VI.- VENTILADORES

pfernandezdiez.es

Los ventiladores son máquinas destinadas a producir un incremento de presión total Δ_{ptotal} pequeño; convencionalmente se fija el límite de Δ_{ptotal} para ventiladores en 1 m.c.a., o una relación de compresión $\varepsilon_c = 1{,}1$. Si el incremento de presión no excede el valor indicado, la variación del volumen específico del gas a través de la máquina se puede despreciar en el cálculo de la misma, por lo que el ventilador se comporta como una turbomáquina hidráulica. En la actualidad, en el diseño se tiene en cuenta la compresibilidad para incrementos de presión mucho menores, hasta 0,3 m.c.a., por lo que los ventiladores, hasta dicho incremento de presión, se pueden diseñar y considerar como una turbomáquina hidráulica.

Los soplantes o turbosoplantes son máquinas destinadas a comprimir gases en donde la relación de compresión está comprendida en el intervalo $1{,}1 < \varepsilon_c < 3$; no tienen refrigeración incorporada y en general son de un sólo escalonamiento.

En los recuperadores de los altos hornos, por ejemplo, la soplante tiene que impulsar aire a una presión equivalente a la resistencia de la conducción, más la resistencia de las toberas de inyección al interior del horno, con una relación de compresión del orden de $\varepsilon_c = 3$, utilizándose en estas circunstancias soplantes de varios escalonamientos, en los que el aire no se refrigera, ya que posteriormente hay que precalentarle.

Una clasificación orientativa es, turbosoplantes de $\begin{cases} BP..... \ \varepsilon_c = 1{,}1 \div 1{,}5 \\ MP..... \ \varepsilon_c = 1{,}5 \div 2{,}5 \\ AP..... \ \varepsilon_c = 2{,}5 \div 4 \end{cases}$

El número de revoluciones de las turbosoplantes varía de $3.000 \div 21.000$ rpm.

El ventilador es una bomba rotodinámica de gas que transporta gases, absorbiendo energía mecánica en el eje y devolviéndola al gas; se distingue del turbocompresor en que las variaciones de presión en el interior del ventilador son tan pequeñas, que el gas se puede considerar prácticamente incompresible

De todo ésto se deduce que las fórmulas relativas al diseño y funcionamiento de las bombas centrífugas son de aplicación a los ventiladores, salvo aquellas que por su naturaleza sean propias de las bombas

VI.1.- CLASIFICACIÓN

Los ventiladores que se emplean comúnmente se pueden dividir en tres tipos generales, de hélice, axiales y centrífugos. Los ventiladores se pueden disponer con variedad de posiciones de descarga y con rotación del impulsor, ya sea en el sentido de las agujas del reloj o viceversa. Salvo raras excepciones, se pueden proporcionar para acoplamiento directo o para bandas V.

Ventilador de hélice.- Consiste en una hélice dentro de un anillo o marco de montaje. La dirección de la corriente de aire es paralela a la flecha del ventilador. Se emplea para trasladar aire de un lugar a otro, o hacia el ambiente exterior, o para introducir aire fresco.

Puede manejar grandes volúmenes de aire a una presión estática baja, raramente a presiones estáticas mayores de 25 mm de c.a. Se fabrica en muchos estilos y tipos para trabajos específicos.

Los ventiladores extractores normales, pueden tener desde $2 \div 16$ aspas, dependiendo del funcionamiento particular del ventilador.

Generalmente las unidades de poco número de aspas se usan en ventiladores de BP y los que cuentan con un número mayor de aspas se emplean en aquellas aplicaciones que requieren presión.

El ancho de las aspas, su ángulo, su velocidad axial y número de etapas, son factores todos que intervienen en el diseño y la capacidad.

Ventilador axial.- Los coeficientes de presión Ψ oscilan entre $0{,}05 \div 0{,}6$ pudiendo llegar en algunos diseños hasta 1; este tipo de ventilador consiste esencialmente en una hélice encerrada en una envolvente cilíndrica y es de diseño aerodinámico. La adición de álabes-guía detrás del rotor, convierten al ventilador tubo-axial en un ventilador axial con aletas guía.

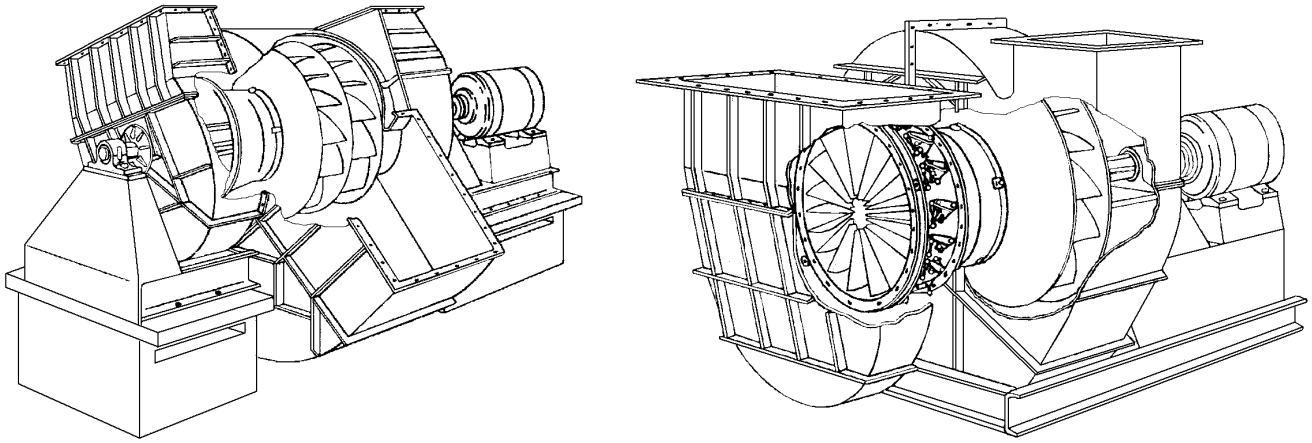
Puede funcionar en un amplio rango de volúmenes de aire, a presiones estáticas que van de bajas a medias y es capaz de desarrollar mayores presiones estáticas que el ventilador tubo-axial y ser más eficiente; los álabes-guía, en la succión o en la descarga, o en ambas partes, se han añadido para enderezar el flujo del aire fuera de la unidad.

Aprovechando la conversión del componente rotativo de la corriente de aire, este ventilador puede alcanzar una presión estática más alta que el de tipo de hélice de aspas rectas, a la misma velocidad axial, y hacerlo más eficientemente. La facilidad de montaje y el flujo del aire en línea recta los hace ideales para muchas aplicaciones; por encima de $75 \div 100$ mm. de presión estática, los ventiladores axiales se usan pocas veces para servicios de ventilación.

Ventilador centrífugo.- Consiste en un rotor encerrado en una envolvente de forma espiral; el

aire, que entra a través del ojo del rotor paralelo a la flecha del ventilador, es succionado por el rotor y arrojado contra la envolvente se descarga por la salida en ángulo recto a la flecha; puede ser de entrada sencilla o de entrada doble.

En un ventilador de entrada doble, Fig VI.1, el aire entra por ambos lados de la envolvente succionado por un rotor doble o por dos rotores sencillos montados lado a lado. Los rotores se fabrican en una gran variedad de diseños, pudiéndose clasificar, en general, en aquellos cuyas aspas son radiales, o inclinadas hacia adelante, o inclinadas hacia atrás del sentido de la rotación.



(a) (b)

Fig VI.1.- a) Ventilador centrífugo de doble entrada y doble ancho, con álabes curvados hacia atrás
b) Ventilador centrífugo de simple entrada con álabes curvados hacia atrás y control por paletas de entrada

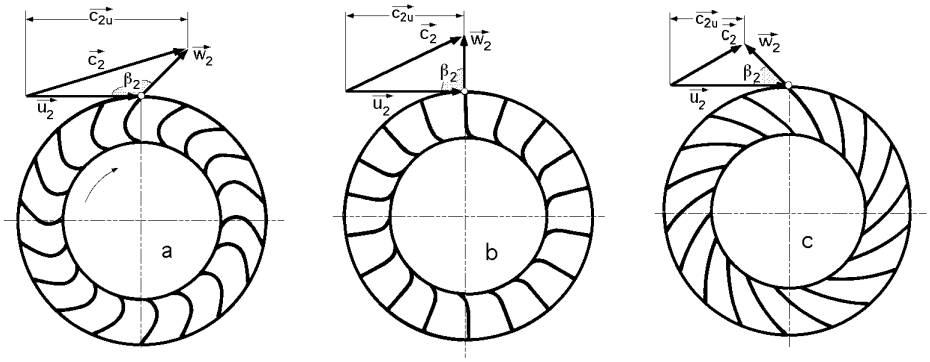


Fig VI.2.- Rodetes y triángulos de salida de los ventiladores centrífugos
a) Con álabes curvados hacia adelante; b) Con álabes de salida radial; c) Con álabes curvados hacia atrás.

