

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/332079792>

# Buenas prácticas en instalación de ventiladores y accesorios de ventilación

Conference Paper · November 2018

CITATIONS

0

READS

1,798

2 authors:



F. Calizaya

University of Utah

21 PUBLICATIONS 36 CITATIONS

SEE PROFILE



Enrique I. Acuña

Laurentian University

49 PUBLICATIONS 99 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



CFD analysis for shock losses in underground ventilation circuits [View project](#)



Ventilation Control System (VCS) [View project](#)

## **Buenas prácticas en instalación de ventiladores y accesorios de ventilación**

Felipe Calizaya<sup>a</sup>, Enrique Acuña<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Universidad de Utah, Salt Lake City, Utah, USA*

<sup>b</sup>*Universidad del Desarrollo, Santiago, Chile*

La eficiencia de un sistema de ventilación de una mina depende en gran medida de la manera como son instalados y operados los ventiladores primarios en superficie y los ventiladores secundarios en labores subterráneas. Un ventilador mal instalado y un control de ventilación mal utilizado, además de representar costos elevados de operación y mantenimiento, representan peligros ocupacionales de alto riesgo. Estos peligros pueden ser evitados usando buenas prácticas de instalación de ventiladores y accesorios desarrollados en la industria minera.

Este estudio presenta un resumen de buenas prácticas en instalación de ventiladores, puertas y otros accesorios usados en minas subterráneas. Estas prácticas, además de resumir las recomendaciones especificadas por los proveedores, incluyen diseños típicos, requerimientos básicos y reglas empíricas utilizados en la instalación y operación eficiente de ventiladores y controles de ventilación en una mina. El resumen es ilustrado con cuatro ejemplos de instalación de ventiladores principales: dos en superficie y dos en labores subterráneas.

Palabras claves: Prácticas de instalación, ventiladores, muros, puertas.

## 1. Introducción

El sistema de ventilación de una mina consiste de labores subterráneas, ventiladores y controles de ventilación. Las labores subterráneas incluyen galerías, rampas, chimeneas y pozos. Estas, una vez desarrolladas, son utilizadas para conducir el aire fresco a los diferentes frentes de trabajo y expulsar el aire contaminado a la superficie. El ventilador es la máquina motriz utilizada para aumentar o disminuir la presión del aire, creando una diferencia de presiones en relación a la presión atmosférica. Esta diferencia es requerida para circular el aire por los conductos subterráneos y ventilar los frentes de trabajo. En la práctica, una mina requiere de varios ventiladores primarios y secundarios. Los ventiladores primarios, generalmente, están ubicados en superficie e instalados como inyectores y/o extractores de aire y los ventiladores secundarios en galerías o estocadas especiales. Un control de ventilación es una construcción o mecanismo ajustable utilizado para dirigir el aire al lugar donde es requerido y reducir pérdidas. Este puede ser pasivo, como un muro o regulador, o activo como un ventilador auxiliar. Por seguridad y un mejor rendimiento en operación, los ventiladores usados en minas requieren de estos mecanismos de control.

La eficiencia de un sistema de ventilación depende mucho de cómo son instalados y operados los ventiladores primarios y secundarios. Si los ventiladores no son instalados u operados correctamente, entonces estas afectaran la seguridad y el rendimiento del sistema de ventilación negativamente. Uno de los efectos de una mala instalación es la caída de la eficiencia volumétrica del sistema, y otro es el envejecimiento o destrucción prematura de partes reflejado por un incremento sustancial de costos de operación y mantenimiento. La eficiencia volumétrica depende en gran medida de cómo la presión del ventilador es utilizada para mover el aire y superar las pérdidas de presión por fricción y choque. Ventiladores mal instalados, muros y puertas mal mantenidos causan pérdidas de energía, recirculación y fugas de aire. Cuanto mayor es la presión del ventilador, mayores son estas pérdidas. Otro efecto negativo es el costo elevado de mantenimiento de estos equipos. Muros y puertas mal construidas causan cortos circuitos y fugas innecesarias de aire. Ventiladores mal instalados causan un deterioro prematuro de partes, como la quemadura del motor o rotura de los alabes. Estos efectos, además de representar pérdidas económicas, generan condiciones inseguras que pueden causar accidentes de severas consecuencias.

Este artículo presenta un resumen de buenas prácticas en instalaciones de ventiladores y controles de ventilación. Muchas de estas prácticas están basadas en estudios técnicos, pruebas de laboratorio y experiencias desarrolladas en la industria para tener un sistema de ventilación eficiente y crear condiciones saludables de trabajo.

## 2. Normas y requerimientos básicos

Las normas sobre la utilización de ventiladores primarios varían de un país a otro dependiendo de condiciones locales, como la topografía del terreno, la elevación de las labores, y los contaminantes generados en la mina. Pero en general, estos ventiladores son diseñados e instalados para operar continuamente sobre el collar de un pozo o en la bocamina de una galería de extracción. Los ventiladores pueden ser del tipo axial o centrífugo, dependiendo de las presiones a desarrollar. Por su importancia, el ventilador debe ser instalado en una cámara especial y equipado de monitores y accesorios para detectar fallas, y activar los mecanismos de alerta y alarma en casos de emergencia. Además, cada ventilador debe llevar consigo un panel de instrucciones (procedimiento de seguridad) detallando las

precauciones por tomar y los pasos a seguir. El procedimiento de operación deber ser revisado por expertos y socializado con los trabajadores periódicamente.

Un ventilador secundario, similar a un primario, es un impulsor de aire instalado en una construcción especial dentro de una galería o una estocada de desarrollada con este propósito. El ventilador debe ser acoplado a un muro solido por medio de un conector flexible y equipado de contrapuestas de seguridad, monitores ambientales, y accesorios mecánicos y eléctricos para ser activados en casos de emergencia. El ventilador, de tipo axial o centrífugo, es diseñado e instalado para ayudar al ventilador primario a superar condiciones adversas en zonas de resistencias elevadas. Su mayor desventaja es una posible recirculación incontrolada de contaminantes por los frentes de trabajo. Los ventiladores secundarios son utilizados en minas metálicas para ventilar labores alejadas de los accesos principales. Sin embargo, su aplicación en minas de carbón es regulada por normas especiales tanto de construcción como de operación de estos equipos, y en muchos casos restringida a minas extensas y profundas, difíciles de ventilar.

