

RECOMENDACIONES BÁSICAS PARA LA SELECCIÓN DE VENTILADORES



RECOMENDACIONES BÁSICAS PARA LA SELECCIÓN DE VENTILADORES

AUTOR:

Ing. Pablo Zúñiga Moreno.

Profesional de la sección Seguridad en el Trabajo del
Subdepartamento de Seguridad y Tecnologías en el Trabajo.

RECOMENDACIONES BÁSICAS PARA LA SELECCIÓN DE VENTILADORES

1. ANTECEDENTES

Los ventiladores son turbo-máquinas que permiten el movimiento de volúmenes de aire para generar, por un lado, condiciones laborales y ambientales saludables desde el punto de vista del control de agentes de riesgo higiénicos; así como también facilitar el transporte neumático de material particulado a lo largo de un circuito productivo.

La selección de un ventilador se hace principalmente en función a un diseño previo del sistema a emplear, ya que esta turbo-máquina será la encargada de generar la diferencia de presión que permita el movimiento del aire a lo largo del circuito. A partir de esto, la presente nota técnica tiene la finalidad de entregar recomendaciones y criterios básicos para la selección de ventiladores, de acuerdo a los requerimientos de ventilación y características del proceso.

2. OBJETIVOS

Entregar recomendaciones y criterios básicos que permitan la selección de un ventilador adecuado a los requerimientos de ventilación y características del proceso.

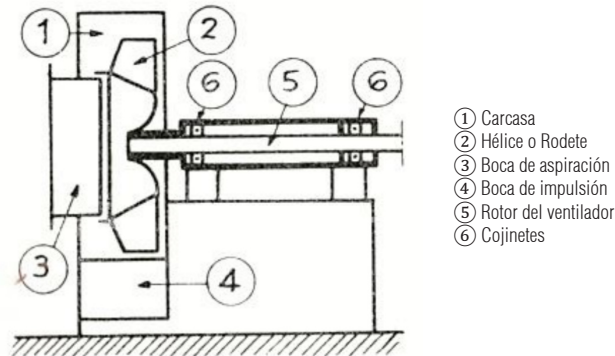
3. GENERALIDADES

Los ventiladores son turbo-máquinas que, gracias al aporte de energía a un rodete que gira sobre su propio eje, son capaces de generar una diferencia de presión, la cual incrementa la energía cinética en un volumen de aire en reposo, produciendo el movimiento de éste en dirección al ventilador.

En general un ventilador de tipo industrial se compone de una **parte móvil**, la cual está formada por un **rotor** que gira en su propio eje gracias a la acción de un **motor** al que se encuentra acoplado, ya sea por medio de una transmisión directa o indirecta, como por ejemplo por medio de un sistema de correas. Al rotor se encuentra acoplado el **rodete** o **hélices** del ventilador, las cuales cumplen la función de dar la direccionalidad al flujo de aire pasante. Con el fin de reducir la fricción mecánica y sostener el árbol de rotación, éste se ubica sobre **cojinetes** o **rodamientos**. Por medio de una **carcasa**, se protegen los componentes internos del ventilador, además de permitir la entrada del aire a través de una **boca de aspiración** y su salida del aire a través de una **boca de impulsión**. En la Figura N°1 se muestra un esquema general de un ventilador de acuerdo a la descripción anterior.

Figura N°1:

Corte esquemático de un ventilador



La selección de un ventilador se enfoca a cumplir con los objetivos mínimos del diseño del sistema de ventilación. Esto significa definir el **caudal de aire** a manejar y las pérdidas o resistencias generadas por todos los componentes del sistema de ventilación, en términos de **presión estática**. Adicionalmente a lo mencionado, existe otra información a considerar en el proceso de selección de un ventilador:

- Tipo de ventilador.
- Curvas características.
- Condiciones ambientales que rodean el proceso, por ejemplo altura geográfica, cercanía del vecindario, etc.
- Características del flujo de aire, como temperatura, humedad y tipos de contaminantes transportados.

4. TIPO DE VENTILADORES

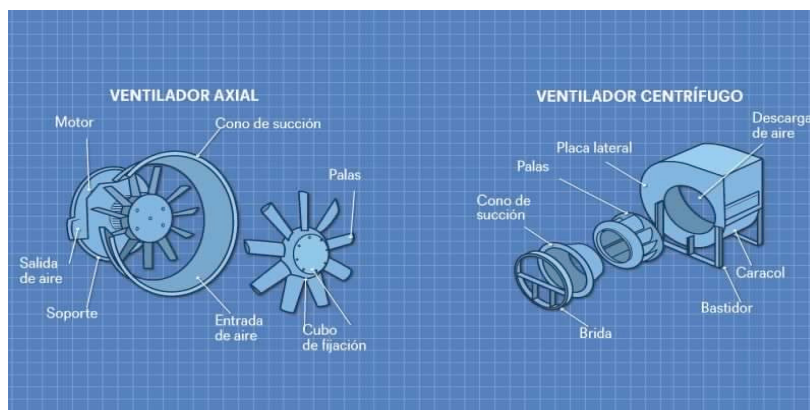
Los ventiladores pueden clasificarse de acuerdo a la **direccionalidad del flujo, presión de trabajo y tipo de transmisión**.

