

Informe 08 Laboratorio de máquinas:

Ensayo de un ventilador radial

Felipe Eduardo Trujillo Preuss
Escuela de Ingeniería Mecánica
felipe.trujillo.p@mail.pucv.cl

04 de Diciembre de 2020

1. Tabla de valores medidos

VALORES MEDIDOS						
nx	P _{e4}	t _a	t _d	W ₁	W ₂	P _{atm}
[rpm]	[mmca]	[°C]	[°C]	[kW]	[kW]	[mmHg]
1831	5	21	23	0,44	0,82	758,8
1845	30	22	23	0,34	0,7	758,8
1867	45	22	23	0,19	0,56	758,8
1867	48,5	21	23	0,14	0,52	758,8
1871	57	21,5	23	0,11	0,49	758,8

Tabla 1. Valores medidos del ensayo

2. Fórmulas

Caudal:

$$q_{vm} = \alpha \cdot s_5 \cdot \left(\frac{2 \cdot P_{e4}}{\rho_{05}} \right)^{\frac{1}{2}} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

DATOS		
D5	D5/D4	α
[mm]	[-]	[-]
0	0	0,6000
90	0,15	0,6025
120	0,2	0,6040
180	0,3	0,6110
300	0,5	0,6410

Diferencia de presión:

$$\Delta P = P_{e4} + 0.263 \cdot \frac{V_1^2}{2} \cdot \rho_{medio} \quad [Pa]$$

Velocidad del aire:

$$V_1 = \frac{q_{vm}}{S_1} \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$S_1 = 0,070686 \text{ [m}^2\text{]}$$

Potencia eléctrica:

$$N_{elec} = W_1 + W_2 \quad [kW]$$

Potencia hidráulica:

$$N_h = q_{vm} \cdot \Delta P \quad [W]$$

Rendimiento global:

$$N_{gl} = \frac{N_h}{N_{elec}} \cdot 100 \quad [\%]$$

Correcciones de velocidad:

$$q_{vm} \propto n \rightarrow q_{vm,correg} = q_{vm} \cdot \left(\frac{n_{media}}{n_x} \right)^1$$

$$\Delta P \propto n^2 \rightarrow \Delta P_{correg} = \Delta P \cdot \left(\frac{n_{media}}{n_x} \right)^2$$

$$N_{elec} \propto n^3 \rightarrow N_{elec,correg} = N_{elec} \cdot \left(\frac{n_{media}}{n_x} \right)^3$$

