

# BUENAS PRÁCTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA Ventilación Industrial

# Introducción

---

Los ventiladores se utilizan para distribuir aire directamente o llevarlo a través de ductos hasta los recintos que deben tener aire acondicionado, para la extracción de gases perjudiciales o simplemente acondicionar el recinto con aire ambiente.

En resumen se denomina ventilación a la renovación del aire del interior de una edificación mediante extracción o inyección de aire. La finalidad de la ventilación es:

- Asegurar la limpieza del aire respirable.
- Asegurar la salubridad del aire, controlando la humedad y concentraciones de gases o partículas en suspensión.
- Colaborar en el acondicionamiento térmico de edificios.
- Combatir los humos en caso de incendio.
- Disminuir las concentraciones de gases o partículas a niveles adecuados para el funcionamiento de maquinaria o instalaciones.
- Proteger determinadas áreas de patógenos que puedan penetrar vía aire.

En el país la ventilación se utiliza generalmente para las siguientes aplicaciones:

- Cortinas de aire forzado para control de plagas.
- Área de secado en los beneficios de café, arroceras entre otros.
- Climatización mediante ventilación forzada.
- Extractores industriales.
- Manejadoras de aire.
- Refrigeración.
- Otros.



# Fundamentos Teóricos

Un ventilador es una máquina rotativa que pone el aire o un gas en movimiento. Podemos definirlo como una turbomáquina que transmite energía para generar la presión necesaria con la que se mantiene un flujo continuo de aire.

Un ventilador consta en esencia de un motor de accionamiento, generalmente eléctrico, con los dispositivos de control propios de los mismos: arranque, regulación de velocidad, conmutación de polaridad, etc. y un propulsor giratorio en contacto con el aire, al que se le transmite la energía para que genere el flujo continuo de aire.

Un sistema típico de aire puede contener uno o más sistemas según se detalla:

## Sistema de ingreso

En un sistema de aire usualmente incluye dispositivos tales como filtros, pantallas, rejillas, entre otras, donde el aire ingresa al sistema. Estos son utilizados por razones de seguridad para no permitir el ingreso de agentes exteriores tales como la lluvia, el polvo, y cualquier otro elemento que sea no deseado.

## Sistema de distribución

Muchos de los sistemas de aire están hechos de ductos especialmente diseñados y construidos para transportar aire desde el sistema de ingreso al sistema de salida. En algunos casos, espacios cerrados en la estructura arriba del cielo raso o agujeros en las paredes pueden utilizarse para confinar y dirigir el flujo.

## Ventilación

De acuerdo con el diseño y la operación del sistema, la ventilación comienza con una comprensión de los tipos de ventiladores, su rendimiento característico y sus aplicaciones.

Un ventilador es requerido para producir una presión diferencial la cual genera un flujo de aire a través de un sistema. El ventilador tiene que ser seleccionado con precaución y conocer el flujo de aire y la presión para una operación apropiada del sistema.

## Dispositivo de control

En muchos de los sistemas de aire es necesario regular y controlar el flujo a través del sistema en respuesta a alguna señal de monitoreo, usualmente presión o temperatura. También puede ser necesario regular el flujo en los ramales del sistema. Los dispositivos de control al igual que la función de un "dámper" son controlados por la cantidad del flujo de aire. En algunos casos, la salida del ventilador puede ser variada por otros métodos. (Motores de velocidad variable, alabes de ingreso variable, entre otros)

## Dispositivo de acondicionado

Muchos de los sistemas están diseñados con el fin de tomar aire del exterior y cambiar su condición antes de descargarlo en su punto final. Los cambios incluyen la temperatura, humedad, presión, nivel de contaminante y limpieza del aire. Muchos dispositivos de acondicionamiento requieren de fuentes de energía externa, como por ejemplo, el calentamiento, y el serpentín de enfriamiento; otros componentes como los filtros son dispositivos pasivos y no tienen conexión con fuentes externas. Todos los dispositivos de acondicionamiento incrementan la caída de presión a través del sistema y este efecto solo puede ser considerado con la selección del ventilador.

## Sistema de salida

Un sistema de aire incluye un componente especial para la salida del aire del sistema o de sus ramales. Estos sistemas requieren una selección cuidadosa de los dispositivos de salida para lograr una condición deseable de aire y temperatura en un espacio acondicionado. Los dispositivos típicos de salida son rejillas y difusores de techo. En algunos casos estos pueden incorporar “dampers” y cajas de mezclado.