4.1. De acuerdo a la direccionalidad del flujo

De acuerdo a la dirección en la que entra el flujo al ventilador, éstos se clasifican en dos grandes grupos: **ventiladores de flujo axial y ventiladores de flujo centrífugo**, los cuales se muestran en la Figura N°2.

Figura N°2:

Ventiladores axial y centrífugo

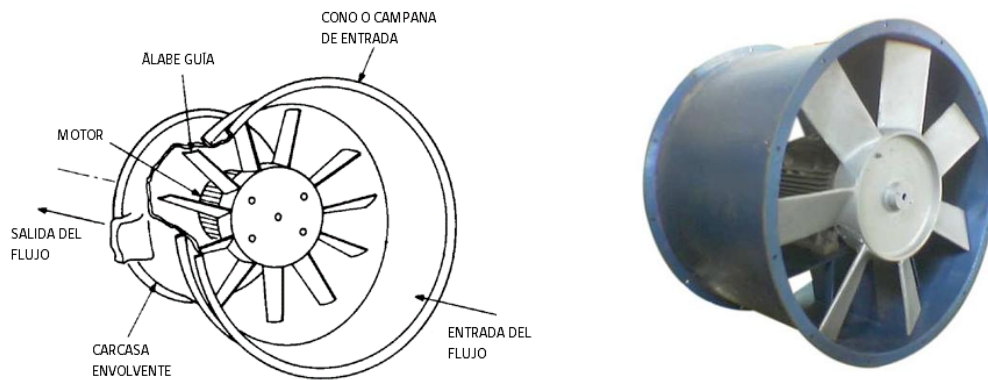


4.1.1. Ventiladores de flujo axial: En este tipo de ventiladores el flujo de aire entra y sale de forma paralela al eje de giro del rotor, como se muestra en la Figura N°2 (a). Son utilizados principalmente en ventilación general, cuando se necesita manejar grandes caudales volumétricos de aire con bajas pérdidas por carga. Dentro de los ventiladores de flujo axial, se tienen los siguientes tipos:

- a. Ventilador de hélice: Este ventilador se utiliza para el manejo de altos caudales de aire a bajas presiones estáticas, para condiciones de operación que incluyan velocidades bajas y temperaturas moderadas. En la Figura N°3 se muestra un ejemplo de este tipo de ventiladores.

Figura N°3:

Ventilador de hélice



- b. Ventilador tubo-axial: En este ventilador consiste en un rotor encerrado en un ducto cilíndrico, como se muestra en la Figura N°4. Esta configuración permite que el ventilador pueda manejar presiones estáticas mayores que el ventilador de hélice, debido a que el rotor alcanza mayores revoluciones por minuto.

Figura N°4:

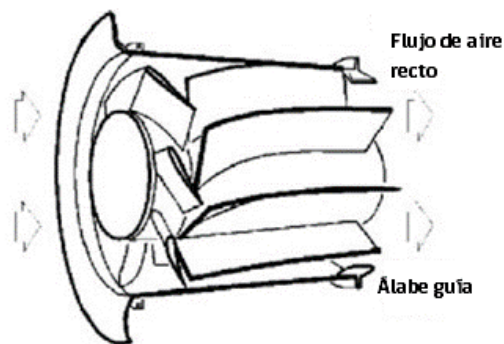
Ventiladores tubo axial



- c. Ventilador de paleta-axial: Es similar al ventilador tubo-axial en configuración, pero está dotado de paletas guías, como se muestra en la Figura N°5. Éstas mejoran la eficiencia mediante la direccionalidad y enderezamiento del flujo, lo cual permite manejar presiones estáticas más altas.

Figura N°5:

Ventiladores de paleta-axial

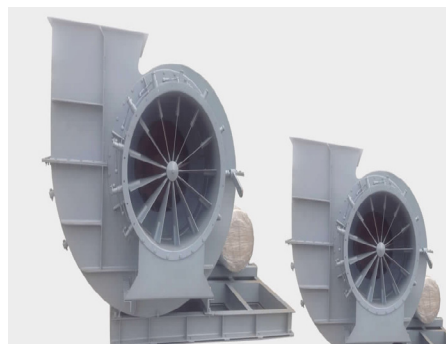
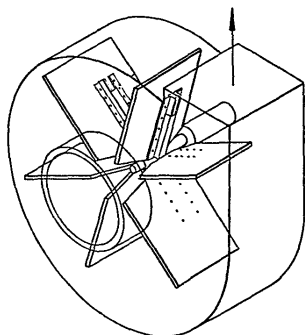


- 4.1.2. Ventiladores de flujo centrífugo: Corresponden a turbo-máquinas en donde el flujo de aire entra paralelamente al eje del rotor por la boca de aspiración del ventilador, cambiando su dirección en 90° al salir por la descarga, como se muestra en la Figura N°2 (b). Son ampliamente utilizados en la ventilación localizada, donde se requiere manejar caudales volumétricos de aspiración relativamente bajos asociadas a presiones estáticas elevadas. Los ventiladores centrífugos se pueden clasificar dependiendo de la forma de los álabes en tres tipos:

- a. Álabes radiales: Esta configuración de rodete corresponde a álabes totalmente rectos como se muestra en la Figura N°6. Se caracterizan por mover volúmenes de aire moderados a presiones estáticas altas, por lo que tienen varias aplicaciones a nivel industrial que incluyen flujos de aire cargados con polvos y humedad.

