

## UNIDAD 3: GASES EN MINAS SUBTERRÁNEAS



- **Objetivo específico de la unidad**

Los integrantes de las cuadrillas de rescate identificarán las propiedades físicas y características de los gases que pueden encontrar durante la exploración de una mina que sufrió un incendio o explosión, así como saber dónde se encuentran estos gases para su muestreo.

- **Introducción**

Bajo condiciones normales, muchos gases están presentes en la mina. El sistema de ventilación de cada mina debe estar diseñado para introducir aire fresco y así, dispersar y remover los gases dañinos para proveer oxígeno en las áreas de trabajo.

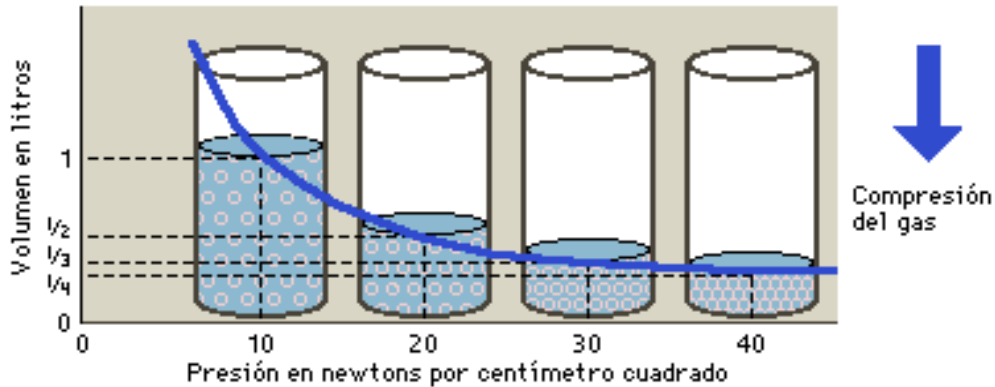
Pero durante un desastre, la situación es diferente. Los incendios o explosiones liberan gases peligrosos dentro de la atmósfera y un sistema de ventilación interrumpido podría resultar en una atmósfera deficiente de oxígeno y/o una acumulación de gases tóxicos o explosivos.

- **Principios básicos de los gases en minería subterránea**

Para ayudar a entender lo que es un gas, comparémoslo con un líquido y un sólido. Un sólido tiene una forma definida y un volumen, están formados por partículas estrechamente unidas. Un líquido tiene un volumen definido, pero cambia la forma de acuerdo a su contenedor, están compuestos por partículas en movimiento, muy abundantes. Sin embargo, un gas es una sustancia sin forma o volumen definidos. Se expande o se contrae para llenar el área en la cual está contenido, están compuestos por partículas móviles, que tiene un gran espacio entre ellas. Estos son los tres estados de la materia (sólido, líquido y gaseoso).



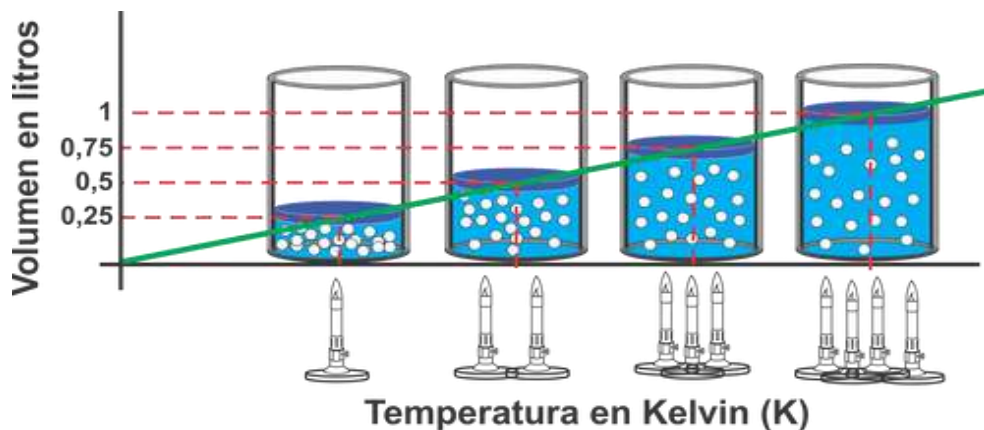
**Difusión de Gases:** el volumen de un gas cambia en respuesta a cualquier cambio en la presión atmosférica o temperatura. Por ejemplo un incremento de la presión provoca que un gas se contraiga y una disminución en la presión provoca la expansión del gas.



**Al aumentar la presión a un gas, su volumen disminuye, y al disminuir la presión el volumen aumenta. Son inversamente proporcionales**

### Temperatura y sus efectos en el grado de difusión

Es importante como afecta la temperatura el grado de difusión de un gas. Altas temperaturas (calor) provocan que los gases se expandan y se dispersen más rápidamente. En consecuencia, el calor de un incendio en una mina provocará que los gases se expandan y se dispersen más fácilmente. Las temperaturas más bajas actúan en forma opuesta: Los gases responden al frío contrayéndose y dispersándose más lentamente. En resumen, un aumento de temperatura provoca la expansión de un gas y una disminución provoca contracción.



**Al aumentar la temperatura a un gas, su volumen aumenta, y al disminuir la temperatura, el volumen disminuye. Son directamente proporcionales.**

El grado de difusión de un gas es también afectado por las corrientes de ventilación en la mina, éste aumenta con una alta velocidad del flujo del aire o por turbulencias en el mismo.

Conociendo los efectos de la corriente de aire, temperatura y presión sobre el gas ayudará a determinar su grado de difusión. El grado de difusión es qué tan rápido el gas se mezclará o combinará con uno o más gases y qué tan rápido puede ser dispersado.

La presión atmosférica afecta el grado de difusión de un gas. Por ejemplo, si el barómetro aumenta indicando una presión incrementada, el gas responde contrayéndose.

Un gas que es comprimido dentro de un área más pequeña se concentra más, así que se dispersa más lentamente. Es mucho más fácil que las concentraciones de gases explosivos se acumulen cuando la presión barométrica es alta, y más difícil dispersar los gases por medio del sistema de ventilación de la mina.

Por otro lado, cuando la presión barométrica baja, la presión sobre el gas se reduce expandiéndose, esto significa que está menos concentrado, así que se diluye más rápidamente en el ambiente.

**Gravedad Específica o Peso:** La gravedad específica es el peso de un gas comparado con un volumen igual de aire normal bajo la misma temperatura y presión. La gravedad específica del aire normal es 1.0 (Uno). El peso del aire actúa como un punto de referencia desde el cuál, medimos el peso específico de otros gases. Por ejemplo, un gas que es más pesado que el aire tiene una gravedad específica más alta de 1.0 (Uno) y un gas que es más liviano que el aire tendrá una gravedad específica menor de 1.0 (Uno).

Si usted conoce la gravedad específica o peso de un gas, usted sabrá donde estará localizado en la mina y por lo tanto donde hacer pruebas para monitoreo.

**Por ejemplo:** el dióxido de azufre tiene una gravedad específica de 2.26, es mucho más pesado que el aire normal, por lo tanto usted puede predecir que este gas se encontrará en concentraciones más grandes cerca del piso o en áreas bajas de una mina. Además de ayudarlo a determinar dónde hacer pruebas de gas, la gravedad específica indica también que tan rápido el gas se dispersará con la ventilación.

**Rango Explosivo e Inflamabilidad:** Un gas que arderá se dice que es “inflamable”, cualquier gas inflamable puede explotar bajo ciertas condiciones.

