

Tema 11. Ventiladores.

11.1. Definición de Ventilador

Un ventilador, como ya se ha comentado en el Tema 8, no es más que una turbomáquina generadora para gases. El aspecto adicional que incorpora un ventilador con respecto a las bombas rotodinámicas para líquidos es la compresibilidad de los gases, que afecta al diseño.

Las turbomáquinas generadoras para gases abarcan, en función del Δp comunicado al gas, desde los ventiladores hasta los (turbo)compresores. El intervalo de Δp correspondiente a los ventiladores abarca hasta unos 100 mbar, y se aplican en instalaciones de refrigeración, aire acondicionado, etc.

En diseño, se puede considerar que la compresibilidad del gas no afecta al diseño de ventiladores de alta calidad siempre que Δp a través del ventilador no supere los 30 mbar. Cuando se trata del diseño de máquinas de baja calidad, puede considerarse que la compresibilidad no afecta al diseño siempre que el Δp a través de la turbomáquina no supere los 100 mbar.

En este tema, nos vamos a limitar al estudio de los ventiladores cuando la compresibilidad del gas no afecta al diseño.

11.2. Clasificación de los Ventiladores

Los ventiladores se pueden clasificar utilizando diferentes criterios. Los más habituales son: la presión total que comunica al fluido, y la dirección de flujo en el rodete.

a) Según la presión total desarrollada

En función del Δp total comunicado al gas a su paso a través del ventilador, los ventiladores se clasifican en: ventiladores de baja presión, cuando $\Delta p \leq 10$ mbar; de media presión, cuando el incremento de presión a través del ventilador está comprendido entre 10 y 30 mbar; y ventiladores de alta presión, en los que la compresibilidad del gas puede ser ya apreciable, cuando el incremento de presión a través de la máquina está comprendido entre 30 y 100 mbar. De acuerdo con esto, en ventiladores de baja y media presión, la compresibilidad del gas no afecta a su diseño, mientras que en ventiladores de alta presión, sólo si se trata de ventiladores de baja calidad.

b) Según la dirección de flujo en el rodete

En función de la dirección de flujo a la salida del rodete, los ventiladores se pueden clasificar como: centrífugos, en los que a veces el ángulo $\beta_2' > 90^\circ$, siempre que sean para baja presión; y axiales. En los últimos años, los ventiladores han experimentado una gran mejora de diseños.

11.3. Ecuaciones Aplicables a los Ventiladores

De modo general, todas las ecuaciones desarrolladas para bombas rotodinámicas pueden extenderse a los ventiladores: la ecuación de Euler, las relaciones de semejanza, las curvas características, etc. Como excepción, por ejemplo, los ventiladores no presentan problemas de cavitación.

Sin embargo, en el tratamiento de los ventiladores hay que considerar una particularidad. Con gases, no tiene demasiado sentido hablar de altura de fluido. Por esta razón, las ecuaciones aplicadas a ventiladores no se expresan en función de H , sino en función de Δp . Esto produce alguna modificación en las expresiones, que se va a comentar en los apartados siguientes.

11.4. Efecto de la Compresibilidad del Gas en el Diseño de Ventiladores

La compresibilidad del gas afecta al diseño de los ventiladores porque la densidad depende de la presión y de la temperatura:

$$\rho = f(p, T) \quad (11.1)$$

que, para el caso específico de gases ideales (se puede considerar que, en ventiladores, lo son), queda:

$$\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} \quad [\text{masa/volumen}] \quad (11.2)$$

donde p y T son la presión y la temperatura absoluta, respectivamente, M representa el peso molecular medio del gas, y R es la constante de los gases perfectos.

El gas, a su paso por la turbomáquina generadora, se comprime. Esta compresión se suele considerar que se produce de forma adiabática (sin intercambio de calor con el exterior), por lo que el gas se calienta. La ecuación de la adiabática para gases ideales diatómicos se puede expresar como:

$$p \cdot V^{1.4} = \text{constante} \quad (11.3)$$

o, en función de la densidad:

$$\frac{p}{\rho^{1.4}} = \text{constante} \quad (11.4)$$

La Figura 11.1 muestra, de forma esquemática, cómo un aumento de presión del gas origina un aumento de temperatura.

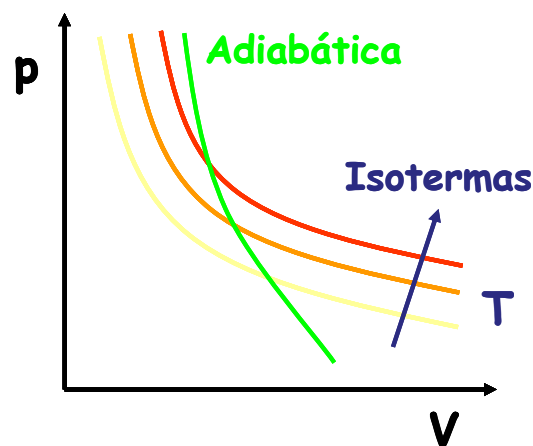


Figura 11.1. Curvas isotermas a varias temperaturas ($T < T < T$), y adiabática, en representación p frente a V .