Figura N°6:

Ventilador centrífugo de álabes radiales



- b. Álabes curvados hacia adelante: Esta configuración contempla álabes curvados en el sentido del giro del rodete, como se muestra en la Figura N°7. Se emplea para manejar grandes caudales de aire a presiones estáticas de bajas a moderadas, lo cual permite que se utilice en sistemas calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire (HVAC en inglés). No se recomiendan para

el manejo de flujos de aire con carga de polvo o humos ya que éstos contaminantes se pueden adherir a los álabes, lo cual podría causar un desbalance y dificultar las labores de limpieza.

Figura N°7:

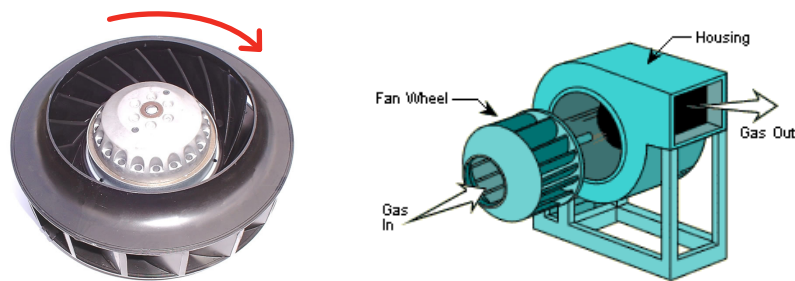
Ventilador centrífugo de álabes curvados hacia adelante



- c. Álabes curvados hacia atrás: En esta configuración, a diferencia del anterior, los álabes están curvados en el sentido opuesto al giro del rodete, como se muestra en la Figura N°8. Los ventiladores dotados de este tipo de álabes pueden manejar altos caudales de aire a presiones estáticas altas, siendo utilizado en sistemas de calentamiento, ventilación y aire acondicionado, en los cuales el flujo de aire sea limpio y esté libre de humos o vapores condensables.

Figura N°8:

Ventilador centrífugo de álabes curvados hacia atrás



4.2. De acuerdo a la presión que manejan

En término de la presión que los ventiladores son capaces de manejar se pueden clasificar en ventiladores de **baja presión, presión moderada y alta presión**.

4.2.1. Ventiladores de baja presión: Este tipo de ventiladores están diseñados para manejar presiones menores a 0,02 kg/cm² (1960 Pa). En general, éstos son del tipo centrífugo utilizados en climatización.

4.2.2. Ventiladores de presión moderada: Este tipo de ventiladores trabajan con presiones entre 0,02 kg/cm² a 0,08 kg/cm² (1960-7840 Pa). Éstos pueden ser axiales o centrífugos, dependiendo de las necesidades de caudal y presión del proceso.

4.2.3. Ventiladores de alta presión: Son ventiladores que manejan presiones entre 0,08 kg/cm² hasta 0,25 kg/cm² (7840–24500 Pa). Estos ventiladores suelen ser del tipo centrífugo con rodetes estrechos y de gran diámetro.

4.3. De acuerdo al tipo de accionamiento

El accionamiento de un ventilador corresponde a la forma como se transmite la energía al rodetes para hacerlo girar y así generar la diferencia de presión necesaria para el movimiento del aire a través del sistema de ventilación. Este accionamiento puede ser de tipo directo o indirecto.

4.3.1. Accionamiento directo: El rodetes del ventilador está acoplado al rotor del motor, es decir, se tiene un eje de giro común. En este tipo de transmisión, el flujo de aire, en el caso de los ventiladores axiales, está en directo contacto con el motor del ventilador y por lo tanto los contaminantes transportados no pueden ser inflamables, corrosivos o que tengan propiedades que puedan afectar al motor.

Los ventiladores con accionamiento directo tienen mayor eficiencia, debido a que existe un ahorro energético al no existir pérdidas en la transmisión del movimiento, como, por ejemplo, el resbalamiento de las correas, en el caso del indirecto.

4.3.2. Accionamiento indirecto: En este caso, el giro del rodetes se genera por el accionamiento de correas y poleas. Esta disposición permite cambiar la velocidad de giro del ventilador y por lo tanto el caudal de aire movilizado modificando el tamaño de las poleas.