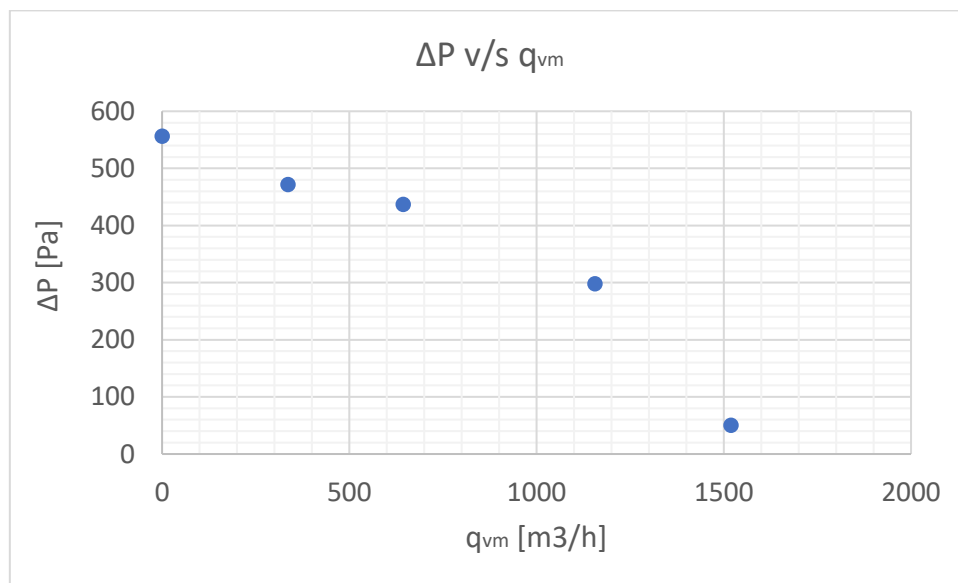
3. Tabla de valores calculados

VALORES CALCULADOS						
q_{vm}	ΔP	V1	ρ_{med}	Ne	Nh	η_{gl}
[m ³ /h]	[Pa]	[m/s]	[kg/m ³]	[kW]	[kW]	[%]
0,000	556,069	0,000	1,198	0,586	0,000	0,000
335,879	471,579	1,320	1,196	0,649	0,044	6,783
643,375	436,621	2,528	1,196	0,737	0,078	10,587
1155,972	297,858	4,543	1,198	1,059	0,096	9,031
1519,057	50,358	5,970	1,197	1,313	0,021	1,619

Tabla 2. Valores calculados del ensayo

4. Gráficos

4.1 Curva ΔP v/s q_{vm}



4.1.1 ¿Qué tipo de ventilador es? Descríbalo con detalle

Se trata de un ventilador radial, también llamado ventilador centrífugo, dispositivo que consiste en un impulsor de álabes alimentado por un motor eléctrico. Desplaza el aire desde el centro radialmente, vale decir, la entrada del gas es paralela al eje motriz, posteriormente a través de una salida lateral el aire es expulsado perpendicular al eje motriz, gracias al cambio en la cantidad de movimiento.

Un ejemplo de este ventilador corresponde a un soplador, utilizado en entornos residenciales y comerciales para secar áreas húmedas. También se aplica este tipo de ventilador en la minería subterránea, con el fin de renovar el flujo y alimentar con aire el entorno industrial pesado.

El resultado de este ventilador es un flujo a alta presión, vale decir, crean un flujo constante de aire que se puede utilizar para apuntar a un área concentrada. Ahora bien, el flujo de aire no posee altos volúmenes y en general posee bajos o aceptables niveles de ruido.

4.1.2 ¿La curva tiene la forma esperada para este tipo de ventilador?

La función del ventilador es mover el caudal de aire requerido a través del sistema y superar la pérdida de presión total (la suma de la pérdida de presión estática más la presión de velocidad de descarga). La presión total del ventilador se compone de la energía cinética (presión dinámica) y la presión estática del ventilador. La presión estática depende de las caídas en los conductos y la presión dinámica depende de la velocidad en la salida. Si la abertura coincide con el área de salida máxima del ventilador, entonces toda la presión por velocidad se perderá cuando el aire salga del sistema. Por otra parte, una velocidad de salida más baja a través de un difusor permitirá que parte de la presión dinámica se emplee de manera útil y aumente.

Por lo tanto, tiene sentido que la curva posea la forma presentada, ya que, al tener un caudal nulo con la abertura tapada, se consigue un aprovechamiento de la presión dinámica por parte del sistema, alcanzando un ΔP máximo. A medida que vamos incrementando el tamaño de la abertura, por consiguiente, también el caudal, la componente de presión dinámica se va perdiendo dentro del sistema y se transfiere hacia el exterior, con ello decremента la presión total del sistema.

