



INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL

Módulo V

- El aire de mina y sus contaminantes.
- Circuito de ventilación.
- Cálculo de la cobertura.



Ventilación de Minas



• Sub Capítulo VIII

- **“Artículo 246.-** El titular de actividad minera debe velar por el suministro de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a las necesidades del trabajador, de los equipos y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador, así como para mantener condiciones termo-ambientales confortables.
- Todo sistema de ventilación en la actividad minera, en cuanto se refiere a la calidad del aire, debe mantenerse dentro de los límites de exposición ocupacional para agentes químicos de acuerdo al ANEXO 15 y lo establecido en el Reglamento sobre Valores Límite Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo, aprobado por Decreto Supremo N° 015-2005-SA o la norma que lo modifique o sustituya. Además debe cumplir lo siguiente:
- a) Al inicio de cada jornada o antes de ingresar a labores mineras, en especial labores ciegas programadas, como son chimeneas y piques, deben realizarse mediciones de gases de monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de nitrógeno, oxígeno y otros, de acuerdo a la naturaleza del yacimiento, al uso de explosivos y al uso de equipos con motores petroleros, las que deben ser registradas y comunicadas a los trabajadores que tienen que ingresar a dicha labor.
- b) En todas las labores subterráneas se debe mantener una circulación de aire limpio y fresco en cantidad y calidad suficientes de acuerdo con el número de trabajadores, con el total de HPs de los equipos con motores de combustión interna, así como para la dilución de los gases que permitan contar en el ambiente de trabajo con un mínimo de diecinueve punto cinco por ciento (19.5 %) de oxígeno.
- c) Las labores de entrada y salida de aire deben ser absolutamente independientes. El circuito general de ventilación se debe dividir en el interior de las minas en ramales para hacer que todas las labores en trabajo reciban su parte proporcional de aire fresco, evitando toda recirculación de aire.
- d) Cuando la ventilación natural no sea capaz de cumplir los artículos precedentes, debe emplearse ventilación mecánica, instalando ventiladores principales, secundarios o auxiliares, según las necesidades.

• Fuente: MEM.

- e) Los ventiladores principales, secundarios y auxiliares deben ser instalados adecuadamente, para evitar cualquier posible recirculación del aire. No está permitido que los frentes de desarrollo, de chimeneas y labores de explotación sean ventiladas con aire usado.
- f) En labores que posean sólo una vía de acceso y que tengan un avance de más de sesenta metros (60 m), es obligatorio el empleo de ventiladores auxiliares. En longitudes de avance menores a sesenta metros (60 m) se debe emplear también ventiladores auxiliares sólo cuando las condiciones ambientales así lo exijan.
- En las labores de desarrollo y preparación se deben instalar mangas de ventilación a no más de quince metros (15 m) del frente de disparo.
- g) Cuando existan indicios de estar cerca de una cámara subterránea de gas o posibilidades de un desprendimiento súbito de gas, se deben efectuar taladros paralelos y oblicuos al eje de la labor, con por lo menos diez metros (10 m) de avance.”
- **Artículo 247.-** En los lugares de trabajo de las minas ubicadas hasta mil quinientos (1,500) metros sobre el nivel del mar, la cantidad mínima de aire necesario por hombre será de tres metros cúbicos por minuto (3 m³/min). En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo a la siguiente escala:
- 1. De 1,500 a 3,000 msnm aumentará en 40% que será igual a 4 m³/min
- 2. De 3,000 a 4,000 msnm aumentará en 70% que será igual a 5 m³/min
- 3. Sobre los 4,000 msnm aumentará en 100% que será igual a 6 m³/min
- **Artículo 248.-** En ningún caso la velocidad del aire será menor de veinte metros por minuto (20 m/min) ni superior a doscientos cincuenta metros por minuto (250 m/min) en las labores de explotación, incluido el desarrollo y preparación. Cuando se emplee explosivo ANFO u otros agentes de voladura, la velocidad del aire no será menor de veinticinco metros por minuto (25 m/min).

• Fuente: MEM.

- **“Artículo 249.-** Se toman todas las providencias del caso para evitar el deterioro y paralización de los ventiladores principales. Dichos ventiladores deben cumplir las siguientes condiciones:
- 1. Ser instalados en casetas incombustibles y protegidas contra derrumbes, golpes, explosivos y agentes extraños. Los ventiladores en superficie, así como las instalaciones eléctricas deben contar con cercos perimétricos adecuados para evitar el acceso de personas extrañas.
- Contar con otras precauciones aconsejables según las condiciones locales para protegerlas.
- 2. Tener, por lo menos, dos (2) fuentes independientes de energía eléctrica que, en lo posible, deben llegar por vías diferentes.
- 3. Estar provistos de silenciadores para minimizar los ruidos en áreas de trabajo o en zonas con poblaciones donde puedan ocasionar perjuicios en la salud de las personas.
- 4. Estar provistos de dispositivos automáticos de alarma para caso de paradas. (*)
- 5. Cumplir estrictamente las especificaciones técnicas.
- **(*) De conformidad con la Única Disposición Complementaria Transitoria del Decreto Supremo N° 023-2017-EM, publicado el 18 agosto 2017, se otorga un plazo de trescientos sesenta días calendario, contados desde el día siguiente de la publicación del citado Decreto Supremo, para la implementación del numeral 4 del presente artículo.**
- **Artículo 250.-** En casos de falla mecánica o eléctrica de los ventiladores principales, secundarios y auxiliares que atienden labores mineras en operación, éstas deben ser paralizadas y clausuradas su acceso, de forma que se impida el pase de los trabajadores y equipos móviles hasta verificar que la calidad y cantidad del aire haya vuelto a sus condiciones normales. Los trabajos de restablecimiento serán autorizados por el ingeniero supervisor.

