0,6% < CO <sub>2</sub> 0,7%	CO <sub>2</sub> > 0,7%
MONÓXIDO DE CARBONO CO	50 p.p.m	50ppm < CO 60ppm	60ppm < CO 70ppm	CO > 70ppm
ÁCIDO SULFÍDRICO H <sub>2</sub> S	20 p.p.m	10ppm < H <sub>2</sub> S 15ppm	15ppm < H <sub>2</sub> S 20ppm	H <sub>2</sub> S > 20ppm
ANHIDRIDO SULFUROSO SO <sub>2</sub>	5 p.p.m	2ppm < SO <sub>2</sub> 3ppm	3ppm < SO <sub>2</sub> 5ppm	SO <sub>2</sub> > 5ppm
NITROSOS NO <sub>x</sub>	5 p.p.m	2ppm < NO <sub>x</sub> 3ppm	3ppm < NO <sub>x</sub> 5ppm	NO <sub>x</sub> > 5ppm
Necesario Respiración				
OXIGENO O <sub>2</sub>	19%	18,5 % O <sub>2</sub> < 19%	17 % O <sub>2</sub> < 18,5%	O <sub>2</sub> < 17%

### 4.2 Impacto Térmico

El análisis de este impacto, se ha realizado teniendo en cuenta los aforos de temperatura húmeda, seca, y la humedad relativa. Debido a que la norma Nacional; decreto 1335/87, no contempla protocolo ni medidas de seguridad por humedad relativa, se ha utilizado la tabla para calcular la sensación térmica por efecto del calor y la humedad y el software *heat index calculator*, para determinar el riesgo al que están expuestos los trabajadores. Tabla 4

Tabla 4. Impacto y sensación térmica

CONSORCIO MINERO DE CUCUTA - MINA SAN JOSE  
AFOROS DE VENTILACION - TEMPERATURA

Fecha: 25 DE AGOSTO DE 2011  
Inclinado 7  
Responsable: Ing. Jhon Jairo C.  
Revisó: Ing. Yesid Castro Duque

FRENTE DE TRABAJO	Temp. Seca °C	Humedad Relativa %	Hora	Sensación Térmica °C
2ST4	26,3	83%	7:49 A.M	28
1ST10	29,0	89%	8:02 A.M	37
2ST10	29,5	88,5%	8:15 A.M	39
1ST15	30,0	84%	8:26 A.M	39
1ST16	30,5	88%	8:36 A.M	42
1ST18	31,0	83%	8:42 A.M	42
1ST17	30,5	84%	8:50 A.M	41
2ST17	31,0	85,5%	9:02 A.M	43
2ST18	31,0	85%	9:11 A.M	43
3ST5	30,5	84%	9:37 A.M	41
3STe	31,0	88%	10:09 A.M	44
1ST6-1ST7	28,0	84,5%	7:56 A.M	33
1ST17 - 1ST18	31,0	83%	8:54 A.M	42
2ST17 - 2ST18	31,0	81%	9:16 A.M	41
2ST7-2ST8	30,5	79%	9:24 A.M	39
3ST2-3ST3	31,0	74,5%	10:18 A.M	39

Impacto leve:   
Impacto Moderado:   
Impacto alto:

### 4.3 Impacto Acústico

Para la evaluación del Impacto acústico, se realizan medidas del nivel sonoro continuo equivalente Leq, durante un lapso de tiempo, que puede ser de 150 segundos.; las medidas se realizan variando la distancia desde la fuente, para determinar la atenuación del ruido producido por los diferentes equipos utilizados en las operaciones mineras.

Tabla 5. Matriz Para evaluación Impacto acústico.

UBICACIÓN DEL EQUIPO	EQUIPO o Fuente	NIVEL DE IMPACTO AMBIENTAL		
		Leve	Moderado	Alto
		< (70 dB)	70dB-85dB	>85dB
Zona o frente Ubicación equipo				
Nº Trabajadores expuestos				

### 4.4. Modelos para optimización.

Una vez realizada la evaluación de los impactos, se generan modelos a partir de las variables que inciden en cada impacto y se realizan simulaciones para determinar los estados óptimos en busca del confort. Figuras 2,3,4 y 5.

Figura 2. Simulación de la temperatura de confort.

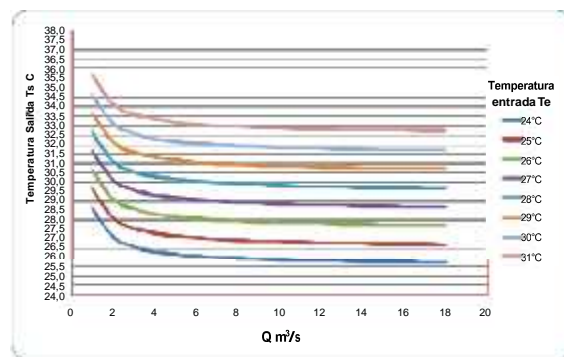


Figura 3. Optimización de la ventilación auxiliar.