En EE UU, las minas de carbón (bituminoso y lignito) son ventiladas por ventiladores primarios solamente (Ley 75.310). En estas minas, los ventiladores secundarios son prohibidos con excepción de las minas de antracita (Ley 75.302). La recirculación de contaminantes y la posibilidad de iniciar incendios son las razones usadas por la Agencia Federal para esta prohibición [7].

En Australia, los ventiladores secundarios son usados en dos Estados donde producen carbón: Queensland y New South Wales. En ambos Estados la utilización de estos ventiladores requiere de un estudio minucioso y un plan completo justificando su instalación. El plan deber ser aprobado por las autoridades competentes. La posibilidad de un incendio es el principal parámetro considerado en la elaboración del plan [1].

En el Reino Unido, el Código Minero de 1956 permite la utilización de ventiladores secundarios en minas de carbón siempre y cuando la instalación del ventilador sea parte de un plan completo preparado para mejorar las condiciones de trabajo en la mina, justificado con mensuras de ventilación, estimación de contaminantes del aire y un análisis de riesgos. Además del ventilador, el plan debe incluir mecanismos de seguridad para controlar situaciones de emergencia, y finalmente el plan debe ser aprobado por el Inspector de Minas del Distrito correspondiente [6,8].

### **3. Ventiladores primarios y secundarios**

Un ventilador primario es una máquina utilizada para convertir la energía mecánica en energía de presión y mover prácticamente todo el volumen de aire circulado por la mina. Generalmente, es instalado en la superficie como un inyector o extractor de aire. Esta última forma de instalación es obligatoria en las minas de carbón. Un ventilador secundario es similar al ventilador primario, pero de menor capacidad. El ventilador es instalado en un muro dentro de una galería o rampa. El muro, generalmente construido de concreto, permite al ventilador operar a su máxima capacidad. Por la importancia del sistema de ventilación para la salud y seguridad de los trabajadores, ambos ventiladores, primario y secundario, deben ser elegidos, instalados y operados siguiendo normas bien establecidas y procedimientos de seguridad aceptados por todos.

La Figura 1 muestra una imagen de un ventilador primario instalado en la superficie como un extractor de aire. La instalación incluye una cámara de acoplamiento sobre el pozo de ventilación, un ventilador axial de 1125 kW de potencia y un difusor cónico. Esta figura muestra

también la ubicación de dos compuertas de seguridad que son operadas por la presión del ventilador automáticamente.

La Figura 2 muestra una vista de ventilador secundario de 900 kW de potencia instalado en una galería. La Figura muestra la ubicación del motor, fuera de la carcasa, el cono de entrada y el rotor del ventilador, y un difusor empotrado en un muro de concreto. Esta Figura muestra también la ubicación de una contra-puerta de seguridad, mantenida en posición cerrada cuando el ventilador es operación.



Figura 1. Ventilador Primario de 1125 kW Instalado como Extractor de Aire.



Figura 2. Ventilador Secundario en Muro de Concreto (Lado de Entrada).

#### 4. Elementos de control de ventilación

Los elementos de control de ventilación son usados para dirigir el aire a los centros de trabajo y separar las entradas de las salidas de aire. Muros, cortinas, puertas, reguladores, sobre-galerías y ventiladores auxiliares son los elementos de control más usados en un sistema de ventilación. Del tipo, el número y la calidad de construcción de estos dependen muchos factores incluyendo la presión del aire y la consistencia de la roca en el lugar de la instalación. Los elementos de control más utilizados en la operación de ventiladores primarios y secundarios son: muros, puertas, acoples y contrapuestas de seguridad.

Los muros sirven para dirigir el aire a los lugares de trabajo y reducir pérdidas de caudal en fugas. Los muros construidos alrededor de un ventilador primario deben ser diseñados para resistir altas fuerzas de presión por periodos prolongados, mayores a tres años. Estos muros son generalmente construidos de materiales durables de gran resistencia como planchas metálicas y bloques de concreto con buen sello. Además, para reducir fugas innecesarias de aire, los muros son anclados a las paredes y sellados con mezcla de arena, cemento y cal por lo menos del lado de alta presión. En minas de carbón, por norma, los muros son construidos de material incombustible y reforzado para soportar presiones hasta de 70 kPa (10 lb/pulg.<sup>2</sup>).

La Figura 3 muestra dos muros de ventilación construidos para resistir presiones elevadas. La Figura 3(a) muestra un muro de planchas de metal en un marco de acero donde las uniones son pegadas con epoxi y sellados con una mezcla química de alta resistencia a corrosión. Estos muros pueden resistir presiones externas hasta de 21 kPa (3 lb/pulg.<sup>2</sup>). La Figura 3(b) muestra un esquema de un muro de bloques de concreto reforzados para resistir presiones exteriores hasta de 70 kPa (10 lb/pulg.<sup>2</sup>).

Las puertas de ventilación, al igual que los muros, sirven para separar las salidas de las entradas de aire. Como tal, estas deben ser diseñadas para resistir altas presiones, instaladas en lugares adecuados e inspeccionadas frecuentemente. Para reducir fugas y evitar cortos circuitos de aire, en general, estas puertas son mantenidas cerradas. Si las puertas están ubicadas cerca de un ventilador primario, entonces por seguridad es necesario instalar dos o más puertas en serie, formando cámaras de presión. De este modo, si una puerta es abierta, por ejemplo, para dar paso a un vehículo, entonces la presión del aire es transferida a la siguiente puerta. Puertas simples son utilizadas solo en zonas con tráfico vehicular reducido y alejadas de los ventiladores. Si la galería de ventilación es utilizada para el transporte de materiales, entonces, además de tener varias puertas en serie, será necesario protegerlas con parachoques de concreto y reducir la velocidad vehicular. Puertas dañadas, además de causar fugas, representan peligros ocupacionales de alto riesgo para los trabajadores.

La Figura 4(a) muestra la planta de una puerta de ventilación de dos hojas instalada en una galería. Esta Figura muestra también otros accesorios de seguridad como las dos contrapuestas manuales y los parachoques de protección. La Figura 4(b) muestra una vista de frente de una puerta de ventilación de 3 x 4m de sección, diseñada e instalada para resistir altas presiones. Debido a estas presiones, puertas como estas son generalmente operadas por medio de actuadores neumáticos, electrohidráulicos o eléctricos.