Este tipo de accionamiento produce pérdidas por fricción debido al resbalamiento entre la correa y la polea, lo cual produce una disminución de eficiencia respecto al accionamiento de tipo directo. No obstante, este accionamiento permite cierta flexibilidad al poder ajustar la velocidad de giro del rotor, y por lo tanto, el caudal de aire si existen cambios en las condiciones de diseño.

Por otra parte, se utiliza la transmisión indirecta para ampliar el rango de velocidades de giro que proporcionan los motores eléctricos, y así, obtener el caudal especificado en el diseño con el tamaño óptimo de ventilador.

5. CURVAS CARACTERÍSTICAS

Como se ha mencionado, la selección de un ventilador está determinada por el caudal a manejar y la presión estática generada en el sistema de ventilación. Una representación de la funcionalidad que existe entre ambos parámetros está dada por la curva característica del ventilador, la cual se construye en bancos de prueba para distintas velocidades de rotación, como una funcionalidad entre el caudal de aire (eje X) y la presión estática (eje Y). Por su parte, la funcionalidad que existe entre el caudal y la presión estática en el sistema de ventilación se denomina como curva del sistema.

A partir de estas funcionalidades, es posible construir una gráfica con la **curva del sistema** y las curvas **características del ventilador**, las cuales, como se observará, se intersectaran en un punto, el cual corresponde al **punto de operación** del ventilador cuando el sistema está funcionando.

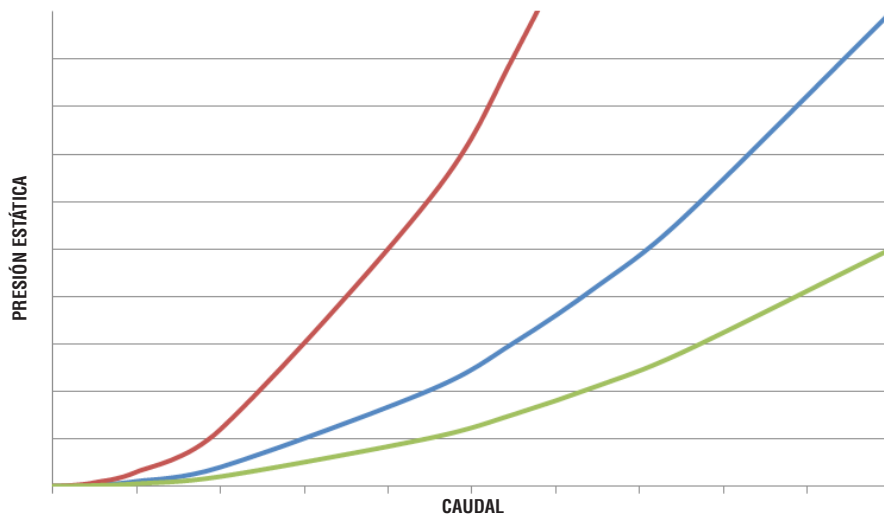
5.1. Curva del sistema

En esta curva, la presión estática generada en el sistema es proporcional al cuadrado del caudal a manejar, como se muestra en la Figura N°9. La proporcionalidad depende principalmente del trazado de ductos del sistema y la resistencia que al paso del aire tienen los equipos conectados, como son las captaciones o cabinas y equipos de retención de los contaminantes como los filtros de polvo o lavadores de gases. La

variación de los componentes del sistema, modificará su resistencia y la curva del sistema cambiará.

Figura N°9:

Curvas características del Sistema

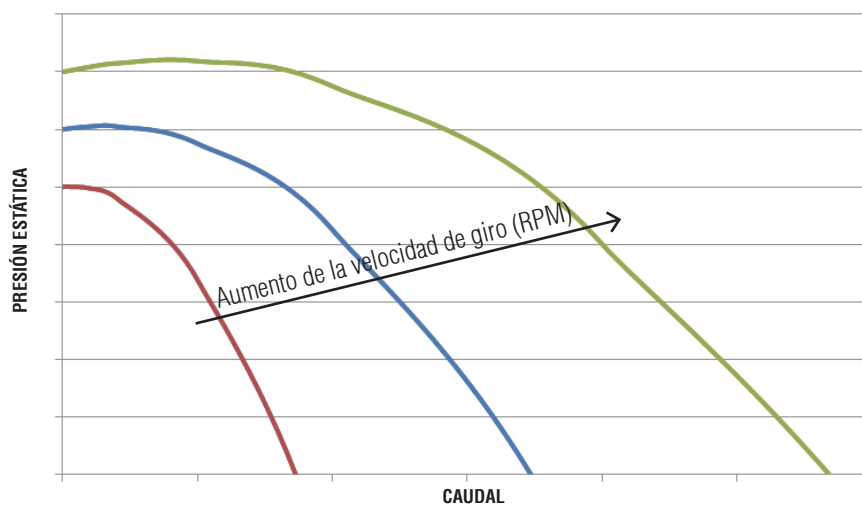


5.2. Curva característica de un ventilador

Esta curva representa el funcionamiento de un ventilador a una velocidad de rotación definida, la cual se utiliza para obtener la capacidad de presión a cualquier caudal volumétrico. Ésta se construye al graficar una serie de datos puntuales de presión estática versus caudales, para una velocidad de rotación definida. Por lo tanto, para cada ventilador existe una familia de curvas únicas, las cuales se generan al variar la velocidad de rotación (revoluciones por minuto del motor, RPM). En la Figura N°10 se ejemplifica un conjunto de curvas características de un ventilador.