Los rotores pueden tener los tres tipos de álabes que se representan en la Fig VI.2, y cuyas particularidades son las siguientes:

a) Alabes curvados hacia adelante $\beta_2 > 90^o$.- Este tipo es poco frecuente en las bombas centrífugas; en los ventiladores se emplea a causa del bajo nivel de ruido que presentan; otras características son:

- Gran número de álabes de 48÷60

- Para una velocidad determinada caudal superior y dimensiones menores que las de cualquier otro tipo de ventilador

- Rendimiento bajo, máximo del orden de 65÷75% por lo que en la actualidad este tipo de ventilador centrífugo tiende a ser reemplazado por los modernos ventiladores axiales.

b) Alabes de salida radial $\beta_2 = 90^o$.- Tienen menor número de álabes que los anteriores; se emplean para impulsar aire o gases sucios a elevada temperatura, gracias a la facilidad conque son eliminados los depósitos sólidos por la fuerza centrífuga.

c) Alabes curvados hacia atrás $\beta_2 < 90^o$.- Es el tipo normal de ángulo de salida en las bombas centrífugas. Tienen mejor rendimiento que los anteriores, ya que si los antiguos álabes de chapa se reemplazan por los más modernos de perfil aerodinámico, se llega a alcanzar un rendimiento del orden del 90%. Su presión y gasto másico son inferiores para una misma velocidad de rotación y número de álabes que en el primer tipo. El nivel de ruido es bajo.

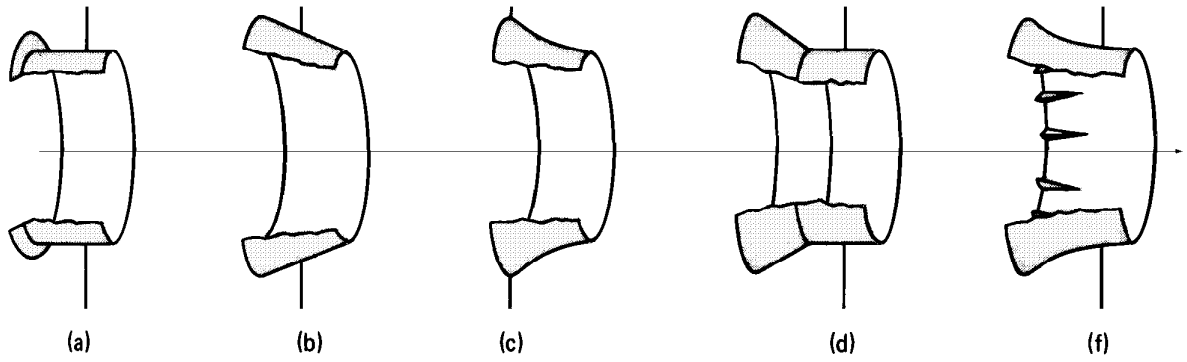


Fig VI.3.- Formas de la admisión de los ventiladores,
a) Cilíndrica; b) Cónica; c) Abocinada; d) Compuesta; e) Guiada con álabes directores

La Fig VI.3 muestra las formas más corrientes de la admisión de los ventiladores.

- La construcción (a) es la más sencilla pero la de peor rendimiento.

- La construcción (c) con una forma abocinada más aerodinámica permite conseguir una entrada de la corriente en el rodete más uniforme, reduciéndose el choque a un mínimo.

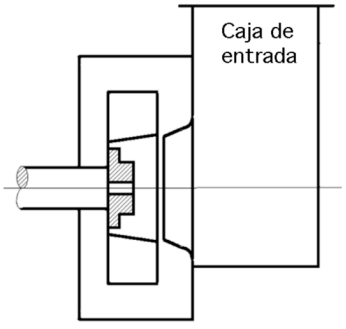


Fig VI.4.- Disposición de la cámara de admisión (caja de entrada) de un ventilador

A veces se añade a la entrada una caja, antes de la boca del ventilador, como se muestra en la Fig VI.4 o conducto de diferentes tipos, según lo requiera la instalación.

La forma del anillo de fijación de los álabes puede influir en el rendimiento, como muestra la Fig VI.5; sólo la forma (c) evita el desprendimiento de la corriente a la entrada, aunque las otras dos formas son de construcción más sencilla y económica.

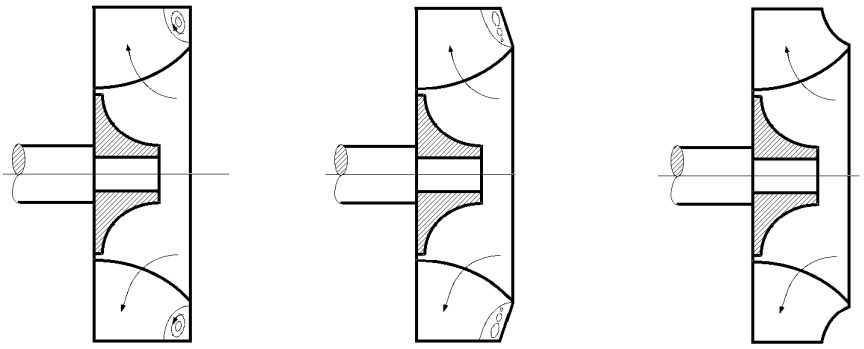


Fig VI.5.- Formas diversas del anillo de fijación de los álabes, a) Plano; b) Cónico; c) Aerodinámico (En las formas (a) y (b) el desprendimiento de la corriente ocurre fácilmente)

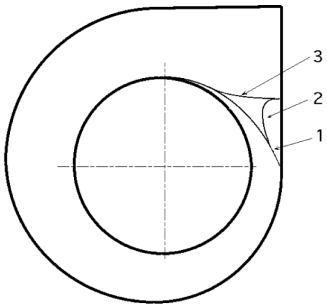


Fig VI.6.- Cámara espiral
1) Sin lengua
2) Con lengua poco pronunciada
3) Con lengua pronunciada

La *lengua* de la caja espiral puede ser larga, corta o no existir, como se indica en el esquema de la Fig VI.6. Una lengua excesivamente corta es causa del aumento del ruido en los ventiladores, mientras que una lengua excesivamente larga provoca una disminución del rendimiento. Los ventiladores de alta presión son en ésto más sensibles a la variación del rendimiento.

En la Fig VI.7 se presentan tres formas corrientes de la realización del difusor y en la Fig VI.8 las diferentes posiciones que puede tomar la salida del ventilador.

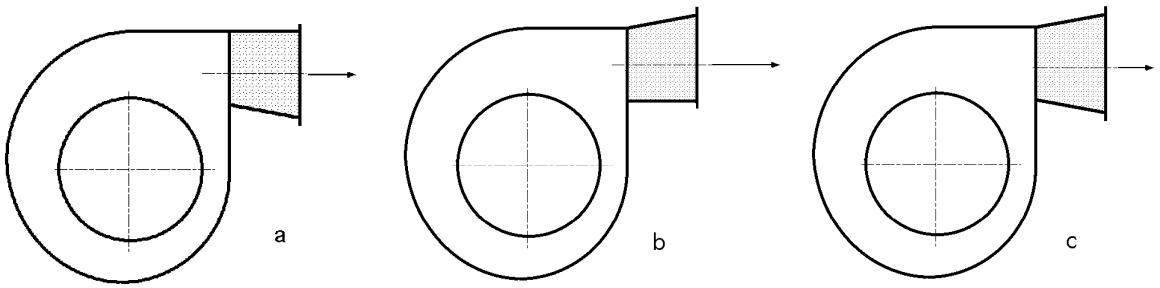


Fig VI.7.- Colocación del difusor a la salida del ventilador, a) Correcta; b) Incorrecta; c) Difusor simétrico.

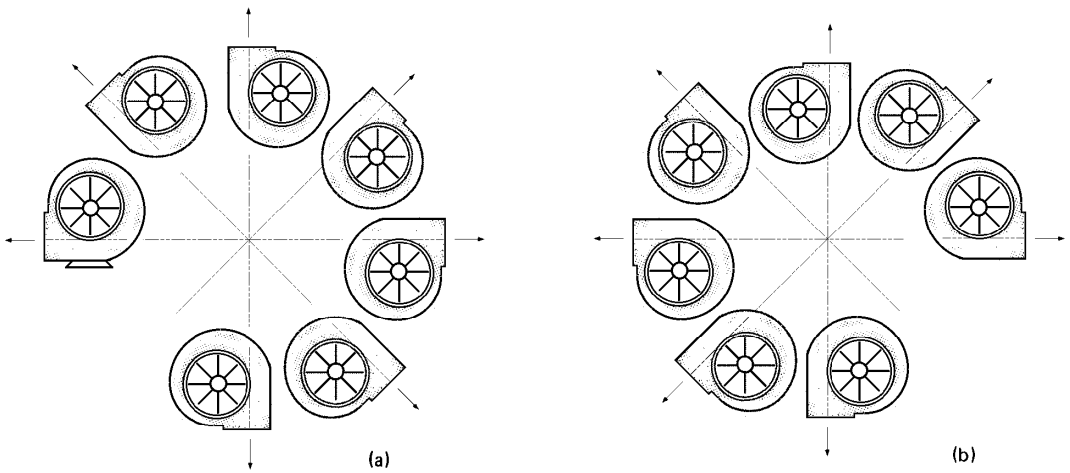


Fig VI.8.- Realizaciones diversas de la boca de salida del ventilador, a) A derechas; b) A izquierdas.

VI.2.- FORMULACIÓN

Como el fluido es un gas, la variación de presión es $\Delta p = \rho\, g\, H$; la razón que justifica esta práctica es que la altura piezométrica tiene sentido en los líquidos pero no en los gases; en efecto:

- Al conectar un tubo piezométrico a un conducto de líquido éste se eleva hasta una altura que depende de la presión, de la densidad del líquido y de la fuerza de la gravedad y que define la superficie libre del líquido o plano piezométrico

- El gas, por el contrario, se escaparía por el tubo a la atmósfera y la presión iría disminuyendo en el interior del tubo piezométrico

La altura dinámica en un líquido se transforma en altura piezométrica medible (tubo de Pitot) pero en los gases no.