Las puertas de ventilación, al igual que los muros, sirven para separar las salidas de las entradas de aire. Si la diferencia de presión a través de una puerta es elevada (superior a 0.5 kPa), entonces será necesario instalar dos o más puertas en serie. Hay dos razones para usar esta práctica: reducir fugas y prevenir accidentes por impacto. Cuando una puerta es sujeta a presiones elevadas, la fuerza resultante puede causar daños a la puerta e inducir cortos circuitos de aire, reduciendo la eficiencia del sistema de ventilación. Estas pérdidas pueden ser controladas utilizando varias puertas en series, separadas entre sí por una distancia equivalente al doble de la longitud del vehículo más largo. Bajo condiciones normales, las

puertas deben ser mantenidas cerradas para equilibrar la presión del aire. Si una puerta es abierta por el conductor, entonces, toda la presión del aire actuará sobre la puerta cerrada, evitando cortos circuitos de aire. El mismo principio es usado para la construcción de las contra-puertas de seguridad o puertas manuales instaladas para permitir el libre tránsito de trabajadores a través de la puerta de ventilación. Para una operación manual, cada puerta debe ser equipada con una ventanilla de seguridad cubierta con una tapa de material flexible. Esta tapa sirve como una válvula de escape, disminuyendo la presión sobre la puerta. Cuando la tapa de la primera puerta es abierta, la presión sobre la puerta disminuye, permitiendo al trabajador abrir la puerta y entrar a la cámara de una manera segura. Luego, será necesario cerrar esta tapa antes de abrir la segunda puerta.

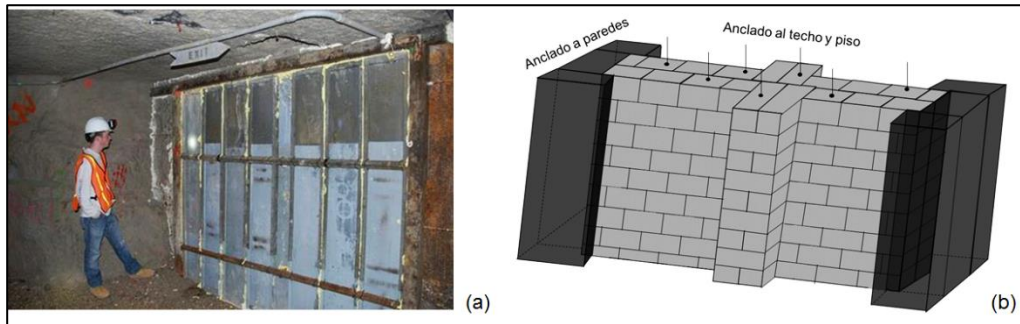


Figura 3. Muros de ventilación: (a) Muro de planchas de metal, y (b) Muro de concreto armado.

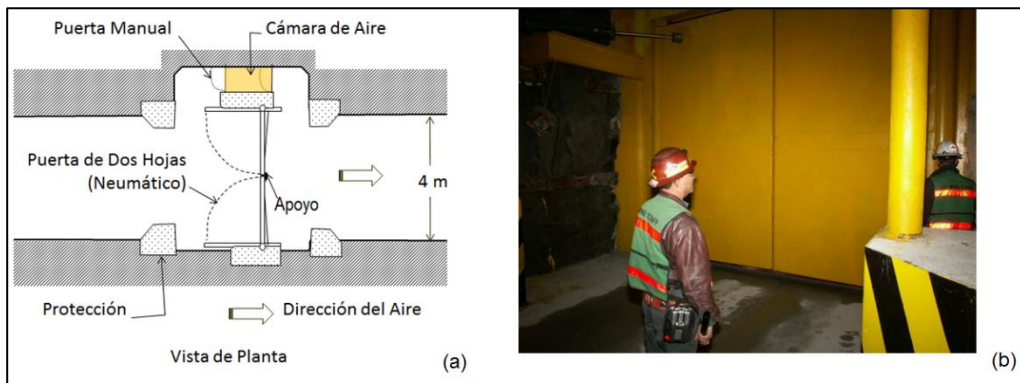


Figura 4. Puertas de ventilación: (a) Esquema de una puerta neumática de dos hojas, (b) Puerta metálica de alta presión mostrando mecanismos de control y protecciones de seguridad.

La Figura 5 muestra los detalles de dos contra-puertas de seguridad. La Figura 5(a) muestra dos contra-puertas manuales utilizadas para crear la cámara de seguridad y permitir el paso del personal a través de una puerta de ventilación. Esta Figura muestra también la ubicación de las ventanillas de descompresión. La Figura 5(b) muestra una vista de una puerta manual construida para resistir presiones manométricas hasta de 5 kPa (0.7 lb/pulg.2).

## 5. Buenas prácticas usadas en instalación de ventiladores

La eficiencia de un sistema de ventilación de una mina depende mucho de cómo son seleccionados e instalados los ventiladores primarios y secundarios. La selección requiere de un estudio minucioso de los requerimientos de aire, las resistencias por fricción y choque de las labores, y la vida útil de la mina. El tipo, la capacidad y la ubicación de estos ventiladores son generalmente determinados después de analizar varias alternativas formuladas para diferentes etapas de la mina. Simuladores como Vuma, Ventsim y VNet son utilizados con este objeto. Una vez seleccionado, el ventilador debe ser instalado en lugar apropiado para

operar continuamente. El lugar debe ser elegido tomando en cuenta factores locales como la estabilidad del terreno, la distribución de labores mineras en relación al ventilador y los espacios disponibles para la instalación y operación de accesorios y controles de ventilación. Además, para facilitar un buen mantenimiento, el ventilador debe estar equipado con instrumentos y monitores ambientales para detectar fallas y determinar las condiciones de operación del ventilador.

