

Peligros atmosféricos asociados con emanaciones de vehículos pesados en minas subterráneas

Por: **Bob Henderson** – Presidente de **GfG Instrumentation** y Departamento Técnico de **Minera Almax**

El Ingeniero Robert Henderson, especialista en desarrollo de tecnología para monitoreo y detección de gases en ambientes como minas subterráneas y Presidente de nuestra representada **GfG Instruments de USA**, fue invitado a brindar una conferencia respecto a los peligros asociados con la emanación de vehículos pesados en minas subterráneas, conferencia muy productiva para todos los asistentes, debido a la importancia de la misma al ser un tema de seguridad para el trabajador, es que queremos compartirlo con ustedes:

Componentes de las emanaciones

Entre los componentes tóxicos característicos de las emanaciones gaseosas de los vehículos pesados tenemos monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hollín, hidrocarburos del combustible sin quemar, compuestos orgánicos volátiles (VOC) y óxidos de azufre debido a las impurezas presentes en el combustible.

Estos componentes dependen principalmente del combustible utilizado y del tipo y la temperatura de operación del motor de combustión. Los motores que están fríos producen mayores emisiones de hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono, los mismos cuya concentración va disminuyendo mientras el motor va alcanzando su temperatura de operación.

Los motores Diésel se caracterizan por la producción de CO (cuya concentración disminuye conforme aumenta la temperatura del motor), hollín, y VOCs. Los últimos son frecuentemente absorbidos por las partículas de hollín, aumentando el riesgo de que lleguen hacia los pulmones de los trabajadores.

Caracterización de los gases de emisión

Es importante conocer y diferenciar los gases de emisión de los vehículos pesados, por lo cual se detallan las propiedades de los compuestos más nocivos además de la tecnología utilizada para medirlos y sus efectos en la salud de los trabajadores expuestos.

Dióxido de carbono (CO₂)

Es un gas incoloro, inodoro e insípido el cual es un componente del aire fresco en una concentración aproximada de 350 ppm. Al ser más pesado que el aire tiende a asentarse en espa-



Ing. Robert Henderson, Presidente de GfG Instrumentation.

cios confinados por lo que puede presentarse en condiciones muy altas.

Para medir su concentración se usan los Sensores de CO₂ infrarrojos no dispersivos (NDIR), los cuales constan de una fuente infrarroja, un sensor de luz, un detector activo y un detector de referencia. Durante su funcionamiento se emite un haz de luz infrarroja cuya intensidad de luz es disminuida por la concentración de CO₂ para luego ser recibida por el detector activo. El detector de referencia provee una señal para compensar la variación de la intensidad de luz debido al ambiente o al sensor mismo. El uso combinado de estos dos detectores aumenta en gran medida la precisión de las lecturas.

Incluso los niveles moderados de CO₂ pueden causar síntomas, como se aprecia en la **tabla 1**.

El límite de exposición más ampliamente reconocido es un TWA para 8 horas de exposición de 5000 ppm, con un STEL de 15000 ppm o 30000 ppm.

Cuando se tienen concentraciones mayores a 40000ppm se debe considerar esta condición como un peligro inmediato para la salud, ya que la exposición a concentraciones muy altas está relacionada a daño cardíaco permanente.

Monóxido de carbono (CO)

Es un gas inodoro e incoloro y ligeramente más liviano que el aire y es producto de la combustión. La exposición crónica a este gas puede resultar nociva ya que disminuye la capacidad de los glóbulos rojos para transportar

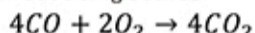
oxígeno en la sangre. Podemos apreciar los efectos de sus diferentes concentraciones en el siguiente cuadro (**Tabla 2**):

Reacción típica de detección de un sensor electroquímico

El monóxido de carbono se oxida en el electrodo de detección:
 $4CO + 4H_2O \rightarrow 4CO_2 + 8H + 8e^-$

El oxígeno del aire se reduce en el electrón de conteo
 $2O_2 + 8H + 8e^- \rightarrow 4H_2O$

La reacción global es:



La señal de salida del sensor de CO será: $50 \pm 20nA/ppm CO$

Para los límites máximos permisibles tenemos dos referencias; OSHA PEL, con un TWA para 8h de 50ppm; y NIOSH REL, con un TWA para 8h de 35 ppm y un valor techo de 200 ppm.