Error cometido al despreciar la compresibilidad del gas.- Muchos gases reales, entre ellos el aire y todos los gases diatómicos, obedecen prácticamente a la ecuación de los gases perfectos:

$$p\, v = R\, T$$

En el aire, para presiones del orden de 20 bar, el valor real de R difiere del correspondiente al gas perfecto en un 1%.

Al comprimir un gas adiabáticamente se eleva su temperatura y aumenta su densidad, disminuyendo su volumen específico, es decir, todos los gases son compresibles; la hipótesis de fluido incompresible no se realiza exactamente en ningún fluido real.

La influencia de la compresibilidad del gas en el incremento de presión total creado por la máquina en el sentido de que a ésta se la pueda considerar como ventilador o como turbocompresor, se puede reducir a tres puntos:

a) No hay convenio alguno universalmente adoptado, por lo que el proyecto y construcción de un ventilador destinado a crear una presión total de 300 mm.c.a. se puede realizar como una turbomáquina térmica o si se desprecia la compresibilidad, como una turbomáquina hidráulica.

b) En los ventiladores corrientes de poca potencia se puede establecer una línea divisoria convencional $\begin{cases} \Delta p_{total} \le 1.000 \text{ mm c.a., ventilador (TMH)} \\ \Delta p_{total} > 1.000 \text{ mm c.a., turbocompresor (TMT)} \end{cases}$

c) En los ventiladores modernos de alta calidad y elevada potencia la tendencia actual tiende a considerar la compresibilidad, incluso a presiones mucho menores, siendo los límites:

$$\begin{cases} \Delta p_{total} \le 300 \text{ mm c.a., ventilador (TMH)} \\ \Delta p_{total} > 300 \text{ mm c.a, turbocompresor (TMT)} \end{cases}$$

Determinación de la magnitud del error.- La presión total del ventilador se puede considerar como la presión de estancamiento correspondiente a una velocidad $\vec{c}$ de forma que:

$$\Delta p_{total} = \rho \frac{c^2}{2\,g}$$

El error relativo es $\frac{\Delta(\Delta p)}{\Delta p} = (\frac{c}{2\,c_s})^2$, *siendo* c_s *la velocidad del sonido.*

Para c = 50 m/seg, el error es del 0,6%

Para c = 100 m/seg, el error es del orden del 2,4% correspondiendo a esta velocidad de estancamiento un incremento de presión total en el ventilador de 650 mm. c.a.

El primer límite convencional se corresponde con una velocidad de 123,2 m/seg siendo el error del 3,6%.

Si el gas es incompresible, el trabajo suministrado por unidad de masa es Δp_{total}

Si el gas es compresible, el trabajo suministrado por unidad de masa es el incremento de entalpía en una transformación isentrópica desde la presión inicial a la presión final, igual al trabajo de circulación:

$$di = v\,dp \quad ; \quad i_2 - i_1 = \Delta i = \frac{\gamma}{\gamma - 1} R\,T_1 \{(\frac{p_2}{p_1})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1\} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} p_1\,v_1 \{(\frac{p_2}{p_1})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1\}$$

Desarrollando en serie la expresión: $(\frac{p_2}{p_1})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = (\frac{p_1 + \Delta p}{p_1})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$, y como para el aire y gases diatómicos $\gamma = 1{,}4$ se obtiene:

$$\Delta i = \Delta p\,v_1 = 1 - \frac{1}{2{,}8}\frac{\Delta p}{p_1} + \frac{1}{4{,}9}(\frac{\Delta p}{p_1})^2 - \ldots$$

de la que se pueden tomar como significativos los dos primeros términos.

Tabla VI.1.- Formulación para ventiladores

Denominación	*Formulación*
Ecuación de Bernoulli	$p_1 + \rho \frac{c_1^2}{2} - \Delta p_z + \sum \Delta p_r = p_2 + \rho \frac{c_2^2}{2}$
Ecuación de Euler (general)	$\Delta p_{u_\infty} = \rho(u_2\,c_{2u} - u_1\,c_{1u})$
Entrada sin circulación	$\Delta p_{u_\infty} = \rho\,u_2\,c_{2u}$
Ventilador axial	$\Delta p_{u_\infty} = \rho\,u\,(c_{2u} - c_{1u})$
Grado de reacción ideal	$\sigma = \frac{\Delta p_{est.rod_\infty}}{\Delta p_{u_\infty}}$
Grado de reacción real	$\sigma_{real} = \frac{\Delta p_{est.rod}}{\Delta p_{u\ total}}$
Presión suministrada por el ventilador	$\Delta p_{total} = p_s - p_e + \rho \frac{c_s^2 - c_e^2}{2}$

Presión estática	$\Delta p_{estática} = p_s - p_e$
Presión dinámica	$\Delta p_{dinámica} = \rho \frac{c_s^2 - c_e^2}{2}$
Rendimiento hidráulico	$\eta_h = \frac{\Delta p_{total}}{\Delta p_u}$ *(Δp_u - nº finito ideal de álabes)*
Potencia suministrada	$N = Q\ \Delta p_{total}$
Rendimiento total en condiciones totales	$\eta_{total} = \frac{Q\ \Delta p_{total}}{N_{accionamiento}} = \frac{Q\ \Delta p_{total}}{N_a}$
Rendimiento total en condiciones estáticas	$\eta_{total} = \frac{Q\ \Delta p_e}{N_a}$
Coeficiente de presión	$\Psi = \frac{\Delta p_{total}}{\rho\ u^2/2}$

El error que se comete en esta situación, despreciando la compresibilidad para un Δp = 300 mm. c.a. es del orden del 1%; por lo tanto, para calcular el trabajo útil por unidad de volumen de un ventilador se puede adoptar la normativa indicada en la Tabla VI.1, según la exactitud y calidad del diseño.

Trabajo útil por unidad de volumen, (valor exacto): $T_u = \frac{\gamma}{\gamma - 1}\ p_1\ v_1 \{(\frac{p_2}{p_1})^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} - 1\}$

Trabajo útil por unidad de volumen (valor aproximado), error < 0,5 %, para: $T_u = 2\ (p_2 - p_1)\ \frac{p_1}{p_1 + p_2}$

Trabajo útil por unidad de volumen, (valor aproximado), error < 5%, para: $T_u = p_2 - p_1$

Reducción de la presión y caudal del ventilador a las condiciones normales.- El comportamiento de un ventilador varía mucho con el estado atmosférico, es decir, con la presión y temperatura ambiente, por lo que en los ensayos de los ventiladores las mediciones de presión y caudal vienen referidas a unas condiciones atmosféricas bien determinadas.

En la práctica se puede utilizar:

- *La atmósfera normal* $p_0 = 760$ *mm de columna de mercurio y* $T_0 = 0°C$
- *La atmósfera standard* $p_s = 760$ *mm de columna de mercurio y* $T_s = 20°C$
- *La densidad normal del aire* $\rho_0 = 1{,}293\ kg/m^3$

El gasto másico es, $G = \rho_0\ Q$

VI.3.- EL RUIDO

El ruido es el sonido que, por su tono, intensidad o duración, resulta desagradable al oído humano e incluso dañoso a su organismo. Los ventiladores son, con frecuencia, fuente de ruidos que aten-

tan contra el confort del medio ambiente, por lo que su comportamiento acústico constituye muchas veces un factor decisivo en la selección del mismo.

Relación entre la velocidad del sonido, longitud de onda y frecuencia.- Las ondas longitudinales de presión que constituyen el sonido son sólo perceptibles por el oído humano si su frecuencia está comprendida entre 30 ÷ 10.000 Hz.

La velocidad de propagación del sonido es la misma para todas las frecuencias y depende de la temperatura. En el aire, en condiciones normales, es aproximadamente de 340 m/seg.

La longitud de onda depende de la frecuencia según la relación:

Longitud de onda λ = *velocidad del sonido* c_s *x frecuencia* ν

En el aire, para el umbral $\begin{cases} \textit{inferior de frecuencia 30 Hz la longitud de onda es de 11,3 m} \\ \textit{superior de frecuencia 10.000 Hz la longitud de onda es de 33,9 mm} \end{cases}$

Intensidad del sonido.- La intensidad de un sonido depende de la amplitud de la onda acústica y se mide por la cantidad de energía transmitida; la energía irradiada por una fuente sonora se mide en ergios (gr. cm^2/seg^2) y la potencia irradiada en (gr. cm^2/seg^3).

La intensidad *I* del sonido es el flujo de energía por segundo (potencia) a través de la unidad de superficie normal a la dirección de la propagación de la onda sonora; se mide en (W/cm^2). En la práctica la unidad que se emplea para la medición de la intensidad del sonido es el *decibel* que es una unidad adimensional logarítmica.

El 0 en la escala de decibeles corresponde al umbral de la audición que se fija en una presión acústica de 0,0002 dinas/cm^2.

