
Manual Práctico de Ventilación Soler & Palau



Sistemas
de Ventilación



La nueva edición del **Manual Práctico de Ventilación de Soler & Palau** le proporcionará una guía útil para acceder al conocimiento básico de esta tecnología, así como al cálculo de ventilaciones corrientes en diferentes tipos de instalaciones.

En definitiva, una herramienta de consulta para todos los profesionales cuyo objetivo es el de ayudarle en su labor profesional y en la realización de sus proyectos de ventilación: identificación del problema, cálculo de los valores y selección del equipo adecuado a cada necesidad.

Le recordamos que puede contactar con nuestro equipo de **Servicio de Asesoría Técnica**, a través de:

Tel. 901 11 62 25
Fax 901 11 62 29
e-mail: consultas@solerpalau.com
www.solerpalau.es - Servicios al Cliente

donde nuestros profesionales están a su disposición para ayudarle a resolver cualquier consulta técnica de ventilación y calefacción.

Una vez más, muchas gracias por su confianza en nuestra marca.

Soler & Palau



sumario

| | |
|--|----|
| Capítulo 1. EL AIRE | 5 |
| Capítulo 2. LA VENTILACIÓN | 6 |
| 2.1 Funciones de la Ventilación | 6 |
| 2.2 Conceptos: Caudal y Presión | 6 |
| 2.3 Unidades | 7 |
| 2.4 Aparatos de Medida | 8 |
| 2.5 Tipos de Ventilación | 9 |
| 2.6 Ventilación Ambiental | 9 |
| 2.6.1. Ventilación de Viviendas | 9 |
| Ventilación Mecánica Controlada - VMC | 9 |
| 2.6.2. Ventilación de Locales Terciarios | 12 |
| Demanda Controlada de Ventilación - DCV | 13 |
| Filtración | 14 |
| Recuperación de Calor | 15 |
| 2.6.3. Ventilación Industrial | 17 |
| 2.6.4. Ventilación de Aparcamientos | 19 |
| 2.7 Ventilación Localizada | 24 |
| 2.7.1. Captación Localizada | 24 |
| 2.7.2. Elementos de una Captación localizada | 24 |
| 2.7.3. Principios de diseño de la captación | 26 |
| 2.7.4. Casos de Ventilación Industrial Localizada | 28 |
| 2.7.5. Cocinas Domésticas | 29 |
| 2.7.6. Cocinas Industriales | 30 |
| Capítulo 3. CIRCULACIÓN DE AIRE POR CONDUCTOS | 33 |
| 3.1 Pérdida de carga | |
| 3.2 Cálculo de la pérdida de carga. Método del coeficiente «n» | 34 |
| 3.3 Ejemplo de aplicación | 38 |
| Capítulo 4. VENTILADORES | 39 |
| 4.1 Generalidades | 39 |
| 4.2 Definiciones | 39 |
| 4.3 Clasificación | 39 |
| 4.3.1. Según su función | 39 |
| 4.3.2. Según la trayectoria del aire del ventilador | 40 |
| 4.3.3. Según la presión del ventilador | 40 |
| 4.3.4. Según las condiciones del funcionamiento | 41 |
| 4.3.5. Según el sistema de accionamiento de la hélice | 41 |
| 4.3.6. Según el método de control de las prestaciones del ventilador | 41 |
| 4.4 Curva característica | 42 |
| 4.5 Punto de Trabajo | 44 |
| 4.6 Leyes de los Ventiladores | 45 |
| Capítulo 5. RUIDO | 46 |
| 5.1 Nivel Sonoro | 46 |
| 5.2 Silenciadores | 48 |
| 5.3 Ruidos mecánicos | 49 |
| Capítulo 6. PROCESO PARA DECIDIR UN SISTEMA DE VENTILACIÓN | 50 |

4. VENTILADORES

4.1. GENERALIDADES

Qué son y para qué sirven

Los ventiladores son máquinas rotatorias capaces de mover una determinada masa de aire, a la que comunican una cierta presión, suficiente para que pueda vencer las pérdidas de carga que se producirán en la circulación por los conductos.

Se componen de:

- Elemento rotativo
- Soporte
- Motor

El elemento rotativo es la pieza del ventilador que gira en torno al eje del mismo. Puede ser una Hélice o un Rodete.

Lo llamaremos **Hélice** si la dirección de salida del aire impulsado es paralela al eje del ventilador (dirección axial). Generalmente la hélice puede mover gran cantidad de aire comunicando al mismo una discreta presión.

Lo llamaremos **Rodete** si la dirección de salida del aire impulsado es perpendicular al eje del ventilador. Generalmente los rodetes mueven un volumen de aire menor que las hélices, pero con una presión mucho mayor.

En los ventiladores de hélice, generalmente, el conjunto se compone también de una embocadura acampanada que mejora el rendimiento, Fig. 4.1.a. Los ventiladores de rodete se montan en una voluta en espiral, Fig. 4.1.b. Cuando se desea conseguir ventiladores con rendimiento por encima de los usuales, puede recurrirse a las directrices, que son unos álabes fijos, colocados a la entrada o salida del ventilador, cuya función principal es enderezar la vena de aire haciéndola aproximadamente axial. El motor es el componente que acciona la hélice o rodete.