Figura N°10:

Curvas características del ventilador

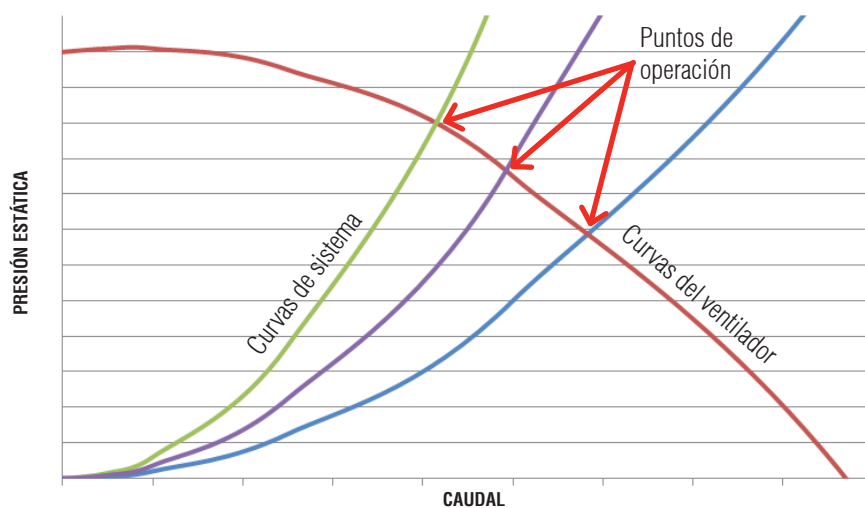


5.3. Punto de operación

El punto de operación, gráficamente, corresponde a la intersección de las curvas características del sistema y del ventilador, como se muestra en la Figura N°11. Sin embargo, debido a la variabilidad de la resistencia en el sistema (en términos de presión estática), es posible que esta curva cambie durante el periodo de operación. Por lo tanto, se generan varias curvas que describirán al sistema de ventilación, y por tanto, más de un punto de operación, como se muestra en la Figura N°11.

Figura N°11:

Punto de operación



5.4. Curva de eficiencia

Para la selección de un ventilador adecuado, no solo basta con conocer el punto o rango de operación, también es importante conocer la **curva de eficiencia** de éste. Generalmente, existe más de un tipo de ventilador que cumplen con los requerimientos del sistema; no obstante, no todos operan en el punto de eficiencia máximo para dichos requerimientos.

La eficiencia del ventilador puede definirse como la razón de la potencia entregada por el ventilador al aire sobre la potencia consumida por el rotor del sistema motriz, es decir:

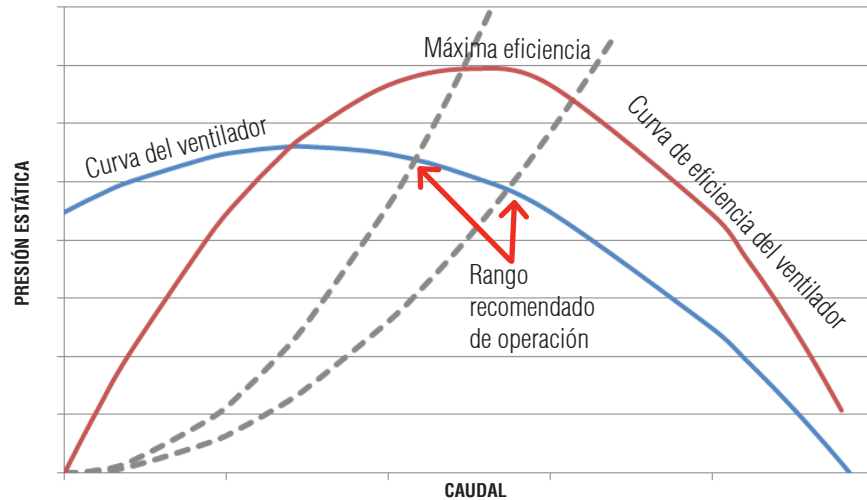
$$n = \frac{\text{Potencia entregada por el ventilador al aire}}{\text{Potencia consumida por el rotor del sistema motriz}} = \frac{Q \cdot SP}{\text{BHP}}$$

Donde Q es el caudal de aire, SP es la presión estática del ventilador y BHP es la potencia al freno del rotor del ventilador.

La curva de eficiencia de un ventilador puede ser obtenida a partir de los datos de presión estática, caudal de aire y potencia al freno del ventilador otorgados por el fabricante. Y para visualizar esto, se puede graficar la eficiencia del ventilador versus el caudal de aire, como se muestra en la Figura N°12.