Relacionando ahora cualquier intensidad de sonido *I* con la intensidad base I_0, el número de decibeles conque se mide la intensidad *I* se define en la forma:

$$D = N^o \text{ de decibeles del sonido de intensidad } I = 10 \log \frac{I}{I_0} = 20 \log \frac{p}{p_0}$$

La escala logarítmica de intensidades es muy conveniente, porque entre los umbrales mínimo y máximo de la audición, la intensidad aumenta de $1 \div 10^{12}$; cada decibel representa un aumento de intensidad del 26%, que es aproximadamente la variación mínima de la intensidad que el oído puede detectar; de ahí su empleo universal en la técnica acústica.

La Tabla VI.2 indica el valor en decibeles de la intensidad global de dos sonidos, de los que uno puede ser el ruido de fondo existente y otro el del ventilador que se quiere instalar; de esta tabla se desprende lo siguiente:

Tabla VI.2.- Intensidad global en decibeles de dos ruidos superpuestos, ruido de fondo y ruido del ventilador

Ruido de fondo	*Ruido del ventilador (Db)*									
Db	*50*	*55*	*60*	*65*	*70*	*75*	*80*	*85*	*90*	*95*
50	*53,01*	*56,19*	*60,41*	*65,13*	*70,04*	*75*	*80*	*85*	*90*	*95*
55	*56,19*	*58,01*	*61,19*	*65,41*	*70,13*	*75,04*	*80*	*85*	*90*	*95*
60	*60,41*	*61,19*	*63,01*	*66,19*	*70,41*	*75,13*	*80,04*	*85*	*90*	*95*
65	*65,13*	*65,41*	*66,19*	*68,01*	*71,19*	*75,41*	*80,13*	*85,04*	*90*	*95*
70	*70,04*	*70,13*	*70,41*	*71,19*	*73,01*	*76,19*	*80,41*	*85,13*	*90,04*	*95*
75	*75*	*75,04*	*75,13*	*75,41*	*76,19*	*78,01*	*81,19*	*85,41*	*90,13*	*95,04*
80	*80*	*80*	*80,04*	*80,13*	*80,41*	*81,19*	*83,01*	*86,19*	*90,41*	*95,13*
85	*85*	*85*	*85*	*85,04*	*85,13*	*85,41*	*86,19*	*88,01*	*91,19*	*95,41*
90	*90*	*90*	*90*	*90*	*90,04*	*90,13*	*90,41*	*91,19*	*93,01*	*96,19*
95	*95*	*95*	*95*	*95*	*95*	*95,04*	*95,13*	*95,41*	*96,19*	*98,01*

a) El ruido de un ventilador no se percibe en absoluto cuando su nivel de sonido está 25 o más decibeles por debajo del ruido de fondo; en el caso en que su nivel de sonido sea igual que el ruido de fondo, sólo llega a destacar sobre este último un aumento de sólo 3,01 decibeles.

b) Si el ruido del ventilador excede por lo menos en 15 decibeles al de la habitación, el ensayo del ventilador en dicha habitación es prácticamente el mismo que se obtendría en un cuarto aislado acústicamente.

Causas de ruido en ventiladores.- Los álabes de un ventilador crean a su alrededor un campo de presión que varía de un punto a otro del espacio, originándose unas ondas acústicas que interaccionan entre sí, propagándose por el aire, las paredes, el suelo, y en general por la estructura del edificio. Las causas son:

- La frecuencia fundamental del sonido del ventilador es igual al producto de su velocidad de rotación por el nº de álabes del rodete

- La intensidad del sonido producido directamente por los álabes es aproximadamente proporcional a la velocidad periférica de la punta de los álabes y a la quinta potencia del nº de revoluciones

- Las intensidades de sonido de dos ventiladores geométricamente semejantes son directamente proporcionales a la séptima potencia de la relación de semejanza

- La distancia excesivamente pequeña entre el borde de salida de los álabes del rodete y la lengua de la caja espiral es causa de ruido

- El número de los álabes directrices fijos no debe ser igual ni múltiplo del de los álabes móviles

- La corona difusora sin álabes produce menos ruido que la corona de álabes directrices

- Las vibraciones forzadas de la carcasa y de los conductos de admisión y escape pueden ser origen de ruidos de gran intensidad, sobre todo en condiciones de resonancia

- El desequilibrio estático y dinámico del motor, y la mala alineación de los cojinetes

- El motor de accionamiento y los cojinetes de bolas, a bajo nº de revoluciones, son causa de ruido, por lo que utilizando cojinetes deslizantes se puede eliminar la causa

- Al disminuir el rendimiento del ventilador para un mismo nº de rpm aumenta la intensidad del ruido.

VI.4.- CARACTERÍSTICAS

Los ventiladores se clasifican, según la dirección del flujo en el rodete, en centrífugos, diagonales o semiaxiales y axiales; dentro de cada grupo, el tipo de ventilador queda definido por el número especifico de revoluciones $n_q = n \dfrac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$

Algunos de los puntos de vista más importantes a tener en cuenta en la elección de un ventilador son:

Rendimiento óptimo.- Para ello se debe escoger el ventilador según el número específico de revoluciones requerido.

Mínimo nivel de ruido.- Para ello se debe escoger el ventilador con un coeficiente de presión y elevado y número de revoluciones bajo.

Gran caudal.- Para ello se debe escoger un ventilador con coeficiente de caudal F elevado.

Gran potencia específica (volumen y masa de máquina reducidos para la potencia deseada).

Forma y dimensiones determinadas en la admisión y salida.

Curvas características planas en todo el campo de trabajo del ventilador a fin de que el rendimiento se mantenga elevado.

Potencia mínima absorbida a caudal nulo.

Exigencias diversas en cuanto a la regulación.

VENTILADORES CENTRÍFUGOS.- En éstos, *el coeficiente de presión teórico* es $\Psi = \dfrac{2\,\Delta p_u}{\rho\, u_2^2}$, en la que Δp_u es el incremento de presión total teórico con un número finito de álabes, de valor oscila 0,8 ÷ 3.

Con los valores $0{,}8 < \Delta p_u < 1$, se pueden conseguir rendimientos del orden del 90%, pero las velocidades de rotación son relativamente elevadas; además, como las dimensiones del ventilador, a igualdad de potencia son proporcionales a $\dfrac{1}{\Phi\,\Psi}$, los ventiladores en este intervalo son apropiados para grandes instalaciones, en donde el volumen de la instalación y el ruido son menos importantes que el rendimiento.

Con diseños de $\Psi > 2$ se consigue disminuir el ruido, a costa de la disminución del rendimiento (ventilador para instalaciones de ventilación y aire acondicionado).

El coeficiente de caudal $\Phi = \dfrac{c_{2m}}{u_2}$ oscila entre $0{,}1 \div 0{,}4$ pudiendo llegar hasta 0,8 como máximo.

Para obtener un buen rendimiento conviene procurar que $\dfrac{\Psi}{\Phi^2} \geq 10$

Ventilador Siroco o de tambor.- A la clase de ventiladores centrífugos pertenece un tipo especial muy corriente, el ventilador Siroco o de tambor. La caja espiral, fabricada de chapa de acero soldada o remachada, rodea al rodete y conduce el aire que sale del mismo a través de un difusor hasta la salida, que puede ser rectangular o circular. La entrada en el ventilador es de ordinario de forma abocinada. El aire entra en el ventilador en dirección axial y girando 90º entra en el rodete.

Su desarrollo inicial data de comienzos de siglo, pero hoy en día se sigue construyendo a causa de su $\begin{cases} \textit{volumen reducido} \\ \textit{nivel de ruido muy bajo} \end{cases}$, a pesar de su bajo rendimiento, del orden del 50%. No hay ningún otro ventilador que para la misma presión tenga un nivel de ruido tan bajo.

Esta última exigencia es en la actualidad, para muchas aplicaciones, mucho más apremiante que la de un rendimiento óptimo. Los primitivos ventiladores Siroco tenían las siguientes dimensiones:

$$\frac{d_1}{d_2} = 0{,}875 \;\; ; \;\; b = \frac{3\,d_2}{5} \;\; ; \;\; \beta_1 = 64^o \;\; ; \;\; \beta_2 = 22^o \;\; ; \;\; Z = 54 \text{ álabes}$$

VI.5.- CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LOS VENTILADORES

Si consideramos el ventilador como una bomba rotodinámica de gas, el trazado de sus curvas características se puede hacer de la misma forma que el de las bombas centrífugas.

Sin embargo, habrá que tener en cuenta las siguientes observaciones:

- Las *curvas* $(H_{man},\, Q)$ se sustituyen por las *curvas* $(\Delta p_{total},\, Q)$ siendo Δp_{total} la presión total suministrada por el ventilador.

Entre las variables H_{man} y Δp_{total} existe la relación: $\Delta p_{total} = \rho\, g\, H_{man}$

- Los valores medidos de Q y de Δp_{total} se suelen reducir a condiciones normales o a las standard. En un ensayo bien hecho, siempre hay que especificar a qué condiciones normales se refiere el ensayo, o al menos a qué presión barométrica y a qué temperatura ambiente se ha realizado.

- En un gran número de aplicaciones interesa más la presión estática del ventilador que la presión total; en un ventilador con un sistema difusor eficiente la presión dinámica es muy pequeña y la Δp_{est} se acerca mucho a la Δp_{total} .

En la Fig VI.9 se han trazado las curvas características de cuatro tipos distintos de ventiladores, expresando todas las variables en % del valor nominal o de diseño, a fin de poder comparar más fácilmente los distintos tipos, observándose que:

a) La potencia de accionamiento N_a en los ventiladores de álabes curvados hacia adelante, Fig

VI.9a, aumenta constantemente con el caudal (característica de potencia con sobrecarga)

En los ventiladores con álabes curvados hacia atrás y en los ventiladores axiales la potencia no supera el valor en el punto nominal o de diseño, Fig VI.9.d, o sólo ligeramente en un 10% Fig VI.9c.