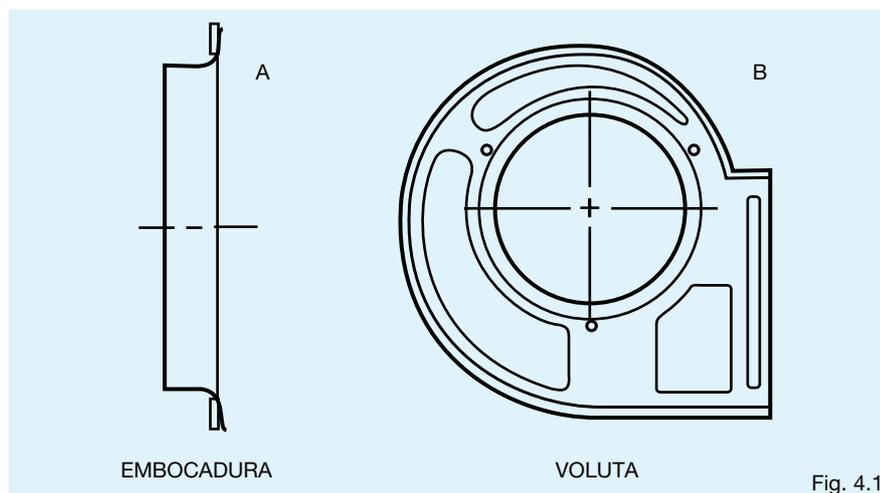


Fig. 4.1

4.2 DEFINICIONES

Un ventilador, en la aceptación más amplia del vocablo, es una turbomáquina que recibe energía mecánica para mantener un flujo continuo de aire, u otro gas, con una presión de hasta 3.000 mm c.d.a.

4.3 CLASIFICACIÓN DE LOS VENTILADORES

Los ventiladores, denominados así de una forma amplia para todas sus concepciones, pueden clasificarse de formas muy diferentes, siendo la más común la siguiente:

4.3.1. SEGÚN SU FUNCIÓN

1. VENTILADORES CON ENVOLVENTE

Suele ser tubular, por lo que también se les denomina Tubulares y tienen por objeto desplazar aire dentro de un conducto.

1.1 IMPULSORES

Son los ventiladores en los que la boca de aspiración está conectada directamente a un espacio libre, estando la boca de descarga conectada a un conducto. Fig. 4.2.

1.2 EXTRACTORES

Son los ventiladores en los que la boca de aspiración está conectada a un conducto y la boca de descarga está conectada a un espacio libre. Fig. 4.3.

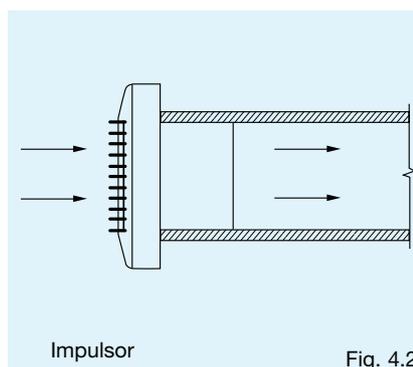


Fig. 4.2

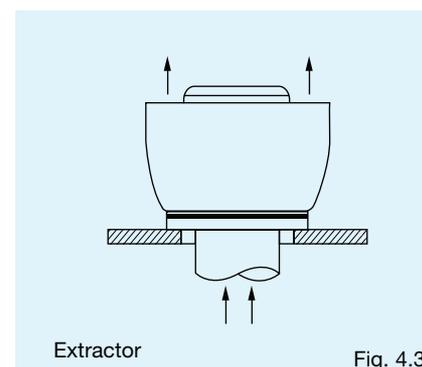
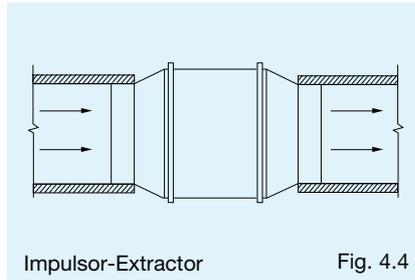


Fig. 4.3

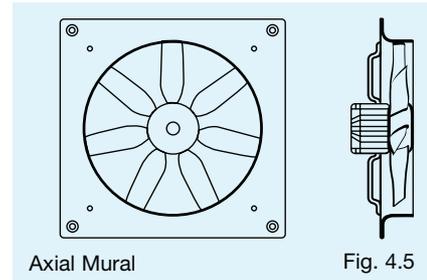
1.3 IMPULSORES-EXTRACTORES

Son los ventiladores en los que tanto la boca de aspiración como la de descarga están conectadas a un conducto. Fig. 4.4.