## Tipos de Ventiladores

Los tipos de ventiladores se pueden distinguir por la dirección del aire que fluya a través del impulsor cuando la energía está siendo transmitida por las aletas o superficies activas. Los tipos principales son:

- **Ventiladores axiales:** incluyen ventiladores helicoidales, por los que el aire fluye básicamente en paralelo al eje.
- **Ventiladores centrífugos:** que se podrían denominar también ventiladores radiales ya que el aire fluye en una dirección radial respecto al eje.
- **Ventiladores de flujo mixto:** a través de los cuales el aire fluye en direcciones axiales y radiales de forma combinada.
- **Ventiladores de flujos cruzados:** a través de los cuales el aire fluye en una dirección radial hacia dentro y luego en una dirección radial hacia afuera.

De estos tipos de ventiladores destacan los axiales y los centrífugos, difieren entre sí en la dirección del flujo de aire que pasa por ellos.

## Ventiladores Axiales

Son aquellos en los cuales el flujo de aire sigue la dirección del eje. Se suelen llamar helicoidales, pues el flujo a la salida tiene una trayectoria con esa forma. Es decir; se impulsa el aire a lo largo del eje del ventilador, y después sale en la misma dirección. En términos generales son aptos para mover grandes caudales a bajas presiones. Con velocidades periféricas medianamente altas son en general ruidosos. Suelen sub-clasificarse, por la forma de su envolvente, de la siguiente manera: helicoidad, tuve axial, vane axial y centrifoil.



Es importante indicar que cuanto más altas las necesidades de presión del ventilador, tanto más complejas deberán ser otras partes del ventilador para alcanzar los rendimientos deseados.

Los ventiladores axiales son probablemente los más sencillos y más conocidos de todos los ventiladores. Incluso los ventiladores provistos de aletas más sofisticadas sólo pueden desarrollar presiones totales de hasta 2.49 KPa aproximadamente. La mayoría de los ventiladores axiales requieren una mayor potencia a caudales bajos que a caudales altos para la misma velocidad de rotación. Pueden ser empleados para circulación y extracción de aire en naves industriales, tiro de calderas, procesos de secado, refrigeración, otros.

## Ventiladores Centrífugos

En un ventilador centrífugo, se impulsa al aire a lo largo del eje del ventilador, luego es desviado rápidamente en forma radial a dicho eje. Es decir, el flujo de aire cambia su dirección en un ángulo de 90° entre la entrada y salida. El aire se captura en una carcasa o caracol, y se concentra en una sola dirección. Entre las características más notables están las formas que tienen los alabes por eso se clasifican en: curvadas hacia adelante, palas radiales, inclinadas hacia atrás, airtoil y radial tip. En general, los tipos de alabes hacia atrás son más eficaces y estables. Pueden ser empleados en aplicaciones industriales con movimiento de materiales abrasivos, en movimiento de aire, calefacción y aire acondicionado a baja presión, entre otras.



## Selección del ventilador

La selección del mejor tipo de ventilador para determinada aplicación depende de las características de funcionamiento y otras particularidades.

- **Ventiladores axiales de hélice:**

- No pueden crear altas presiones.
- No recomendables a utilizar en ductos.
- Son de bajo costo
- Se utilizan primordialmente como ventiladores de escape de pared o de ventana.

- **Ventiladores centrífugos aspas hacia adelante:**

- Menor costo inicial que los curvos hacia atrás para las mismas características de funcionamiento.
- Mayor costo de operación por menor eficiencia.
- Se utilizan en unidades embaladas de acondicionamiento de aire debido a su bajo costo.

- **Ventiladores centrífugos aspas hacia atrás:**

- Más costosos
- Menor costo de operación por alta eficiencia
- La característica de potencia máxima evita sobre cargas en el motor.
- Los ventiladores de hoja de aire son los más eficientes.

En general los ventiladores axiales se pueden utilizar en un sistema de ductos, sin embargo el nivel de ruido que generan en comparación con los centrífugos es significativo.

Para la selección de un ventilador el fabricante presenta la capacidad del ventilador, como curvas de funcionamiento, para cada tamaño. Las curvas de funcionamiento permiten que el ingeniero visualice fácilmente los cambios en la presión estática, potencia y eficiencia.