Óxidos de nitrógeno (NOx)

Actualmente no se cuenta con un sensor que responda a todos los óxidos de nitrógeno. Los más comunes en las operaciones mineras son el NO, presente como producto de la combustión de los motores, y el NO₂, que se forma por la oxidación del NO en el aire.

Para los límites de exposición podemos referirnos al siguiente cuadro (**Tabla 3**):

Tabla 3: Límites de exposición para el óxido de nitrógeno

TWA (8h)	Límites de exposición para NO		
	OSHA	NIOSH	TLV
	25ppm	25ppm	25ppm

Para la detección de gases específicos como CO, SO₂, NO, NO₂ y otros se utilizan sensores electroquímicos. La difusión del gas en el sensor reac-

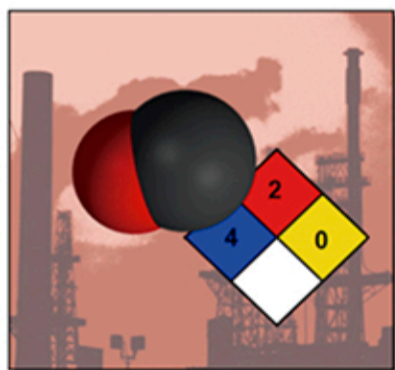


Figura 2: Representación molecular de monóxido de carbono. GfG Instrumentation de USA.

Tabla 2: Efectos tóxicos del monóxido de carbono a diferentes concentraciones.

Concentración	Síntoma
25 ppm	Límite de exposición TLV durante 8 horas (TWA)
200 ppm	Posibles dolores de cabeza frontales en 2-3 horas
400 ppm	Dolores de cabeza frontales y náuseas luego de 1-2 horas
800 ppm	Dolor de cabeza, mareos y náuseas en 45 min. Colapso y posiblemente la muerte en 2 horas
1,600 ppm	Dolor de cabeza, mareos y náuseas en 20 min. Pérdida de conocimiento y peligro de muerte en 2 horas
3,200 ppm	Dolor de cabeza, mareos y náuseas en 5-10 min. Pérdida de conocimiento y peligro de muerte en 30 minutos.
6,400 ppm	Dolores de cabeza y mareos en 1-2 min. Pérdida de conocimiento y peligro de muerte en 10-15 minutos
12,800 ppm	Pérdida de conocimiento y peligro de muerte en 1-3 minutos



Figura 3: Partes de sensor electroquímico que permite a través de la circulación de la corriente la cual es proporcional a la concentración de gas a detectar. Sensor para la detección de oxígeno. GfG Instrumentation de USA.

ción en la superficie del electrodo el cual está hecho para catalizar una reacción específica. El uso de filtros externos selectivos limita aún más la sensibilidad cruzada.

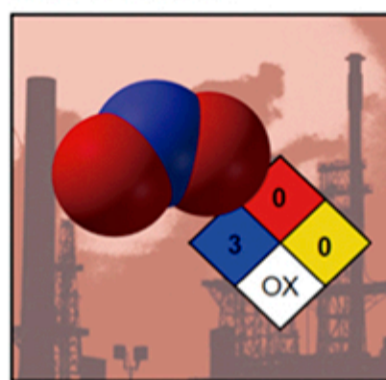


Figura 4: Representación molecular del dióxido de nitrógeno. GfG Instrumentation de USA.