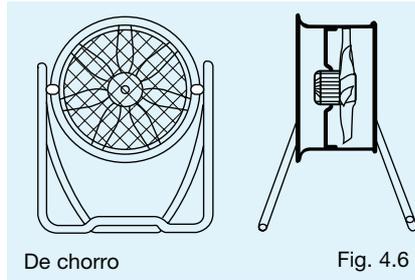
2. VENTILADORES MURALES

Conocidos también como, simplemente, Extractores, sirven para el traslado de aire entre dos espacios distintos, de una cara de pared a otra. Fig. 4.5.



3. VENTILADORES DE CHORRO

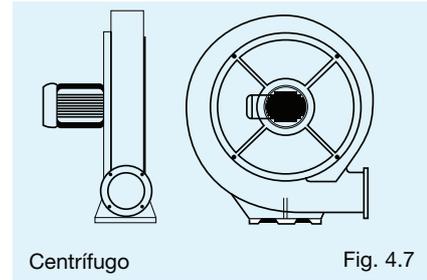
Son aparatos que se utilizan cuando se necesita una determinada velocidad de aire incidiendo sobre una persona o cosa. Fig. 4.6.



4.3.2. SEGÚN LA TRAYECTORIA DEL AIRE EN EL VENTILADOR

1. VENTILADORES CENTRÍFUGOS

En los que el aire entra en el rodete con una trayectoria esencialmente axial y sale en dirección perpendicular. Fig. 4.7.

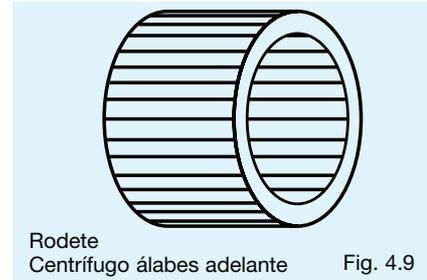
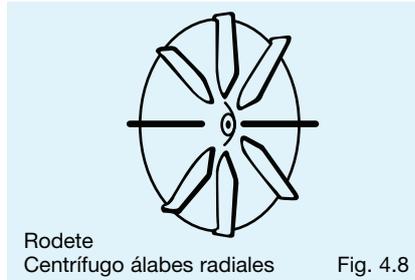


Los rodetes de los ventiladores centrifugos pueden ser de tres tipos:

Álabes radiales, Fig. 4.8

Álabes hacia adelante, Fig. 4.9

Álabes hacia atrás, Fig. 4.10



2. VENTILADORES AXIALES

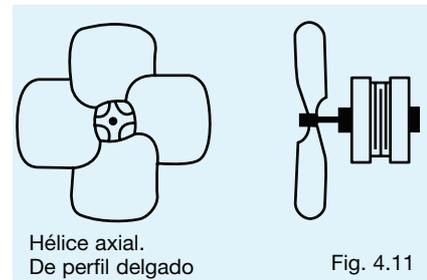
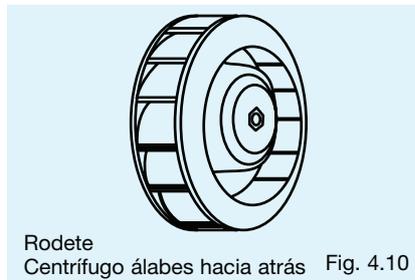
En los cuales el aire entra y sale de la hélice con trayectorias a lo largo de superficies cilíndricas coaxiales al ventilador.

Las hélices de los ventiladores axiales pueden ser de dos tipos:

Perfil delgado, Fig. 4.11

Perfil sustentador, Fig. 4.12

(o de ala de avión, portante).

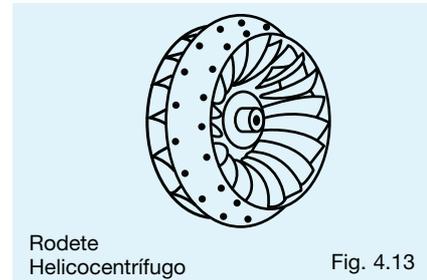
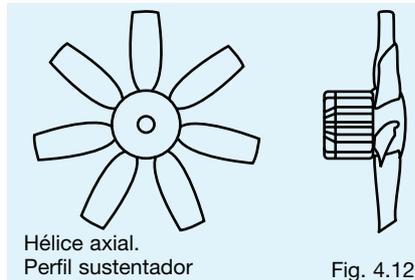


3. VENTILADORES HELICOCENTRÍFUGOS

En los cuales la trayectoria del aire en el rodete es intermedia entre las del ventilador centrífugo y axial. Fig. 4.13.