La sobrecarga se refiere al motor de accionamiento que en la Fig VI.9a deberá tener una reserva de potencia, incluso hasta el 100% de la potencia de accionamiento, si se prevé que la resistencia de la red en algún caso pudiera disminuir excesivamente.

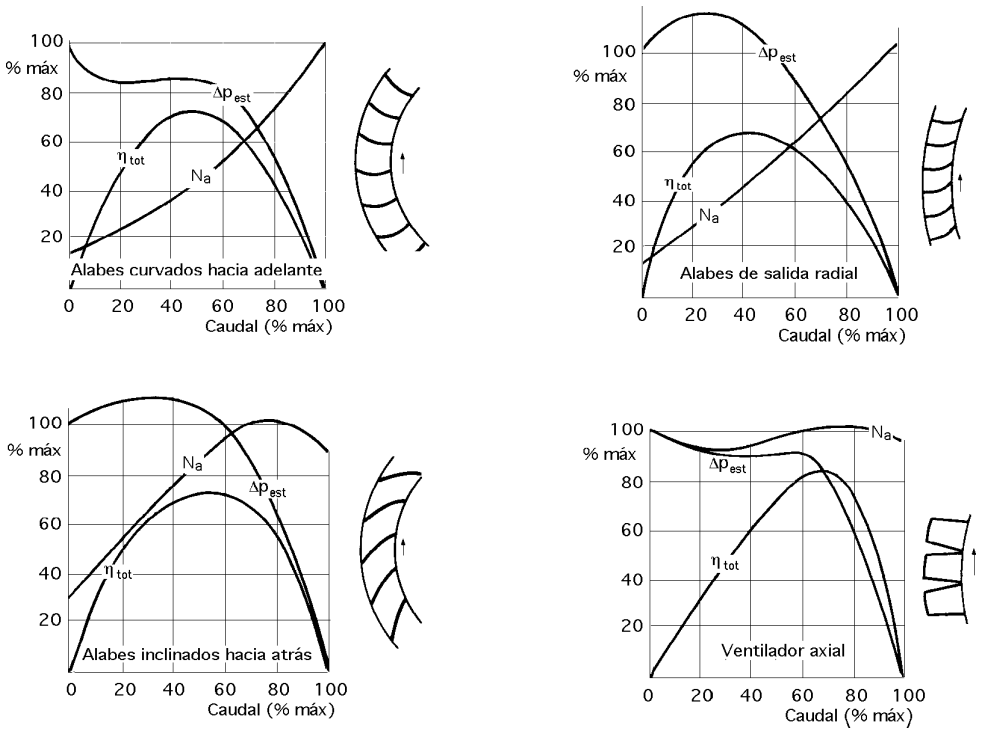


Fig VI.9.- Curvas características típicas de ventilador, a) Con álabes curvados hacia adelante; b) Con álabes de salida radial; c) Con álabes curvados hacia atrás; d) Con álabes axiales.

La curva característica de potencia de los ventiladores de salida radial Fig VI.9b, presenta características intermedias entre las de los ventiladores con álabes curvados hacia adelante y hacia atrás, como era de esperar.

La potencia absorbida en el arranque es mínima en los ventiladores centrífugos Fig VI.9a.b.c y máxima o casi máxima en los ventiladores axiales Fig VI.9d.

Las curvas de la Fig VI.10 para un número de revoluciones n variable corresponden a un pequeño ventilador, para instalación en el techo, de potencia inferior a 1 kW. Los números sobre las curvas indican los valores en Db del ruido del ventilador cuando funciona en dicho punto.

Las curvas de la Fig VI.11a son curvas de Δp_{est} , Δp_{tot} , Δp_d , en función del caudal para un nº de revoluciones constante (2800 rpm) de un pequeño ventilador axial.

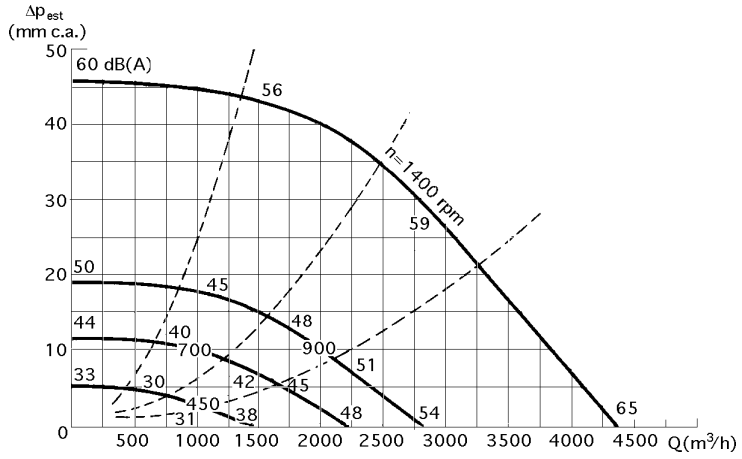


Fig VI.10.- Curvas características de un ventilador

La intensidad del ruido tiene un valor medio de 58 Db, Fig VI.11b, en la que se presentan las características del mismo ventilador a 1450 rpm con una intensidad media de ruido de 42 Db.

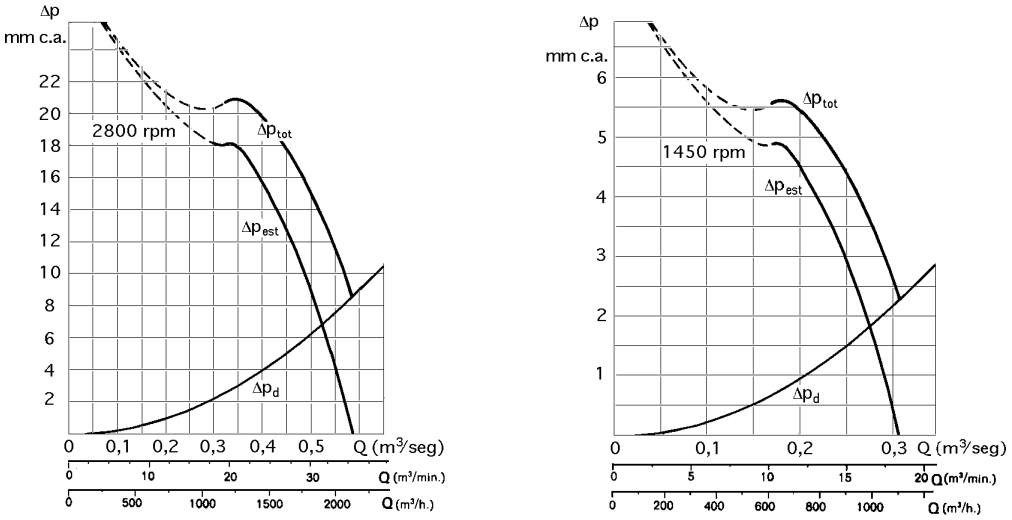


Fig VI.11.- Curvas características de un ventilador axial, a) a 2800 rpm; b) a 1450 rpm

En la Fig VI.12 se pueden ver las curvas de un ventilador axial para diferentes valores del ángulo de ataque del rodete.

Los ventiladores axiales se pueden construir con álabes del rodete:

- *Fijos y álabes directrices orientables*
- *Fijos sin álabes directrices orientables*
- *Orientables y álabes directrices orientables*
- *Orientables sin álabes directrices orientables*

Los álabes se pueden orientar en marcha o estando el ventilador parado. Lo primero es más ventajoso y más costoso; las curvas de la Fig VI.12 pertenecen a un ventilador de este último tipo.

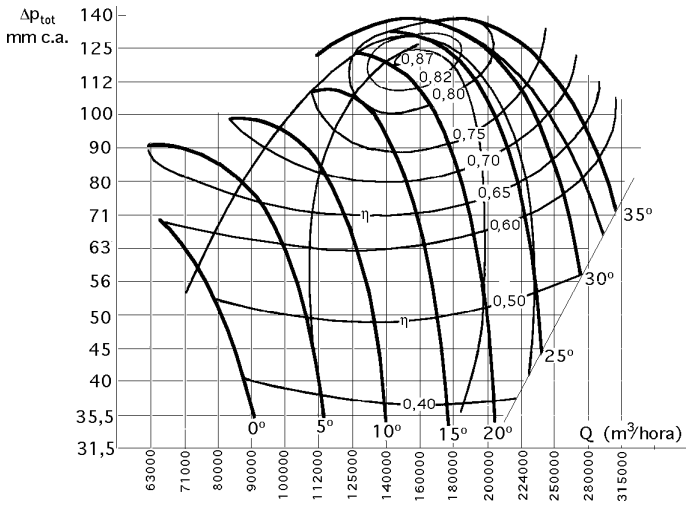


Fig VI.12.- Curvas características de un ventilador axial con álabes del rodete orientables

VI.6.- PRESIÓN ESTÁTICA, DINÁMICA Y TOTAL DE UN VENTILADOR

Un ventilador puede trabajar de tres formas distintas:

- Como soplante, aspirando gas a la presión atmosférica y comprimiéndolo a mayor presión

- Como exhaustor, aspirando gas a una presión inferior a la atmosférica y comprimiéndole hasta la presión atmosférica

- Como soplante y como exhaustor al mismo tiempo, Fig VI.13

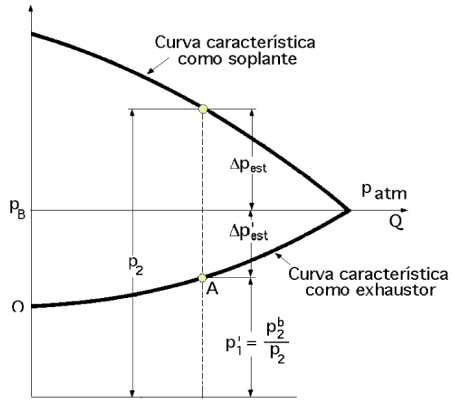


Fig VI.13. Características de un mismo ventilador funcionando como soplante y como exhaustor

En los tres casos la altura efectiva H, así como la altura dinámica y estática y el caudal Q desarrollado por el ventilador en condiciones de rendimiento óptimo son idénticos; pero al variar la densidad en cada caso, las presiones estáticas, dinámicas y totales son distintas. Esto se ha de tener presente en el trazado de las curvas características, ya que, como hemos dicho, en los ventiladores no se suelen utilizar como variables las alturas, sino las presiones.