• Fuente: MEM.

- **“Artículo 251.-** Para los ventiladores principales con capacidades iguales o superiores a 2,831 metros cúbicos por minuto o su equivalente de 100,000 pies cúbicos por minuto, se deben instalar paneles de control que permitan su monitoreo de operación, su regulación a parámetros requeridos, la emisión de señales de alarma en caso de paradas y el arranque automático de los equipos de emergencia en caso de un corte de energía.
- Para el caso de ventiladores extractores de aire usado, el monitoreo también comprende el contenido de gases de monóxido de carbono, gases nitrosos, oxígeno y temperatura en el aire circulante.
- Los paneles de control deben contar con baterías de respaldo que les permita seguir funcionando en caso de fallas en el suministro de energía eléctrica.
- La operación de los paneles de control se realiza sólo por la supervisión autorizada.” (*)
- **(*) De conformidad con la Única Disposición Complementaria Transitoria del Decreto Supremo N° 023-2017-EM, publicado el 18 agosto 2017, se otorga un plazo de trescientos sesenta días calendario, contados desde el día siguiente de la publicación del citado Decreto Supremo, para la implementación del presente artículo.**
- **“Artículo 252.-** Se deben efectuar evaluaciones integrales del sistema de ventilación de una mina subterránea cada semestre y evaluaciones parciales del mismo cada vez que se produzcan
- conexiones de labores y cambios en los circuitos de aire. Dichas evaluaciones deben ser realizadas por personal especializado en la materia de ventilación.
- Asimismo, se deben efectuar controles permanentes de ventilación en las labores de exploración, desarrollo, preparación y explotación donde haya personal trabajando.
- La evaluación integral de ventilación debe considerar:
- a) Ubicación de estaciones de control de ventilación.

• Fuente: MEM.

- b) Circuitos de aire de la mina.
- c) Balance de ingresos y salidas de aire de la mina. La diferencia de caudales de aire entre los ingresos y salidas de aire no debe exceder el diez por ciento (10 %).
- d) La demanda de aire de la mina debe ser la cantidad de aire requerida por los trabajadores, para mantener una temperatura de confort del lugar de trabajo y para la operación de los equipos petroleros. Cuando en la operación no se usen equipos con motor petrolero debe considerarse el aire requerido para diluir los gases de las voladuras de acuerdo al ANEXO 38.
- La madera empleada al interior de la mina para labores de sostenimiento, entre otras, genera emisiones de gases de CO₂ y CH₄, factor que debe ser tomado en cuenta para el cálculo del aire necesario al interior de la mina. Este factor se determina de manera proporcional a la producción. Para el cálculo debe considerarse la siguiente escala:
- - Si el consumo de madera es del 20 % hasta el 40 % del total de la producción, el factor de producción debe ser de 0.60 m³/min.
- - Si el consumo de madera es del 41 % hasta el 70 % del total de la producción, el factor de producción debe ser de 1.00 m³/min.
- - Si el consumo de madera es mayor al 70 % del total de la producción, el factor de producción debe ser de 1.25 m³/min.
- Para mantener la temperatura de confort en el lugar de trabajo, se debe considerar en el cálculo del requerimiento de aire una velocidad mínima de 30 m/min, cuando la temperatura se encuentre en el rango de 24°C hasta 29°C como máximo.
- e) El requerimiento de aire para los equipos que operan con motores petroleros no debe ser menor de tres (3) m³/min, por la capacidad efectiva de potencia (HPs) y en función a su disponibilidad mecánica y utilización de acuerdo a la evaluación realizada por la titular de

• Fuente: MEM.

- actividad minera que considere también la altitud, el calor de los motores y las emisiones de gases y partículas en suspensión.
- f) Cobertura de la demanda de aire de la mina con el aire que ingresa a la misma.
- g) Cobertura de las demandas de aire en las labores de exploración, desarrollo, preparación y explotación de la mina.
- h) Mediciones de oxígeno, dióxido de carbono, gases tóxicos y temperatura ambiental en las vías principales de la mina y labores en operación.
- i) Ubicación de ventiladores, indicando capacidad de diseño y operación.
- j) Disponibilidad de las curvas de rendimiento de los ventiladores.
- k) Planos de ventilación de la mina, indicando los circuitos de aire y estaciones de control, ubicación de ventiladores, puertas de ventilación, tapones y otros.
- Las evaluaciones de ventilación y mediciones de la calidad del aire se deben hacer con instrumentos adecuados y con calibración vigente para cada necesidad.”
- Las evaluaciones de ventilación y mediciones de la calidad del aire se deben hacer con instrumentos adecuados y con calibración vigente para cada necesidad.”
- **Artículo 253.-** Está terminantemente prohibido el ingreso de vehículos con motores de combustión a gasolina a minas subterráneas.
- **“Artículo 254.-** En las labores mineras subterráneas donde operan equipos con motores petroleros deben adoptarse las siguientes medidas de seguridad:

• Fuente: MEM.