4. VENTILADORES TENGENCIALES

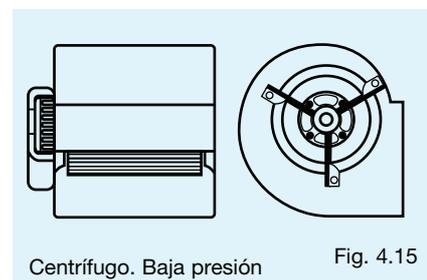
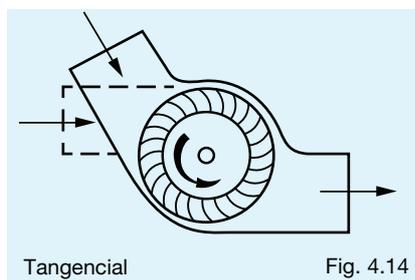
En los cuales la trayectoria del aire en el rodete es sensiblemente normal al eje, tanto a la entrada como a la salida del mismo, en la zona periférica. Fig. 4.14.



4.3.3 SEGÚN LA PRESIÓN DEL VENTILADOR

1. BAJA PRESIÓN

Cuando la presión del ventilador es inferior a 72 mm c.d.a. Fig. 4.15.



2. MEDIANA PRESIÓN

Cuando la presión del ventilador está comprendida entre 72 y 360 mm c.d.a. Fig. 4.16.

3 ALTA PRESIÓN

Cuando la presión del ventilador es superior a 360 mm c.d.a. Fig. 4.17.

4.3.4 SEGÚN LAS CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

1. VENTILADORES CORRIENTES

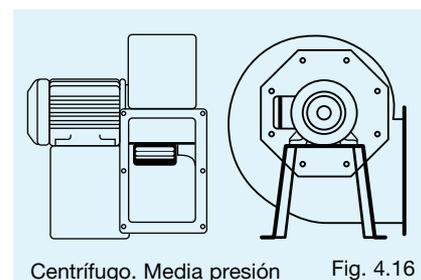
Son los que efectúan el movimiento de aire no tóxico, no saturado, no inflamable, no corrosivo, no cargado de partículas abrasivas y que la temperatura no sobrepasa 80 °C (ó 40 °C, si el motor se encuentra en la corriente de aire).

2. VENTILADORES ESPECIALES

Son los diseñados para vehicular gases calientes, húmedos, corrosivos, para el transporte neumático, antiexplosivo, etc.

4.3.5. SEGÚN EL SISTEMA DE ACCIONAMIENTO DE LA HÉLICE

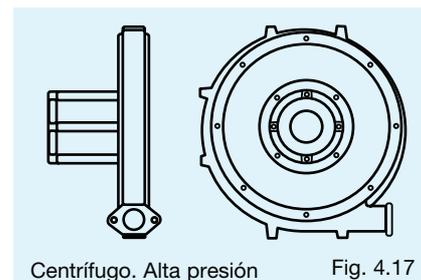
Atendiendo al sistema empleado para el accionamiento de la hélice, es decir, si está accionada directamente por el motor, mediante correas, con motor de rotor exterior, etc.



Centrífugo. Media presión Fig. 4.16

4.3.6 SEGÚN MÉTODO DE CONTROL DE LAS PRESTACIONES DEL VENTILADOR

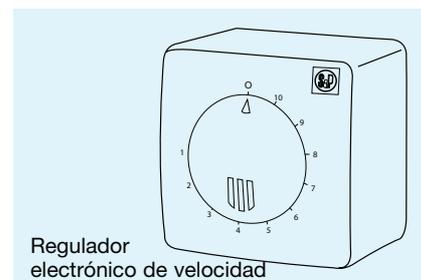
Atendiendo al sistema empleado para variar las prestaciones del ventilador, que puede conseguirse variando la velocidad del motor, mediante compuertas, variando la inclinación de los álabes, tanto los de la hélice como los de la directriz de entrada, etc.



Centrífugo. Alta presión Fig. 4.17

1. CON REGULADOR DE VELOCIDAD

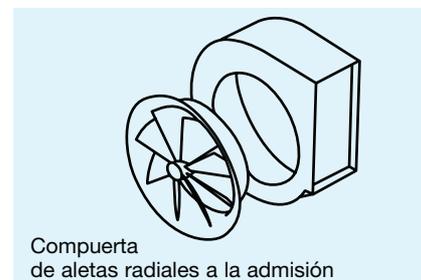
Los reguladores varían las condiciones de la corriente de alimentación y con éllo la velocidad del motor y, a la postre, la característica del ventilador. Pueden ser de transformador, que varían la tensión de alimentación manteniendo su forma senoidal y variadores de frecuencia que aumentan o disminuyen ésta y por tanto la velocidad del motor.



Regulador electrónico de velocidad

2. CON COMPUERTAS

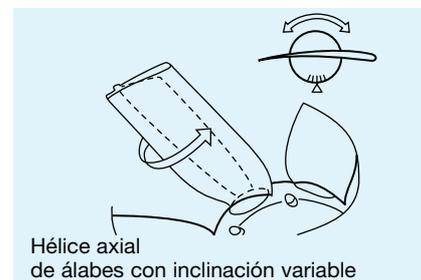
Las compuertas, siempre a la admisión del ventilador y mejor para centrífugos (los axiales las soportan mal) abren y cierran el paso al aire de entrada al aparato con lo que regula la característica del mismo.