Figura N°12:

Curva de Eficiencia y Rango óptimo de operación



Como se observa en la Figura anterior la eficiencia presenta un valor máximo. Por lo tanto, el ventilador adecuado para un sistema de ventilación será aquel cuyo rango de operación esté ubicado en una vecindad cercana a este valor de eficiencia.

6. NIVEL DE RUIDO

Otro factor que hay que considerar al momento de elegir un ventilador es el ruido que producirá, lo cual es parte inherente del funcionamiento del ventilador. En primer lugar, hay que indicar que el ruido es una forma de pérdida de energía relacionado tanto con el movimiento del aire al interior de la carcasa y aspas como por la vibración generada en sus componentes.

Para mantener el ruido en niveles aceptables, es importante considerar implementar los elementos de amortiguación necesarios acorde a las especificaciones del ventilador, con el fin de minimizar el efecto de las vibraciones¹.

Un error común al implementar un ventilador es elegir un tamaño muy pequeño o muy grande, lo cual por lo general conduce a un punto de operación alejado de la zona de mayor eficiencia. Para minimizar el ruido producido por el efecto del flujo de aire, es recomendable que tanto la velocidad de giro como las velocidades del aire en la succión y descarga sean lo más bajas posible.

7. ACOPLAMIENTO DE VENTILADORES

En ocasiones, será necesario implementar más de un ventilador en un sistema de ventilación y la forma de acoplarlos dependerá si se requiere generar una mayor presión estática o impulsar una mayor cantidad de aire. Los ventiladores pueden ser acoplados en **serie o paralelo**.

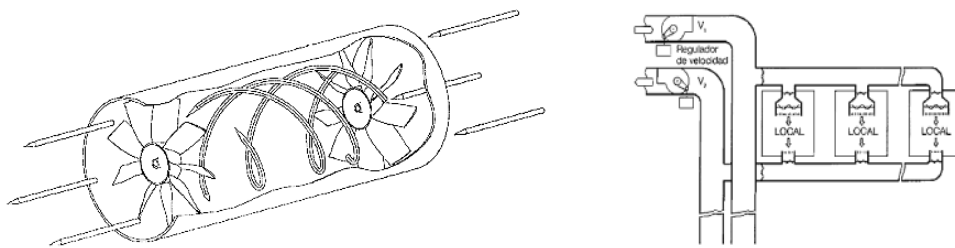
¹ También se puede contar con un plan de mantenimiento periódico a los componentes del ventilador, con el fin de evitar el desgaste, desajuste de rodamientos, bujes, correas, etc.

7.1. Acoplamiento en serie

Ventiladores acoplados en serie se refiere a conectarlos de manera secuencial, uno después de otro o dentro del mismo ducto (Figura N°13). Este tipo de acoplamiento atiende a la necesidad de mover caudales de aire en sistemas de ventilación que presentan pérdidas por fricción (en términos de presión estática) considerables, como en los sistemas de minería.

Figura N°13:

Ventiladores acoplados en serie (Axial y Centrífugo)

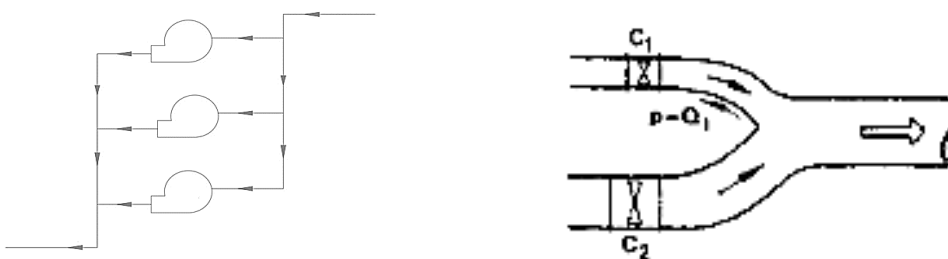


7.2. Acoplamiento en paralelo

Ventiladores acoplados en paralelo se refiere a conectarlos de forma que aspiran desde un mismo lugar, de modo que el caudal neto aspirado se divide en distintas canalizaciones para terminar uniéndose en un punto posterior (Figura N°14). Este tipo de acoplamiento atiende a la necesidad de mover grandes caudales de aire con variaciones de presión estática mínimas en el sistema.

Figura N°14:

Curva característica resultante del acoplamiento en paralelo de dos ventiladores



8. CONDICIONES AMBIENTALES Y DEL PROCESO

Las especificaciones de un ventilador, en términos del caudal y la presión estática, suponen condiciones estándar del aire (1 atm de presión y 20°C de temperatura). Sin embargo, la mayoría de las veces el proceso está diseñado en condiciones distintas a esta, lo que influirá en el rendimiento del ventilador. Por esta razón, es importante informar al fabricante o proveedor del ventilador sobre estas condiciones, para que así puedan recomendar un equipo que cumpla con los requerimientos del sistema.