Para que un gas inflamable explote, debe haber el suficiente oxígeno en el aire y una fuente de ignición. El rango de concentraciones dentro de las cuáles un gas explotará es conocido como “rango explosivo”. Cuando la concentración de oxígeno se acerca a la que se encuentra en aire normal, el rango explosivo de un gas se puede dar fácilmente.

**Solubilidad:** La solubilidad es la habilidad de un gas para ser disuelto en agua. Algunos gases encontrados en minas son solubles y pueden ser liberados del agua.

El dióxido de azufre y el sulfuro de hidrógeno son gases solubles en agua, ambos pueden ser liberados del agua. La solubilidad es un factor importante a considerar durante las operaciones de recuperación. Cuando una mina está sellada por cualquier periodo de tiempo, el agua se puede juntar dentro de la mina ya sea naturalmente, o por el combate de un incendio. Cualquiera que sea el caso, los volúmenes de agua pueden liberar al aire gases solubles cuando el agua es agitada. El bombeo de dichos volúmenes de agua, o el caminar a través del agua puede liberar grandes cantidades de gases solubles, los cuales no serían encontrados de otro modo en la atmósfera de la mina.

**El color, olor y sabor** son propiedades físicas que le pueden ayudar a identificar un gas, especialmente durante una exploración sin mascarilla. El sulfuro de hidrógeno, por ejemplo tiene un olor distintivo de “huevo podrido” y algunos gases pueden saber amargos o ácidos; otros dulces. El color café-rojizo, indica que hay óxidos de nitrógeno presentes. Por supuesto que no hay que confiar solamente en los sentidos para identificar un gas, cualquier gas peligroso como el monóxido de carbono, no tiene olor, color o sabor. Pero recuerde estas propiedades ya que pueden ser una primera indicación de que un gas en particular está presente.

**Gases Tóxicos:** Algunos gases encontrados en minas son tóxicos (venenosos). El grado al cual un gas tóxico le afectará depende de tres factores: (1) qué tan concentrado está el gas, (2) qué tan tóxico es el gas y (3) tiempo de exposición.

Por ejemplo, el TLV (valor límite permisible) del monóxido de carbono (CO) es relativamente bajo 25 PPM (partes por millón) (0.0025%). Esto significa que es lo más que usted puede estar expuesto durante un período diario de 8 horas. El TLV para el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es de 5,000 PPM (0.500%), se puede tolerar esta concentración diaria por un periodo de 8 horas diarias sin efectos dañinos.

Los gases tóxicos son dañinos al inhalarlos, un aparato de respiración autónomo (SCBA) le protegerá de dichos gases. Otros gases tóxicos dañan la piel o pueden ser absorbidos por la misma, un SCBA no lo protegerá de dichos gases. Si usted porta su equipo SCBA en humos producto de derivados del petróleo por periodos prolongados o sucesivos, pueden eventualmente infiltrarse en las partes de goma o hule del equipo ocasionando que no se tenga una protección adecuada, esto debido a que las mangueras del equipo se van degradando.

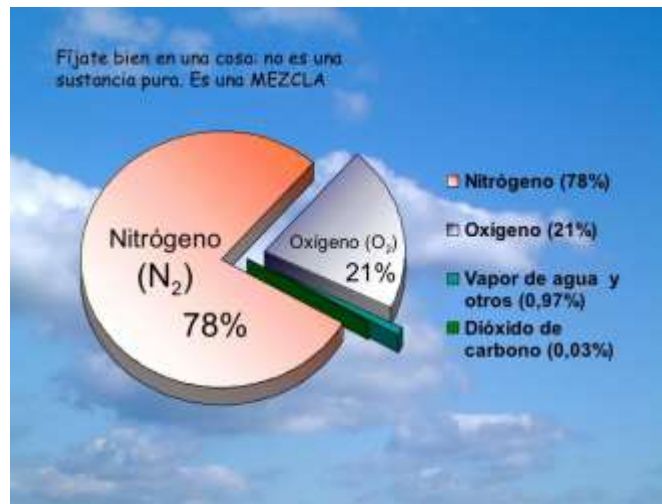
**Gases Asfixiantes:** “Asfixiar” quiere decir sofocar o ahogar. Los gases asfixiantes provocan sofocación debido a que desplazan el oxígeno del aire, produciendo así una atmósfera deficiente de oxígeno. Dado que su aparato de respiración autónomo lo provee de oxígeno, estará protegido contra los gases

asfixiantes. Estos gases son los derivados del hidrógeno y acetileno principalmente.

**Aire Normal:** El aire que respiramos es realmente una mezcla de gases, el aire limpio seco al nivel del mar está compuesto por un 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y el 1% restante de otros gases.

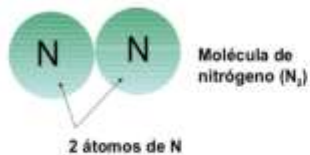
**Nota:** Los otros gases en el aire son seis, principalmente: neón, helio, criptón, xenón, hidrógeno y ozono.

### Composición del aire:



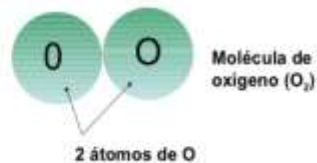
#### Nitrógeno ( $N_2$ )

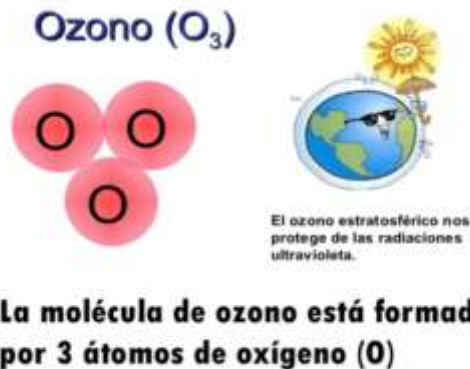
Es el componente mayoritario del aire



#### Oxígeno ( $O_2$ )

Es un componente del aire muy reactivo, que oxida y permite que haya fuegos





Normalmente, los gases son extraídos de las áreas operativas por el sistema de ventilación de la mina, pero durante una situación de desastre, el sistema de ventilación de la mina puede ser parcial o totalmente interrumpido, además de que un incendio o explosión producen gases peligrosos.

Los gases presentes en la mina después de un desastre variarán de acuerdo al tipo de mina y situación del desastre, así como al tipo de equipo que se usa (eléctrico, aire comprimido, o diésel). Sin embargo, en las minas las cuadrillas deben saber cómo monitorear los diferentes gases como el sulfuro de hidrógeno que se libera del agua, óxidos de nitrógeno que se producen por una voladura o por un incendio de materiales eléctricos por ejemplo, así como las gravedades específicas de los gases para saber dónde se localizara el gas para su muestreo.

- *Descripción de los principales gases en Minas Subterráneas:*

### **Oxígeno ( $O_2$ )**

Gravedad específica: 1.1054

Rango Explosivo e Inflamabilidad. El oxígeno no es un gas explosivo, pero ayuda a la combustión.

Riesgos para la Salud. El oxígeno encontrado en el aire normal no es tóxico. De hecho, es esencial para la vida. Es riesgoso respirar aire que es bajo en oxígeno, y el hecho de respirar aire extremadamente deficiente en oxígeno puede matarle.

#### **Hay cuatro causas principales de la deficiencia de oxígeno en la mina:**

1. Ventilación insuficiente o inapropiada, la cual falla en traerle oxígeno suficiente al área de trabajo.
2. Desplazamiento del oxígeno del aire por otros gases.
3. Un incendio o explosión que consume oxígeno.
4. Consumo de oxígeno por los trabajadores.