## Leyes de afinidad en la ventilación

El rendimiento de un ventilador con variación de velocidad y de densidad de aire está dado por las leyes de afinidad mostradas a continuación:

Leyes de Ventiladores			
Si varia...	y permanecen constantes	Se cumple	
Diámetro hélice, d	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Velocidad</li> <li>- Densidad</li> <li>- Punto de funcionamiento</li> </ul>	<b>El caudal</b> <b>La presión</b> <b>La potencia absorbida</b>	es proporcional al cubo de la relación de diámetros es proporcional al cuadrado de la relación de los diámetros es proporcional a la quinta potencia de la relación de diámetros
Velocidad de rotación, n	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Densidad</li> <li>- Diámetro de la hélice</li> </ul>	<b>El caudal</b> <b>La presión</b> <b>La potencia absorbida</b>	es proporcional a la relación de velocidades es proporcional al cuadrado de la relación de velocidades es proporcional al cubo de la relación de velocidades
Densidad del aire, p	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caudal</li> <li>- Velocidad</li> </ul>	<b>La presión</b> <b>La potencia absorbida</b>	es proporcional a la relación de densidades es proporcional a la relación de densidades

En un sistema de ventilación dado, un ventilador si se mantiene constante la densidad del aire, cumple con:

$$Q_1 / Q_2 = n_1 / n_2 \quad p_{e1} / p_{e2} = (n_1 / n_2)^2 \quad hp_1 / hp_2 = (n_1 / n_2)^3$$

Donde:

Q = Caudal en pies cúbicos por minuto (CFM)

Pe = Presión estática en pulgadas de agua

Hp = Potencia absorbida en caballo de potencia (hp)

N = Velocidad de giro en revoluciones por minuto (RPM)

# Buenas Prácticas

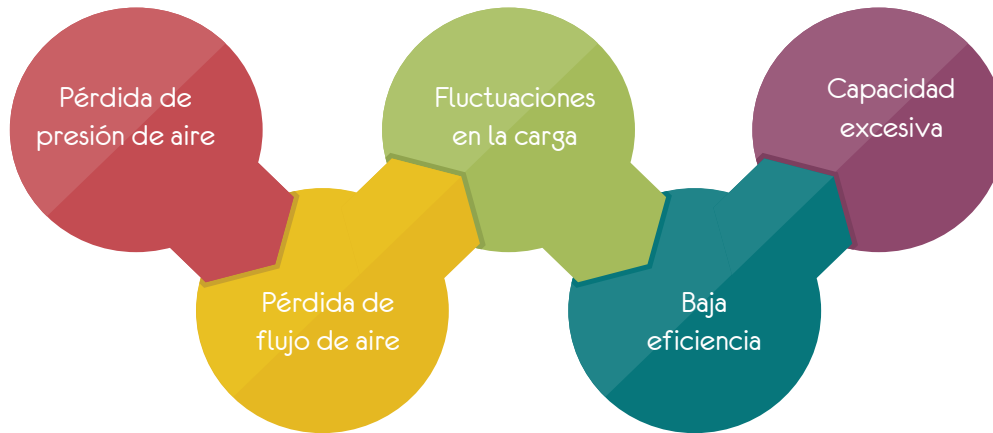
---

Las oportunidades de ahorro energético deben estar orientadas directamente a solucionar las causas que provocan un alto consumo, producto de la pérdida de eficiencia del equipo por obsolescencia tecnológica o los malos hábitos en el uso de los equipos, dichas causas pueden ser de diseño e instalación de los equipos o bien en la operación del mismo.

- Realizar el diseño adecuado o análisis del sistema actual teniendo en cuenta la curva de resistencia del sistema para asegurarse de la correcta capacidad necesaria a instalarse.
- Valorar la instalación de ventiladores centrífugos de alabe de aspas hacia atrás.
- Realizar el análisis de operación con el fin de determinar si podemos aplicar las leyes de afinidad.
- Mantener las válvulas por donde pase el fluido abiertas al 100%, de no ser así valorar la instalación de variadores de frecuencia, las pérdidas en válvulas pueden representar hasta un 30% del consumo.
- Si se ha de emplear control de flujo, es preferible usar álabes de compuerta en la succión, ya que en la descarga se necesitará menos potencia si se reduce el flujo volumétrico.
- Valorar el rendimiento de ventiladores enfocados en capacidad de CFM (pies cúbicos por minuto) bajo un mismo diámetro del impulsor, preferiblemente los certificados por AMCA (Air Movement and Control Association International, INC).
- Tomar en consideración la longitud efectiva de los ductos.
- El sentido de giro de un ventilador puede cambiarse de forma inadvertida, al realizar reparaciones por modificación de las conexiones eléctricas. Un ventilador centrífugo girando en sentido contrario sólo se manifiesta en forma de pérdida de caudal en el sistema de extracción localizada.
- El acople directo motor – ventilador reduce un 7% el consumo de energía, 4% por acople con cadenas y 2% por acople con faja dentada si se le compara con fajas lisas.
- También se debe tener en cuenta el control de:
  - La vibración de la carcasa y rodamientos.
  - Tensión y desgaste de fajas.
  - El alineamiento de los acopladores.
  - El alineamiento y sentido de giro del rodete.
  - El desgaste y acumulación de materiales sobre los alabes.
  - Dampers cerrados, filtros sucios, serpentines obstruidos, entre otros.
  - Rotor girando al revés o muy lento, obstruido, sucio, etc.
  - Deberán tensarse apropiadamente según recomendación del fabricante.
  - Cualquier indicador de desgaste debe significar una medida correctiva o el reemplazo de todas las correas que componen la transmisión.