- a) Los equipos deben estar diseñados para asegurar que las concentraciones de emisión de gases al ambiente de trabajo sean las mínimas técnicamente posibles y las concentraciones en el ambiente de trabajo se encuentren siempre por debajo del límite de exposición ocupacional para agentes químicos los que se encuentran detallados en el ANEXO 15 del presente reglamento.
- Para la toma de muestras debe darse cumplimiento a las disposiciones aprobadas por la autoridad de salud, Decreto Supremo N° 015-2005-SA, sus normas complementarias y sustitutorias.
- b) La cantidad de aire circulante debe asegurar que las emisiones de gases en sus escapes no superen las concentraciones indicadas en los literales c), d) y e) subsiguientes.
- c) Monitorear y registrar semanalmente las concentraciones de monóxido de carbono (CO) en el escape de los equipos operando en el interior de la mina, las que se deben encontrar por debajo de quinientos (500) partes por millón (ppm) de CO.
- d) Monitorear y registrar semanalmente concentraciones de dióxido de nitrógeno en el escape de las máquinas operando en interior mina, no debiendo superar cien (100) partes por millón (ppm) de NO₂.
- e) Las operaciones de los equipos petroleros se deben suspender, prohibiendo su ingreso a labores de mina subterránea, en los siguientes casos:
 1. Cuando las concentraciones de monóxido de carbono (CO) y/o gases de dióxido de nitrógeno (NO₂) en el ambiente de trabajo se encuentren por encima del límite de exposición ocupacional para agentes químicos establecidos en el ANEXO 15 del presente reglamento.
 2. Cuando la emisión de gases por el escape de dicha máquina exceda de quinientos (500) ppm de monóxido de carbono o de cien (100) ppm de dióxido de nitrógeno, medidos en las labores subterráneas donde desarrollen sus actividades.
- f) Establecer y ejecutar programas mensuales de mantenimiento preventivo de los equipos, de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes, para reducir las emisiones de gases y material particulado (hollín) de los motores petroleros."

• Fuente: MEM.

- **“Artículo 255.-** En toda mina subterránea, donde se utilicen explosivos y equipos con motores petroleros, el titular de actividad minera debe proveer a sus trabajadores el respirador de auto rescate para su protección contra gases de monóxido de carbono, en función a la evaluación de riesgo de los trabajos a realizarse. Estos respiradores son utilizados por los trabajadores sólo en casos de emergencia individual o colectiva cuando estos gases pongan en riesgo inminente su vida, para salir de la mina o para ubicarse en una zona de aire fresco. Estos respiradores deben estar fabricados para una protección mínima de treinta (30) minutos.”
- **Artículo 256.-** En las labores mineras subterráneas donde haya liberación de gases o labores abandonadas gaseadas deberán adoptarse las siguientes medidas de seguridad:
 - a) Contar con equipos de ventilación forzada capaz de diluir los gases a concentraciones por debajo del límite de exposición ocupacional para agentes químicos.
 - b) Clausurar las labores por medio de puertas o tapones herméticos que impidan el escape de gases y señalizarlos para evitar el ingreso de personas.
- **Artículo 257.-** La sala o estación de carguío de baterías, deberán estar bien ventiladas con un volumen suficiente de aire para prevenir la acumulación de gas hidrógeno.
- La sala o estación debe tener avisos de prohibición de fumar, del uso de llamas abiertas o del desarrollo de otras actividades que pudieran crear una fuente de ignición durante la actividad de cargado de baterías.
- Para el funcionamiento de la sala o estación en el subsuelo, previamente se deberá presentar a la autoridad competente la memoria descriptiva, el plano de ubicación y el plano de ventilación. El cumplimiento de esta obligación será verificado en la fiscalización que realice la autoridad competente.

• Fuente: MEM.

- **Ventilación en Minas de Carbón**

- **Artículo 258.-** En las minas de carbón, en materia de ventilación, se cumplirá lo siguiente:
 - a) La cantidad mínima de aire por hombre deberá ser de cuatro punto cinco metros cúbicos por minuto (4.5 m³/min) hasta mil quinientos (1,500) metros sobre el nivel del mar. Esta proporción será aumentada de acuerdo con la escala establecida en el artículo 247 del presente reglamento.
 - b) Los ventiladores de presión negativa o ventiladores aspirantes para la extracción del aire de mina, así como sus tableros, controles y su sistema eléctrico, deberán ser a prueba de presencia de gases y de atmósfera explosiva.
 - c) Los ventiladores principales deberán operar continuamente. En caso de falla, todos los trabajadores deberán ser retirados de la mina y sólo podrán volver después de verificar que la calidad y cantidad del aire haya vuelto a sus condiciones normales.
 - d) Queda prohibido el empleo de ventiladores secundarios así como ventilación auxiliar aspirante.
 - e) Los ventiladores auxiliares impelentes para una mina de carbón deberán tener un motor eléctrico o un motor de aire comprimido apropiado. En el caso que el motor sea eléctrico, éste deberá ser colocado en corriente de aire fresco.
 - f) Todas las puertas de ventilación deben ser de cierre automático y a prueba de fuga de aire, prohibiéndose terminantemente el empleo del espacio entre un par de puertas como depósito de madera u otros materiales, aunque sea en forma transitoria.
- **Artículo 259.-** Toda zona de trabajo será clasificada como “gaseada” en el caso que el gas metano de dicha zona se encuentre en concentración superior al límite de exposición ocupacional establecido en cero punto cinco por ciento (0.5%), por lo que se deberá tener en cuenta:

• Fuente: MEM.

• 03/07/24

- **Artículo 259.-** Toda zona de trabajo será clasificada como “gaseada” en el caso que el gas metano de dicha zona se encuentre en concentración superior al límite de exposición ocupacional establecido en cero punto cinco por ciento (0.5%), por lo que se deberá tener en cuenta:
 - a) La cantidad de aire por persona será el doble de la señalada en el literal a) del artículo precedente.
 - b) Se analizará el aire de retorno de las zonas “gaseadas” y se determinará cada hora el contenido de metano en el ambiente de las labores correspondientes a dichas zonas.
 - c) En el caso de identificarse condiciones que representen un peligro potencial de explosión el personal autorizado de la mina tomará de inmediato las medidas necesarias para eliminar dicha situación.
 - d) En el caso del literal anterior, se evacuará de la mina a todos los trabajadores hasta que las condiciones ambientales de la mina sean normales.

Otros artículos que mencionan la ventilación.