Conocido un punto cualquiera de la característica del ventilador trabajando, por ejemplo, como soplante, es fácil hallar el punto correspondiente de la misma trabajando como exhaustor.

A partir de la altura de presión estática H_{est} se tiene:

$$H_{est} = \frac{\Delta p_{est}}{\rho\, g} = \frac{\Delta p^*_{est}}{\rho^* g} \quad ; \quad \frac{p_2 - p_{atm}}{\rho\, g}\rangle_{soplante} = \frac{p_{atm} - p^*_1}{\rho^* g}\rangle_{exhaustor} \quad ; \quad \frac{p_2 - p_{atm}}{p_{atm} - p^*_1} = \frac{\rho}{\rho^*}$$

en la que los valores sin asterisco indican soplante y con asterisco (*) exhaustor, siendo ρ y ρ^* los valores medios de las densidades en cada caso.

Si se considera que la compresión es aproximadamente isoterma, sustituyendo la ecuación de los gases perfectos se tiene:

$$\frac{p_{atm}}{\rho} = R\,T = \frac{p_1^*}{\rho^*} \quad \Rightarrow \quad \frac{p_{atm}}{p_1^*} = \frac{\rho}{\rho^*} \quad ; \quad \frac{p_2 - p_{atm}}{p_{atm}} = \frac{p_{atm} - p_1^*}{p_1^*} \quad \Rightarrow \quad \frac{p_2}{p_{atm}} = \frac{p_{atm}}{p_1^*} \quad ; \quad p_1^* = \frac{p_{atm}^2}{p_2}$$

expresión que permite obtener el punto de funcionamiento óptimo, punto A en la Fig VI.12, o también pasar fácilmente de una curva característica a otra.

Ejemplo 1.- *Un determinado tipo de ventilador funcionando como soplante aspira a la* p_{atm}*= 10.000 mm c.a, un caudal de 3* m^3/seg *creando una presión estática* $\Delta p_{est} = 400$ *mm c.a.; el valor de* Δp_{est}^* *es:*

$$p_2 = 10000 + 400 = 10400 \text{ mm.c.a} \quad ; \quad p_1^* = \frac{10000^2}{10400} = 9615 \text{ mm.c.a}$$

$$\Delta p_{est}^* = p_{atm} - p_1^* = 10000 - 9615 = 385 \text{ mm.c.a.}$$

Ejemplo 2.- *Conocido el punto de funcionamiento en un diagrama (*p_{est}*-Q), Fig VI.14, se pueden hallar otros parámetros como: Volumen aire 485* m^3/min*, presión estática 132 mm.c.a., nº de revoluciones 1050 rpm, eficiencia total 73%, potencia absorbida 15 kW, Nivel intensidad del sonido 93 dB*

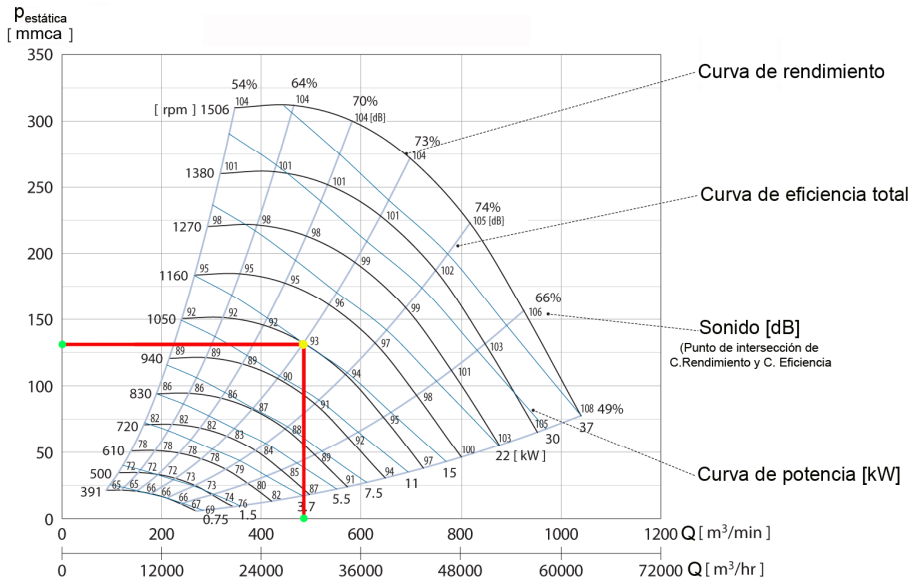


Fig VI.14.- Curvas características de rendimiento, eficiencia, sonido y potencia en un diagrama (p_{est} *- Q) de un ventilador*

Ejemplo 3.- *Conocido el punto de funcionamiento en un diagrama (*p_{total}*-Q), Fig VI.15, se pueden hallar otros parámetros como: Volumen aire 8000* m^3/h*, Presión dinámica 59 Pa, Presión total 1600 Pa, nº de revoluciones 2050 rpm, eficiencia total 76%, potencia absorbida 4,7 kW, nivel intensidad del sonido 88 dB, velocidad del fluido 10* m/seg

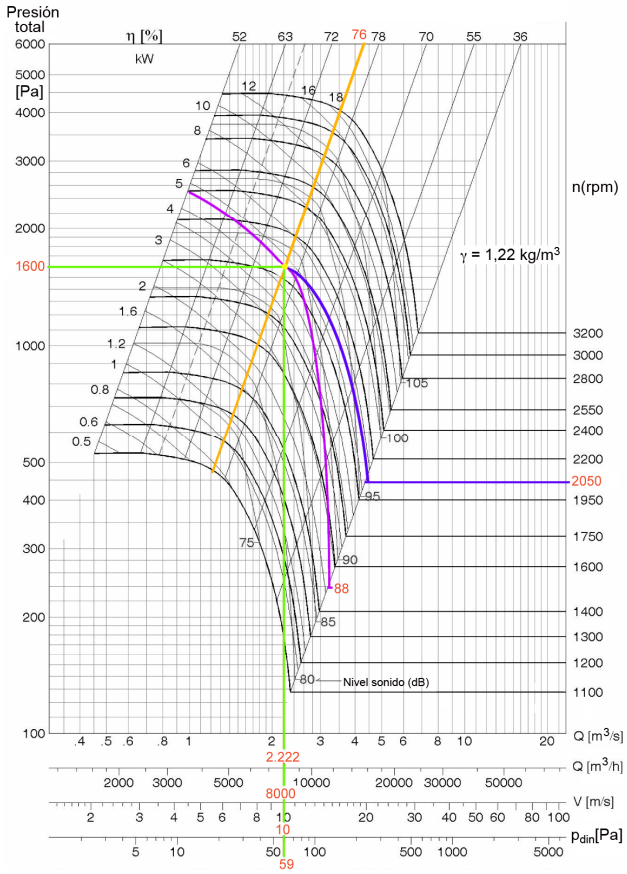


Fig VI.15.- C. características de eficiencia, presión dinámica, sonido y potencia en un diagrama (p_{total} - Q)

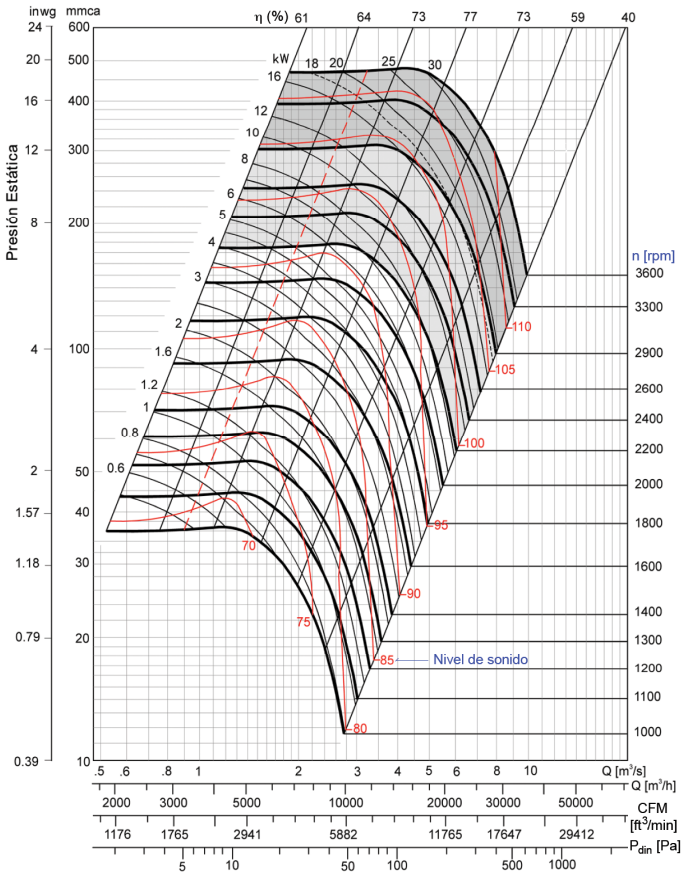


Fig VI.16.- C. c. de rendimiento, eficiencia, nivel de sonido y potencia en un diagrama (p_{est}-Q), de un ventilador determinado

VI.7.- FUNCIONAMIENTO

Funcionamiento de dos o más ventiladores en paralelo.- En la Fig VI.17 se estudia el comportamiento de dos ventiladores en paralelo. Para ello, además de la curva de presión estática en función del caudal para un sólo ventilador, y de la misma curva para el funcionamiento simultáneo de 2 ventiladores iguales, se ha superpuesto la característica de la red, y se ha trazado también la curva $p_a = f(Q)$, de un ventilador.