## Causas de pérdida de Eficiencia Energética

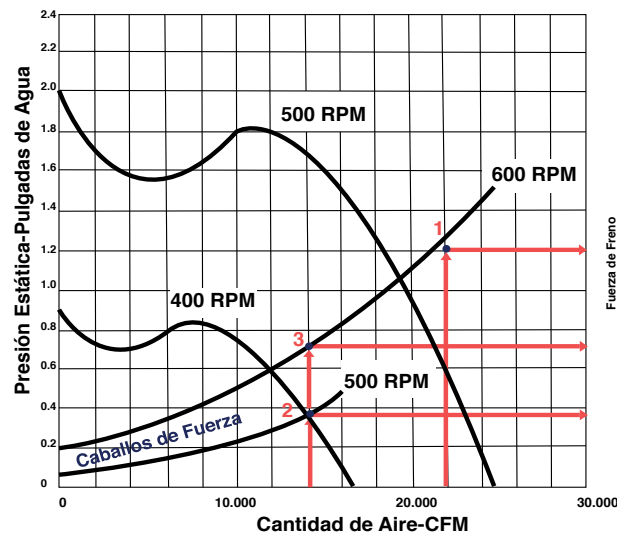


## Caso Práctico

### Sobre el sistema de ventilación

Un ventilador de 21.500 CFM a 600 RPM (revoluciones por minuto), requiere de una potencia de 12,3 HP, 4.000 horas de operación al año. Se sabe que se pueden lograr un ahorro energético si se reduce el flujo de aire a 14.400 CFM. Determine los ahorros de energía utilizando: (a) un variador de frecuencia el cual disminuiría a 400 RPM, (b) un dámper para reducir el flujo de aire a 14.400 CFM.

El rendimiento y curvas de operación del sistema descrito se pueden ver en el gráfico siguiente:



Rendimiento y curvas características del sistema. "Handbook of Energy Engineering, quinta edición". Thumann y Metha

Primero se estima el consumo de energía actual del ventilador:

$$\begin{aligned} \text{Consumo Energía Actual} &= (12,3 \text{ hp}) \times (0,746 \text{ kW/hp}) \times (4.000 \text{ h/año}) \\ \text{Consumo Energía Actual} &= 36.703 \text{ kWh/año} \end{aligned}$$

a) De las leyes de afinidad para ventilación se muestra una disminución en la potencia efectiva dado por:

$$Hp_1 / hp_2 = (n_1 / n_2)^3$$

$$Hp_2 = hp_1 \times (n_2 / n_1)^3$$

$$Hp_2 = (12,3) (400/600)^3 = 3,64 \text{ HP}$$

El nuevo consumo de energía es entonces:

$$\text{Nuevo Consumo Energía} = (3,64 \text{ hp}) \times (0,746 \text{ kW/hp}) \times (4.000 \text{ h/año})$$

$$\text{Nuevo Consumo Energía} = 10.862 \text{ kWh/año}$$

Por lo tanto el ahorro de energía está dado por:

$$\text{Ahorro} = (36.703 - 10.862) \text{ kWh/año}$$

$$\text{Ahorro} = 25.841 \text{ kWh/año}$$

También del gráfico del rendimiento y operación del sistema de bombeo descrito se puede obtener los datos de potencia que se calcularon con las leyes de la afinidad. En el gráfico el escenario actual está definido por el punto 1 donde las condiciones son 21.500 CFM, 600 RPM y una potencia de 12.3 hp. El punto 2 sería las nuevas condiciones con un variador de velocidad donde se tendría 14.400 CFM, 400 RPM y una potencia de 3,64 hp.

b) Cerrando el flujo del aire con un dámper, el flujo de aire se reduce a 14.400 CFM pero manteniendo 600 RPM en el ventilador. Usando la gráfica de rendimiento las condiciones de operación actual del sistema están dadas por el punto 1 y luego se desplaza al punto 3, donde se tendría 14.400 CFM, 600 RPM y una potencia de 7,2 hp.