33, 34, 74, 75, 131, 132, 214, 221, 226, 245, 280, 315, 325, 340, 380, 394, 397, 401, 402, 404, Anexo 1,

• Fuente: MEM.

• Módulo VIII K.V.C.P.

• 8

LÍMITES PERMISIBLES.

• Cuadro 1

Nº	Agentes Químicos (en el aire)	Límites de Exposición Ocupacional					
		TWA		STEL		Techo (C)	
1	Acetona	500	ppm	750	ppm		
2	Ácido Acético	10	ppm	15	ppm		
3	Ácido Clorhídrico					2	ppm
4	Ácido Nítrico	2	ppm	4	ppm		
5	Acido Sulfhídrico (H ₂ S)	10	ppm	15	ppm		
6	Amoníaco Anhidro	25	ppm	35	ppm		
7	Anhídrido Sulfuroso (SO ₂)	2	ppm	5	ppm		
8	Antimonio	0.5	mg/m ³				
9	Arseniato de Plomo	0.15	mg/m ³				
10	Arseniato de Calcio	1	mg/m ³				
11	Arsénico (can)	0.01	mg/m ³ A1				
12	Benceno (can)	0.5	ppm (p)				
13	Cianuro (Como CN)					5	mg/m ³ (p)

• Fuente: MEM.

• Cuadro 2

14	Cianuro de Hidrogeno (HCN)					4.7	ppm(p)
15	Cloro	0.5	ppm	1	ppm		
16	Clorobenceno	10	ppm	20	ppm		
17	Cloroformo	10	ppm				
18	Cobre (humo)	0.2	mg/m ³				
19	Cobre (polvo/neblina)	1	mg/m ³				
20	Dióxido de Carbono	5000	ppm	30000	ppm		
21	Dióxido de Nitrógeno	3	ppm	5	ppm		
22	Éter Etilico	400	ppm	500	ppm		
23	Fluoruro de Hidrogeno (HF)					2.5	mg/m ³
24	Formaldehído					0.3	ppm
25	Fosgeno	0.1	ppm				
26	Gasolina	500	ppm				
27	Hidrógeno (H)					5000	ppm
28	Humo de Cadmio (can)	0.01	mg/m ³				
29	Humo de Óxido Férrico	5	mg/m ³				
30	Manganeso	0.2	mg/m ³				

• Fuente: MEM.

LÍMITES PERMISIBLES.

• Cuadro 3

31	Mercurio	0.025	mg/m ³ (p)				
32	Metano (CH ₄)					5000	ppm
33	Monóxido de Carbono (CO)	25	ppm				
34	Mónóxido de Nitrogeno	25	ppm				
35	Neblina de acido sulfúrico	1	mg/m ³	3	mg/m ³		
36	Oxígeno (O ₂)	19.5	%			22.5	%
37	Ozono Trabajo Pesado	0.05	ppm				
38	Ozono Trabajo Moderado	0.08	ppm				
39	Ozono Trabajo Ligero	0.1	ppm				
40	Ozono Trabajo Cualquiera (<= 2 horas)	0.2	ppm				
41	Plomo	0.05	mg/m ³				
42	Polvo de Carbón - Antracita	0.4	mg/m ³				
43	Polvo de Carbón - Bituminoso	0.9	mg/m ³				
44	Polvo inhalable (1)	10	mg/m ³				

• Fuente: MEM.

• 03/07/24

• Cuadro 4

45	Polvo respirable (1)	3	mg/m ³				
46	Selenio	0.2	mg/m ³				
47	Sílice Cristalino Respirable (Cristobalita)	0.05	mg/m ³				
48	Sílice Cristalino Respirable (Cuarzo)	0.05	mg/m ³				
49	Sílice Cristalino Respirable (Tridimita)	0.05	mg/m ³				
50	Sílice Cristalino Respirable (Tripoli)	0.1	mg/m ³				
51	Talio, Compuestos solubles de	0.1	mg/m ³ (p)				
52	Telurio	0.1	mg/m ³				
53	Tetracloruro de Carbono	5	ppm(p)	10	ppm(p)		
54	Tolueno	50	ppm(p)				
55	Uranio, Compuesto solubles e insolubles	0.2	mg/m ³	0.6	mg/m ³		
56	Vanadio, Polvos de V ₂ O ₅	0.5	mg/m ³				
57	Vanadio, Humos metálicos de V ₂ O ₅	0.1	mg/m ³				
58	Zinc (humo)	2	mg/m ³	10	mg/m ³		

• Fuente: MEM.

• Módulo VIII K.V.C.P.

• 10

Concepto.

- La ventilación es la aplicación de los principios de la mecánica de fluidos al flujo de aire en excavaciones subterráneas.
- Es la gestión de la atmósfera de mina, manteniéndola en un rango de parámetros adecuados.

Importancia:

- Es uno de los factores más importantes en la seguridad del personal porque reduce o elimina los riesgos de catástrofes y accidentes bajo tierra, al tiempo que mejora sustancialmente el rendimiento de las operaciones.

- Fuente: Propia.

Alcance

- Estudio y monitoreo de la calidad de aire.
- Estudio y monitoreo del clima producido por la atmósfera de la mina.
- Estudio y monitoreo del caudal y movimiento de aire en la mina.