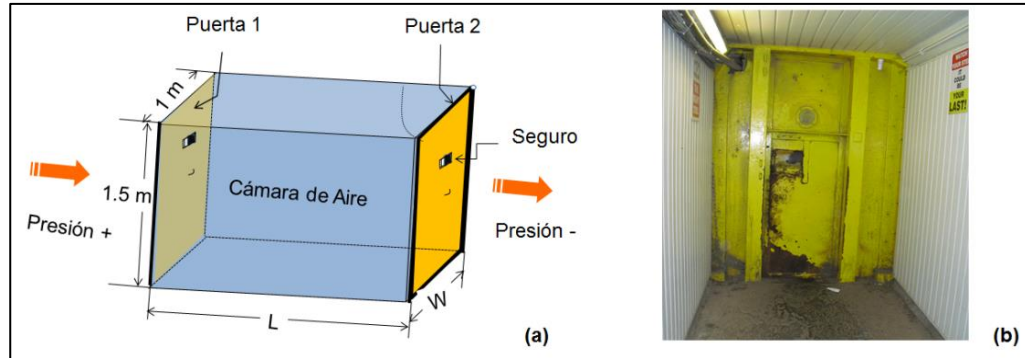


Figura 5. Contra-Puertas de Seguridad: (a) Esquema mostrando una cámara con dos puertas, (b) Puerta de seguridad de una de alta presión.

Una vez concluida la instalación, cada ventilador deber ser probado por rendimiento y condiciones de seguridad. En la práctica, eso implica hacer mediciones de factores tanto en el ventilador como en las construcciones. Estos factores son medidos bajo diferentes condiciones de operación, incluyendo operación del ventilador sin carga, con carga parcial y carga total. En una mina, estas condiciones son creadas abriendo o cerrando las puertas de control. Una condición sin carga puede ser creada abriendo las dos puertas de la cámara de seguridad (normalmente cerrada) y haciendo recircular el aire a través del ventilador. Los factores de mayor interés son: nivelación y alineación de partes, vibración del ventilador, temperaturas del motor y los apoyos, y la capacidad del ventilador. Estas mediciones luego son comparadas con los límites permisibles aceptados por la industria y la capacidad indicada por la curva característica del ventilador. La Tabla 1 muestra un resumen de algunos factores críticos con sus correspondientes límites permisibles [5].

Tabla 1. Ejemplo de límites permisibles.

Factor crítico	Cantidad medida	Límite permisible
Alineamiento, mm	0.01-0.02	0.05
Vibración, mm/s	1-2	5.5
Temperatura del motor y apoyos, °C	60	86
Capacidad del ventilador (Caudal y Presión)	Variable (varia con la carga aplicada)	+/-5% de capacidad indicada en catálogo

Las buenas prácticas presentadas en este estudio son basadas en cuatro instalaciones de ventiladores: dos en superficie y dos en labores subterráneas. Estas prácticas incluyen los estándares exigidos por normas internacionales, reglas empericas usadas por los proveedores de equipos y factores de seguridad desarrollados en la industria.



## 5.1 Instalación de ventiladores primarios

Los ventiladores primarios son generalmente instalados en superficie en construcciones especiales como extractores de aire. Esta forma de instalación es obligatoria en muchos países, especialmente donde explotan carbón. Para garantizar una operación eficiente y segura, cada ventilador debe ser instalado en un lugar de terreno estable, libre de fracturas, y equipado con instrumentos y accesorios para facilitar un mantenimiento adecuado. Estos ventiladores pueden ser de tipo axial o centrífugo e instalado como una unidad simple o ventiladores múltiples en paralelo, dependiendo de los requerimientos de aire en la mina. Los ventiladores múltiples son preferidos en minas profundas y extensas. Esta práctica permite aumentar el caudal de aire sin aumentar mucho la presión, especialmente en minas de baja resistencia. Sin embargo, para una operación eficiente, es necesario que estos ventiladores tengan las mismas características (en tipo y tamaño), y sean instalados en ductos paralelos, separados entre por un Angulo de deflexión menor a 50°:

Los detalles de instalación de cuatro ventiladores primarios son presentados en esta sección: dos en la extracción de una mina metálica y otros dos en la extracción de una mina de carbón. En cada caso, la instalación incluye una cámara de acople, fundaciones, dos ventiladores en paralelo, ductos de entrada y salida, y una cámara seguridad. Para una operación económica y eficiente, todos los componentes, incluyendo las cámaras, los ductos y los acoples, deben ser construidos y ensamblados para minimizar pérdidas de presión por choque y turbulencia.

## 5.2 Ventiladores primarios en minas metálicas.

La Figura 6 muestra un esquema sobre la instalación de dos ventiladores en la salida de una mina. La instalación incluye una cámara de acople, una cámara de seguridad, fundaciones, dos ductos en paralelo y dos ventiladores centrífugos. Cada ventilador consiste de un ducto de entrada en posición horizontal, una carcasa, un difusor en posición vertical, un rotor y un motor. El ducto de entrada lleva una puerta automática en un extremo y un regulador de alabes en el otro. La puerta automática (Damper) sirve para evitar la recirculación del aire cuando un ventilador es apagado. La puerta se mantiene cerrada cuando el ventilador está apagado. La puerta es abierta por la presión de succión generada por el ventilador. El regulador, un mecanismo operado por un actuador (RVC), sirve para cambiar el punto de operación del ventilador cambiando su área transversal. El rotor consiste de un eje y una rueda de 11 alabes curvados hacia atrás. Es conectado al eje del motor a través de una caja de engranajes. El rotor es usado para mover el aire dentro de la carcasa y aumentar su presión. Cada ventilador es equipado con un motor de inducción de alto voltaje, enfriado por aire. Es utilizado para girar el rotor a una velocidad fija.

La cámara de acople es una estructura de concreto ubicada en el portal de una galería. La cámara contiene tres ventanas de acople, una para la puerta de escape y dos para los ductos de entrada de los ventiladores. La puerta de escape es parte de una caja hermética equipada con dos puertas manuales en serie, similar a aquellas mostradas en la Figura 5. Normalmente, estas puertas son mantenidas cerradas, excepto en casos de emergencia, cuando las puertas son abiertas secuencialmente de tal modo que durante la operación una puerta está siempre cerrada.

Para reducir pérdidas de energía por turbulencia y choque, los ductos son orientados con una deflexión menor a 25° en relación al eje de la galería. Una orientación asimétrica causa

un envejecimiento rápido de partes, turbulencia y golpes de aire que pueden resultar en la destrucción de uno de los ventiladores [3].