El consumo de energía para este nuevo escenario es entonces:

$$\text{Nuevo Consumo Energía} = (7,2 \text{ hp}) \times (0,746 \text{ kW/hp}) \times (4.000 \text{ h/año})$$

$$\text{Nuevo Consumo Energía} = 21.485 \text{ kWh/año}$$

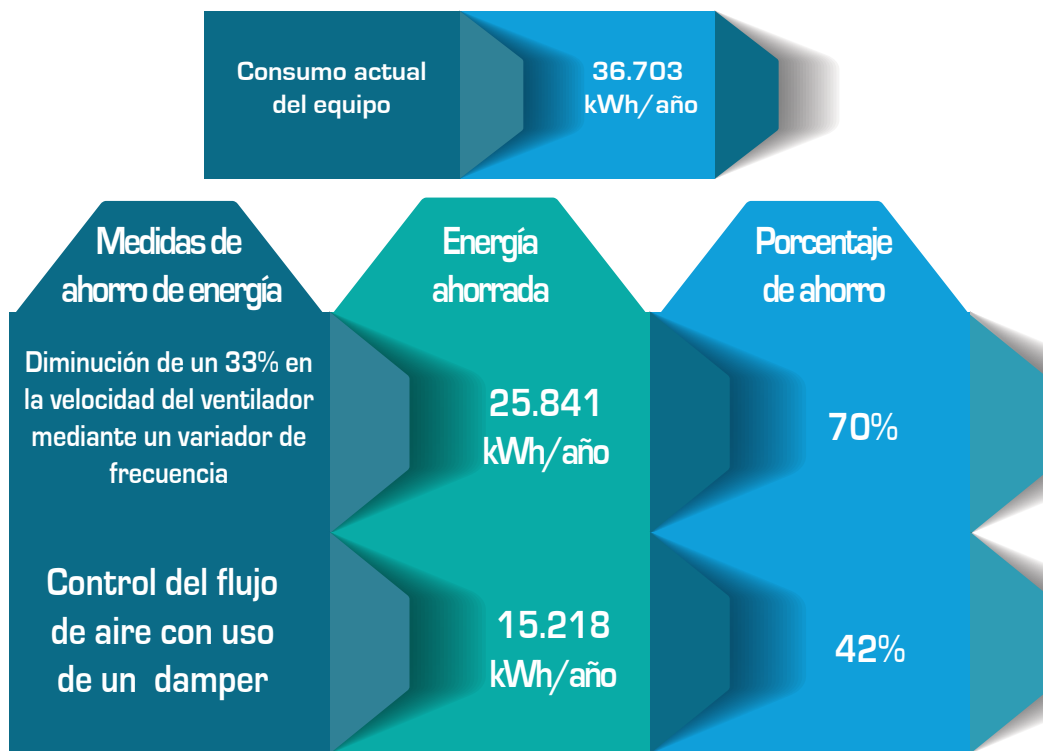
Por lo tanto el ahorro de energía está dado por:

$$\text{Ahorro} = (36.703 - 21.485) \text{ kWh/año}$$

$$\text{Ahorro} = 15.218 \text{ kWh/año}$$

Es importante indicar que dado las dos posibilidades de ahorro energético, el sistema sería más eficiente con el uso de un variador de velocidad reduciendo la velocidad de giro que regulando el flujo de aire con el uso de un dámper.

## Resumen de ahorros de energía:



El gobierno alemán, por medio de la cooperación alemana Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), apoya la región centroamericana a través de su Programa Energías Renovables y Eficiencia Energética (4E) en mejorar las condiciones marco, así como las capacidades tanto institucionales como personales, para el fomento de las energías renovables, la eficiencia energética y la mitigación del cambio climático. Es en el marco de este proyecto que la GIZ apoya al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) en la elaboración del presente producto informativo, con el fin de promover el uso racional y eficiente de la energía, así como un aprovechamiento estratégico y sostenible de las fuentes renovables de energía disponibles en Costa Rica.

# BUENAS PRÁCTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA Ventilación Industrial



Contenido elaborado por:  
Gerencia Electricidad  
UEN Servicio al Cliente  
Área Conservación de Energía

**Teléfonos**  
(506) 2000-7460  
(506) 2000-5673  
(506) 2000-8041

[eficienciaenergetica@ice.go.cr](mailto:eficienciaenergetica@ice.go.cr)

[www.grupoice.com](http://www.grupoice.com)