

Evaluación del impacto acústico producido por equipos utilizados en minería subterránea de carbón

Yesid Castro Duque¹ | Richard Monroy Sepulveda²

Recibido:
Julio 10 de 2012

Aceptado:
Noviembre 18 de 2012

Resumen

El ruido generado por los equipos utilizados en operaciones y servicios mineros, es uno de los impactos que mayor número de incapacidades produce en los trabajadores que laboran en atmósferas subterráneas. Este estudio de evaluación del impacto ambiental producido por el ruido, se efectuó en varios frentes del sector denominado Inclinado 7, de la mina de carbón San José ubicada en el cerro Tasajero, Municipio de Cúcuta; allí, se realizó la medición del nivel sonoro continuo equivalente Leq del ruido ocupacional producido por equipos como: Ventiladores, electrobombas, martillos picadores (neumáticos) y perforadoras eléctricas. Se valoró la atenuación de este impacto, variando la distancia cada 5m. hasta llegar a 45m de la fuente. Con los resultados obtenidos se proponen medidas de gestión ambiental para el control del ruido y medidas preventivas y correctivas para mejorar el confort y la calidad ambiental bajo tierra.

Palabras Clave: Ruido, impacto acústico, gestión ambiental, confort, calidad ambiental subterránea.

Abstract

The noise generated by the equipment used in mining operations and services, is one of the highest number of impacts that disability occurs in workers who work in underground atmospheres. This study evaluating the environmental impact caused by noise, was made on several fronts in the area called Inclinado7, of San Jose coal mine located in the hill Tasajero, City of Cucuta, there was the continuous sound level measurement Leq equivalent occupational noise produced by equipment such as fans, pumps, hammers (tires) and electric drills. Attenuation was assessed this impact by varying the distance each 5m. up to 45m from the source. With the results obtained are proposed environmental management measures for noise control and preventive and corrective measures to improve comfort and environmental quality underground.

Keywords: Noise, noise impact, environmental management, comfort, environmental quality, Underground mine.

¹ Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica GITEC- Docente de planta Universidad Francisco de Paula Santander. Correo electrónico: yesidcaduque@gmail.com

² Universidad libre de Colombia Seccional Cúcuta. Docente investigador. Correo electrónico: richard.monroy@unilibrecucuta.edu.co

Introducción

Las operaciones mineras subterráneas, además de generar impactos en la naturaleza externa, crean problemas ambientales bajo tierra; estos se deben a las diferentes etapas y necesidades en la explotación de minerales (Navarro, 2003). El ruido en los frentes de explotación subterránea es uno de los tradicionales problemas ocupacionales, que son encarados desde un punto de vista de seguridad e higiene minera. (Navarro, Da Gamma 2002).

El ruido en el ambiente subterráneo. En la industria minera se generan altos niveles de ruido. El ruido puede causar daño temporal o permanente al sistema auditivo de los trabajadores. En comparación con el ruido generado en otras industrias (aeroportuaria, cementera, forestal y otras), los niveles de ruido generados en minería solo se pueden equiparar con los generados por los motores de los Jets en los aeropuertos. (Sensogut y Cinar 2007).

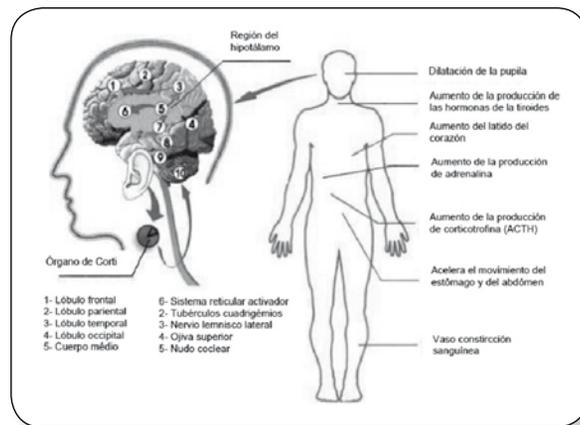
A mayor grado de mecanización en las minas, mas altos son los niveles de ruido. El ruido se produce durante las diferentes operaciones: perforación y voladura, arranque, cargue y transporte. (Sensogut and Cinar 2007).