Químicos orgánicos volátiles (VOCs)

Los químicos orgánicos volátiles (VOCs) son químicos o mezclas orgánicas caracterizadas por la tendencia a evaporarse fácilmente a temperatura ambiente, presentan múltiples amenazas potenciales en el ambiente de



Figura 5: Detector multi-gases G460 y sensores para la detección de todo tipo de gases como O₂, CO, CO₂, NO, NO₂, SO₂, H₂S, HCN, NH₃, CH₄, VOCs y muchos más. GfG Instrumentation de USA.

trabajo: Son más pesados que el aire, inflamables y tóxicos.

Estas sustancias tóxicas producen síntomas en dos espacios de tiempo: agudo y crónico. Mientras que algunos VOC son tóxicos en concentraciones bajas y exposición aguda, la mayoría es crónicamente tóxica.

Los síntomas descritos a continuación pueden no manifestarse por años:

- Irritación de tracto respiratorio (agudo o crónico).
- Mareos, jaquecas (agudo o crónico).
- Cognición, memoria, tiempo de reacción, coordinación mano- vista y coordinación pie- vista disminuidas.
- Desórdenes de humor: depresión, irritabilidad y fatiga.
- Neurotoxicidad periférica: temblores y movimientos motores disminuidos.
- Daño renal, problemas inmunológicos incluyendo aumento en probabilidad de contraer cáncer.

Para detectar estos compuestos altamente dañinos se nos presentan dos opciones, los detectores catalíticos LEL y los sensores PID.

Ambos equipos representan técnicas de detección complementarias. Los sensores catalíticos LEL son excelentes para la medición de metano, propano hasta hidrocarburos de 9 carbonos (nonano) no detectables con PID. Los PID detectan moléculas grandes de VOC e hidrocarburos (superior a los 10 carbonos) que son indetectables por los catalíticos.

El mejor enfoque para la medición de VOC es usar un instrumento multi sensor capaz de medir todos los peligros atmosféricos que pueden estar presentes, por lo que concluimos que existen beneficios considerables de incluir ambos sensores (PID y LEL) en un mismo instrumento.



Figura 6: a) Derecha: Detector multi-gases G460 b) Izquierda: Detector multi-gases G460 mostrando los sensores de O₂, CO, SO₂, H₂S, %LEL, PID. GfG Instrumentation de USA.

Lo descrito líneas arriba se evita contando con equipos que emanen gases dentro de los límites permisibles por lo que es importante que se monitoree en toda actividad minera subterránea. Para este fin se cuenta con innovadores equipos de medición de emanación de gases de combustión como los analizadores E Instruments.

<http://www.mineraalmax.com/>



Figura 7: Analizador modelo E4500-3.

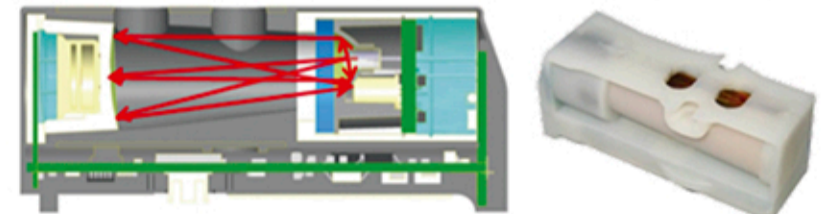


Figura 1: a) Derecha: Sensor NDIR para detectar CO₂. b) Izquierda: Diseño interior del sensor NDIR y haz infrarrojo entre detector activo y de referencia. GfG Instrumentation de USA.

Tabla 1: Efectos tóxicos del dióxido de carbono a diferentes concentraciones

Concentración	Síntoma
350 – 400 ppm	Concentración normal en el aire del ambiente exterior
350 – 1,000 ppm	Concentración típica de interiores ocupados con buena ventilación
1,000 – 2,000 ppm	Quejas de mareos y poco aire
2,000 – 5,000 ppm	Dolor de cabeza, sueño, aire rancio y pesado. Poca concentración, falta de atención, aumento de los latidos, puede presentar un poco de náuseas
>5,000 ppm	La exposición puede llevar a privación de la oxigenación, resultando en daño cerebral permanente, coma o la muerte