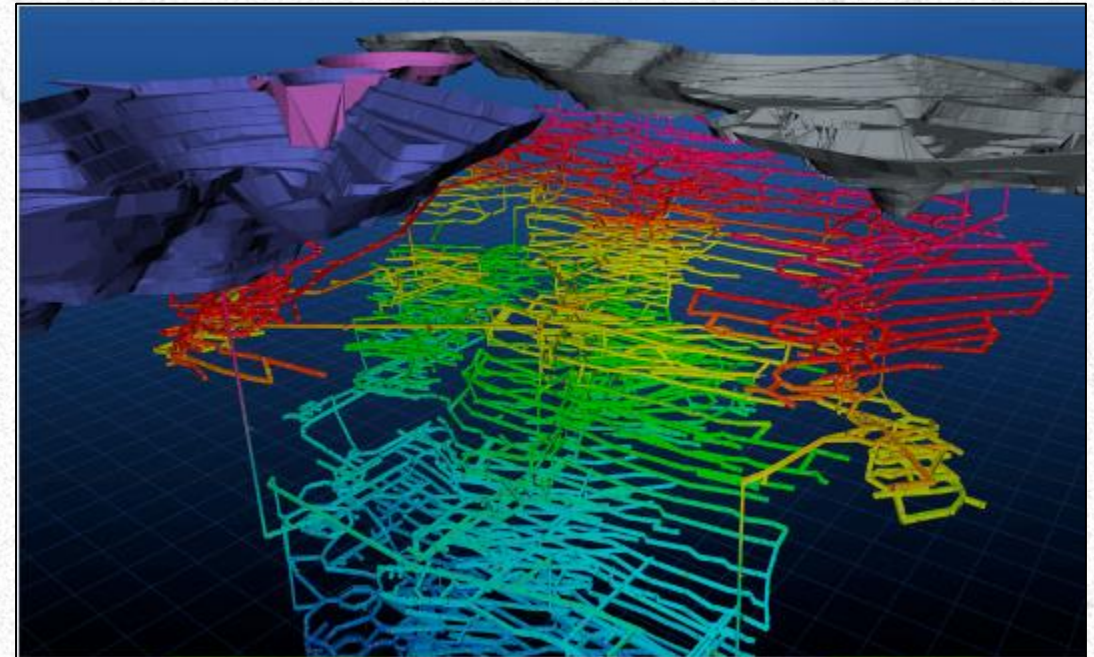
- Fuente: Propia.

COMPLEJIDAD DE LA VENTILACIÓN DE UNA MINA.

- La profundidad, los espacios limitados de trabajo y la dispersión de los distintos tipos de infraestructura en ejecución en distintas zonas (desarrollo, preparación, explotación) son los mayores retos que enfrentan los ingenieros de ventilación al momento del diseño.
- Adicionalmente a lo mencionado hay otros factores importantes que deben ser revisados continuamente para que la ventilación cumpla con los requisitos mínimos para el buen desempeño de la operación de manera eficiente y estos son:
 - Infraestructuras de control y direccionamiento de flujos.
 - Operación adecuada de los ventiladores.
 - Diseños inadecuados.
- “Los problemas asociados a los sistemas de ventilación se pueden dividir en tres ámbitos:”
 - Error en el diseño, normalmente asociado a información deficiente en términos de los aspectos relevantes a tener en cuenta.
 - Implementación y mantenimiento deficiente vinculados a malas prácticas, como es usar el ventilador que estaba disponible y no el requerido, o una manga de menor tamaño, o no mantener las mangas de forma adecuada parchando los agujeros y sin reemplazarlas cuando es necesario.
 - El cambio de requerimientos una vez que el sistema ya fue diseñado, provocando que sea deficiente al momento de implementarlo.”

• Fuente: J.H.H.

• Fig. 1



• Fuente: Internet.

CARACTERÍSTICAS DE LA ATMÓSFERA DE LA MINA.

- **La atmósfera de la mina es una mezcla de gases, polvo y partículas:**

- Oxidaciones (originadas en la respiración, descomposición de materia orgánica, motores de combustión interna, explosivos, etc.): CO₂, CO, NO, NO₂, SO₂, material particulado.
- Gases propios por la naturaleza de la mina: CH₄, SH₂.
- Polvo de roca procedentes de trabajos de laboreo minero: polvos de carbón y de roca (sílice).
- Otras sustancias.

- **Factores que afectan la atmósfera:**

- Temperatura (profundidad, calor corporal, maquinaria, oxidaciones, etc.).
- Humedad.
- Grado de contaminación.

- Fuente: J.H.H.

- **Composición de la atmósfera.**

- El aire respirable es una mezcla gaseosa que contiene 21% de oxígeno y 78% de nitrógeno (volumen), además de tener trazas de dióxido de carbono y vapor de agua y unas pequeñas cantidades de gases raros como He, Ne, Ar, Kr. De estos últimos el argón se encuentra en cantidades apreciables.

- Cuadro 5

Composición del aire seco		
Gas	% en volumen	% en peso
Nitrógeno - N ₂	78,09	75,53
Oxígeno - O ₂	20,95	23,14
Anh. Carbónico - CO ₂	0,03	0,046
Argón y otros	0,93	1,284

- Fuente: J.H.H.

• Cuadro 6

• Principales contaminantes .

- Monóxido de carbono (CO).
 - Dióxido de carbono (CO₂).
 - Sulfuro de hidrógeno (SH₂).
 - Dióxido de azufre (SO₂).
 - Hidrógeno (H₂).
 - Gases nitrosos (NO + NO₂).
 - Polvo de roca.
 - Minerales radioactivos (Rn y Th).
- Estos componentes del aire pueden ser peligrosos para las personas si las concentraciones altas tanto por su nocividad como por la disminución de oxígeno que generan indirectamente.

• Fuente: J.H.H.