Solubilidad. Moderadamente soluble en agua.

Color / Olor / Sabor. Sin ninguno de ellos.

Causa u Origen. El Oxígeno es el segundo componente más grande del aire normal. Alrededor del 21% del aire normal es oxígeno.

Métodos de detección. Para detectar atmósferas deficientes en oxígeno, use ya sea, un indicador de oxígeno o lámpara no inflamable. Dado que el oxígeno es solo ligeramente más pesado que el aire, mantenga su detector portátil al nivel de la cintura cuando pruebe la deficiencia de oxígeno. El análisis químico detectará también la deficiencia.

Cuándo hacer pruebas. Durante la exploración, haga pruebas tan seguido como sea necesario para determinar si la atmósfera es deficiente en oxígeno.

Significado de los hallazgos. Si el ventilador principal de la mina todavía está trabajando, una atmósfera deficiente en oxígeno podría indicar que una explosión ha sucedido, o que un incendio en algún lugar en la mina está consumiendo oxígeno. La deficiencia de oxígeno puede también indicar que el sistema de ventilación de la mina ha sido interrumpida.

## **Nitrógeno (N<sub>2</sub>)**

Gravedad específica: 0.9674

Rango Explosivo e Inflamabilidad: El nitrógeno no es un gas explosivo y no arderá.

Riesgos para la Salud: El nitrógeno no es tóxico. Sin embargo, en concentraciones por encima de lo normal actúa como un asfixiante porque baja el contenido del oxígeno en el aire.

Causa u Origen: El aire normal contiene aproximadamente 78% de nitrógeno, haciéndolo el componente más grande del aire normal.

El nitrógeno puede surgir del estrato en algunas minas de metales. Otra fuente de nitrógeno en minas subterráneas es la detonación de explosivos.

Encontrado en: Los niveles aumentados de nitrógeno se encuentran presentes con frecuencia, después de que los explosivos han sido detonados.

Método de detección: Análisis químico.

Cuándo hacer pruebas: Haga pruebas de nitrógeno cuando sospeche que la atmósfera tiene deficiencia de oxígeno, y en áreas de trabajo abandonadas o inactivas donde la ventilación es inadecuada. También haga pruebas en minas donde se sabe que el nitrógeno surge del estrato de roca. Este gas se deben muestrear con un detector portátil a la altura del tórax.



Significado de los hallazgos: Un elevado contenido de nitrógeno indica una atmósfera deficiente en oxígeno.

### **Monóxido de Carbono (CO)**

Gravedad Específica: 0.9672

Rango Explosivo e Inflamabilidad: El monóxido de carbono es explosivo e inflamable. Su rango explosivo en el aire normal es del 12.5% al 74.2%.

*Nota:* Quizás usted quiera mencionar que el monóxido de carbono es el gas mortal asociado con las emisiones de los automóviles. El monóxido de carbono es así de tóxico porque se combina fácilmente con sus células rojas de la sangre (hemoglobina), las células que normalmente acarrear oxígeno a los tejidos de su cuerpo. Una vez que las células han tomado CO, ya no tienen la capacidad de llevar oxígeno. No se necesita mucho CO para interferir la capacidad del acarreo de oxígeno de su sangre debido a que el gas, se combina con la hemoglobina de 200 a 300 veces más rápido que el oxígeno.

*El primer síntoma de envenenamiento por monóxido de carbono es una tensión ligera a través de su frente y posiblemente un dolor de cabeza. El monóxido de carbono es acumulativo con el tiempo. A medida que usted continúe exponiéndose a él, los efectos de envenenamiento se acumulan de igual forma. Tan poquito como 500 PPM (0.05%) pueden matarle en tres (3) horas. Si usted está expuesto a concentraciones altas de CO, usted puede experimentar muy pocos síntomas antes de quedar inconsciente.*

Solubilidad: El monóxido de carbono es ligeramente soluble en agua.

Causa u Origen: El monóxido de carbono es un producto de combustión incompleta de cualquier material de carbono. Es producido por incendios de mina y explosiones de gas.

*El monóxido de carbono también es producido por la quema o detonación de explosivos, y es emitido del escape de motores de combustión interna.*

Dónde encontrarlo: El monóxido de carbono es encontrado durante los incendios de mina y después de las explosiones o detonaciones de explosivos. Puede también ser detectado cerca de los motores de combustión interna.

Método de detección: El monóxido de carbono puede ser identificado por medio de detectores de monóxido de carbono, detectores multigases, o por análisis químicos. Debido a que el CO es ligeramente más liviano que el aire, mantenga su detector portátil al nivel del tórax.

Cómo hacer pruebas: Durante cualquier exploración de cuadrilla, pruebe tan frecuente como sea necesario para determinar el contenido de CO de la atmósfera. Haga esto específicamente si se sospecha que hay un incendio.

Significado de los hallazgos: La presencia de CO por un periodo de tiempo continuado indica definitivamente que hay un incendio en algún lugar de la mina.

Explosividad: El CO puede ser explosivo al acumularse arriba de 120,000 partes por millón, lo cual se podría dar como producto de un incendio grande, en un área confinada o sellada sin ningún flujo de ventilación o descarga de gases.

## **Óxidos de Nitrógeno**

### **Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub> ó N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)**

Gravedad específica: 1.5894

Rango Explosivo e Inflamabilidad: El NO<sub>2</sub> no arderá ni explotará.

Riesgo para la Salud: Los óxidos de nitrógeno son altamente tóxicos. El respirar aún pequeñas cantidades irritará su garganta.

Cuándo se mezcla con la humedad en sus pulmones, forman ácidos que corroen sus vías respiratorias y provoca que se hinchen. A menudo, dichos síntomas no se muestran hasta varias horas después de que usted está expuesto al gas.

La exposición entre un 0.01% y un 0.015% puede ser peligroso aún en exposiciones cortas, y de 0.02% al 0.07% puede ser fatal en exposiciones cortas. Si la exposición ha sido severa, la víctima puede morir, literalmente por el agua que ha entrado a los pulmones desde el cuerpo, en un intento de reaccionar los efectos corrosivos de los ácidos formados por los óxidos de nitrógeno.

Solubilidad: Solubilidad muy ligera en agua.

### **Óxido Nítrico NO**

El óxido nítrico (NO) no existe en grandes cantidades en el aire debido a que se combina rápidamente con el oxígeno (se oxida) para formar óxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).

Color / Olor / Sabor: Los óxidos de nitrógeno no tienen color en concentraciones bajas y llegan a formarse café rojizo en concentraciones altas. Huelen y saben cómo humo de pólvora.

Causa u Origen: Los óxidos de nitrógeno son producidos por incendios y detonación y quemazón de explosivos. También son emitidos de los motores diésel. En la presencia de arcos o chispas eléctricas, el nitrógeno se combina en el aire con el oxígeno (se oxida) para formar óxidos de nitrógeno.

Dónde se encuentra: Debido a que son más pesados que el aire, los óxidos de nitrógeno tienden a reunirse en los lugares bajos de la mina. Pueden ser encontrados cuando los desperfectos eléctricos producen arcos o chispas, y después de operaciones de voladura.

Métodos de detección: Para hacer pruebas de óxido de nitrógeno, usted puede usar un detector de óxido de nitrógeno, un detector multigases, o un análisis químico. Mantenga los detectores portátiles a la altura de las rodillas. Su característica café rojizo puede ser otra indicación de que hay óxido de nitrógeno.