Compuerta de alas radiales a la admisión

3. CON ÁLABES DE INCLINACIÓN VARIABLE

Se usa generalmente este método en ventiladores axiales, lográndose caudales muy ajustados a los objetivos fijados, pero exige una alta complejidad constructiva para la hélice de los mismos. Variando el ángulo de los álabes se logran regimenes distintos del ventilador pero hay que ir con cuidado con la capacidad del motor de accionamiento para no sobrepasarla y comprometer su seguridad. Los aparatos más sofisticados, y caros, de este tipo pueden variar la inclinación de sus álabes estando el aparato en funcionamiento, sin interrumpir su trabajo. Sólo es aplicable este método en grandes ventiladores.



Hélice axial de álabes con inclinación variable

4.4 CURVA CARACTERÍSTICA

El ensayo de ventiladores tiene por objeto determinar la capacidad del aparato para transferir la potencia al aire que mueve.

El ventilador se hace funcionar a un régimen de giro constante, tomando valores de diferentes caudales movidos, según sea la pérdida de carga que debe vencerse.

La curva característica de un ventilador se obtiene dibujando en unos ejes de coordenadas los distintos valores caudal-presión, obtenidos mediante ensayo en un laboratorio.

Para entender mejor el concepto de curva característica pondremos el siguiente ejemplo

Supongamos un ventilador tubular trabajando según indica la posición a) de la fig. 4.18. Al medir el caudal de aire que proporciona, encontramos $Q_1 = 10.000 \text{ m}^3/\text{hora}$.

Si repetimos el ensayo empalmando un conducto de 10 m por el lado de admisión (posición b) y medimos de nuevo el caudal, nos encontramos con que ha bajado a $Q_2 = 8.000 \text{ m}^3/\text{hora}$.

En otro ensayo, acoplamos un tubo de 50 m de longitud (posición c), y comprobamos que el caudal ha descendido a $Q_3 = 5.000 \text{ m}^3/\text{hora}$.

Las experiencias anteriores nos demuestran que no es suficiente conocer el caudal que es capaz de suministrar un ventilador a descarga libre (posición a), esto es, sin obstrucciones, para poder catalogarlo. Es necesario conocer qué caudales irá proporcionando según sean las distintas pérdidas de carga que deba vencer.

En la fig. 4.19 tenemos representada una curva característica de un ventilador.

Observemos en primer lugar en la figura curvas diferentes. Cada una de ellas representa un valor distinto y su lectura se hace en las diferentes escalas que están a la izquierda de la figura.

PÉRDIDA DE CAUDAL CON LA LONGITUD

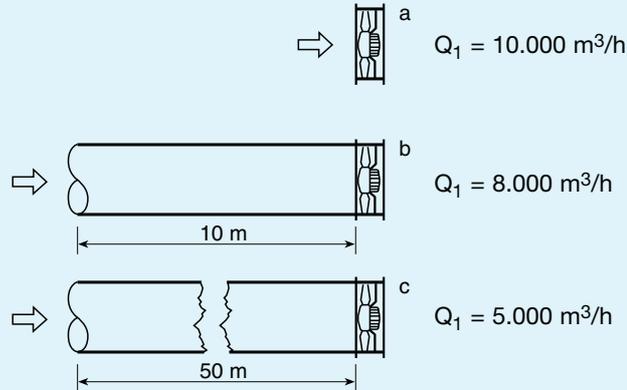


Fig. 4.18

CURVA CARACTERÍSTICA DE UN VENTILADOR

PRESIONES P
mm c.d.a.

