

Cálculo de caudal para mangas de ventilación en mina subterránea: método, corrección por altitud y por qué su manga entrega menos aire del que promete

Ventilación Industrial | Guía técnica | Actualizada 2026-08-17
Aire por persona y por HP diésel, corrección por altitud hasta 4000 msnm, y cómo dimensionar diámetro y tramo para que el aire llegue al frente.

ALCANCE DE ESTE DOCUMENTO

Los métodos y criterios publicados son de ingeniería reproducible y se presentan como orden de magnitud para prediseño. No constituyen una memoria de cálculo firmada. Las cifras normativas deben verificarse contra el texto oficial vigente antes de usarse en un expediente técnico.

Paso 1: el caudal exigido por personal

El Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería establece un requerimiento mínimo de aire por persona que aumenta con la altitud, porque el aire más enrarecido de altura entrega menos oxígeno por unidad de volumen. Según la síntesis publicada por Revista Seguridad Minera, la escala aplicable es la siguiente.

Requerimiento de aire por persona según altitud

Hasta 1 500 msnm	Aire por persona: 3 m3/min Incremento respecto de nivel base: -
1 500 - 3 000 msnm	Aire por persona: 4 m3/min Incremento respecto de nivel base: +40 %
3 000 - 4 000 msnm	Aire por persona: 5 m3/min Incremento respecto de nivel base: +70 %
Sobre 4 000 msnm	Aire por persona: 6 m3/min Incremento respecto de nivel base: +100 %

CRITERIO

Verifique siempre estos valores contra el texto vigente del reglamento antes de emitir una memoria de cálculo: aquí se publican como criterio de prediseño, con la fuente citada al pie del artículo.

Paso 2: el caudal exigido por equipo diésel

El equipo diésel es, en la mayoría de las labores mecanizadas, el consumidor dominante: su demanda supera con holgura la del personal. El criterio de referencia es de 3 m3/min por cada HP que desarrollen los equipos operando simultáneamente en la labor.

La palabra clave es "simultáneamente". Sumar la potencia instalada total de la flota sobredimensiona el sistema; considerar solo un equipo lo subdimensiona el día que entran dos. El escenario de cálculo debe ser el de operación simultánea realista del ciclo minero, no el promedio.

Paso 3: dilución de gases de voladura y velocidad mínima

Después de la voladura, el sistema debe evacuar y diluir los gases en un tiempo compatible con el ciclo de trabajo. Esto define un caudal que muchas veces gobierna el diseño por encima de las dos demandas anteriores, especialmente en labores ciegas de avance.

Adicionalmente, la velocidad del aire en la labor tiene límites: por debajo del mínimo el aire no barre, por encima del máximo levanta polvo y afecta la operación. El criterio citado establece un mínimo de 20 m/min en operación normal, que sube a 25 m/min cuando se emplea ANFO u otros agentes de voladura, con un máximo de 250 m/min. El ambiente de trabajo debe mantener un mínimo de 19,5 % de oxígeno.

Paso 4: lo que la manga pierde antes de llegar al frente

Aquí es donde el cálculo de gabinete se separa de la realidad de la labor. El ventilador entrega un caudal en su boca; lo que llega al frente es menor por dos mecanismos distintos.

La pérdida por fricción depende fuertemente del diámetro: la resistencia de un ducto crece de forma muy pronunciada al reducir la sección. Por eso, cuando el aire no alcanza, aumentar el diámetro de la manga suele ser la solución más económica frente a instalar un ventilador de mayor potencia, que además consume más energía cada hora de operación.

La pérdida por fugas depende de la instalación: uniones mal ejecutadas, perforaciones por roce contra la caja, empalmes improvisados y tramos colgados con excesiva catenaria. A diferencia de la fricción, la fuga no se calcula bien en gabinete: se controla en obra y se audita midiendo caudal en el frente, no en el ventilador.

- Diámetro insuficiente: causa dominante de pérdida por fricción y la más cara de corregir tarde.
- Uniones deficientes: la fuga se acumula en cada empalme a lo largo de todo el tramo.
- Roce contra la caja de la labor: perfora la manga y genera fugas progresivas que nadie registra.
- Catenaria excesiva: reduce la sección efectiva y acumula agua en los puntos bajos.
- Cambios bruscos de dirección: introducen pérdidas locales que se suman a la fricción del tramo.

CRITERIO

Medir caudal en la boca del ventilador y declarar el sistema conforme es el error de auditoría más común. La medición que importa es la del frente de trabajo.

Especificar la manga: qué define el precio y qué define el desempeño

Dos mangas del mismo diámetro pueden comportarse de forma completamente distinta según su material, su tipo de refuerzo, su sistema de unión y su tratamiento. Especificar solo diámetro y longitud deja fuera lo que determina la vida útil en la labor.