GAS	DENS.REL. (aire=1)	EFEECTO	ORIGEN	CONCENTR.ADM. (MAX)
CO	0'97	Tóxico (Explosivo)	Oxid. carbón Combust. incompl. Voladura	50 ppm (100)
CO ₂	1'53	Asfixiante	Formación Combustión Voladura	5000 ppm (12500)
NO+NO ₂	1'59	Tóxico	Motores térmicos Voladura	10 ppm (25)
SH ₂	1'19	Tóxico (Explosivo)	Acción del agua sobre pirita ó yeso	10 ppm (50)
SO ₂	2'26	Tóxico	Combustión pirita Motores térmicos Voladura en pirita	5 ppm (10)
H ₂	0'07	Explosivo	Formación Gasificación carbón Recarga de baterías	1000 ppm (10000)
CH ₄	0'55	Explosivo	Formación	8000 ppm (15000)
ALDEHIDOS (C _n H _{2n} O)	1'17	Tóxico	Motores térmicos	(2 ppm)
RADON	7'66	Radiactivo	Formación	130000 Mev

• Fuente: J.H.H.

EFFECTOS POR LA FALTA DE OXÍGENO.

• Cuadro 7

Efectos de la falta de oxígeno	
Contenido de Oxígeno	Efectos
17 %	Respiración rápida y profunda. Equivale a 2.500 m.s.n.m.
15 %	Vértigo, vahídos, zumbido en oídos, aceleración latidos.
13 %	Pérdida de conocimiento en exposición prolongada.
9 %	Desmayo e inconsciencia.
7 %	Peligro de muerte. Equivale a 8.800 m.s.n.m.
6 %	Movimientos convulsivos, muerte.

• Fuente: J.H.H.

• Cuadro 8

CARACTERÍSTICA	METANO	MONOXIDO DE CARBONO	ACIDO SULFHDRIICO	GAS CARBONICO	NITROGENO	OXIGENO
Formula química	CH ₄	CO	H ₂ S	CO ₂	N ₂	O ₂
Gravedad específica	0.555	0.967	1.191	1.5291	0.967	1.105
Incidencia en el aire %	*	*	*	0.03	78.10	20.93
¿Es combustible?	SI	SI	SI	NO	NO	NO
¿Es soporte de la combustion?	NO	NO	NO	NO	NO	SI
¿Es venenoso?	NO	SI	SI	NO	NO	NO
¿Cómo se detecta?	Lámpara de seguridad Multidetector	Multidetector Análisis químico	Multidetector Análisis químico Tubo de control	Análisis químico Lámpara de seguridad	Análisis químico Lámpara de seguridad	Análisis químico Multidetector Lámpara de seguridad
Rango explosivo en el aire	5 a 15%	12.5 a 73%	4.3 a 46%	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Temperatura de ignición en °C	593 a749	593	371	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Origen	Ocluido en el carbón y mantos de arcilla; Descomposición de materia vegetal en el agua	Combustión incompleta; Fuegos de mina; explosiones de metano y en voladuras con dinamitas	En aguas de mantos de carbón; en formaciones de sal líneas de tubería tuberías en lugares pobremente ventilados	Combustión completa, pequeñas cantidades son encontradas en forma natural en el aire	Es encontrado en forma natural en el aire; la oxidación de carbón libera nitrógeno	Se encuentra naturalmente en el aire
¿Cuál es el efecto sobre la vida?	Causa la muerte por sofocación si es respirado en altas concentraciones; el efecto pasa al refrescarse en aire limpio de de metano	0.10% en el aire causa un colapso completo; excluye el oxígeno de la sangre	0.07% causa la muerte en una hora; muy venenoso; destruye el nervio del olfato	Causa la muerte por sofocación; reemplaza el oxígeno de la sangre; respiración difícil	Causa la muerte por sofocación; reemplaza el oxígeno de la sangre	Necesario para la vida

• Fuente: J.H.H.

CARACTERÍSTICAS DE LOS GASES DE MINA.

• Cuadro 9

CARACTERISTICA DE LOS GASES MÁS FRECUENTES EN LAS MINAS											
GAS	FORMULA QUIMICA	PESO ESPECIFICO Kg/m3	PROPIEDADES FISICAS	EFECTOS NOCIVOS	ORIGEN EN LOS TRABAJOS MINEROS	DETECCION Y APARATOS USADOS	VLP		PUNTO FATAL O VALOR PELIGROSO		OBSERVACIONES
							%	PPM	%	PPM	
OXIGENO	O2	1.1056	INCOLORO INODORO INSABORO	NO ES TOXICO	AIRE NORMAL	RESPIRACION LAMPARA DE BENCINA OXIGENOMETRO MULTIDECTOR	Min. 19		< 6%		El reglamento establece 6m3 min. por cada hombre en un frente subterráneo
NITROGENO	N2	0.9673	INCOLORO INODORO INSABORO SOFOCANTE	ASFIXIANTE	AIRE NORMAL Y EN ESTRATOS ENTRE LAS CAPAS DE ROCA	UN AUMENTO POR ENCIMA DEL VALOR NORMAL EXTINGUE LA LLAMA	80				
GAS CARBONICO	CO2	1.5291	INCOLORO INODORO SABOR LIGERAMENTE ACIDO, IRRITA LA VISTA	ASFIXIANTE	RESPIRACION ESTRATOS INCENDIOS VOLADURAS COMBUSTION INTERNA DE MAQUINAS, CUALQUIER COMBUSTION	RESPIRACION, EXTINCION DE LA LLAMA EN LA LAMPARA DE BENCINA, BOMBA DE APIRACION Y TUBOS	0.5	5.000	>12 %		Por ser más pesado que el aire se le encuentra en el piso de las vías en bajo tierra
METANO	CH4	0.5545	INCOLORO INODORO INSABORO	EXPLOSIVO ASFIXIANTE	ESTRATOS, MANTOS DE CARBON, PUTREFACCION ATERIAS ORGANICAS	LAMPARA DE BENCINA METANOMETRO, MRLTIDECTOR Y MEDIDOR DE MEZCLAS EXPLOSIVAS	Max. 1.0		5 a 15% mezcla explosiva		Por ser más liviano que el aire se le encuentra en las partes altas de las vías bajo tierra
MONOXIDO DE CARBONO	CO	0.9672	INCOLORO INODORO INSABORO	VENENOSO Y EXPLOSIVO	VOLADURAS, MOTORES DE COMBUSTION, INCENDIOS	BOMBA DE ASPIRACION Y TUBOS, MULTIDECTOR	0.005	50	13-75% mezcla explosiva		Tiene mucha más afinidad por la hemoglobina de la sangre que el oxígeno, forma con ella la carboxihemoglobina
OXIDOS DE NITROGENO	NO2 N2 O NO	1.5895 1.5192 1.0358	OLOR IRRITANTE, PARDO ROJIZO, SABOR AMARGO	VENENOSO	VOLADURAS MOTORES DE COMBUSTION, COMBUSTION INCOMPLETA	OLOR, COLOR, BOMBA DE ASPIRACION Y TUBOS, MULTIDECTOR	0.0005	5	0.005%	50	Es el gas más peligroso. En minas debe controlarse periódicamente en los frentes donde se produzca en voladuras con ANFO ventilar bien
ACIDO SUFHIDRICO	H2S	1.1912	OLOR A HUEVOS PODRIDOS, SABOR ACIDO	VENENOSO Y EXPLOSIVO	AGUA DE ESTRATOS, VOLADURAS	OLOR, BOMBA DE ASPIRACION, MULTIDECTOR	0.002	20	4-46% mezcla explosiva	1000 ppm causa muerte inmediata	Ocupa el segundo lugar de peligrosidad. Los frentes donde aparezca deben ser bien ventilados