Efectos del ruido. El impacto sonoro es una contaminación ambiental a través de la energía mecánica o acústica, que tiene reflejos en todo el organismo y no solo en el aparato auditivo. (Navarro, 2002). Los trabajadores expuestos al ruido pueden sufrir complicaciones nerviosas, falta de sueño y fatiga. La *Mine Safety and Health Administration* MSHA, tiene estadísticas entre los años 2000 y 2005 que muestran que los operadores de máquinas y equipos mineros están expuestos a dosis de ruido que superan el 100%.

La pérdida de audición es considerada una enfermedad incapacitante, que afectó al 11% de los trabajadores de Estados Unidos

(U.S.Department of Labor, 2006; Kovalchik et al. 2008). En la figura 1, se ilustra los efectos provocados por las ondas sonoras en el organismo humano, estas al penetrar el oído, se distribuyen en los lóbulos cerebrales hasta llegar al sistema nervioso central; después, siguen a lo largo de la médula y se distribuyen para los órganos manifestándose los efectos nocivos de varias formas, que afectan las descargas hormonales, la perdida de la audición principalmente cuando la intensidad es elevada (Navarro, 2002).

Figura 1. Distribución de las ondas sonoras a través de los lóbulos cerebrales hasta ser conducidas al sistema nervioso central (Fuente. Navarro Torres V. F., XXVI Convención minera del Perú, Arequipa setiembre 2002)



El riesgo de sordera permanente varía de acuerdo con la intensidad y la duración de la exposición como fue demostrado por el estudio realizado por la *International Standard Organization* ISO 1999 (Tabla 1).

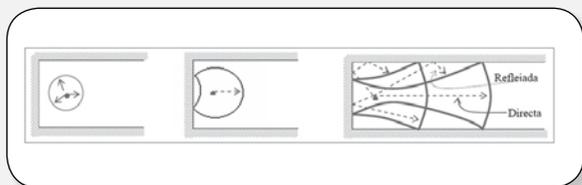
Tabla 1 – Riesgo de pérdida de la audición de personas expuestas al ruido (continuo) durante 8 horas de trabajo, en % (Fuente. ISO 1999)

L _{Aeq,8h} (dB)	Tiempo de exposición al ruido (años)						
	2	5	10	20	30	40	45
*Normal	1	2	3	7	14	32	50
85	1	3	6	13	22	42	57
90	3	7	12	23	32	54	65
95	4	10	20	35	45	61	72
100	5	14	31	49	58	74	82
105	8	20	45	65	77	87	91
110	10	28	58	85	91	95	95

Particularidades del ruido subterráneo.

En las obras subterráneas la propagación de las ondas del ruido se dividen en dos componentes: Ondas directas y ondas reflejadas (Figura. 2). En este proceso parte de las ondas son absorbidas por la superficie de las excavaciones (roca o revestimiento o soporte).

Figura 2 – Fases de transmisión del sonido en el ambiente subterráneo, Fuente. Navarro Torres V. F. Evaluación del Impacto Ambiental acústico en el Ambiente subterráneo de la mina Panasqueira. XXVI Convención minera del Perú, Arequipa setiembre 2002).



El nivel de presión sonora para perforadoras neumáticas L_m (dB) puede ser calculado mediante la ecuación (1) en función del consumo de aire comprimido Q (m^3/s). (Navarro, 2003)

$$L_m = 140 + 10 \log Q \quad (1)$$

Para ventiladores principales o nivel de presión sonora L_v (dB) es determinado en función de la potencia del motor P_{mv} (KW), de la presión estática H_v (Kpa) e del caudal de aire Q_v (m^3/s) utilizando cualesquiera de las ecuaciones (2), (3) o (4). (Navarro Torres V. F., 2002)

$$L_v = 97 + 10 \log P_{mv} + 10 \log H_v \quad (2)$$

$$L_v = 100 + 10 \log Q_v + 20 \log H_v \quad (3)$$

$$L_v = 95 + 20 \log P_{mv} + 10 \log Q_v \quad (4)$$

Estándares de ruido. Los estándares existentes evalúan el ruido utilizando varios índices o niveles como son: nivel de presión sonora, nivel percentil, nivel sonoro continuo equivalente, nivel de exposición sonora, nivel pico o máximo, etc. los que

son determinados considerando el tiempo de exposición e intensidad sonora, de los cuales el más utilizado es el *nivel sonoro continuo equivalente* (ecuación 5), que es expresado por la ecuación indicada en seguida, en función de: Presión sonora instantánea $PA(t)$ (Pa), del intervalo de tiempo $T = (t_2 - t_1)/\Delta t$ de la duración (s), de la presión de referencia $P_0 = (2 \times 10^{-5} \text{ Pa o } 20 \mu \text{ Pa})$ y del nivel de presión sonora ponderada A para la muestra i L_{pAi} (dB). (Navarro, 2003)