En ventiladores, podemos suponer que los gases se comportan como ideales. Además, como el Δp a su través es pequeño, se puede considerar que la densidad del gas se mantiene constante, y trabajar con valores de densidad media.

El problema que se plantea en los ventiladores por el hecho de que los gases sean compresibles se relaciona con las relaciones de semejanza. Cuando se realizan ensayos con modelos, es imprescindible conocer en qué condiciones se han realizado, la presión y la temperatura, puesto que afectan a la densidad, para poder establecer las semejanzas. Y las condiciones de presión y temperatura ambiental pueden variar entre un día y otro.

Es necesario realizar algunas consideraciones, relativas a los fluidos compresibles, para introducir después en las relaciones de semejanza. Sirven para poder expresar los resultados de los ensayos a condiciones normales de presión y temperatura, que es como suelen expresarse.

a) Sobre el caudal

El caudal, Q [volumen/tiempo], que atraviesa el ventilador no depende de la densidad del gas. Sin embargo, sí depende de la densidad del gas el flujo másico, ya que:

$$\dot{m} = Q \cdot \rho \quad [\text{masa/tiempo} = \text{volumen/tiempo} \cdot \text{masa/volumen}] \quad (11.5)$$

y también el flujo molar:

$$\dot{n} = \frac{Q \cdot \rho}{M} \quad [\text{moles/tiempo} = \text{masa/tiempo} / \text{masa/mol}] \quad (11.6)$$

b) Sobre la presión

La presión generada por el ventilador es proporcional a la densidad y, por lo tanto, de acuerdo con la ecuación (11.2), directamente proporcional a la presión absoluta e inversamente proporcional a la temperatura absoluta:

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot H = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} \cdot g \cdot H \quad (11.7)$$

c) Sobre la potencia

La potencia del flujo es proporcional a la densidad y, por lo tanto, de acuerdo con la ecuación (11.2), directamente proporcional a la presión absoluta e inversamente proporcional a la temperatura absoluta:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (11.8)$$

11.5. Relaciones de Semejanza en Ventiladores

De acuerdo con lo comentado en el punto anterior, las relaciones de semejanza en ventiladores se aplican de forma ligeramente modificada.

a) Semejanza de alturas

Como se ha comentado, en gases no tiene demasiado sentido hablar de altura de fluido. Por esta razón, la ecuación (4.21), se transforma en aplicación a ventiladores multiplicando los dos términos por la densidad del fluido en el prototipo y dividiendo los dos términos por la densidad del fluido en el modelo, y multiplicando y dividiendo ambos términos por g . De este modo:

$$\frac{H_p \cdot \rho_p \cdot g}{H_m \cdot \rho_m \cdot g} = \lambda^2 \left(\frac{n_p}{n_m} \right)^2 \cdot \frac{\rho_p \cdot g}{\rho_m \cdot g} \quad (11.9)$$

donde se puede ver que el primer término corresponde al cociente de incrementos de presión entre el prototipo y el modelo:

$$\frac{\Delta p_p}{\Delta p_m} = \lambda^2 \left(\frac{n_p}{n_m} \right)^2 \cdot \frac{\rho_p}{\rho_m} \quad (11.10)$$

La ecuación (11.10) sustituye a la relación de semejanza en alturas en el caso de ventiladores.

b) Semejanza de caudales

La expresión general para semejanza de caudales en bombas rotodinámicas dada por la ecuación:

$$\frac{Q_p}{Q_m} = \lambda^3 \frac{n_p}{n_m} \quad (4.22)$$

es igualmente válida, ya que el caudal no depende de la densidad. Sin embargo, en ventiladores, se emplean también otras relaciones equivalentes, particularmente la relación de flujos másicos. Esta relación se obtiene partiendo de la ecuación (4.22), multiplicando ambos términos por la densidad del fluido en el prototipo y dividiendo por la densidad del fluido en el modelo:

$$\frac{Q_p \cdot \rho_p}{Q_m \cdot \rho_m} = \lambda^3 \frac{n_p}{n_m} \cdot \frac{\rho_p}{\rho_m} \quad (11.11)$$

El primer término de la ecuación (11.11), como se puede ver si se compara con la ecuación (11.5), corresponde al cociente de flujos molares, de donde se tiene:

$$\frac{\dot{m}_p}{\dot{m}_m} = \lambda^3 \frac{\eta_p}{\eta_m} \cdot \frac{\rho_p}{\rho_m} \quad (11.12)$$

c) Semejanza de potencias

La expresión de semejanza de potencias al freno que se emplea en ventiladores es la dada por la ecuación (4.24), donde no se simplificaban las densidades del fluido:

$$\frac{P_{ep}}{P_{em}} = \lambda^5 \left(\frac{H_p}{H_m} \right)^3 \frac{\rho_p \cdot \eta_m}{\rho_m \cdot \eta_p} \quad (4.24)$$