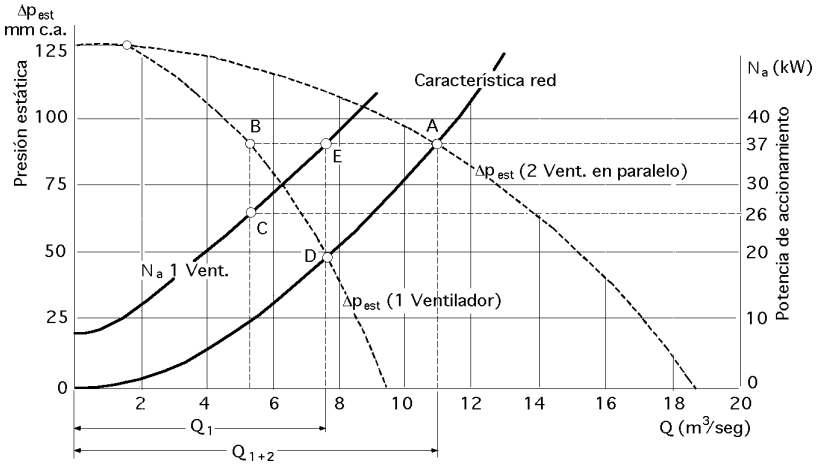


Fig VI.17.- Funcionamiento de dos ventiladores en paralelo

Funcionando los dos ventiladores a la vez, el punto de funcionamiento es el A. Cada ventilador funciona en el punto E de su característica absorbiendo una potencia determinada.

En el funcionamiento en paralelo se debe tener en cuenta lo siguiente,

- Si se necesita menos caudal desconectando un ventilador y funcionando con el otro sólo, el caudal es el correspondiente al punto D, absorbiendo una potencia mayor, punto E. De esta manera la instalación funciona con flexibilidad, durante un tiempo con un ventilador hasta un caudal igual al 70% del $Q_{máx}$, y en otros momentos con dos ventiladores. Para ello, sin embargo, se ha de prever un motor de más potencia, ya que un ventilador sólo funcionará en el punto E y $p_E > p_C$

- Al conectar el segundo ventilador a la red, el caudal obtenido es siempre menor que el doble del proporcionado por un solo ventilador, de forma que:

$$Q_{(1+2)} < 2\,Q_1 \quad ; \quad \sum Q_i < X\,Q_1$$

La explicación de este hecho radica en la curvatura de la característica de la red; cuanto mayor sea la pendiente de esta curva, es decir, cuanto mayores sean las pérdidas en la red, tanto menor será el incremento de caudal obtenido con dos o más ventiladores con respecto al caudal de uno solo.

Dos ventiladores distintos en paralelo.- Sea (1) la característica de un ventilador Fig VI.18 y (2) la del otro. La característica (1+2) de los ventiladores distintos trabajando en paralelo comienza

en este caso en el punto en que la curva (2) corta a la isobara correspondiente a la presión que da el ventilador (1) para Q = 0.

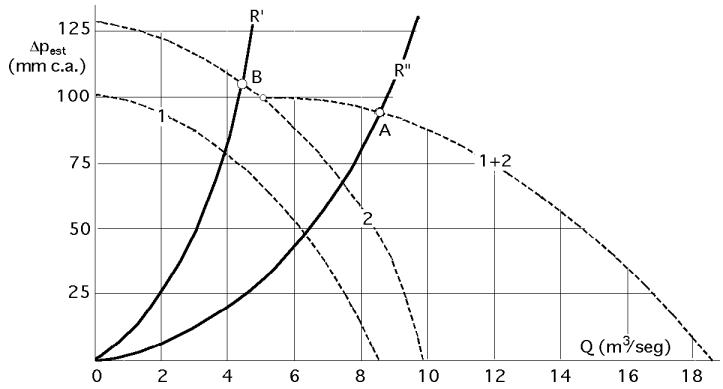


Fig VI.18.- Funcionamiento en paralelo de dos ventiladores de características distintas

En estas circunstancias el trabajo en paralelo con la red R' es imposible; mientras que sí es posible con la red R". En ciertos casos, con el funcionamiento en paralelo se puede originar el fenómeno de bombeo, según el tipo de característica de los ventiladores.

Si las máquinas conectadas en paralelo son distintas, el rendimiento del grupo con conexión en paralelo $\eta_{total\ paralelo}$ se obtiene para cada valor del caudal total $\sum Q_i$ en la forma:

$$h_{total\ paralelo} = \frac{\sum Q_i\, \eta_{total}}{\sum Q_i}$$

De todo lo dicho se deduce que para el trabajo en paralelo se deben escoger ventiladores, cuyas alturas nominales sean aproximadamente iguales (aunque los caudales nominales y los diámetros de las tuberías de admisión e impulsión sean muy diversos.

VI.8.- REGULACIÓN Y CONTROL DEL CAUDAL

La *regulación de caudal* se puede efectuar de las siguientes maneras:

a) Regulación de caudal por variación de la característica de la red a n = Cte, estrangulando la válvula de impulsión

b) Regulación de caudal por variación de la característica del ventilador, variando el n° de rpm,

- *Por orientación de una corona directriz a la entrada*
- *Por orientación de los álabes móviles*
- *Por estrangulamiento con válvula de by-pass*

c) Regulación de caudal por variación simultánea de las características de la red y del ventilador, variando escalonadamente la velocidad y el estrangulamiento

d) Regulación a n = Cte, estrangulando la válvula de impulsión.- Los ventiladores centrífugos tienen la

característica $p_a = f(Q)$ de pendiente positiva $\frac{dp_a}{dQ} > 0$ y así la potencia de accionamiento disminuye al disminuir el caudal lo cual es favorable

En los ventiladores axiales, muchas veces la curva $p_a = f(Q)$ tiene pendiente negativa $\frac{dp_a}{dQ} < 0$, y la regulación por estrangulamiento resulta muy desfavorable

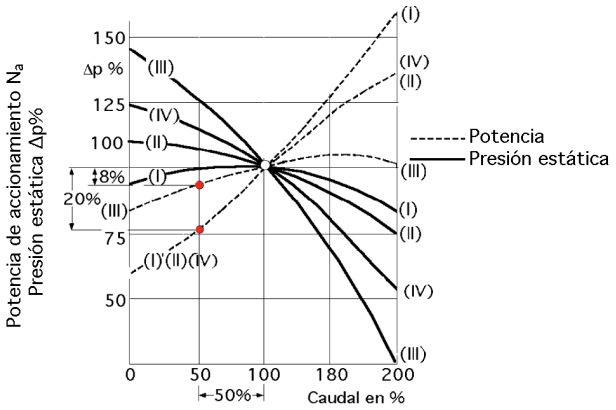


Fig VI.19.- Características de ventiladores (valores expresados en % de los valores nominales), I) álabes inclinados hacia adelante; II) álabes de salida radial; III) álabes inclinados hacia atrás; IV) álabes radiales

La influencia del tipo de rodete en la economía de este procedimiento de regulación que estamos estudiando se hace patente en la Fig VI.19, que muestra las curvas (Δp, Q) y (p_a, Q) de cuatro tipos de ventiladores con álabes, I curvados hacia adelante; II de salida radial; III curvados hacia atrás y IV radiales.

Estas curvas están trazadas en % del caudal de η_{tot} que en este caso no es el máximo. Al disminuir el caudal en un 50% la potencia de accionamiento N_a disminuye sólo un 8% en el rodete III; mientras que en los 3 restantes se reduce al 20% de la potencia nominal. Al aumentar el caudal el aumento es menor en los ventiladores II, III y IV que en el I.

Como la regulación por estrangulamiento se emplea generalmente para reducir el caudal, se deduce de la Fig VI.19 que los ventiladores con álabes curvados hacia atrás no se prestan a este tipo de regulación

En la regulación por estrangulamiento hay una doble pérdida, en el ventilador y en la válvula. En general las pérdidas inherentes a este tipo de regulación son tanto mayores cuanto más intensa es la regulación, (cuanto más disminuye el gasto). Los grupos en los que el ventilador se acciona mediante un motor eléctrico de inducción de corriente alterna son muy frecuentes, sobre todo en potencias pequeñas; si no permiten variación de la velocidad, se prestan mucho al tipo de regulación estudiado.