Cuándo hacer pruebas: Haga pruebas de óxidos de nitrógeno después de un incendio o explosión o después de la detonación de explosivos. Dado que la emisión de diesel es una fuente de estos gases, revise en las áreas donde operan equipos que usan diésel.

Significado de los hallazgos: Las lecturas de NO<sub>2</sub> podrían indicar que ha habido un incendio o que se están quemando explosivos. Un mal funcionamiento de equipo eléctrico que produzca arcos o chispas podría también ser la fuente. Si el equipo diesel está causando las lecturas elevadas de NO<sub>2</sub>, eso indica que la ventilación es inadecuada.

### **Sulfuro de Hidrógeno H<sub>2</sub>S, también conocido como Hidrógeno Sulfurado y Ácido Sulfhídrico.**

Gravedad Específica: 1.1906

Rango Explosivo e Inflamabilidad: El sulfuro de hidrógeno es inflamable y explosivo en concentraciones de 4.3% a 45.5% en aire normal. Es más explosivo a un 14.2 %.

Riesgo para la Salud: El sulfuro de hidrógeno es uno de los gases más venenosos conocidos. En bajas concentraciones (0.005 a 0.010%) el sulfuro de hidrógeno provoca inflamación de los ojos y vías respiratorias. Las concentraciones un poco más altas (0.02% a 0.07%) pueden llevar a una bronquitis, o neumonía. Concentraciones más altas (0.07% a 0.10%) pueden causar una rápida pérdida del sentido, paro respiratorio y la muerte. Del 0.10% a 0.20% o más puede causar una muerte rápida.

Solubilidad: Si es soluble en Agua.

Color / Olor / Sabor: El sulfuro de hidrógeno no tiene color, tiene olor a huevo podrido y un ligero sabor dulce.

Causa u Origen: El sulfuro de hidrógeno es producido cuando los compuestos de sulfuro se descomponen. Es encontrado en ciertos campos de aceite y gas y en algunas minas de yeso. También puede ser liberado en minas con metano.

El sulfuro de hidrógeno es a menudo liberado cuando el agua ácida de mina contiene el gas en solución. El calentar los sulfuros en medio de humedad (cómo en incendios de mina) puede producir el gas también.

Dónde se encuentra: El sulfuro de hidrógeno es encontrado en lugares bajos de la mina debido a que es un gas relativamente pesado. Es a menudo, también encontrado en acumulaciones de agua.

En algunas minas, puede ser encontrado cerca de pozos de aceite o gas. El sulfuro de hidrógeno puede ser detectado también durante incendios de mina. Dado que es un gas soluble en agua, el sulfuro de hidrógeno es con frecuencia liberado del agua en áreas selladas de la mina cuando las cuadrillas de recuperación caminan a través del agua o al empezar las operaciones de bombeo.

Métodos de detección: Usted puede hacer pruebas con un detector de sulfuro de hidrógeno, un detector de gases múltiples, y por análisis químico. Debido a que el H<sub>2</sub>S es relativamente pesado, mantenga su detector portátil abajo de la cintura.

Usted puede reconocer el H<sub>2</sub>S por su olor distintivo a huevos podridos. Sin embargo, la exposición continua al gas anulará su sentido del olfato, así que éste puede no ser siempre un método de detección confiable. La irritación de los ojos es otra indicación de que el sulfuro de hidrógeno está presente.

Cuándo hacer pruebas: Haga pruebas del sulfuro de hidrógeno en áreas pobremente ventiladas de la mina, durante las operaciones de quitar los sellos, y después de incendios de mina.

Significado de los hallazgos: Una acumulación del sulfuro de hidrógeno podría indicar que la ventilación es inadecuada. Puede también ser producida por fugas de un pozo de petróleo o de gas. La presencia del sulfuro de hidrógeno pudiera también indicar una acumulación excesiva de agua en áreas selladas o inaccesibles de la mina.

## **Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)**

Gravedad específica: 2.2638

Rango Explosivo e Inflamabilidad: No arderá ni explotará.

Riesgos para la Salud: El dióxido de azufre es un gas muy tóxico, irritante y que es peligroso aún en pequeñas concentraciones. Tan poco cómo un 0.04% al 0.05% es peligroso para la vida.

*Aún muy pequeñas cantidades del dióxido de azufre (0.001% o menos) irritarán sus ojos y vías respiratorias. Concentraciones más grandes pueden causar daño severo de los pulmones, paro respiratorio y la inhabilidad completa para respirar.*

*Solubilidad:* *Altamente soluble en agua. (El dióxido de azufre es uno de los gases más solubles encontrados en las minas).*

*Color / Olor / Sabor:* *El dióxido de azufre no tiene color, pero tiene un sabor amargo, ácido y fuerte olor sulfuroso.*

*Causa u Origen:* *El dióxido de azufre puede ser producido por voladuras en metales de sulfuro y por incendios que contienen pirita ferrosa (comúnmente conocida como “el oro de los tontos”). El dióxido de azufre puede ser liberado durante la quema de algunos combustibles diésel y por explosiones de metal sulfuroso y polvoso.*

*Dónde se encuentra:* *Debido a que es relativamente pesado, el dióxido de azufre tiende a juntarse en lugares bajos de la mina y cerca de fosas. Puede esperar encontrarlo después de algunos incendios o explosiones.*

*Otra información:* *Debido a su alta gravedad específica, el dióxido de azufre es difícil para ser dispersado por la ventilación.*

*Métodos de detección:* *Usted puede hacer pruebas de dióxido de azufre por medio de un detector de gases múltiples o análisis químico. Debido a que el dióxido de azufre es un gas relativamente pesado, mantenga sus detectores portátiles abajo de las rodillas.*

*El olor y sabor distintivo del dióxido de azufre, la irritación de las vías respiratorias y de los ojos que usted experimentará cuando esté expuesto a él, son también indicadores confiables de su presencia.*

*Cuándo hacer pruebas:* *Debido a que es altamente soluble en agua, haga pruebas cuando el agua estancada es agitada. Haga pruebas de este gas después de incendios o explosiones, y cuando las áreas selladas de la mina sean abiertas después de incendios de mina.*

*Significado de los hallazgos:* *Las lecturas altas de SO<sub>2</sub> podrían indicar un incendio de mina o una explosión de polvo de metal sulfúrico.*

### ***Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)***

*Gravedad Específica:* 1.5291

*Rango Explosivo e Inflamabilidad:* *El dióxido de carbono no arderá ni explotará.*

Riesgo para la Salud: El aire normal contiene alrededor del 0.03% de dióxido de carbono.

Cuando está presente en concentraciones altas (2% o más altas), el dióxido de carbono le provoca que respire más profundo y más rápido. Respirar aire conteniendo un 5% de dióxido de carbono aumenta la respiración en un 300%, causando dificultad al respirar. Respirando aire conteniendo 10% de dióxido de carbono causa un jadeo violento y puede conducir a la muerte.

Solubilidad: El dióxido de carbono es soluble en agua.

Color / Olor / Sabor: El dióxido de carbono no tiene color ni olor. Las altas concentraciones pueden producir un sabor ácido.

Causa u Origen: El dióxido de carbono es un componente normal del aire. Es un producto de una combustión completa, se produce también durante una voladura con explosivos y es un subproducto del proceso de respiración.

Los incendios, explosiones y las operaciones de voladura producen CO<sub>2</sub>. En algunas minas, es liberado del estrato rocoso.