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \frac{P_A^2(t)}{P_0^2} dt = 10 \log \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T 10^{0.1 L_{pAi}} \right] \quad (5)$$

Los estándares del ruido ocupacional adoptados a nivel de varios países del mundo son algo similares. (Tabla 2).

Tabla 2 – Estándares de ruido ocupacional para exposición de 8 horas por día (Fuente. Navarro Torres V. F. Evaluación del Impacto Ambiental acústico en el Ambiente subterráneo de la mina Panasqueira. XXVI Convención minera del Perú, Arequipa setiembre 2002)

Pais	Fuente	L_{eq} máximo dB (A)	Pico dB (A)
Australia	Australia National Occupational Health and Safety Commission	85	140
Canadá	Canadian Centre for Occupational Health and Safety	85 a 90	135 a 140
India	Rules of the Factories Act	90	140
Singapur	Department of Industrial Health	85	
Tailandia	Ministry of Interior	90	
U. K.	Noise at Work Regulations	90	140
E.U.A.	Occupational Safety and Health Administration, U.S. Department of Labour	90	140
U. E.	European Union Occupational Safety an health	85	140

Para Colombia el decreto 1335 de 1987 Reglamento de Seguridad en las Labores Subterráneas, trata en el Título X Capítulo II, lo referente al ruido en los artículos 177 y 178. Se contempla una intensidad sonora máxima de 85 dB para 8 horas de exposición.

Materiales y métodos

Para la realización de este estudio se desarrollaron dos etapas Básicas: La de campo y la de oficina. La primera se efectuó en el Inclinado 7 de la Mina San José, que se encuentra ubicada en el cerro Tasajero, al Norte del perímetro urbano de la ciudad de San José de Cúcuta, y cuyo titular es

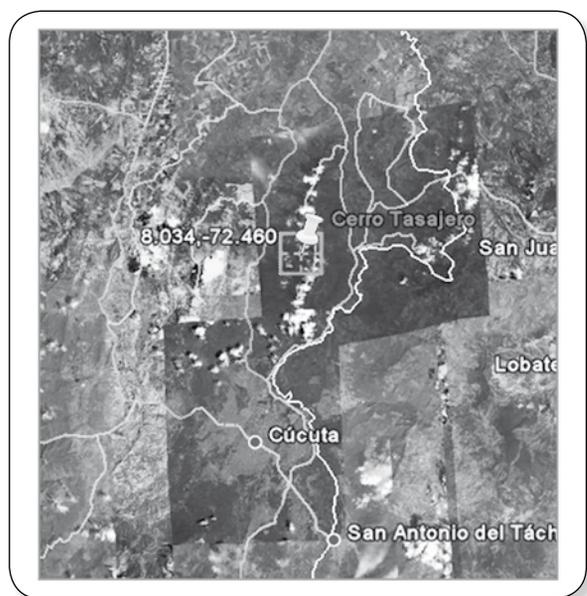
el Consorcio Minero de Cúcuta. Tabla 3 y Figura 3. En la segunda etapa con la ayuda del Excel, se realizó modelación y simulación de la atenuación del ruido.

Tabla 3. Coordenadas y características Topográficas del Inclinado 7 Mina San José

Inclinado	Coordenadas		Altura m.s.n.m	Longitud (m)	Dirección
	x	y			
7	1376994,66	848015,01	742,08	320	N 64° W

En la fase de campo se efectuó la caracterización del ruido generado por equipos como: Ventiladores auxiliares con potencias que varían entre 3 y 5HP, electrobombas de 30 HP de Potencia y martillos. Para la medición del impacto sonoro acústico se utilizó el Medidor digital de nivel de sonido EXTECH modelo 407730; se seleccionó la ponderación de frecuencia C, porque esta da una respuesta plana, adecuada para análisis de nivel de sonido de máquinas, motores, etc. De igual forma, se seleccionó el modo LENTO (*slow*) utilizada para vigilar una fuente de ruido que tenga un nivel de sonido razonablemente constante o para promediar niveles rápidamente cambiantes.