Una vez concluida la instalación, esta debe ser seguida por una inspección de partes, encendido de los ventiladores y mensura de factores críticos como ser la vibración, temperatura, caudal y presión. Los límites permisibles del cuadro 1 pueden ser utilizados durante la evaluación. Estos trabajos permiten no solo detectar errores en la instalación, sino también determinar las limitaciones de cada ventilador y establecer puntos de referencia para un buen mantenimiento. El trabajo debe ser realizado por los técnicos de la firma proveedora, el personal técnico de la mina, y los responsables de operación y mantenimiento de estos equipos.

### 5.3 Ventiladores primarios en minas de carbón

El gas metano es el peligro común en las minas de carbón. El gas, más liviano que el aire (con un peso específico de 0.55), es explosivo en concentraciones de 5 - 15%. Generalmente, es controlado usando un buen sistema de ventilación, que en gran medida depende de cómo son instalados y operados los ventiladores primarios. En muchos países, el tipo, la ubicación y la manera de instalación de estos ventiladores son regulados. En Estados Unidos, de acuerdo al Código 30CFR-75-310, el ventilador debe ser instalado en superficie, equipado con varios instrumentos y accesorios de seguridad. Además, el plan de instalación debe ser aprobado por la Agencia Federal (MSHA). En sus partes salientes, el código establece [7]:

- El ventilador debe ser instalado en superficie, como extractor de aire, en material incombustible y a una distancia mayor a 4.6m del collar del pozo
- Los accesorios como ductos y puertas deben ser también fabricados de material incombustible
- El ventilador debe ser protegido de ondas explosivas por paneles o tapas para explosiones
- Cada ventilador debe ser equipado con instrumentos para mostrar su capacidad (caudal y presión) de manera continua y accesorios de alarma para casos de emergencia.

La Figura 7 muestra una vista de planta de dos ventiladores axiales una mina de carbón. De izquierda a derecha, el esquema muestra un codo de transición sobre el collar de un pozo de extracción, una cámara de acople y dos ventiladores en paralelo. El codo, construido de material incombustible y moldeado para reducir pérdidas de presión, yace sobre el collar del pozo. Sirve para conectar el pozo con la cámara de acople. En su parte superior lleva una tapa (sombbrero) de explosión de un diámetro igual al diámetro del pozo. Normalmente, la tapa, de material liviano de poca resistencia, es mantenida en posición cerrada por la presión del ventilador. La tapa sirve como una válvula de escape en un evento de explosión, protegiendo así la integridad del ventilador. La cámara de acople, construido también de material incombustible, entrega un ambiente cerrado equipado con un acople flexible para el codo en un extremo y dos ventanas para los ductos de entrada en otro extremo. Además, lleva pegado en un lado una pequeña cámara hermética con dos puertas manuales para ser usadas en casos de emergencia. Los ventiladores, de características similares, son orientados en V (conexión en paralelo) y separados entre sí por un ángulo ( $\square\square$  menor a  $30^\circ$ ). Cada ventilador consiste de un ducto de entrada en posición horizontal, un ventilador axial y un difusor en posición vertical. El difusor en posición vertical permite instalar el motor detrás del rotor y fuera

de la corriente de aire. Esta forma de instalación permite tener un mejor acceso al motor y los apoyos, facilitando el mantenimiento de estos [9].

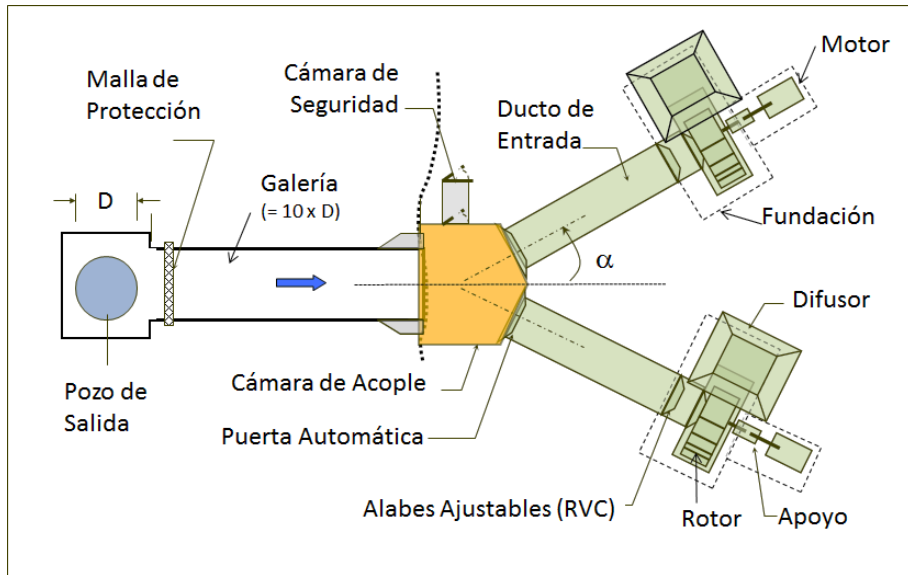


Figura 6. Instalación de dos ventiladores centrífugos en paralelo en una galería de extracción - Esquema usado en minas metálicas.

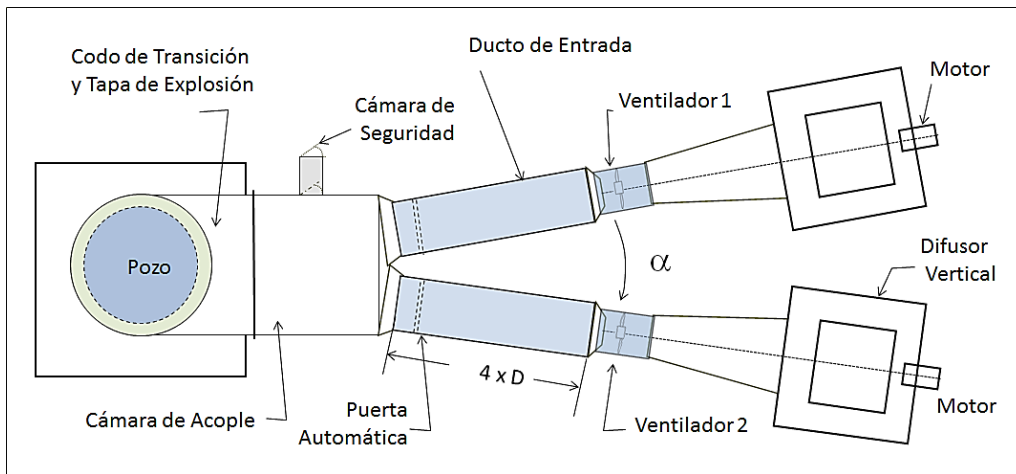


Figura 7. Instalación de dos ventiladores axiales en paralelo sobre un pozo de extracción - Esquema usado en minas carbón.