Dónde se encuentra: Debido a que es relativamente pesado, el CO<sub>2</sub> será encontrado en grandes concentraciones a lo largo del piso y en lugares bajos en la mina. Con frecuencia, también aparece en trabajos abandonados, durante incendios, y después de explosiones o detonaciones de explosivos.

Métodos de detección: Usted puede usar un detector de dióxido de carbono, o un detector mutigases, o análisis químico para hacer pruebas del dióxido de carbono. Para muestrear el CO<sub>2</sub>, mantener el detector portátil entre la cintura y rodillas.

Cuándo hacer pruebas: Haga pruebas de CO<sub>2</sub> después de un incendio o explosión. También haga pruebas cuando esté entrando a un área inactiva de la mina o reabriendo un área sellada.

Significado de los Hallazgos: Lecturas elevadas de CO<sub>2</sub> pueden indicar que un incendio o explosión ha sucedido en algún lugar en la mina. Lecturas altas pueden también indicar una atmósfera deficiente de oxígeno.

## **Metano (CH<sub>4</sub>)**

Gravedad específica: 0.5545

Rango Explosivo e Inflamabilidad: El metano es inflamable. Su rango explosivo es del 5% al 15% cuando hay al menos 12.1% de oxígeno en el aire. El metano es sin embargo más explosivo en el rango de 9.5% al 10%.

*El rango explosivo del metano no es una medida absoluta de seguridad. Hay otros factores que se deben considerar. Por ejemplo, la presencia de otros gases combustibles con rangos explosivos más amplios o puntos de ignición más bajos que el metano pueden resultar en una mezcla explosiva más alta.*

Riesgo para la Salud: *El metano no es tóxico. Sin embargo, en altas concentraciones puede causar asfixia por la baja del contenido de oxígeno en el aire normal. El aspecto más peligroso del metano es el hecho de que es explosivo.*

Solubilidad: *Ligeramente soluble en agua.*

Color / Olor / Sabor: *Sin ninguno de ellos.*

Causa u Origen: *El metano puede ser liberado por el estrato en minas de metal y de carbón cuando el esquisto carbonífero es penetrado, y ocasionalmente cuando la roca carbonífera es contactada o está en la cercanía.*

*El metano puede producirse también en cantidades grandes por estallidos de roca repentinos en algunas minas.*

Donde se encuentra: *Debido a que el metano es relativamente ligero, se junta en lugares altos, así que se puede encontrar en las partes altas de las minas. Puede también encontrarlo en áreas recientemente minadas, en áreas con poca ventilación y en secciones abandonadas o fuera de operación de la mina.*

*Debido a que es un gas relativamente liviano (baja gravedad específica), el metano es usualmente fácil de dispersar y remover de la mina por medio de la ventilación.*

Métodos de detección: *Para hacer pruebas de metano, use un detector de metano o un análisis químico, recuerde que el metano es un gas liviano, así que debería mantener su detector portátil arriba de la cabeza.*

Dónde hacer pruebas: *En las minas donde el metano puede estar presente, pruebe tantas veces como sea necesario durante la exploración para determinar el contenido de metano en la el ambiente. También se deben hacer pruebas de metano cuando la ventilación normal es interrumpida y cuando se ingrese a lugares abandonados o al remover o bombear agua de labrados viejos.*

Significado de los hallazgos: *Si el metano está presente, es importante monitorearlo cuidadosamente debido a que es potencialmente explosivo si hay suficiente oxígeno presente en el ambiente. Si el metano existe en concentraciones potencialmente explosivas o en combinación con otros gases que se extienden a su rango explosivo, la cuadrilla debe abandonar la mina.*

Polvo de carbón: *El polvo de carbón son partículas muy finas de la explotación de este mineral. Se acumula a lo largo de los túneles o galerías de la mina en*

techos, paredes y pisos, siendo los sitios de carga y descarga de carbón los de mayor acumulación de este material. El polvo de carbón es combustible, en contacto con una chispa, se enciende de inmediato. El tamaño de las partículas determina el grado de riesgo, es decir, entre más pequeñas sean las partículas de este mineral, más posibilidad hay de que se presente una explosión dentro de la mina.

El polvo de carbón está formado por un pentágono de explosividad, este pentágono está compuesto por: **polvo en suspensión, fuente de calor, combustible, oxígeno y confinamiento**; para evitar una explosión hay que eliminar por lo menos uno de los factores del pentágono; es imposible evitar el oxígeno, el confinamiento, el polvo en suspensión y muy difícil la fuente de calor, así que lo único y más práctico que se puede hacer es evitar “La acumulación de este polvo de carbón limpiando y barriendo frecuentemente la mina, y colocando en paredes y techos de las galerías polvo inerte consistente en caliza o dolomita molido”

#### **Hidrocarburos Pesados: (Etano C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, Propano C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, Butano C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>)**

<u>Gravedad específica:</u>	Etano	1.0493
	Propano	1.5625
	Butano	2.0100

#### Rango explosivo e Inflamabilidad:

Etano de 3% a 12.5% en aire normal  
Propano de 2.12% a 9.35% en aire normal  
Butano de 1.6% a 8.41% en aire normal

Riesgos para la Salud: Estos gases no son tóxicos. En altas concentraciones pueden desplazar suficiente oxígeno para causar la muerte por asfixia, pero rara vez los hallará en concentraciones altas en las minas.

Solubilidad: Los tres son ligeramente solubles en agua.

Color / Olor / Sabor: Sin ninguno de ellos los tres, sin embargo en ciertas concentraciones el propano y el butano pueden producir un olor “gaseoso” característico.

Causa u Origen: Después de incendios de mina, las pequeñas concentraciones de estos gases son a menudo detectadas junto con el metano en minas que lo contienen. Algunas veces pueden escapar de pozos de petróleo o gas.



Método de detección: Usted puede detectar el etano, propano y butano con un detector portátil o por análisis químico. Debido a que estos gases son relativamente pesados, mantenga su detector portátil abajo cuando haga pruebas.

Cuándo hacer pruebas: Haga pruebas de estos gases después de incendios o explosiones cuando el metano está presente. También debería hacer pruebas de hidrocarburos pesados si hay envases de aceites o gas que hayan sido introducidos durante las operaciones de la mina.

Significado de los hallazgos: En concentraciones significativas, los hidrocarburos pueden extender el rango explosivo del metano si la mina lo contiene. Las lecturas elevadas podrían indicar que ha habido una explosión de metano, si esto es posible en la mina, o que hay fugas de un pozo adyacente de gas o de aceite.

### **Acetileno (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)**

Gravedad específica: 0.9107

Rango Explosivo e Inflamabilidad: El acetileno es combustible, pero no apoyará la combustión. Su rango explosivo en aire normal es de 2.5% al 80%.

Riesgo para la Salud: El acetileno es ligeramente tóxico. En concentraciones altas, puede causar asfixia al mermar el oxígeno en la atmósfera.

Solubilidad: Muy ligeramente soluble en agua.

Color / Olor / Sabor: El acetileno no tiene color ni sabor. Tiene un ligero olor a ajo.

Causa u Origen: El acetileno se forma cuando el metano es quemado o calentado en aire con bajo contenido de oxígeno.

Dónde se encuentra: El acetileno es encontrado después de explosiones de metano en aire con un bajo contenido de oxígeno.

Método de detección: Haga pruebas de acetileno con un detector de gases múltiple o análisis químico. Puede también reconocerlo por su característico olor a ajo. Dado que la gravedad específica del acetileno no está cerca de la del aire normal, mantenga los detectores portátiles al nivel del tórax.