Figura 3. Localización de la Mina San José.



Fuente: adaptación base Google Earth

Resultados y discusiones

Nivel de presión Sonora. Para ventiladores el nivel de presión sonora L_v (dB) es determinado en función de la potencia del motor P_{mv} (KW) y de la presión estática H_v (Kpa) utilizando la ecuación (2), descrita anteriormente:

$$L_v = 97 + 10\log P_{mv} + 10\log H_v \text{ (dB)}$$

En el Sector del Inclinado 7 de la mina San José, se utilizan ventiladores axiales marca Exdl No.4, con motores que generan potencias de 3 HP y con caídas de presión H_v de 12 Pulg. De H_2O , equivalente a 2.99 KPa; entonces tenemos:

$$L_v = 97 + 10\log 2.24 + 10\log 2.99$$

$$L_v = 102.11 \text{ dB}$$

El anterior nivel, está en el rango de las mediciones realizadas en la fuente.

Nivel sonoro continuo equivalente Leq

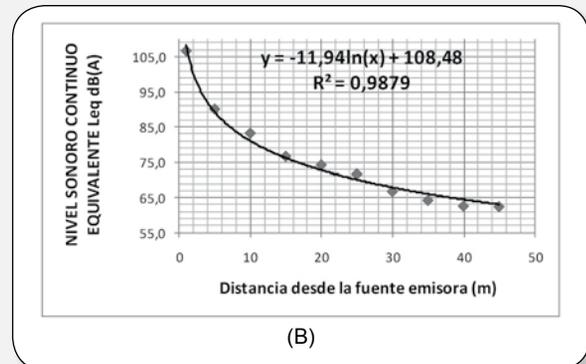
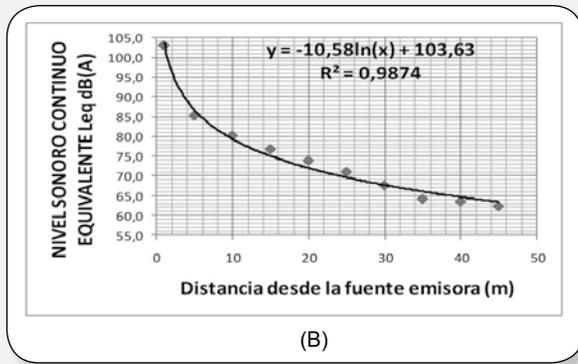
A manera de ejemplo, en la Figura 4 se muestra la caracterización del ruido producido por ventiladores de 3,5 HP de potencia; de igual forma, se muestra la atenuación del ruido en una de las vías de la Mina. El cálculo de Leq , se realizó a partir de 150 registros (2 ½ min).

Figura 4. (A) Caracterización de ruido a 1m. de la fuente. Ventilador Auxiliar de 3.5 HP Nivel 1Sur Tambor 16. (B). Atenuación del Ruido en el Nivel 1 Sur tambor 16, producido por el ventilador auxiliar de 3.5 HP.



(A)

Evaluación del impacto acústico producido por equipos utilizados en minería subterránea de carbón



De acuerdo a la simulación, la tendencia del ruido en función de la distancia con fuente fija para el ventilador de 3,5 HP de potencia, resulta expresada por la siguiente ecuación (modelo), utilizada según sea la propagación de las ondas en sentido recto o en sentido lateral:

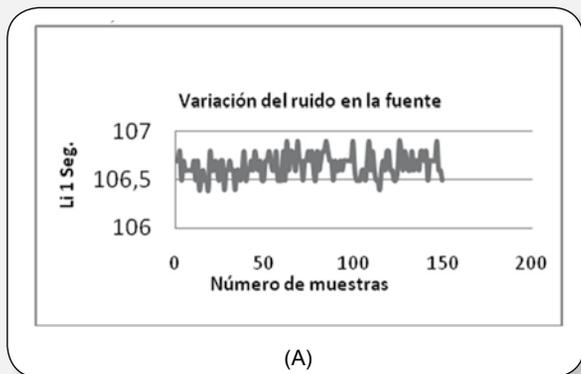
$$L_{Aeq} = 103,63 - 10,58 * (\ln \text{ Distancia})$$

$$Leq_D = Leq_{M\acute{a}x} - 10,58 \ln D$$

Donde Leq_D es el nivel sonoro continuo equivalente Leq dB(A) a la distancia D (m), y $Leq_{m\acute{a}x}$, es el ruido expresado en nivel sonoro continuo equivalente Leq dB(A) caracterizado en la fuente.