- Diámetro y longitud por tramo, con el número de empalmes previsto.
- Sistema de ventilación: impelente (sopla hacia el frente) o aspirante (extrae), que define el tipo de manga.
- Material y refuerzo según abrasión esperada y condiciones de humedad.
- Sistema de unión y accesorios de suspensión.
- Requisitos de comportamiento frente al fuego y de resistencia mecánica exigidos por la operación.

Cómo se arma el número final

1. Calcular la demanda por personal: número máximo de personas en la labor $\times$ el caudal por persona correspondiente a la altitud de la operación.
2. Calcular la demanda por equipo diésel: suma de HP de los equipos en operación simultánea $\times$ 3 m³/min por HP.
3. Calcular la demanda por dilución de gases de voladura según el volumen de la labor y el tiempo de reingreso objetivo.
4. Tomar la demanda gobernante y verificar que la velocidad del aire resultante quede dentro del rango admisible en la sección de la labor.
5. Añadir el margen por fugas y pérdidas de la instalación para determinar el caudal que debe entregar el ventilador en su boca.
6. Dimensionar el diámetro de manga que transporta ese caudal con una pérdida de carga aceptable, y recién entonces seleccionar el ventilador.

PREGUNTAS FRECUENTES

¿Cuánto aire se requiere por persona en una mina en el Perú?

El requerimiento escala con la altitud: 3 m³/min por persona hasta 1500 msnm, 4 m³/min entre 1500 y 3000 msnm, 5 m³/min entre 3000 y 4000 msnm y 6 m³/min por encima de 4000 msnm. Estos valores se publican aquí como criterio de prediseño según la síntesis de Revista Seguridad Minera del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería; deben verificarse contra el texto vigente antes de emitir una memoria de cálculo.

¿Cuánto aire consume un equipo diésel en interior mina?

El criterio de referencia es de 3 m3/min por cada HP que desarrollen los equipos. El cálculo debe considerar los equipos que operan simultáneamente en la labor: sumar la flota completa sobredimensiona el sistema y considerar un solo equipo lo subdimensiona.

¿Por qué llega menos aire al frente que el que entrega el ventilador?

Por dos mecanismos: la pérdida de carga por fricción a lo largo de la manga, que depende fuertemente del diámetro, y las fugas de la instalación -uniones deficientes, perforaciones por roce contra la caja, catenaria excesiva y empalmes improvisados-. Por eso la auditoría válida mide caudal en el frente de trabajo y no en la boca del ventilador.

¿Conviene aumentar el diámetro de la manga o poner un ventilador más potente?

En general conviene aumentar el diámetro. La pérdida por fricción crece de forma muy pronunciada al reducir la sección, de modo que un diámetro mayor baja la resistencia del sistema sin aumentar el consumo energético; un ventilador mayor resuelve el síntoma pero se paga en energía todas las horas de operación del proyecto.

¿Qué velocidad de aire es admisible en una labor subterránea?

El criterio citado establece un mínimo de 20 m/min en operación normal, que sube a 25 m/min cuando se emplean ANFO u otros agentes de voladura, y un máximo de 250 m/min. El ambiente de trabajo debe mantener un mínimo de 19,5 % de oxígeno.

¿Qué debo especificar al cotizar una manga de ventilación?

Diámetro y longitud por tramo con el número de empalmes, si el sistema es impelente o aspirante, material y refuerzo según abrasión y humedad, sistema de unión y accesorios de suspensión, y los requisitos de comportamiento frente al fuego y resistencia mecánica que exija la operación.

FUENTES

Cada fuente indica qué dato concreto respalda.

Revista Seguridad Minera - Ventilación minera: recomendaciones y reglamento de seguridad	Requerimiento de aire por persona según altitud, 3 m3/min por HP diésel, velocidades mínima y máxima y porcentaje mínimo de oxígeno. - https://revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/ventilacion-minera-7-recomendaciones
D.S. N° 024-2016-EM - Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (Osinergmin)	Norma peruana que regula la ventilación en minería subterránea. - https://www.gob.pe/institucion/osinergmin/normas-legales/741887-024-2016-em

CÓMO APLICARLO A SU PROYECTO

Esta guía es de consulta libre y es útil aunque el proyecto se compre a otro proveedor. Si quiere que apliquemos estos criterios a un caso concreto, envíe medidas, cantidad, aplicación y ciudad de entrega por WhatsApp al +51946085270, en <https://plastilonas-peruanas-sac.vercel.app/cotizacion> o a ventas@plastilonas.com. Marco de Especificación completo en <https://plastilonas-peruanas-sac.vercel.app/marco> - Glosario técnico en <https://plastilonas-peruanas-sac.vercel.app/glosario>