Cuándo hacer pruebas: Haga pruebas de acetileno después de una explosión de metano en aire que es deficiente en oxígeno.

Significado de los Hallazgos: La presencia del acetileno podría indicar que una explotación ha tenido lugar en un área con un bajo contenido de oxígeno, como puede ser el caso de un área sellada.

## **Hidrógeno (H<sub>2</sub>)**

Gravedad Específica: 0.0695

Rango Explosivo e Inflamabilidad: El hidrógeno es un gas altamente explosivo. El aire conteniendo del 4% al 74.2% explotará aun cuando haya tan poco como un 5% de oxígeno presente. Las explosiones muy violentas son posibles cuando el aire contiene más del 7% al 8% de hidrógeno.

La presencia de pequeñas cantidades de hidrógeno aumentan en gran manera el rango explosivo de otros gases.

Riesgos para la Salud: En altas concentraciones, el hidrógeno puede reemplazar al oxígeno en el aire y actuar como un asfixiante. El aspecto más riesgoso del hidrógeno, sin embargo, es el hecho de que es altamente explosivo.

Solubilidad: No es soluble en agua.

Color / Olor / Sabor: Sin ninguno de ellos.

Causa u Origen: El hidrógeno es producido por la combustión incompleta de materiales de carbón durante incendios ó explosiones. También puede ser liberado cuando el agua o vapor tienen contacto con materiales calientes de carbón durante el combate de incendios. La recarga eléctrica de baterías produce hidrógeno.

Dónde se encuentra: Usted puede esperar encontrar hidrógeno en la cercanía de estaciones de recarga de baterías, dónde se han detonado explosivos, y después de explosiones. Como el hidrógeno es un gas relativamente liviano, tiende a acumularse en lugares altos de la mina.

Método de detección: El hidrógeno puede ser detectado con un detector multigases, o por medio de análisis químico. Se debe mantener el detector portátil por encima de la cabeza, pegado al cielo de las obras mineras.

Cuándo hacer pruebas: Haga pruebas de hidrógeno después de un incendio o explosión y cerca de las estaciones de recarga de baterías en la mina.

Significado de los hallazgos: La presencia de hidrógeno podría indicar que un incendio o explosión ha ocurrido. El combate de incendio con agua o espuma podrían producir el hidrógeno también. Las lecturas elevadas podrían indicar también que hay una ventilación inadecuada alrededor de las estaciones de recarga de baterías.

- **HUMO**

*Objetivo: Los miembros de la cuadrilla identificarán la composición, propiedades físicas y características del humo y gases de estrato rocoso.*

*Nota: El humo del calentamiento o combustión de bandas transportadoras o aislante de cable eléctrico contiene también sustancias tóxicas producidas por la descomposición del neopreno. Estas son muy tóxicas cuando se inhalan. Para más información sobre estos gases, refiérase al módulo: Incendios, su combate, y explosiones.*

*El humo es un resultado de la combustión. Consiste de partículas muy pequeñas de materia sólida y líquida suspendida en el aire. Las partículas en el humo son usualmente hollín o carbón y sustancias parecidas al alquitrán, tal como los hidrocarburos.*

*Aunque el humo puede irritar sus pulmones cuando lo inhala, normalmente se considera no asfixiante. Sin embargo, el humo contiene usualmente monóxido de carbono y otros gases tóxicos o asfixiantes producidos por los incendios. A esto se debe que sea tan peligroso inhalar el humo.*

*También, si hay una cantidad suficiente de hidrocarburos en el aire, se puede formar un humo explosivo.*

*Además de los peligros comprendidos en la inhalación del humo y su potencial de explosión, el humo es también dañino en otra forma importante: la presencia del humo limita su visibilidad y este factor añade un elemento extra de dificultad a cualquier operación de rescate o recuperación.*

- **Propiedades de los principales gases en Minas Subterráneas**

Gas	Formula Quimica	Monitoreo	Peso Especifico	TLV 8 hrs	Rango Explosividad	Peligros a la Salud	Fatal Instantaneo	No abrir Barricadas
Aire		OMBLIGO	1					
Monóxido de Carbono	CO	PECHO	0.9672	25 ppm	12.5 a 74.2 %	Altamente Tóxico Puede ser asfixiante	Más de 4,000 ppm	1200 ppm
Metano	CH <sub>4</sub>	ARRIBA CABEZA	0.5545	0.1%	5 a 15%	Altamente Explosivo Asfixiante arriba 12%	Más del 25%	
Oxidos Nitrosos	NO <sub>2</sub>	A LAS RODILLAS	1.5894	3 ppm		Altamente Tóxico Corrosivo S. Respiratorio	Más de 100 ppm	20 ppm
Oxigeno	O <sub>2</sub>	CINTURA	1.1054	19.5%			6%	17%
Hidrogeno Sulfurado	H <sub>2</sub> S	ABAJO CINTURA	1.1906	10 ppm	4.3 a 45.5%	Altamente Tóxico Es explosivo	Mas de 1000 ppm	110 ppm
Bioxido de Azufre	SO <sub>2</sub>	ABAJO RODILLAS	2.2638	5 ppm		Altamente tóxico Puede ser asfixiante	Mas de 1000 ppm	100 ppm
Bioxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	ABAJO CINTURA	1.5290	5000 ppm		Respiración Profunda Jadeos	Mas de 15000 ppm	4000 ppm
Acetileno	CH	CARA	0.9070		2.5 a 85%	Jadeos, Mareo, perdida de conocimiento		
Hidrogeno	H <sub>2</sub>	ARRIBA CABEZA	0.0895		4 a 74%	Asfixiante Altamente Explosivo		

**Origen, riesgos a la salud y detección de los principales gases en minas subterráneas:**

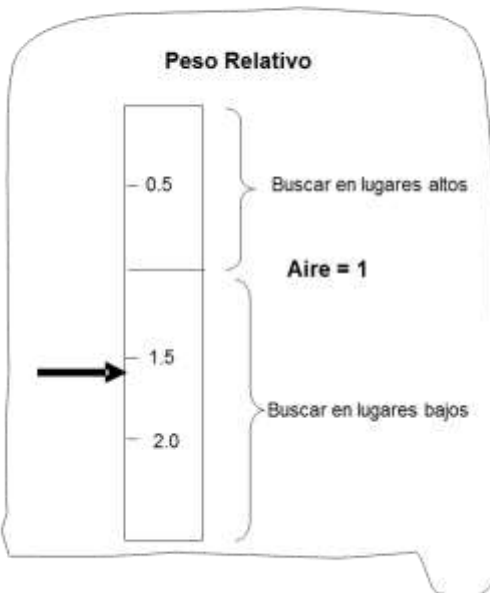
<b>METANO (CH<sub>4</sub>)</b>	
<p>Gravedad específica: 0.5545                      Rango explosivo: 5 a 15% en aire conteniendo cuando menos 12.1% de oxígeno</p>	<p><b>Otras propiedades</b></p> <p>Color: ninguno                      Olor: sulfuroso                      Sabor: amargo, ácido</p>
<p style="text-align: center;"><b>Peso Relativo</b></p> <p style="text-align: center;">Aire = 1</p>	<p><b>Causa u Origen</b> Puede ser producido por:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. El estrato cuando el esquisto carbonífero es penetrado</li> <li>2. Ocasionalmente cuando la roca carbonífera es contactada o está en la cercanía</li> <li>3. Los alimentadores de algunas vetas de arcilla.</li> <li>4. La descomposición de bloques de madera</li> <li>5. Cuando el agua es removida de la mina</li> </ol>
	<p><b>Riesgos a la salud</b>                      No es tóxico. Puede causar asfixia en concentraciones altas. El aspecto más peligroso es el hecho de que es explosivo.</p>
	<p><b>Detección</b>                      Use un detector de metano o análisis químico. <u>Mantenga los detectores arriba de la cabeza.</u> Pruebe cuando la ventilación normal es interrumpida Y al entrar a lugares abandonados.</p>