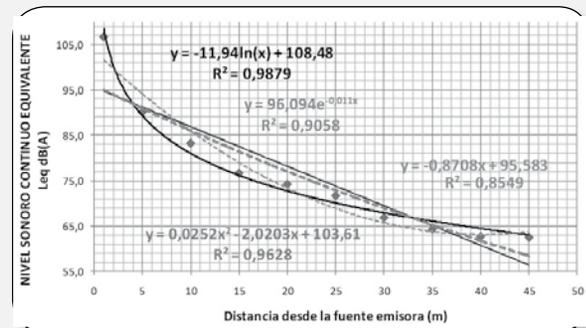
Para ventiladores de 5HP, los comportamientos de la variación del ruido en la fuente y la atenuación del nivel sonoro continuo equivalente Leq , variando la distancia desde la fuente, son similares a los medidos en los ventiladores de 3.5 HP. Figura 5.

Figura 5. (A).Caracterización de ruido en la fuente. Ventilador Auxiliar de 5.0 HP. Nivel 2 Norte Tambor 4. (B) Atenuación del Ruido Leq en el Nivel 2 Norte Tambor 4., producido por el ventilador auxiliar de 5.0 HP.



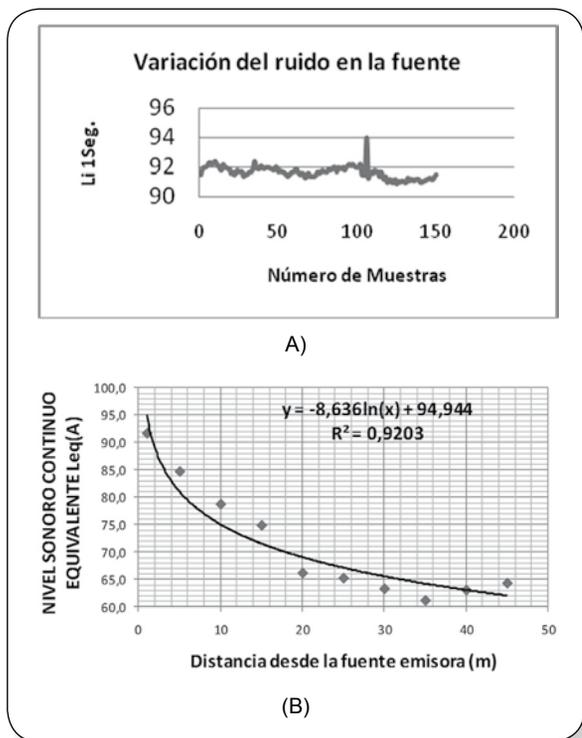
Con los resultados de la evaluación de la intensidad del ruido para ventiladores de 5.0 HP de potencia y realizando un comparativo con los diferentes modelos de ajuste; se nota que el modelo logarítmico, es el que da mejores resultados. Figura 6. La correlación es decreciente con un coeficiente de determinación R^2 igual 0.9879, un ajuste casi perfecto. Lo anterior significa que el 98.8% de la variabilidad del nivel sonoro continuo (atenuación del ruido), puede atribuirse a una relación con la distancia desde la fuente emisora.

Figura 6. Comparación de los distintos modelos de ajuste.