#### 5.4 Instalación de ventiladores secundarios

En minas subterráneas profundas y extensas con elevados requerimientos de caudal de aire, además de ventiladores primarios, es necesario operar ventiladores secundarios en línea con ventiladores primarios para crear condiciones saludables de trabajo. Un ventilador secundario, bien diseñado e instalado, sirve para alcanzar los siguientes objetivos: reducir la "resistencia efectiva" de la mina, facilitar una mejor distribución de presiones del aire, aumentar la eficiencia del sistema global de ventilación y disminuir el consumo de energía eléctrica. Sin embargo, cuando el ventilador no es instalado o utilizado correctamente, puede causar

condiciones desfavorables. Una de esas condiciones es la recirculación incontrolada de los contaminantes por los frentes de trabajo.

En minas metálicas, estos ventiladores son usados para ventilar secciones aisladas extensivamente. Los ventiladores son usados para ventilar labores aisladas con o sin recirculación controlada. Sin embargo, en minas de carbón, su utilización es restringida o prohibida. En países como el Reino Unido, Australia e India, el ventilador secundario es aceptado en las minas de carbón siempre y cuando su utilización facilite a crear mejores condiciones de trabajo. En Estados Unidos de Norte América, su utilización en minas de carbón está prohibida con excepción de aquellas de antracita. Una de las razones para esta prohibición es la posibilidad de iniciar un incendio por un mal uso del ventilador. Otra razón es la posibilidad de inducir una recirculación incontrolada de contaminantes.

### 5.5 Ventiladores secundarios en minas metálicas

La Figura 8 muestra un esquema de instalación de dos ventiladores secundarios en una mina metálica. Si la galería de ventilación es también usada para el transporte de personal y materiales, entonces, es necesario dividirla en dos: una para el ventilador y la otra para las contra-puertas de ventilación. La Figura 8 muestra dos ventiladores en paralelo en una galería y dos puertas en la otra. Para reducir la recirculación del aire, tanto los ventiladores como las puertas deben ser instaladas en muros de concreto construidos para resistir altas presiones. Además, los muros deben ser anclados a las paredes y equipados con puertas manuales y otros accesorios de seguridad. Cuando dos o más ventiladores son instalados en paralelo, cada ventilador debe ser dotado con una puerta automática (Damper) en su difusor para ser abierta cuando el ventilador está funcionando y cerrada cuando el ventilador está apagado. Para un ventilador de diámetro  $D$ , La distancia mínima entre los ventiladores es de  $2 \times D$  (ver figura 8). Las contra-puertas, equipadas con actuadores neumáticos o eléctricos, son utilizadas para alcanzar dos objetivos: (1) permitir un tráfico ordenado de vehículos por las puertas y (2) evitar una recirculación incontrolada del aire. Para facilitar un tráfico ordenado, es necesario tener un procedimiento bien establecido para operar estas puertas, de tal modo que cuando una puerta es abierta las otras permanecen cerradas. Esta práctica sirve también para reducir la recirculación y aumentar la eficiencia de los ventiladores. Una utilización inadecuada de estas puertas puede resultar en accidentes por impacto de consecuencias serias. Además, para reducir riesgos en la operación de estos equipos, es necesario tener un buen programa de inspección y mantenimiento. Una recirculación controlada hasta de 20% es aceptada en estas minas, pero requiere de un muestreo frecuente de la calidad del aire por gases tóxicos como el como el CO [4].

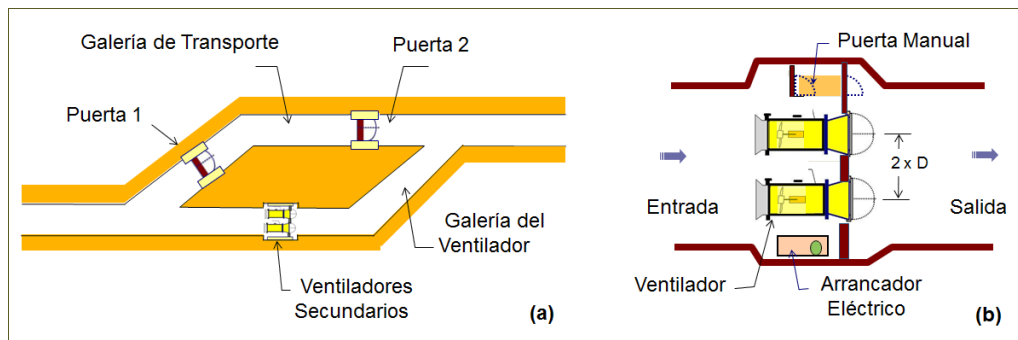


Figura 8. Esquema de instalación de dos ventiladores secundarios en una mina metálica: (a) Ubicación de los ventiladores y puertas de ventilación, (b) Dos ventiladores en paralelo en una galería.

## 5.6 Ventiladores secundarios en minas de carbón

La utilización de ventiladores secundarios en minas de carbón empezó en el Reino Unido a principios de 1900's. En 1906, Alfred Tonge, en uno de sus reportes citó tres ventiladores secundarios que eran utilizados en labores subterráneas en la mina Hulton [10]. Años más tarde, en 1911, el Reino Unido incorporó en su código de minas el uso de ventiladores secundarios en minas de carbón con una condición: la mina, además de operar estos ventiladores, debe tener ventiladores primarios en superficie. Desde entonces, el uso de ventiladores secundarios se extendió a otros países incluyendo Alemania, Polonia, Sud África, India y Australia.