8.1. Condiciones del flujo

- 8.1.1. Composición del flujo: En función del proceso productivo, el aire puede contener partículas, gases o vapores, los cuales pueden resultar corrosivo o abrasivos, por lo que es necesario que los componentes internos estén fabricados en un material que sea resistente a la corrosión (en el caso del arrastre de gases y vapores) y a la abrasión (cuando se trate de material particulado a velocidades de transporte altas). En adición, el flujo de aire puede contener material el cual quede depositado en las aspas del rodete del ventilador, por lo que en ese caso, es recomendable utilizar alabes radiales o contemplar la instalación de retenedores² antes del ventilador.
- 8.1.2. Densidad: La densidad del aire varía con la presión atmosférica, la temperatura y la humedad. Como se ha mencionado anteriormente, los ventiladores se diseñan a densidad estándar. Por lo tanto, cuando la variación de la densidad del aire respecto a la condición estándar sea mayor a un 5%, se debe considerar correcciones para la presión estática y de la potencia al freno³. Por lo tanto, para realizar la selección del ventilador es necesario informar al fabricante o consultar en los catálogos el caudal real en función de las condiciones existentes en la entrada del ventilador con la corrección de las densidades.
- 8.1.3. Temperatura: La temperatura del flujo influye tanto en la densidad del aire como en los componentes internos del ventilador. Por lo tanto, los materiales de construcción de éstos deben ser resistentes al incremento de la temperatura, ya que en caso contrario, éstos se deforman y perjudicarían el funcionamiento del ventilador.

8.2. Temperatura ambiente

Si el ambiente de trabajo donde se instalará el ventilador está sometido a temperaturas extremas (frías o calientes), los materiales de fabricación del ventilador deberían soportar estas condiciones extremas, ya que de lo contrario, se producirán fallas estructurales en los componentes del ventilador, dejándolo inutilizable.

8.3. Altitud Geográfica

La altura geográfica influye directamente en la presión atmosférica, por lo que la densidad del aire varía. La funcionalidad entre la densidad del aire y la altitud es inversa, es decir, a mayor altura geográfica, menor es la densidad del aire. Por lo tanto, la selección del ventilador debe atender las necesidades en relación a la variación de la densidad del aire por efecto de la altura.

9. CATÁLOGOS DE SELECCIÓN

En un catálogo de ventiladores, se podrán visualizar las variables independientes (diámetro del rodete, revoluciones por minuto, densidad⁴) y las variables dependientes (caudal, presión estática y potencia al freno), las cuales se relacionan mediante un set de ecuaciones que se conocen como **Leyes de los Ventiladores** (Anexo I).

Por lo general, las tablas en los catálogos se presentan como se muestra en la Figura N°15, la cual

2 También pueden ser retenedores para gases y vapores.

3 El caudal de aire no se ve afectado por la variación de la densidad del aire (ver Anexo I).

4 En este caso, la densidad que se indica es en condiciones estándar (1 atm, 20°C) a nivel del mar.

corresponde a un cierto modelo de ventilador⁵. Las tablas de los catálogos son otra forma de expresar las curvas características de un ventilador, mostrando la curva de presión estática, curva de eficiencia y curva de potencia al freno.

En estas tablas, se presentan en cada lado una serie de valores de caudal (Q) y presión estática (SP), y para cada uno de estos puntos, se asocia un par de valores de velocidad de giro (RPM) y de potencia al freno (BHP). Todos estos valores fueron calculados empleando un diámetro de rodete constante y condiciones estándar del aire.

Figura N°15:
Catálogo para un ventilador

	SP ₁		SP ₂	
	RPM	BHP	RPM	BHP
Q ₁				
Q ₂				
Q ₃				

10. CONCLUSIONES

Como ya se mencionó, el ventilador debe responder a los requerimientos mínimos del diseño del sistema de ventilación, tanto del caudal de aire a manejar y de las resistencias en términos de pérdidas asociadas al montaje del sistema en cuestión.

La implementación de un ventilador que no cumpla con lo planteado por el diseño puede desencadenar el malfuncionamiento del sistema. Por lo tanto, es importante prestar atención a los puntos expuesto anteriormente, los cuales sirven de apoyo técnico y teórico para la selección del ventilador adecuado.

11. DEFINICIONES

11.1. Presión estática: Es la presión que ejerce el aire sobre un objeto, el sensor de un instrumento, por ejemplo, al estar inmerso en él, ejerciéndose en todas las direcciones. Cuando el flujo de aire está en movimiento, la presión estática se mide perpendicularmente al desplazamiento del fluido, pudiendo ser negativa o positiva. Se expresa en unidades de altura de columna de líquido, inH₂O o mmH₂O.

11.2. Velocidad del aire: Corresponde a la magnitud física o rapidez con la cual el aire se desplaza de un lugar a otro, ya sea en campo abierto o a lo largo de un tramo de ductos.