En el caso de la electrobomba a pesar de tener una potencia alta comparada con los ventiladores auxiliares, el nivel de ruido continuo equivalente es menor; sin embargo, el comportamiento es similar (decreciente) en cuanto a la atenuación del ruido, y para cumplir la norma (85dB), la distancia desde la fuente a la que pueden permanecer operarios está cercana a los 10 m. (Figura 7)

Figura 7. (A). Caracterización de ruido en la fuente. Electrobomba 30 HP Frente del inclinado 7. (B) Atenuación del Ruido Leq. en el frente del inclinado 7 producido por la electrobomba de 30 HP



De acuerdo a la Figura 7(A), se presenta un pico en la muestra 100, este se debe a que hay reflexión de la onda que no pudo ser absorbida totalmente por la roca, ni por los elementos del sostenimiento de la vía. En la Grafica de la Figura 7 (B), la línea de tendencia como en todas las observaciones, es decreciente y el coeficiente de determinación R^2 , se acerca a 1, siendo un ajuste casi perfecto.

En el Inclinado 7 (Figura 8), la propagación de las ondas sonoras generadas por la electrobomba, generan las dos componentes (directas y reflejadas), esto se evidenció en las mediciones hechas a una distancia que oscila, entre los 40 y 45 m. desde la fuente. (Figura 7 (B))

La caracterización de la atenuación del ruido, variando la distancia de medición desde la fuente, para el caso del sector evaluado en la mina, muestra que el cumplimiento de la norma (Decreto 1335 de 1987, Reglamento de Seguridad en las Labores Subterráneas,

Título X Capítulo II, artículos 177 y 178). se da a partir de los 10 m. de distancia, Tabla 4. También, se pueden observar, que en mediciones hechas a los 35 y 40 m. desde la fuente, para el ventilador de 3,5HP, hay reflexión de las ondas sonoras; el anterior fenómeno igualmente se presentó en el inclinado 7, de acuerdo a las mediciones realizadas a partir de los 40 m. desde la fuente (electrobomba).

Figura 8. Sentido de propagación de las ondas de ruido Producido por la Electrobomba en el frente del Inclinado 7

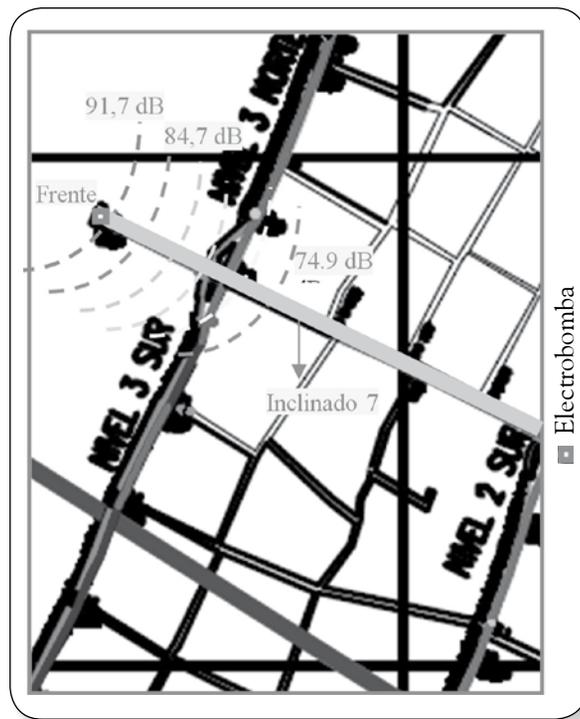


Tabla 4 – Atenuación del ruido de los equipos utilizados en el Inclinado 7

EQUIPO	Ventilador 3HP	Ventilador 3,5HP	Ventilador 5HP	Electro bomba 30 HP
Distancia	Leq	Leq	Leq	Leq
m.	dB	dB	dB	dB
1	98,3	95,8	106,7	91,7
5	87,7	82,9	90,1	84,7
10	81,9	77,8	83,2	78,8
15	78,8	74,0	76,7	74,9
20	74,3	62,3	74,2	66,2
25	71,1	60,1	71,7	65,3
30	70,2	55,3	66,9	63,4
35	68,3	60,8	64,3	61,2
40	67,1	57,7	62,7	63,1
45	62,8	59,0	62,5	64,4

Evaluación del impacto acústico producido por equipos utilizados en minería subterránea de carbón

Una vez realizadas las mediciones de ruido producido por los equipos utilizados en minería subterránea (Mina San José); teniendo en cuenta la norma, se elaboran matrices para analizar cualitativamente el impacto acústico. Tabla 5. Con este tipo de matrices, se diseñan mapas de riesgo que deben ser incluidos dentro del Sistema de Gestión Ambiental SGA de cualquier empresa. El SGA que debe realizarse en una mina subterránea, debe ser responsabilidad del gerente de la corporación con compromiso de todos los trabajadores; para el éxito del sistema de gestión, deben evaluarse los diferentes impactos como el acústico, el térmico, el dinámico y el volumétrico, que se generan en ambientes subterráneos.