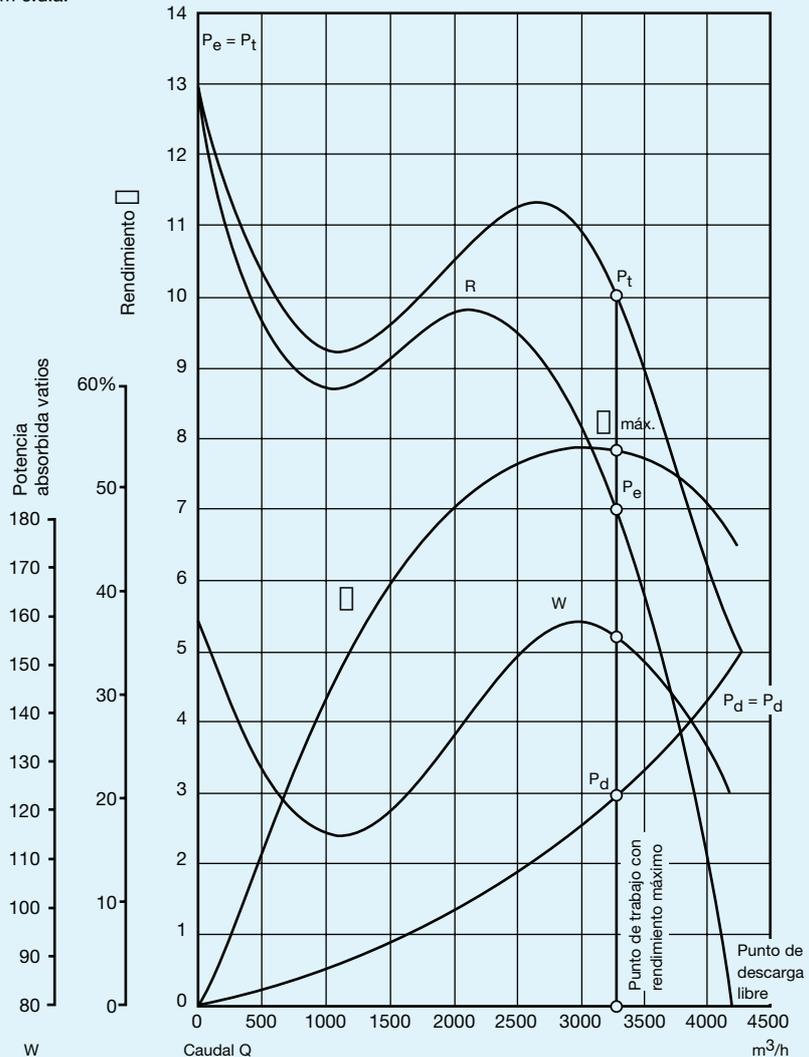


Fig. 4.19

Tres están relacionadas con la presión que da el ventilador para distintos caudales (son las denominadas P_t , P_e , P_d).

P_e : es la Presión Estática

P_d : es la Presión Dinámica (debido a la velocidad)

P_t : es la Presión Total

Cumplíndose en todo momento

$$P_t = P_e + P_d$$

Obsérvese que a descarga libre, es decir cuando la Presión Estática (P_e) es nula, el ventilador da el máximo caudal que puede mover; en este punto la Presión Total es igual a la Dinámica ($P_t = P_d$).

Asimismo, cuando el ventilador está obturado, es decir que da el mínimo caudal, la Presión Dinámica (P_d) es nula; en este punto, la Presión Total es

igual a la Estática ($P_t = P_e$).

Otra curva que podemos ver en el gráfico es: la curva de potencia absorbida (W), que leeremos en la escala vertical situada más a la izquierda (en vatios). Esta curva nos da la potencia que consume el motor que acciona el ventilador, y podemos ver que presenta un máximo (en la figura corresponde al punto de caudal 3.000 m³/h).

También tenemos representada la curva de rendimiento (η), que se lee en % en la escala vertical intermedia, se puede ver que el rendimiento del ventilador depende del caudal que está moviendo.

El conjunto de estas curvas recibe el nombre de **característica de un ventilador**.

La característica de un ventilador es la mejor referencia del mismo, ya que siempre nos indicará su comportamiento según sea el caudal y la presión que esté dando.

En los catálogos comerciales, suele darse solamente una curva, que es la de mayor importancia la de Presión Estática (P_e). Los servicios técnicos suministran más información si se les solicita.

El punto ideal de funcionamiento del ventilador, aquél para el que ha sido diseñado, es el correspondiente al máximo rendimiento. Cuanto más cerca de este punto trabaje el ventilador, más económico será su funcionamiento.

El punto R de la fig. 4.18 se conoce como punto de desprendimientos, y la zona a la izquierda de éste es de funcionamiento inestable. Debe, por tanto, escogerse el ventilador de manera que el punto de trabajo esté a la derecha de R; de esta manera se evita la inestabilidad de funcionamiento.