• Fuente: J.H.H.

CARACTERÍSTICAS DE LOS GASES DE MINA.

- Cuadro 10

GAS	Densidad relativa (aire = 1)	EFEECTO	ORIGEN	Concentración admisible (máx)
CO	0'97	Tóxico (Explosivo)	Oxidación carbón Combustión incompleta	50ppm (100)
CO ₂	1'53	Asfixiante	Formación Combustión Voladura	5000 ppm (12500)
NO+ NO ₂	1'59	Tóxico	Motores térmicos; Voladura	10ppm (25)
SH ₂	1'19	Tóxico (Explosivo)	Acción del agua sobre pirita o yeso	10ppm (50)
SO ₂	2'26	Tóxico	Combustión pirita Motores térmicos Voladura en pirita	5ppm (10)
H ₂	0'07	Explosivo	Formación Gasificación de carbón Recarga de baterías	1000 ppm (10.000)
CH ₄	0'55	Explosivo	Formación	8000 ppm (10.000)
Aldehídos C _n H _{2n} O	1'17	Tóxicos	Motores térmicos	(2 ppm)
Radón	7'66	Radiactivo	Formación	130000 Mev

La densidad relativa respecto al aire es importante por cuanto indica la facilidad para diluirse en éste o, por el contrario, la tendencia a estratificarse en las zonas altas o bajas de la labor.

- Fuente: J.H.H.

- Tipos:

- Estacionarios
- Portátiles

- Funcionamiento:

- En cuanto a su funcionamiento, este se enfoca en rastrear el gas mediante un sensor especial para esta actividad. Así pues, cuando el sensor reconoce la concentración de gas se produce una señal eléctrica en la cual su intensidad dependerá de la cantidad de gas acumulado en el ambiente
- Posteriormente, cuando se reconoce el gas, esta señal eléctrica es enviada a un microprocesador dentro del dispositivo, donde se procesa y se muestra en la pantalla digital del medidor. De esta forma la pantalla muestra la concentración del gas en partes por millón (ppm) o **porcentaje** (%), dicho factor va a ser determinado por el tipo de sensor utilizado.

- Fuente: Propia.

• Fig. 2



- Fuente: Internet.

• Fig. 3



- Fuente: Internet.

CÁLCULO DE LAS NECESIDADES DE VENTILACIÓN.

- **A tener en cuenta:**

- **Cantidad de aire necesario.**

- Cuantificar las necesidades de caudal de aire fresco en los puntos de trabajo (Labores de explotación, preparación, desarrollo, etc.).

- **Definir con precisión lo siguiente:**

- Labores de operación.
 - Procesos que se desarrollan en cada labor.
 - Qué tipo de singularidades necesitan cada labor.

- **Pasos a tener en consideración:**

1. Hacer un listado de variables que se van a estudiar para poder tener una visión de conjunto.
 - Fuentes de calor natural y artificial en la mina.
 - Equipos en uso y a usar en un futuro cercano (mediano plazo).
 - Emanaciones de gases y otros productos de combustión (Diésel).
 - Exposición de sustancias dañinas.
 - Tiempos de permanencia de los contaminantes.

- J.E.H (2018)

- Control de fuego.
 - Complejidad de circuito y costes de desarrollo.
 - Flexibilidad del control del circuito.
 - Sistemas de ventilación auxiliar.
 - Velocidad en labores y accesos.
 - Requerimientos legislativos.
 - Nivel de comodidad.
 - Hacer un listado de variables que se van a estudiar para poder tener una visión de conjunto.
- 2. Trabajar con los responsables y equipos de diseño y planificación para asignar un caudal de aire considerando el calor, emisión de gas, legislación, etc.
 - Fijar áreas de producción.
 - Equipamiento en uso en cada área.
 - Dimensiones y esquemas de accesos y de rutas de transporte.
 - Fijar áreas de preparaciones y desarrollo.
 - Equipamiento en uso en cada área.

- J.E.H (2018)

CÁLCULO DE LAS NECESIDADES DE VENTILACIÓN.