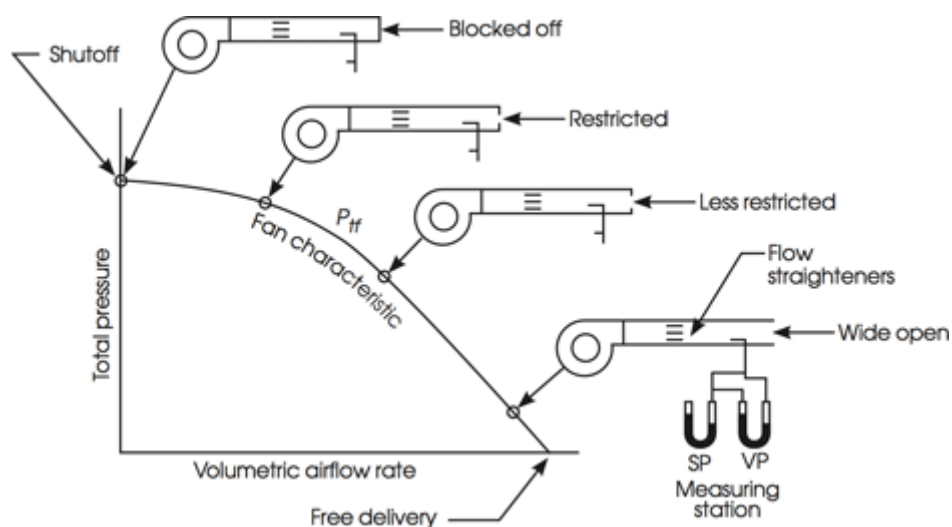
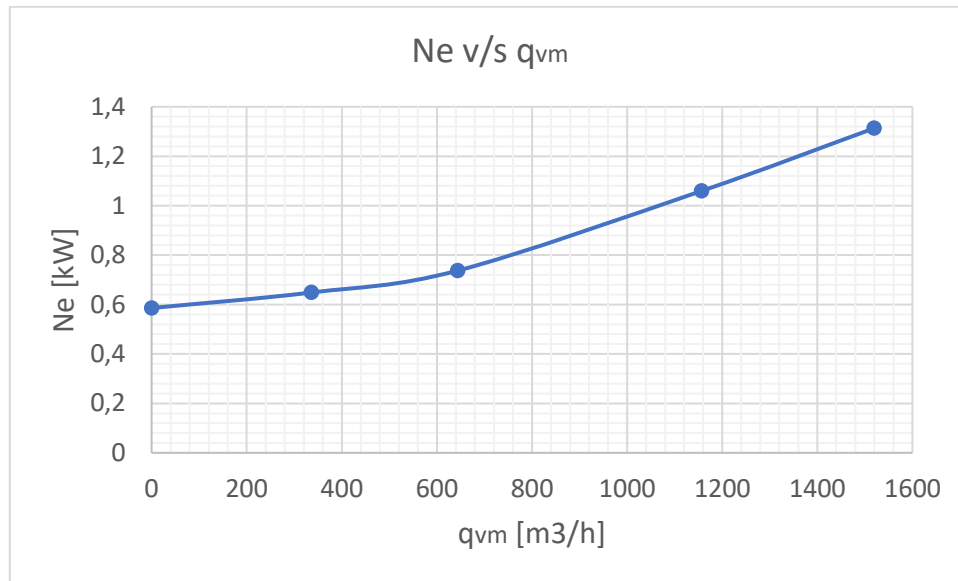


Figura 1. Curva de un ventilador radial [1]

4.2 Curva de potencia v/s caudal



4.2.1 ¿Cuál es la potencia máxima consumida?

Antes de responder a esta pregunta, es prudente comprender la variación que posee la potencia eléctrica suministrada por el motor, con respecto a los parámetros más importantes de operación.

El caudal q_{vm} es proporcional a $D^3 \cdot n$

La presión P es proporcional a $D^2 \cdot n^2 \cdot \rho$

La potencia N_h es proporcional a $D^5 \cdot n^3 \cdot \rho$

Entonces, por una parte, el caudal varía con el cubo del diámetro del impulsor, por lo que un cambio en el diámetro producirá una alteración desproporcionada del caudal. Por otra parte, la potencia aumenta al quinto orden del diámetro, por lo que un pequeño cambio en este parámetro produce un gran aumento en la potencia hidráulica del ventilador, por consiguiente, un aumento en la potencia que se requiere del motor eléctrico.

En síntesis, a mayor diámetro de abertura, más potencia eléctrica necesitará el ventilador para su operación, por lo que la máxima potencia consumida corresponde siempre al punto calculado de mayor caudal. En este caso se indica en el gráfico con una potencia de 1,3 [kW] a un caudal de 1519 [m^3/h].

Adicionalmente, se presenta una validación del análisis efectuado, a través de una familia de curvas características para un ventilador radial generalizado, entre las que se encuentra la curva de potencia versus caudal indicada en color verde.