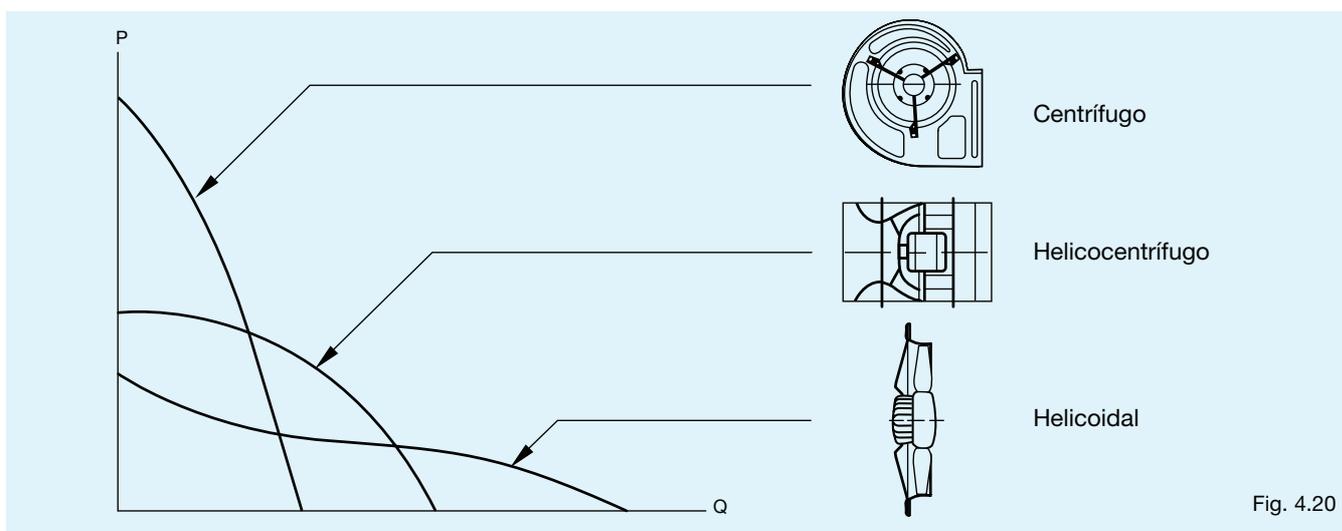


Fig. 4.20

Observemos la fig. 4.20 en que se han representado las curvas características de los tipos fundamentales de ventilación, para poder comprender mejor su comportamiento.

Los tres ventiladores que se comparan tienen el mismo diámetro de rodete.

Podemos ver que, a igualdad de caudal impulsado (Q), los ventiladores centrífugos dan más presión que los helicocentrífugos, y éstos a su vez más que los helicoidales.

También se observa que, los centrífugos mueven caudales menores que

los helicocentrífugos, y éstos menos que los helicoidales.

Por tanto, puede aceptarse que los ventiladores más adecuados cuando los caudales sean grandes y las presiones que deban vencer sean pequeñas son los helicoidales. Este tipo de ventilador tiene además la ventaja de la facilidad de instalación.

Los ventiladores indicados para mover caudales pequeños pero a elevada presión son los centrífugos; finalmente, un caso intermedio es el de los ventiladores helicocentrífugos.

4.5 PUNTO DE TRABAJO

La curva característica del ventilador depende únicamente del ventilador, y solamente puede variar si el ventilador funciona a una velocidad de rotación distinta.

Puede aceptarse en principio que la curva característica es totalmente independiente del sistema de conductos al que se acople.

Sin embargo, hay que considerar que un ventilador puede funcionar moviendo distintos caudales y comunicándoles distintas presiones, de tal forma que todos los puntos posibles de funcionamiento se hallen representados sobre la curva (P_e), Fig. 4.19.

Para saber exactamente en qué condiciones funcionará el ventilador, debemos conocer la curva resistente de la instalación, es decir, la curva que relaciona la pérdida de carga de la instalación con el caudal que pasa por ella.

Podemos encontrar de forma fácil el punto de trabajo de un ventilador simplemente superponiendo las curvas características del ventilador y resistente del conducto según se indica en la fig. 4.21.

Se puede comprobar que la pérdida de carga de una conducción varía proporcionalmente con el cuadrado del caudal según la fórmula

$$\Delta P_2 = \Delta P_1 \left[\frac{Q_2}{Q_1} \right]^2$$

por lo que, para encontrar la característica resistente y una vez hallada la pérdida de carga inicial (ΔP_1) a un determinado caudal (Q_1), bastará con suponer un segundo caudal (Q_2), para hallar un segundo punto de la característica resistente (ΔP_2). Si fuese necesario se podrían suponer más caudales con los que se hallarían, siempre para la misma instalación, nuevos puntos de pérdida de carga. Uniendo todos los puntos encontrados se representará la característica resistente de la instalación estudiada. La intersección entre la curva del ventilador y la característica resistente de la instalación nos dará el punto de trabajo.

EJEMPLO

Supongamos que en una conducción circula un caudal de aire de 6.000 m³/h, originando una pérdida de carga de 3,5 mm c.d.a.

La pérdida de carga que provocará un caudal de 8.000 m³/h la encontraremos mediante la siguiente expresión:

$$\Delta P_2 = 3,5 \cdot \left[\frac{8000}{6000} \right]^2$$

$$P = 1,342 \times 3,5 = 6,2 \text{ mm c.d.a.}$$

Si el caudal lo suponemos de 4.000 m³/h la pérdida de carga será:

$$\Delta P_2 = 3,5 \cdot \left[\frac{4000}{6000} \right]^2$$

$$P = 0,6692 \times 3,5 = 1,55 \text{ mm c.d.a.}$$

Llevando todo este conjunto de valores sobre unos ejes de coordenadas obtendremos la característica del sistema tal como se muestra en la fig. 4.21.

De todo lo dicho hasta ahora pueden sacarse dos conclusiones importantes:

1° Para cualquier proyectista, instalador o diseñador es indispensable que en el catálogo de ventiladores que esté consultando estén reflejadas las curvas características correspondientes a los ventiladores.

2° Estas curvas características deben estar garantizadas por el fabricante y dar referencia expresa de la normalización que se ha utilizado para lograrlas.

Para determinar la curva característica de los ventiladores es necesario disponer de un laboratorio conveniente debidamente equipado, contar con unos técnicos analistas muy preparados y dedicar la atención y tiempo preciso para determinarlas, cuestión ésta delicada y muy laboriosa.