- Dimensiones y esquemas de accesos y de rutas de transporte.
- Ventilación secundaria.
- Rutas de transporte (LHD/ Camiones, fajas, etc.):
 - Equipo de uso en cada área.
 - Dimensiones y esquemas de accesos y rutas de transporte.
- Instalaciones de trituración y molienda en interior mina.
- Estaciones de carga y/o extracción del mineral al exterior.
- Zonas de almacenamiento:
 - Explosivos.
 - Combustibles.
- Zonas de descanso/reunión del personal, oficinas, comedores, aseos y áreas de espera.
- 3. Finalmente, se realizará una revisión razonable de los circuitos de ventilación y de los ventiladores existentes, con el fin de analizar los puntos sensibles de cada parte:
 - Ventiladores:
 - Caudal.

• J.E.H (2018)

- Presión total.
- Potencia requerida.
- Capacidad de repuestos “in situ”.
- Condición mecánica.
- Coste de mantenimiento (preventivo y por avería).
- Repuestos disponibles.
- Circuito de aire.
 - Aire utilizado efectivamente.
 - Aire no utilizado efectivamente.
 - Control sobre la infraestructura de ventilación.
 - Ventiladores propulsores (Booster fan). Condiciones y situación.
 - Áreas con problemas y/o situaciones específicas.
- Entradas y salidas de aire:
 - Dimensiones físicas.
 - Equipamiento en las labores.
 - Caudal de aire en cada sección.
 - Pérdidas de carga entre secciones.

• J.E.H (2018)

CÁLCULO DE LAS NECESIDADES DE VENTILACIÓN.

- Necesidad de aire para la respiración.
- Una persona necesita aproximadamente 10 l/seg de aire para respirar.

Cuadro 11

INHALACION DE OXIGENO Y AIRE EN LA RESPIRACION HUMANA			
ACTIVIDAD	REPOSO	MODERADA	MUY VIGOROSA
Ritmo respiratorio por minuto	12 - 18	30	40
Aire inhalado por respiración m ³ /seg. x 10 ³	5 - 13	46 - 59	98
Aire inhalado por respiración (Litros)	0,4 - 0,71	1,5 - 2	2,5
Oxígeno consumido en m ³ /seg. x 10 ⁻⁶	4,70	46 - 59	47,20
Oxígeno consumido en litros/min	0,28	1,98	2,83
Cociente respiratorio "CR"	0,75	0,90	1,00

$$CR = \frac{ExhaladoCO2}{ConsumidoO2}$$

CR : Cociente respiratorio.

- J.E.H (2018)

- Caudal requerido:

$$Q1 = q * n$$

Donde:

Q1: Cantidad total de aire requerido para las personas.

q: Cantidad de aire requerido por persona (m³/min).

n: Número de personas por turno.

- J.E.H (2018)

CÁLCULO DE LAS NECESIDADES DE VENTILACIÓN.

• Cuadro 12

- **Necesidad de aire necesario para los equipos.**

- Una persona necesita aproximadamente 10 l/seg de aire para respirar.

Caudal requerido:

$$Q2 = K * N$$

Donde:

Q2: Cantidad total de aire requerido para el uso de equipos diésel.

K: Cantidad de aire requerido por cada HP (3 m3/min)

N: Número de HPs totales.

- J.E.H (2018)

									# Persn.	Requer m3/min	Caudal m3/min	cfm
									150	7	1,050	37,080
Q2: Requerimiento para equipos diésel												
Equipo	Marca	Modelo	Cantid.	Potencia Nominal	Corrección por Altura	Disponb mecánica (Dm)	Factor Utilizac. (Fu)	Potenc. Efectiva	Requer. m3/HP	m3/min	cfm	
Jumbo	Sandvik	DD 311	3	75	0.70	0.85	0.30	13	3.1	125	4,428	
Jumbo	Simba	S7	2	75	0.70	0.85	0.30	13	3	81	2,856	
Scoop	CAT	R1600H	10	279	0.70	0.85	0.70	117	3.1	3,627	128,104	
Empernador	Atlas Copco	Boltec S	3	75	0.70	0.85	0.40	18	3	162	5,713	
Desatador	Paus	853-S8	2	100	0.70	0.85	0.40	24	3	144	5,078	
Robot Lanzador	Putzmeister	PSM-7210	2	100	0.70	0.85	0.40	24	3	144	5,078	
Mixer	Putzmeister	Mixcrete 5	4	176	0.70	0.85	0.40	42	3	506	17,875	
Volquete	Volvo	FMX	12	440	0.70	0.85	0.75	198	3	7,118	251,370	
Telehandler	Manitou	MTX 1030	2	75	0.70	0.85	0.40	18	3	108	3,809	
Minicargador	BOBCAT	B730	2	100	0.70	0.85	0.40	24	3	144	5,078	
Tractor	CAT	D5K2 LRC	1	96	0.70	0.85	0.40	23	3	69	2,438	
Camión portatropa	Hiunday	HD65	1	138	0.70	0.85	0.40	33	3	99	3,504	
Camión cisterna	Hiunday	HD66	1	138	0.70	0.85	0.40	33	3	99	3,504	
Camión grúa	Hiunday	HD67	1	138	0.70	0.85	0.40	33	3	99	3,504	
Camión explosivos	Hiunday	HD68	1	138	0.70	0.85	0.40	33	3	99	3,504	
Camión servicios	Hiunday	HD69	1	138	0.70	0.85	0.40	33	3	99	3,504	
Camioneta	Toyota	Hillux 4x4	10	147	0.70	0.85	0.40	35	3	1,057	37,325	
			58	Q2: Requerimiento para equipos diésel							13,781	486,672
Q1 + Q2: Requerimiento de aire Total										14,831	523,752	
15% Fugas										2,225	78,563	
Caudal Total										17,056	602,315	
Capacidad del ventilador											660,000	

- Fuente: Propio