Tabla 5. Matriz del riesgo generado por Impacto Acústico de acuerdo a la atenuación del ruido.

Matriz de Riesgo Ambiental Subterránea para Impacto Acústico				
UBICACIÓN DEL EQUIPO	EQUIPO	NIVEL DE IMPACTO AMBIENTAL		
		Leve	Moderado	Alto
NIVEL 1 3 NORTE TAMBOR 16	VENTILADOR 3,0 HP	DESDE LOS 30m EN ADELANTE (70 dB)	DESDE 10 m. HASTA 30 m.	DESDE LA FUENTE HASTA 10 m. mayor 85dB
Trabajadores expuestos		Seis	Dos	eventuales
NIVEL 1 SUR TAMBOR 15	VENTILADOR 3,5 HP	DESDE LOS 20 m EN ADELANTE (65dB)	DESDE 5 m. HASTA 20 m.	DESDE LA FUENTE HASTA 5 m. mayor 85 dB
Trabajadores expuestos		Ocho	Cuatro	eventuales
NIVEL 2 NORTE TAMBOR 4	VENTILADOR 5,0 HP	DESDE LOS 30m EN ADELANTE (70 dB)	DESDE 10 m. HASTA 30 m.	DESDE LA FUENTE HASTA 10 m. mayor 85dB
Trabajadores expuestos		Seis	Tres	eventuales
FRENTE INCLINADO 7.	ELCTROBOMBA 30 HP	DESDE LOS 25 m EN ADELANTE (65dB)	DESDE 5 m HASTA 20 m.	DESDE LA FUENTE HASTA 5 m. mayor 85 dB
		eventuales	eventuales	Uno

Conclusiones

La evaluación del impacto acústico generado por los ventiladores de 5 HP de potencia en el ambiente subterráneo en la mina San José se estimó tomando como referente

el modelo teórico del comportamiento del nivel de intensidad de ruido con respecto a la distancia, que se encuentra expresado como una función logarítmica; donde bajo esta premisa se realizó el ajuste del set de datos tomados en la mina aplicando regresión logarítmica, obteniéndose una correlación de 0,9879, lo que permite inferir que el fenómeno del ruido ocasionado por los ventiladores en el ambiente subterráneo de la mina se puede explicar en un 98,79%.

Se pudo determinar que varias de las mediciones registradas en los puntos de muestreo, presentaron considerable ruido de fondo esto particularmente debido a que el sonido se propago bajo una compleja trama de reflexiones aumentándose los niveles de presión o amplitud de la onda, cuya consecuencia es una atenuación pronunciada generada principalmente por el ambiente confinado, sumado a los respaldos o paredes rígidos del encofrado del túnel que poseen una porosidad relativamente media-baja, de manera que la onda reflejada y la producida por la fuente en dicho punto, se combinaron.

La evaluación y caracterización del impacto acústico en ambientes bajo tierra, no debe abordarse como simple medida puntual; sino que, el análisis y valoración de los niveles de ruido deben obedecer a una relación estrecha entre la salud ocupacional y el Sistema de Gestión Ambiental SGA, teniendo en cuenta que la contaminación acústica es un fenómeno que ejerce un impacto negativo directo en los trabajadores expuestos a estos niveles de ruido ocasionando enfermedades de tipo profesional.

Referencias bibliográficas

ISO 1999:1990 (E). "Acoustics – Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment". International Organization for Standardization, Genève, Suiza, 1990.

Kovalchik, P. G., Matetic, R. J., Smith, A. K., and Bealko, S. B. (2008). "Application of Prevention through Design for Hearing Loss in the Mining Industry." *Journal of Safety Research*, 39(2), 251-254.

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 Panasqira. XXVI Convención minera del Perú,: Arequipa.

Sensogut, C., and Cinar, I. (2007). "An empirical model for the noise propagation in open cast mines GÇô A case study." *Applied Acoustics*, 68(9), 1026-1035.