Es preciso también verificar los ensayos según una normalización determinada y tenerla en cuenta para comparar dos aparatos entre sí ya que es de esperar una discrepancia de resultados, a veces notable, si no se ha utilizado la misma normalización para efectuarlos e incluso la misma disposición de ensayo dentro de la misma norma.

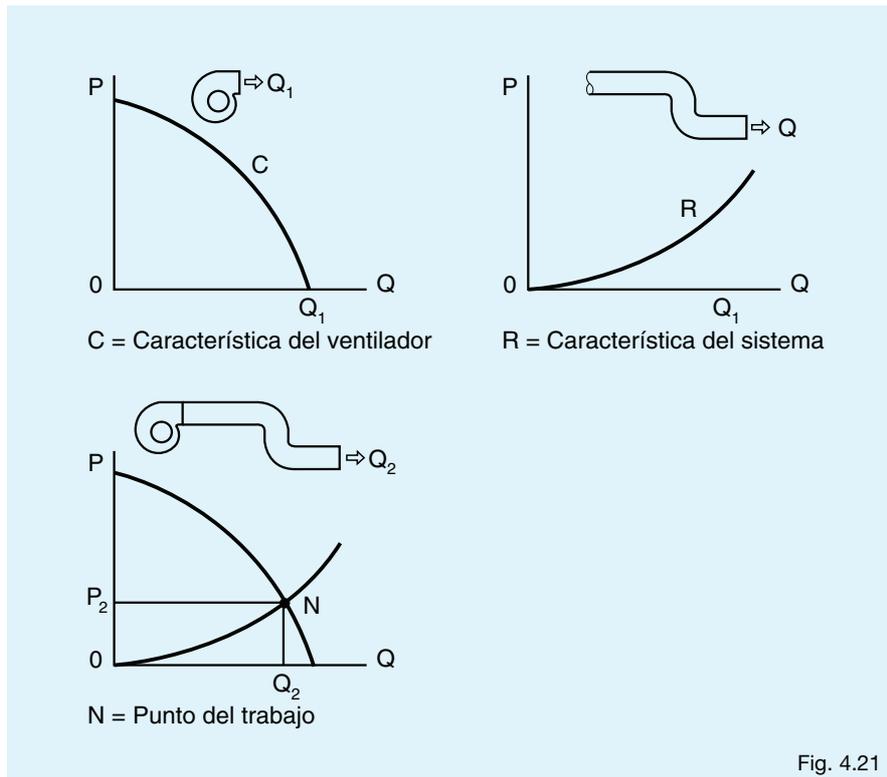


Fig. 4.21



4.6 LEYES DE LOS VENTILADORES

Las curvas características de los ventiladores siguen ciertas leyes, llamadas «**leyes de los ventiladores**», que permiten determinar cómo varían caudal, presión y potencia absorbida por el ventilador al variar las condiciones de funcionamiento. Nosotros aplicamos estas leyes en el caso de la variación de velocidad de giro del ventilador:

El caudal es proporcional a la relación de velocidades:

$$Q_2 = Q_1 \cdot \left[\frac{n_2}{n_1} \right]$$

La presión es proporcional al cuadrado de la relación de velocidades:

$$P_2 = P_1 \cdot \left[\frac{n_2}{n_1} \right]^2$$

La potencia absorbida es proporcional al cubo de la relación de velocidades:

$$N_2 = N_1 \cdot \left[\frac{n_2}{n_1} \right]^3$$

La tabla 4.1 reúne las leyes agrupadas en función de tres variaciones.

Mediante las relaciones anteriores podemos conocer los valores que toman las diferentes variables para diferentes regímenes de giro del ventilador. Variando la velocidad de éste podemos conseguir que el caudal y la presión se ajusten a las necesidades de cada momento.

Debemos tener muy en cuenta de las curvas características de los ventiladores están siempre realizadas a las máximas revoluciones posibles. La regulación sólo se puede realizar disminuyendo la velocidad de giro del ventilador.

Como ejemplo, hacemos el siguiente supuesto:

Tenemos instalado en una cabina un aparato que mueve 1.800 m³/hora a una presión de 12 mm c.d.a. girando a 2.700 r.p.m. Queremos determinar el caudal y la presión que moverá este aparato girando a 2.000 r.p.m. obtenidas mediante un regulador.

Aplicaremos la ecuación

$$Q_2 = Q_1 \cdot \frac{n_2}{n_1}$$

Tenemos que $n_1 = 2700$ r.p.m.;
 $Q_1 = 1800$ m³/hora y $n_2 = 2000$ r.p.m.

Por tanto, $Q_2 = 1800 \cdot \frac{2000}{2700} = 1330$ m³/hora

Para hallar la nueva presión P_2

$$P_2 = P_1 \cdot \left[\frac{n_2}{n_1} \right]^2$$

$$P_2 = 12 \cdot \left[\frac{2000}{2700} \right]^2 = 6,58 \text{ mm c.d.a.}$$

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