Una vez concluida la instalación, en las minas de carbón hay dos riesgos asociados con la utilización de estos ventiladores: (1) posibilidad de iniciar incendios y (2) recirculación incontrolada de aire contaminado por los frentes de trabajo. Ambos riesgos pueden ser reducidos usando la tecnología moderna y las buenas practicas desarrolladas en la industria. Hoy, por norma, solamente ventiladores especiales con protección contra incendios son usados en estas minas. Esta práctica permite reducir el riesgo de incendios considerablemente. Por otra parte, para evitar una recirculación incontrolada, los circuitos eléctricos de estos ventiladores son entrelazados con sus similares del ventilador primario para apagar el ventilador secundario cuando el ventilador primario está apagado. Además de estas normas, para reducir aún más estos riesgos, es necesario observar las siguientes reglas [2]:

- El ventilador secundario debe estar equipado con un sistema de monitores ambientales
- El ventilador debe ser elegido para ayudar al ventilador primario en elevar la presión del aire
- El ventilador debe tener una capacidad inferior a la del ventilador primario

Los sensores ambientales permiten al operador determinar la calidad del aire cerca del ventilador y controlar la operación del ventilador. Otro aspecto importante es saber que el ventilador secundario es seleccionado para ayudar al ventilador primario en elevar la presión del aire en una sección o distrito. Finalmente, para evitar una recirculación incontrolada, el ventilador secundario debe tener una capacidad menor que la capacidad del ventilador primario. La alternativa es utilizar un sistema de recirculación controlada. Esta práctica está prohibida en Australia, pero aceptada, hasta un 10% de recirculación, en el Reino Unido [6].

La Figura 9 muestra el sistema de ventilación de tres galerías paralelas por medio de un ventilador secundario. De las tres galerías, dos son usadas como galerías de entrada y una como salida. Las galerías son separadas entre sí por medio de muros y puertas. El ventilador secundario, de tipo centrífugo, lleva la carcasa del rotor y el difusor en la galería de salida y el motor y los accesorios eléctricos en una cámara de control. Para presurizar el aire y evitar la recirculación, el difusor es instalado en un muro de concreto. La cámara de control consiste de dos muros de aislamiento, separados entre sí por un espacio de unos 5m para formar un ambiente acondicionado para cobijar el motor del ventilador. El motor y el rotor son conectados entre sí por medio de un eje de transmisión y un acople. El eje es soportado por dos apoyos fijos ubicados fuera del ventilador.

Además del ventilador, la instalación incluye dos contrapuestas y varios monitores ambientales. Las contrapuestas, ambas equipadas con actuadores neumáticos y accesorios, sirven para permitir el acceso a la entrada del ventilador sin afectar su capacidad. Con este objeto, estas puertas deben ser diseñadas e instaladas para tener por lo menos una puerta cerrada cuando el ventilador está funcionando. Los monitores sirven para determinar las condiciones de trabajo del ventilador. La Figura 9 muestra dos tipos de monitores: monitores

ambientales y monitores de rendimiento del ventilador. Los primeros incluyen monitores de monóxido de carbono (CO) y metano (CH<sub>4</sub>). Estos monitores sirven para detectar condiciones inseguras causadas ya sea por un exceso del CO en la salida del ventilador (falla mecánica o eléctrica) o concentración excesiva del CH<sub>4</sub> en la entrada del ventilador (ventilación inadecuada en el frente). Los monitores de rendimiento incluyen: anemómetros, manómetros y termómetros. Los anemómetros sirven para determinar la velocidad promedio del aire y, por ende, el caudal del ventilador. Los manómetros sirven para medir la diferencia de presiones a través del muro del ventilador. En la práctica, esta es la presión del ventilador. Finalmente, los termómetros sirven para determinar las temperaturas del motor y de los apoyos. Normalmente, estas temperaturas no deben pasar los 86 °C. Temperaturas mayores a esta indican la existencia de un problema en el ventilador.

## 6. Discusiones finales y conclusiones

La eficiencia de un sistema de ventilación de una mina depende mucho de cómo son elegidos los ventiladores primarios y secundarios. Para este fin, es necesario tener un plan estratégico de mediano plazo, donde los requerimientos de caudal y presión son especificados para cada etapa. Simuladores numéricos como Ventsim, Vuma y VNet son usados para estos ejercicios. Los resultados del estudio son luego usados para determinar el número, tipo y tamaño de los ventiladores. Capacidad, flexibilidad en operación y rendimiento son los factores más usados en la selección.

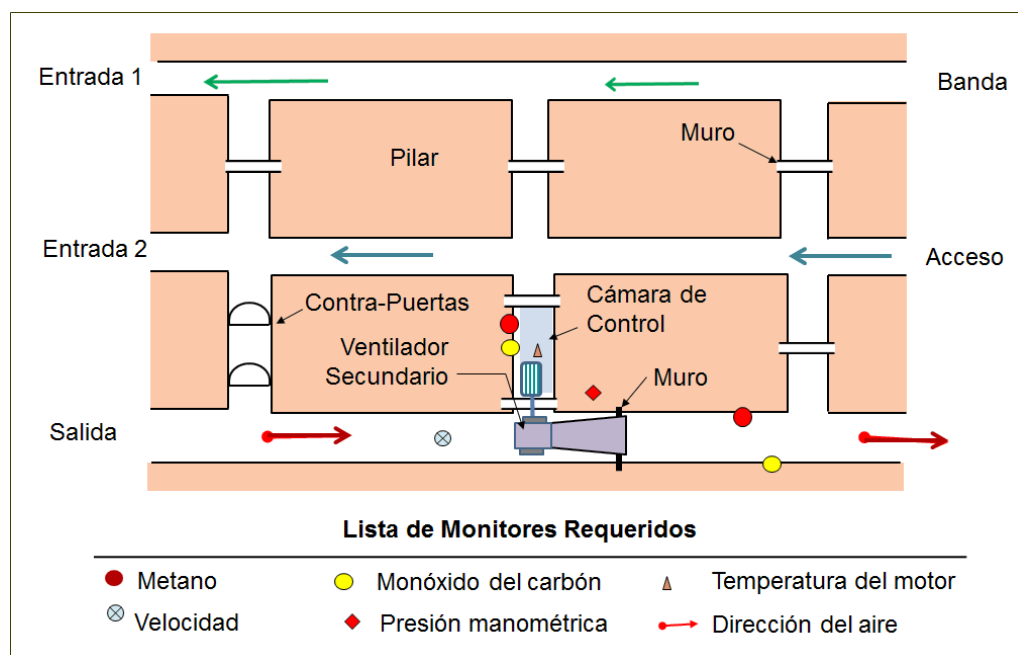


Figura 9. Esquema de instalación de un ventilador secundario en una galería de una mina de carbón.