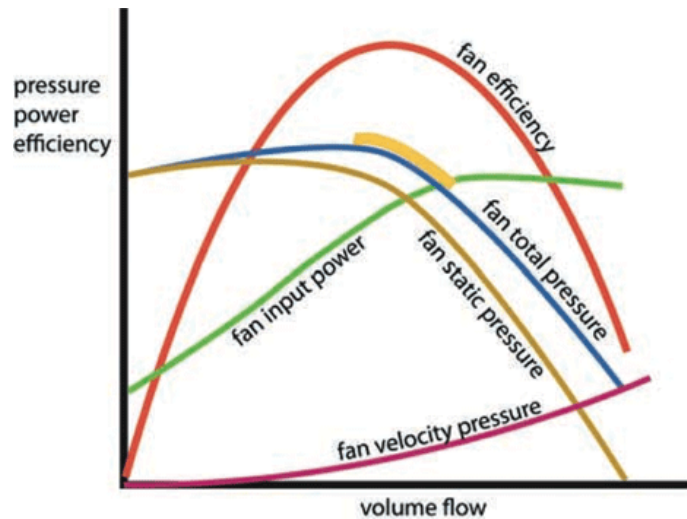


Figura 2. Familia de curvas características para un ventilador radial [2]

4.2.2 ¿Cuál es su posible potencia en el eje?

La potencia en el eje debería ser bastante menor a la potencia eléctrica medida, debido a diversas pérdidas existentes: disipación de calor de componentes electrónicos para en control, pérdidas asociadas al motor, pérdidas en la transmisión, pérdidas aerodinámicas y en los cojinetes. Un ejemplo gráfico de lo descrito se expone en la figura N°3. Estas pérdidas sólo corresponden a la transferencia energética eléctrica hacia el eje, por lo que cabe destacar que existen más pérdidas en el flujo de aire a través de los ductos, por ejemplo, pérdidas por fricción en la carcasa del ventilador, turbulencias y choques, pérdidas en los sellos y por fugas.

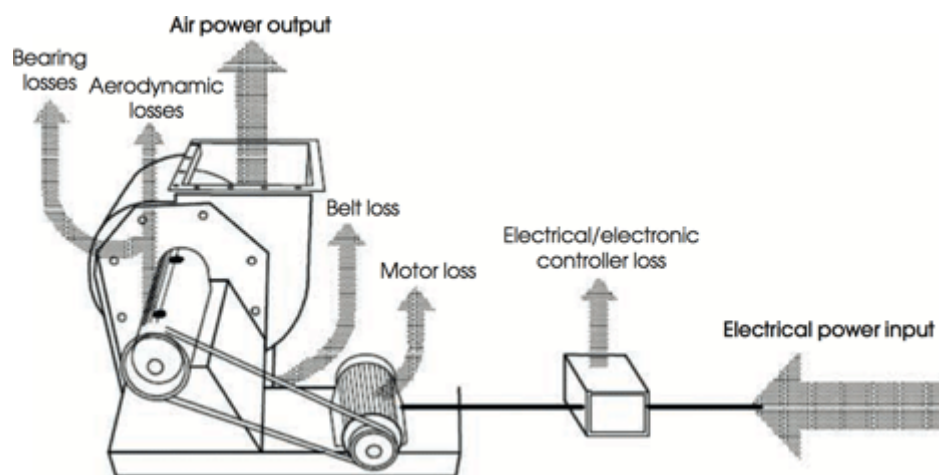
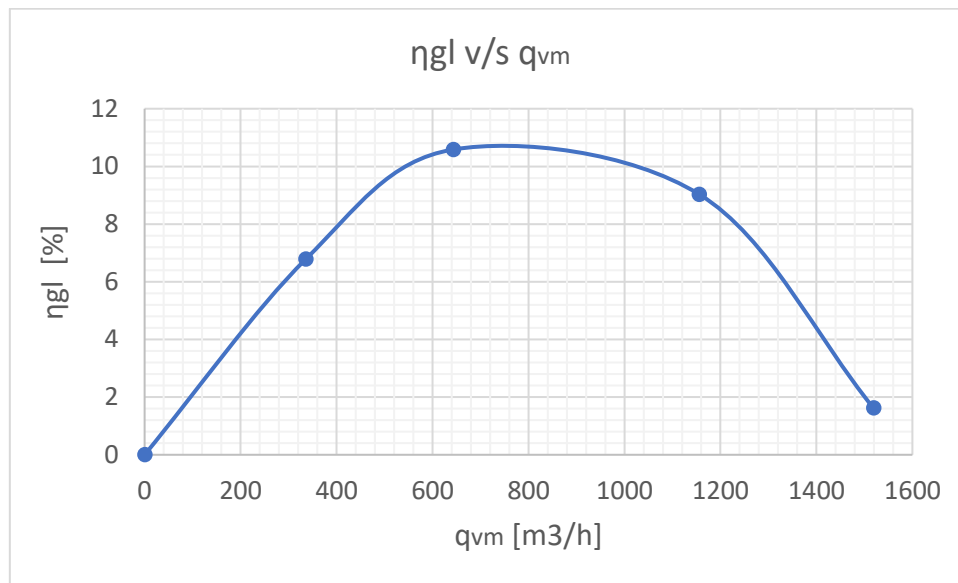