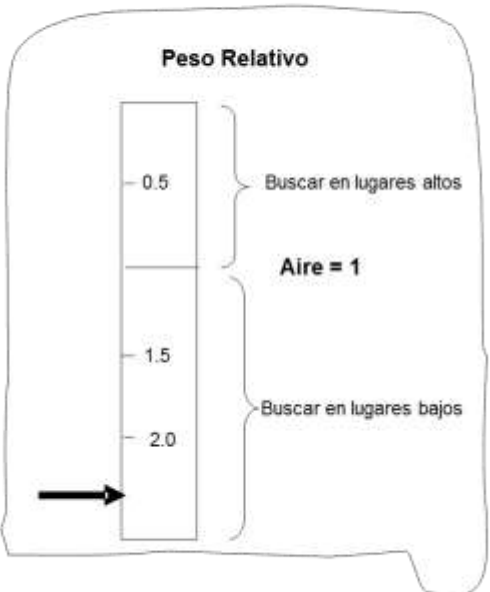
<b>MONOXIDO DE CARBONO ( CO )</b>	
<p>Gravedad específica: 0.9672 Rango explosivo: 12.5 a 74.2% en aire normal</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <p style="text-align: center;"><b>Peso Relativo</b></p> </div>	<p><b>Otras propiedades</b></p> <p>Color: ninguno Olor: ninguno Sabor: ninguno</p> <hr/> <p><b>Causa u Origen</b> Producido por la combustión incompleta de materiales de carbono, por incendios de mina y explosiones, quema o detonaciones de explosivos y por los motores de combustión interna.</p> <hr/> <p><b>Riesgos a la salud</b> Extremadamente tóxico aún en concentraciones bajas. Interfiere con la capacidad de la sangre para llevar oxígeno. Primer síntoma: tensión en la frente. Efectos acumulativos al paso del tiempo. Si se expone a concentraciones altas, usted experimenta muy pocos síntomas antes de perder el sentido.</p> <hr/> <p><b>Detección</b> Puede ser detectado por medio de un detector de CO, detector de gases múltiples, análisis químico. <u>Mantenga el detector al nivel del tórax.</u> Pruebe tan seguido como sea necesario durante la exploración de la cuadrilla.</p>

<b>OXIGENO (O<sub>2</sub>)</b>	
<p>Gravedad específica: 1.1054 Rango explosivo: Apoya la combustión</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <p style="text-align: center;"><b>Peso Relativo</b></p> </div>	<p><b>Otras propiedades</b></p> <p>Color: ninguno Olor: ninguno Sabor: ninguno</p> <hr/> <p><b>Causa u Origen</b> El aire contiene 21% de oxígeno. El oxígeno es necesario para la vida. La deficiencia de oxígeno es causada por la respiración de humanos en espacios confinados, ventilación insuficiente, desplazamiento por otros gases, o consumo por incendios o explosión.</p> <hr/> <p><b>Riesgos a la salud</b> Deficiencia de oxígeno 17% Jadeo 15% tensión en la frente, malestar de cabeza, mareo 9% inconciencia 6% muerte</p> <hr/> <p><b>Detección</b> Use ya sea un indicador de oxígeno, lámpara de seguridad no inflamable, o análisis químico. <u>Mantenga sus detectores portátiles a la altura de la cintura.</u> Haga pruebas de deficiencia de oxígeno tan frecuentes como sea necesario durante la exploración de la cuadrilla.</p>

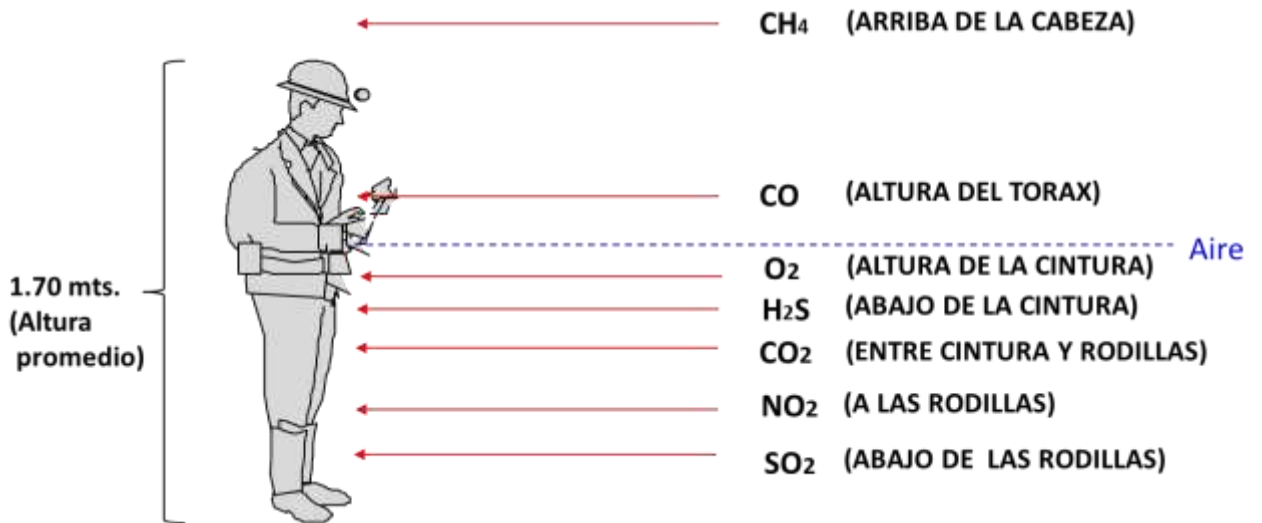
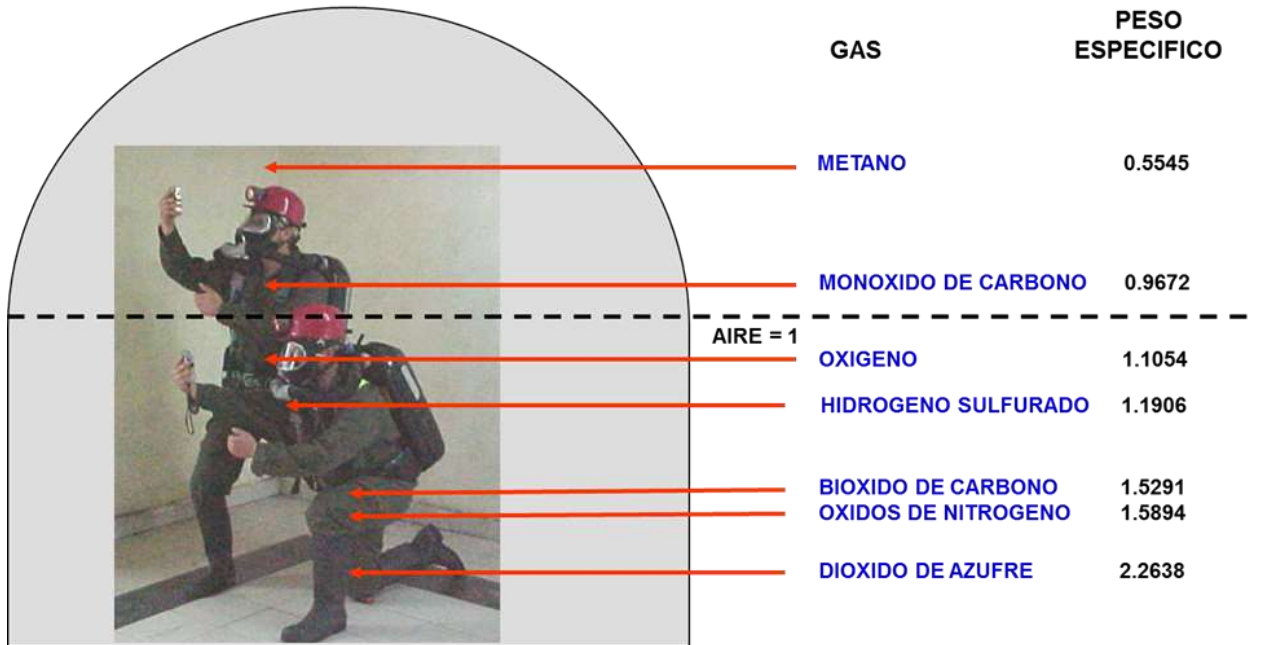
<b>SULFURO DE HIDROGENO (H<sub>2</sub>S)</b>	
<p>Gravedad específica: 1.1906 Rango explosivo: 4.3 a 45.5% en aire normal</p>	<p><b>Otras propiedades</b></p> <p>Color: ninguno Olor: huevo podrido Sabor: ligero sabor dulce</p>
	<p><b>Causa u Origen:</b> Producido cuando los compuestos de sulfuro se descomponen. Encontrado en ciertos campos de petróleo y gas y en algunas minas de yeso. Puede ser liberado de:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Alimentadores de metano</li> <li>2. Cuando el agua ácida de la mina corroe los sulfuros metálicos</li> <li>3. Del agua de mina que contiene el gas en solución</li> <li>4. Cuando los sulfuros son calentados en presencia de la humedad.</li> <li>5. Cuando los minerales del sulfuro son volados.</li> </ol>
	<p><b>Riegos a la salud:</b> Extremadamente venenoso, de 0.005a0.010% causa inflamación de los ojos y de la vía respiratoria, de 0.02 a 0.07% puede conducir a la bronquitis o neumonía, de 0.07 a 0.20% puede causar una rápida pérdida del sentido, dejar de respirar, y la muerte, de 0.10 a 0.20% o más puede causar una muerte rápida.</p>
	<p><b>Detección:</b> Use un detector de sulfuro de hidrogeno, detector de gases múltiples o análisis químico. <u>Mantenga el detector por debajo de la cintura.</u> revise áreas pobremente ventiladas de la mina durante operaciones de quitar sellos y después de incendios en la mina.</p>