El ventilador puede ser de tipo axial o centrífugo. La selección depende más de las condiciones locales y las resistencias por superar. En general, los ventiladores axiales son utilizados en minas de resistencias bajas, como aquellas ubicadas cerca de la superficie. Los ventiladores centrífugos, por sus características de generar presiones elevadas, son utilizados en minas profundas como las minas metálicas de Canadá y Sud África y las de carbón en el Reino Unido.

Una vez elegido el ventilador, el siguiente paso es preparar un plan completo para su instalación. Dicho plan debe incluir un mapeo del lugar, preparación del terreno, obras civiles,

instalación del ventilador y accesorios, pruebas de rendimiento y entrega del ventilador. Este trabajo es generalmente realizado por el personal de la mina y supervisado por los técnicos de la firma proveedora. Esta práctica permite corregir posibles errores a tiempo y entrenar al personal de la mina en la operación y mantenimiento de estos equipos.

Un ventilador primario es generalmente instalado en superficie como extractor de aire. Una de las razones para esta práctica es que con una instalación de este tipo el sistema de ventilación requiere de menos puertas, por tanto, un mejor mantenimiento. Esta práctica es obligatoria en minas con alto contenido de gas como las minas de carbón.

Generalmente, ventiladores múltiples son utilizados en minas profundas y extensas. En este caso, es importante tener los ventiladores de las mismas características, con ductos de entrada espaciados entre sí por un ángulo menor a 50°. Esta práctica permite tener una buena ventilación aun cuando uno de los ventiladores este apagado. En otros casos, uno de los ventiladores es intencionalmente usado como ventilador de reserva para ser activado en casos de emergencia; como tal el ventilador debe estar equipado con un transformador independiente de los otros ventiladores.

Un ventilador secundario, instalado en una galería o rampa, es utilizado para ayudar al ventilador primario en elevar la presión del aire y poder ventilar secciones alejadas de los accesos. Generalmente son instalados en muros de concreto equipados con puertas de ventilación. Un ventilador bien diseñado e instalado sirve para bajar la “resistencia efectiva” de la mina y aumentar la eficiencia volumétrica del sistema de ventilación. Sin embargo, una mala instalación puede causar una recirculación incontrolada de contaminantes. El peligro puede ser reducido añadiendo al diseño un sistema de monitores ambientales para detectar condiciones subnormales y facilitar una corrección oportuna.

Los ventiladores secundarios son usados extensivamente en minas metálicas. Son usados para ventilar zonas alejadas de los accesos principales, difíciles de ventilar. En minas profundas, estos ventiladores permiten reducir las fugas de aire a través de zonas antiguas y aisladas y dirigir un mayor caudal a las zonas activas. Ventilación en serie hasta con una recirculación del 20% es aceptada en minas metálicas. Un requisito para reusar el aire viciado es controlar su calidad. En ningún caso la cantidad de contaminantes puede exceder los límites permisibles establecidos por ley.

En las minas de carbón, la utilización de ventiladores secundarios es bien controlada. En países como el Reino Unido, donde el carbón es extraído de grandes profundidades, o en Australia, donde el carbón tiene alto contenido de metano, estos ventiladores son aceptados bajo ciertas condiciones. Una de estas condiciones es usar estos ventiladores solo para ayudar a los ventiladores primarios y la otra condición es dotar a los ventiladores con monitores ambientales para evaluar sus condiciones de operación. Una recirculación controlada de hasta 10% es aceptada en el Reino Unido, pero en Australia esta práctica de recirculación está prohibida. En Estados Unidos de Norte América, la utilización de estos ventiladores en minas de carbón es prohibida con excepción de algunas minas de antracita.

## **Agradecimientos**

Los autores extienden sus agradecimientos a ingenieros y técnicos de ventilación de varias empresas incluyendo PT Freeport-Indonesia, West Elk, Colorado, EEUU., y Orkopampa, Buenaventura-Perú.

## Referencias

- [1]. Benson D. 2002. Use of Booster Fan Ventilation at West Cliff Colliery. In Coal Operators' Conference, University of Wollongong, the AusIMM Illawarra Branch, NSW, Australia. February 6–8.
- [2]. Burnett, R.L., and Mitchell, D. 1988. The Safe Use of Controlled Recirculation Techniques in the Ventilation of United Kingdom Coal Mines. In Proceedings of the 4th International Mine Ventilation Congress.
- [3]. Calizaya F., Casten T., and Karmawan K. 2000. Commissioning of Two 750 kW Centrifugal Fans at PT Freeport Indonesia's Deep Ore Zone Mine. Proceedings of the MassMin 2000, Brisbane, QLD, Australia, pp 301-305.
- [4]. De Souza E. et al. 2003. Design and Performance Verification of a Booster Fan Installation at the Red Lake Mine. 2003 SME Annual Meeting, Preprint 03-050, Cincinnati, Ohio.
- [5]. Howden, 1997. Description, Installation Operation and Maintenance. Instruction manual, DOC C0345-01, Howden Sirocco Pty. Limited, 97-103 Pacific Highway, North Sydney NSW 2060, Australia, pp 1-1 – 5-15.
- [6]. Leeming, J.R., and Webb, D.J.T. 2012. Under-ground booster fans—Current U.K. practice for safe installation and management. In Proceedings of the 14th U.S./North American Mine Ventilation Symposium. Salt Lake City, UT, June 17–20.
- [7]. MSHA (Mine Safety and Health Administration). 2018. Code of Federal Regulations: Title 30. [www.msha.gov/30cfr/download/30cfrdownload.asp](http://www.msha.gov/30cfr/download/30cfrdownload.asp). Accessed July, 2018.
- [8]. Ogle M. 2011. The Design and Installation of a Booster Fan at Tahmoor Colliery. In Australian Mine Ventilation Conference, Sydney, NSW, 5–6 September.
- [9]. Ray R. E. 1997. Design Considerations for Main Exhaust Fan Systems at Underground Coal Mines. Chapter 81. Proceedings of the 6th International Mine Ventilation Congress. SME, Littleton, CO, pp. 513 – 518.
- [10]. Saxton, I., 1986. Coal Mine Ventilation from Agricola to the 1980's, Part VIII. Min. Eng. (London). 147: 395–405.