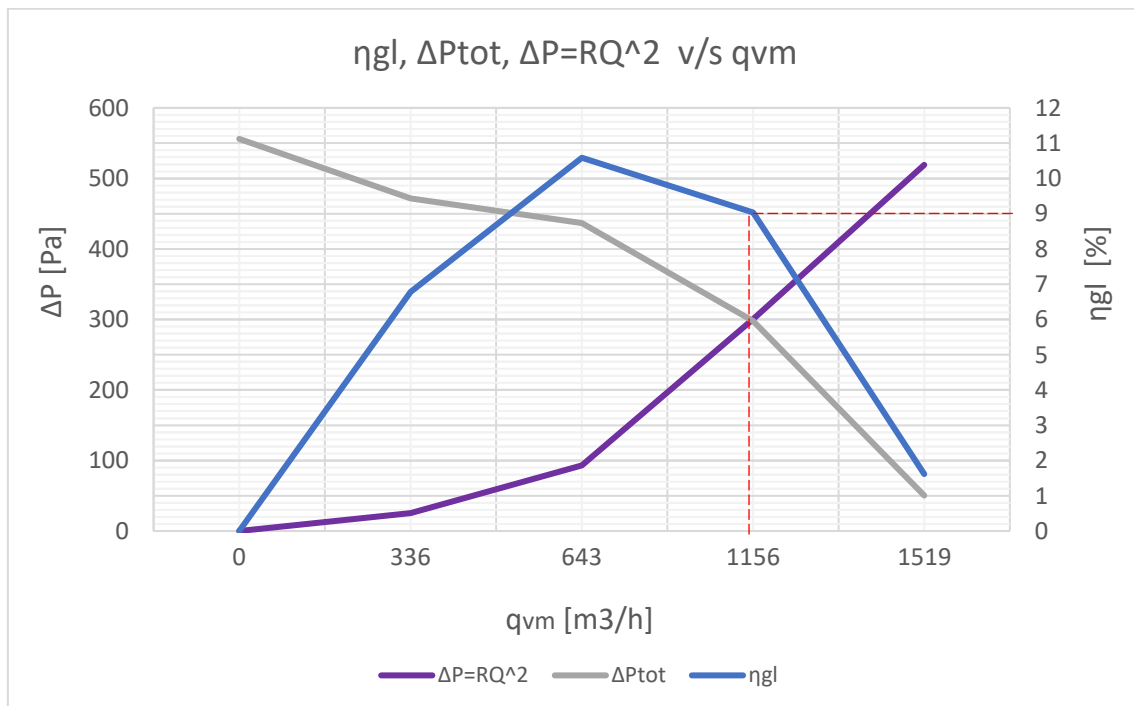
Figura 3. Pérdidas consideradas en el subsistema de un ventilador radial según BS 5801:2008 [2]

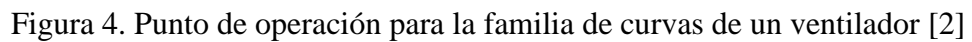
4.3 Curva de rendimiento v/s caudal



4.3.1 ¿Cuál es el punto de óptimo rendimiento?

Al hacer variar el caudal, la pérdida de presión estará relacionada con el cuadrado del caudal con su respectiva velocidad como componente. Por lo tanto, el punto óptimo de operación corresponde al punto en común entre la pérdida de presión por variación de velocidad como componente del caudal al cuadrado ($\Delta P = RQ^2$) y la presión total en el sistema (ΔP_{tot}). La curva en color morado equivale a la serie de puntos en los que el sistema puede operar y al coincidir con la presión total del sistema, proporciona el caudal óptimo para una velocidad particular. Ahora bien, este punto no se encuentra en el de máxima eficiencia, pero sí en un valor muy similar y alto correspondiente a 9% con un caudal de $1156 [m^3/h]$.