<b>DIOXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)</b>	
<p>Gravedad específica: 1.5291 Rango explosivo: No explosivo</p>	<p><b>Otras propiedades</b></p> <p>Color: ninguno Olor: ninguno Sabor: Las concentraciones altas pueden producir un sabor ácido</p>
	<p><b>Causa u Origen:</b> El CO<sub>2</sub> es un componente normal del aire. Producto de la combustión completa. Es también producido por:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Oxidación</li> <li>2. Por la descomposición de bloques (de madera)</li> <li>3. Como un subproducto de la respiración</li> <li>4. Durante incendios, explosiones y voladura.</li> </ol>
	<p><b>Riegos a la salud:</b> En altas concentraciones, el CO<sub>2</sub> aumenta el ritmo de la respiración. Puede causar la muerte.</p>
	<p><b>Detección:</b> Use un detector de dióxido de carbono, detector de gases múltiples o análisis químico. <u>Mantenga el detector entre la cintura y rodillas.</u> Pruebe después de un incendio o explosión y al entrar en un área inactiva de la mina al reabrir un área vieja o sellada.</p>

<b>OXIDOS DE NITROGENO (NO<sub>2</sub>)</b>	
Gravedad específica: 1.5894 Rango explosivo: No explosivo	<b>Otras propiedades :</b>  Color: Café rojizo Olor: Humo de pólvora Sabor: Humo de pólvora
 <p style="text-align: center;"><b>Peso Relativo</b></p> <p style="text-align: center;">0.5 } Buscar en lugares altos</p> <p style="text-align: center;">Aire = 1</p> <p style="text-align: center;">1.5 } ← Flecha</p> <p style="text-align: center;">2.0 } Buscar en lugares bajos</p>	<b>Causa u Origen :</b> Puede ser producido por: 1. Incendios 2. Detonación y quema de explosivos 3. Motores diesel 4. En la presencia de arcos eléctricos o chispas, el nitrógeno en el aire se combina con el oxígeno (Se oxida) para formar óxidos de nitrógeno.
	<b>Riegos a la salud :</b> Muy tóxico, aún en pequeñas cantidades irritarán su garganta. Se mezcla con la humedad en los pulmones para formar ácidos que corrompen las vías respiratorias y provocan que se inflamen. La exposición a 0.01 al 0.015% es peligrosa. La exposición al 0.02 al 0.07% puede ser fatal.
	<b>Detección :</b> Detector de dióxido de nitrógeno, detector de gases múltiples, análisis químico, color. Pruebe después de un incendio o explosión y después de la detonación de explosivos. Pruebe en áreas donde el equipo diésel sea encontrado. <u>Use el detector a la altura de las rodillas.</u>

<b>DIOXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)</b>	
Gravedad específica: 2.2638 Rango explosivo: no arderá ni explotará	<b>Otras propiedades :</b>  Color: ninguno Olor: sulfuroso Sabor: amargo, ácido
 <p style="text-align: center;"><b>Peso Relativo</b></p> <p style="text-align: center;">0.5 } Buscar en lugares altos</p> <p style="text-align: center;">Aire = 1</p> <p style="text-align: center;">1.5</p> <p style="text-align: center;">2.0 } ← Flecha</p> <p style="text-align: center;">} Buscar en lugares bajos</p>	<b>Causa u Origen :</b> Puede ser producido por: 1. Voladuras en mineral de sulfuro y por incendios conteniendo pirita ferrosa 2. Durante la quema de algunos combustibles diesel 3. Explosiones de sulfuros.
	<b>Riegos a la salud :</b> Muy tóxico, peligroso aún en concentraciones pequeñas
	<b>Detección :</b> Use un detector de gases múltiples o análisis químico. <u>Pruebe por abajo de las rodillas y cerca de fosas durante operaciones de quitar sellos y después de incendios o explosiones en la mina.</u>

## Monitoreo de gases



**NOTA:** El aire normal es la referencia para el peso específico de los gases, este tiene un valor de uno (1) y su muestreo es a la altura del ombligo.



- **Equipo para detección de gases**

Los equipos para detección de gases comúnmente usados por las cuadrillas de rescate son los detectores de gas portátiles, los cuales pueden ser para un solo gas o multigases, estos generalmente son para cuatro gases. También se utilizan bombas con tubos de succión para muestreo del aire, tipo jeringa.

**Detectores portátiles de gases:**



**Detector multigases portátil**



## Detectores portátiles de oxígeno e hidrógeno sulfurado



## Bomba y tubos para muestreo del aire



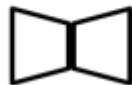
## Simbología de gases en minas



PRUEBA DE GASES



DIRECCION DEL FLUJO DELAIRE



VENTILADOR



VENTILADOR CON MANGAS O  
TUBOS DE VENTILACION



MEZCLA DE GASES



HUMO