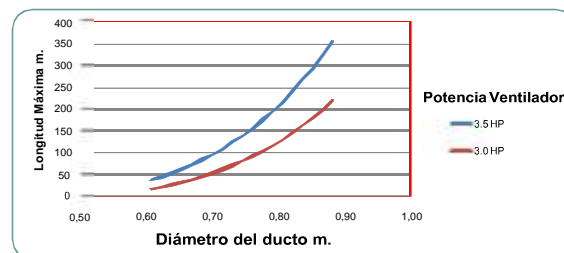
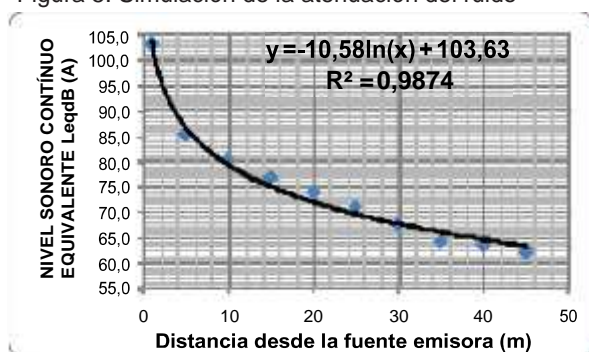


Figura 4. Variación del ruido en la fuente.



Figura 5. Simulación de la atenuación del ruido



## 5. CONCLUSIONES

La ingeniería ambiental subterránea, se debe entender, como la relación estrecha entre, la ventilación, la salud ocupacional, la seguridad y la evaluación ambiental de un ambiente bajotierra.

El impacto más común en la minería de carbón de la región, es la humedad relativa alta.

El decreto 1335 de 1987, Reglamento de Seguridad de labores Subterráneas, no contempla ningún artículo referente al Humedad relativa y es este parámetro junto a la Temperatura seca, los causantes del aumento de la sensación térmica en los trabajadores.

La principal medida correctiva para mitigar los impactos: Térmicos, dinámico y volumétrico, es la implementación de un sistema de Ventilación principal mecanizada y la optimización del sistema de ventilación secundaria, basada en criterios aerodinámicos ideales, utilización de ventiladores, y ductos flexibles apropiados, y la simulación de eventos con la ayuda de software especializados.

La dilución de polvo y gases, así como la disminución de calor y humedad relativa, son las razones primordiales para el diseño de la ventilación auxiliar. Para la optimización del sistema de ventilación auxiliar, es necesario evaluar el diseño simulando la distancia desde el frente, hasta donde se implementa el ventilador, variando el diámetro del ducto.

## Referencias Bibliográficas

MINISTERIO DE MINAS - CARBOCOL (1987). Reglamento de seguridad de labores subterráneas. Decreto 1335/87

Navarro Torres, V. F., (2003). *Engenharia ambiental subterrânea e as suas Aplicações a minas Portuguesas e Peruanas*. Tesis de Doctorado Instituto Superior Técnico de la Universidad Técnica de Lisboa.

Navarro Torres, V.F; Da Gama, C.D (2002). "Evaluación de Impacto Ambiental Acústico en el ambiente Subterráneo de la Mina Panasquira. XXVI Convención minera del Perú, Arequipa.

Navarro Torres, V.F; Da Gama, C.D and Raghu n. Singh. Mathematical Modelling of Thermal State in Underground Mining. Acta Geodyn. Geomater., Vol. 5, No. 4 (152), 341-349, 2008

MINISTERIO DE MINAS-CARBOCOL  
(1987). Reglamento de seguridad de labores  
subterráneas. Decreto 1335/87

Navarro Torres, V. F., (2003). *Engenharia ambiental subterrânea e as suas Aplicações a minas Portuguesas e Peruanas*. Tesis de Doctorado Instituto Superior Técnico de la Universidad Técnica de Lisboa.

Navarro Torres, V.F; Da Gama, C.D (2002). "Evaluación de Impacto Ambiental Acústico en el ambiente Subterráneo de la Mina Panasquira. XXVI Convención minera del Perú,; Arequipa.

Navarro Torres, V.F; Da Gama, C.D and Raghu n. Singh. Mathematical Modelling of Thermal State in Underground Mining. Acta Geodyn. Geomater., Vol. 5, No. 4 (152), 341–349, 2008