11.3. Caudal de aire: Corresponde a la cuantificación de un volumen de aire determinado por unidad de tiempo, midiéndose en pies cúbico por minuto (CFM), metros cúbicos por hora (m³/h).

11.4. Presión atmosférica: Es la presión que ejerce el peso del aire atmosférico circundante sobre los objetos, medida con un barómetro. El valor de referencia de la presión atmosférica es la medida a nivel del mar a 45 grados de latitud y a una temperatura de 4°C y equivale a 1 atm.

⁵ Dependerá de cada fabricante.

- 11.5. Presión:** Corresponde a la fuerza que ejerce el aire sobre un objeto por unidad de área. Se mide en pulgada columna de agua (inH₂O), Pascal (Pa), milímetros columna de agua (mmH₂O), entre otras.
- 11.6. Potencia:** Desde el punto de vista de la mecánica, corresponde al trabajo realizado por un cuerpo durante un intervalo de tiempo. Es transmitida por la acción de fuerzas físicas de contacto o con elementos mecánicos como palancas o engranajes.
- 11.7. Potencia al freno:** Corresponde a la potencia requerida para mover el ventilador incluyendo sus pérdidas, con excepción de las pérdidas por transmisión entre el motor y el ventilador. Se mide en Watt, hp.
- 11.8. Velocidad de giro:** Cuantificación del número de vueltas que realiza un cuerpo sobre su propio eje, por unidad de tiempo. Se miden en revoluciones por minuto (RPM).

12. BIBLIOGRAFÍA

- 12.1. American Conference of Governmental Industrial Hygienist, "INDUSTRIAL VENTILATION", 19th Edition, 1986.
- 12.2. José Tardá Mansana, "Ventiladores y Turbocompresores", Marcombo S.A., Ediciones Técnicas, Barcelona, 1966.
- 12.3. Instituto de Salud Pública de Chile, "Guía para la Evaluación Cualitativa de Sistemas de Ventilación Localizados", 2012.
- 12.4. Instituto de Salud Pública de Chile, "Guía para la Evaluación Cuantitativa de Sistemas de Ventilación Localizada", 2014.

ANEXO I

LEYES DE LOS VENTILADORES

Considérese dos condiciones, 1 y 2, las cuales representan las siguientes situaciones:

- Dos ventiladores de distinto tamaño (D_1 , D_2) pertenecientes a una misma serie homóloga⁶. La variación del diámetro del rodete tiene estricta relación con el tamaño del ventilador, pertenecientes a la misma serie homóloga.
- Dos velocidades de giro del rotor, RPM_1 y RPM_2 .
- Dos condiciones de densidad (ρ_1 , ρ_2), las cuales pueden darse por variaciones en la presión atmosférica, temperatura y/o humedad del aire.
- Los valores Q_1 , H_1 y BHP_1 corresponden a las variables dependientes en la situación número 1, considerando D_1 , RPM_1 y ρ_1 .
- Los valores Q_2 , H_2 y BHP_2 corresponden a las variables dependientes en la situación número 2, es decir, cuando se presentan variaciones en las variables dependientes (D_2 , RPM_2 y ρ_2).

Es posible establecer la forma en que varían las prestaciones en ambos ventiladores por medio de las leyes de los ventiladores, de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3 \cdot \left(\frac{RPM_2}{RPM_1}\right)$$

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{RPM_2}{RPM_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)$$

$$\frac{BHP_2}{BHP_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^5 \cdot \left(\frac{RPM_2}{RPM_1}\right)^3 \cdot \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)$$

Con respecto al caudal de aire, se mantendrá constante mientras la velocidad de giro no varíe y mientras la resistencia del sistema se mantenga constante, es decir, que el sistema no presente cambios en sus componentes. Por lo tanto, éste valor no se ve afectado por la variación de la densidad del aire.

Respecto a la presión estática (H) y la potencia al freno del ventilador (BHP), éstas si dependen de la variación de todas las variables dependientes, como se muestra en las ecuaciones anteriores.

De acuerdo a las ecuaciones presentadas anteriormente, se puede concluir lo siguiente:

- Si el diámetro del rodete varía al doble, manteniendo la velocidad de giro y la densidad del aire constante, se obtiene que el caudal de aire aumenta 8 veces, la presión estática aumenta 4 veces y la potencia al freno aumenta 32 veces respecto al valor inicial.

⁶ Se denominan ventiladores homólogos o semejantes a aquella serie de ventiladores que son geoméricamente proporcionales, en términos de la voluta, diámetro del rodete, etc.

- b. Si la velocidad de giro aumenta al doble, manteniendo el mismo ventilador (diámetro del rodete) y la densidad constantes, se obtiene que el caudal de aire aumenta al doble, la presión estática se cuadruplica y la potencia al freno aumenta 8 veces respecto al valor inicial.
- c. Si la densidad se duplica, manteniendo el mismo diámetro de rodete y velocidad de giro, se obtiene que el caudal se mantiene invariante, la presión estática aumenta al doble y la potencia al freno aumenta al doble del valor inicial.