The graph illustrates the relationship between power, pressure, and volume flow for fans and systems at higher and lower densities. The vertical axis represents both power and pressure, while the horizontal axis represents volume flow.

Power Curves (Green):

- higher density fan input power:** A solid green curve that increases with volume flow.
- lower density fan input power:** A dashed green curve that increases with volume flow and is below the higher density curve.

Pressure Curves (Blue):

- higher density fan total pressure:** A solid blue curve that initially increases and then decreases with volume flow.
- lower density fan total pressure:** A dashed blue curve that follows a similar shape to the higher density curve but is shifted downwards.

System Curves (Red):

- higher density system:** A solid red curve that increases with volume flow.
- lower density system:** A dashed red curve that increases with volume flow and is below the higher density system curve.

Operating Points:

- The intersection of the **higher density fan total pressure** and **higher density system** curves is marked with a yellow dot.
- The intersection of the **lower density fan total pressure** and **lower density system** curves is marked with a yellow dot.

A vertical dashed line connects these two operating points, indicating that the volume flow is the same for both cases. The graph shows that at a constant volume flow, both the fan input power and the total pressure are lower at a lower density compared to a higher density.

8

El parámetro de mayor influencia sobre el punto óptimo de operación es la velocidad. El diámetro del ventilador y la densidad del aire se asumen constantes en el punto óptimo al constituir una combinación específica en el sistema, por lo que, como bien se ha indicado en el ensayo y fórmulas consideradas, la relación entre caudal, presión y potencia con respecto a la velocidad de rotación están dadas respectivamente por:

$$q_{vm} \propto n, P \propto n^2, P \propto n^3$$

Utilizando estas relaciones, se pueden dibujar familias de curvas para el ventilador al operar en diferentes velocidades, como se aprecia claramente en la figura N°6.

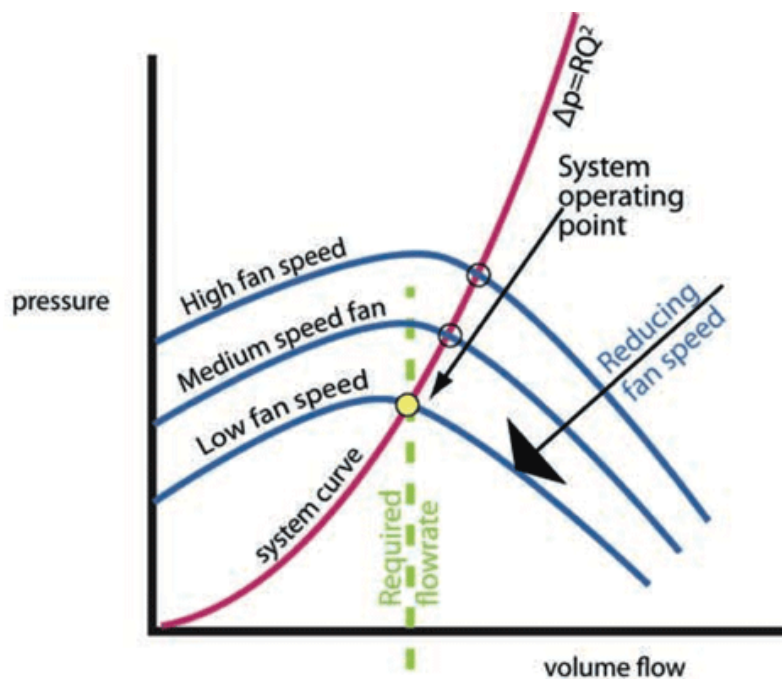


Figura 6. Punto óptimo de operación en diferentes velocidades [2]

5. Bibliografía

- [1] ASHRAE (2008) ASHRAE Handbook—2008 HVAC Systems and Equipment: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.
- [2] Tim Dwyer. (2011). Matching the fan to the ventilation system. 03-12-2020, de ICIBSE JOURNAL. Sitio web: <https://www.cibsejournal.com/cpd/modules/2011-11/>