MÉTODOS DE CONTROL

Compuertas de descarga.- Se usan en los ventiladores que funcionan a velocidad constante. Se pueden maniobrar manual o automáticamente y son de diversos diseños. Las modificaciones que dan un control más exacto, incluyen el uso de placas-tope entre las aletas de la compuerta y la articulación eslabonada, haciendo que las aletas contiguas giren en direcciones opuestas. Las compuertas son de bajo coste inicial, pero menos económicas por lo que atañe al costo de la fuerza motriz del ventilador, ya que desperdician la presión estática desarrollada por el mismo.

Compuertas de aspas radiales a la entrada.- Estas compuertas consisten en un número de

aletas colocadas alrededor de la entrada del ventilador, unidas por una articulación eslabonada que las hace operar simultáneamente. Son causa de que el aire gire en el mismo sentido de rotación que el rotor. El volumen de aire trasvasado y la presión estática desarrollada dependen de la magnitud del giro impartido a la corriente de aire entrante, y se puede controlar manual o automáticamente. Son de costo inicial moderado, ahorran potencia motriz al no desperdiciar presión estática y son tan sencillas de operar y de mantener como las compuertas ordinarias.

Motores de velocidad variable.- El método más eficiente de control para regular la velocidad del ventilador, y mantenerlo en el punto de funcionamiento requerido cuando varíe el volumen, consiste en disponer acoplamientos hidráulicos y magnéticos de velocidad variable que proporcionan un control ininterrumpido del rango operativo del ventilador. Con estos sistemas de accionamiento, en los ventiladores se pueden utilizar compuertas auxiliares o compuertas de aspas radiales a la entrada, para cuando se requiera un control de amplio alcance.

Motores de corriente alterna de velocidad múltiple y motores de anillos rozantes.- Requieren compuertas de aspas radiales a la entrada, para la regulación de puntos intermedios. Cuando el ventilador está listo para operar, se arranca, si es posible, con carga ligera. Las compuertas de descarga o las aletas variables de entrada deben estar parcialmente abiertas, lo que reduce la fuerza motriz requerida.

Los ventiladores de flujo axial nunca deben estar con las compuertas cerradas, pues pueden requerir tanta o mayor fuerza motriz que en condiciones normales.

Al principio, la fuerza motriz se aplica solamente el tiempo suficiente para comprobar que el rotor gira en la dirección adecuada; después se deja que el ventilador vaya alcanzado su velocidad operativa.

Si se produce un ruido o una vibración extraños, el ventilador se debe parar inmediatamente, y se debe encontrar la causa para corregir la anomalía.

Durante este periodo preliminar hay que vigilar el sobrecalentamiento de las chumaceras o de la transmisión.

Una pequeña vibración es propia del ventilador y no debe causar ninguna preocupación; la vibración permisible se puede percibir con exactitud.

Los rotores de ventilador se equilibran estática y dinámicamente por el fabricante y, si no se dañan, no requieren equilibrado posterior.

Antes de sospechar un desequilibrado del rotor, éste se debe observar y examinar para ver que no se haya depositado en él ninguna suciedad de materias extrañas.

Algunas veces todo lo que se necesita es la limpieza concienzuda del rotor.

La frecuencia de las inspecciones depende del grado de severidad de la operación y de la localización de la unidad.

Los ventiladores que funcionan en ambientes polvorientos, o a la intemperie, o en atmósferas corrosivas, deben ser objeto de una mayor atención que los ventiladores que manejan aire limpio en sitios secos; una inspección demasiado frecuente pudiera ser antieconómica.

La combinación de la experiencia y del análisis de los correspondientes costos implicados, determinan el programa a seguir.

VI.9.- DESARROLLO

La industria de los ventiladores, un tanto postergada años atrás, despierta en la actualidad gran interés por el creciente uso de estas máquinas en la ventilación de locales de trabajo y de recreo, minas, fábricas, túneles, barcos, etc..., así como en las múltiples aplicaciones de secado, refrigeración y acondicionamiento de aire. La construcción de los ventiladores se perfecciona cada vez más, así como las pruebas y ensayos para un mejor funcionamiento.

Un método para investigar la corriente y el ruido en los ventiladores consiste en instalar imanes diminutos, que se instalan en álabes diametralmente opuestos y un transductor (fotocélula) cuyos impulsos se envían a un contador eléctrico.

Corrosión y abrasión.- La corrosión que proviene solamente de la humedad, se puede controlar con pintura de buena pasta de asfalto u otra clase de pintura resistente a la corrosión. La corrosión que proviene de otros elementos, se debe tratar en cada caso particular.

En la actualidad existen ventiladores de construcción total de *plástico,* generalmente poliestireno o cloruro de polivinilo rígido. La construcción de ventiladores de materiales plásticos data ya de muy antiguo; en la industria química su empleo es hoy muy frecuente, para evitar la corrosión que fácilmente se produce en los ventiladores metálicos. Otras ventajas de los ventiladores de plástico son, marcha tranquila y reducción del peso hasta alcanzar sólo el 10% del peso de un ventilador de chapa; la superficie interior del ventilador de plástico es muy poco rugosa, y por tanto desde el punto de vista hidrodinámico muy favorable, por lo que es posible encontrar un ventilador que sea más o menos resistente a las sustancias químicas más comunes.

Por lo general, los fabricantes no pueden garantizar la vida de un ventilador que maneje vapores corrosivos, puesto que el grado de corrosión depende de factores como, *la temperatura, la concentración y la presencia de otras sustancias que provoquen la acción del elemento corrosivo.*

La fabricación de álabes de ventilador axiales de duroplástico exige una fuerte inversión en la

fabricación de las matrices para las prensas, lo cual sólo se justifica en los ventiladores pequeños por el número de piezas en serie que se fabrican.

En la construcción de ventiladores se emplea un gran número de materiales termoplásticos, entre ellos el polietileno, muy utilizado en construcción soldada.

Se han desarrollado procesos de fabricación especiales, en los que las carcasas se conforman de placas de material plástico en dos mitades, que se unen entre sí con pernos también de plástico; el cubo y los álabes conforman una sola pieza; la llanta fabricada de la misma manera se suelda a los álabes.

La abrasión rara vez constituye un problema serio en la ventilación. Existen diseños especiales de ventiladores, así como materiales disponibles, que proporcionan la mayoría de los fabricantes, para cuando la abrasión llegue a ser un factor importante.

VI.10.- NORMAS DE MANTENIMIENTO

DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD.- Un ventilador nunca debe operar a una velocidad más alta que aquella para la cual su fabricante lo diseñó. El rotor puede estar operando a su máxima velocidad de seguridad y puede fallar por los mayores esfuerzos que resultan de una velocidad más alta que puede estar cerca de la velocidad crítica de la flecha y causar una vibración excesiva; la fuerza motriz indicada para el ventilador puede aumentar lo suficiente como par sobrecargar y quemar la fuente motriz. El ventilador sigue unas leyes según las cuales el volumen de fluido desplazado es directamente proporcional al nº n de rpm, la presión desarrollada lo es al cuadrado de n y la potencia requerida al cubo de n.

Los dispositivos de seguridad deben proteger al personal del contacto con elementos rotatorios y, al mismo tiempo, interferir al mínimo en el funcionamiento normal del equipo; asimismo, deben proteger el equipo contra daños accidentales.

- *Protecciones metálicas*.- Se utilizan para cubrir la entrada o salida del ventilador centrífugo o axial, o para rodear completamente al ventilador, al motor y a la transmisión del ventilador de hélice. Estas protecciones metálicas (rejillas de malla o entrecalado fino), obstruyen la corriente de aire y reducen la capacidad del ventilador de manera considerable; si es posible, no se debe usar una malla plana de menos de 25 mm^2; si se tiene que usar una malla fina, la protección metálica debe ser lo suficientemente grande como para que su área libre sea, por lo menos, igual al área de entrada o de salida, según el caso.

- *Guardabandas*.- La transmisión por bandas en V es de fricción y, como tal, genera calor. El aire debe circular libremente por todas las partes de la transmisión, colaborando en la disipación de este calor, no siendo buena práctica el envolver completamente las transmisiones por bandas en V;

si es posible conviene utilizar guardabandas de malla abierta.

Los ***problemas*** más comunes de los ventiladores y sus posibles causas son:

a) Capacidades y presión abajo de las nominales

- La resistencia total del sistema es más alta que la calculada.

- La velocidad es demasiado baja.

- Las compuertas y aspas radiales de entrada no ajustan adecuadamente.

- Condiciones insuficientes de entrada o salida.

- Filtraciones de aire en el sistema.

- Rotor dañado.

- Sentido incorrecto de rotación.

- Rotor montado al revés en la flecha

b) Vibraciones y ruido

- Mal alineamiento del rotor o transmisión por bandas en V.

- Base de cimentación inestable.

- Materiales extraños sobre el rotor que causan desequilibrio.

- Rotor o motor dañados.

- Pernos o tornillos fijos, rotos o sueltos.

- Flecha vencida.

- Rotor o motor desequilibrados.

- Zumbido magnético de 120 ciclos debido a la entrada de energía eléctrica

- El ventilador entrega más de la capacidad nominal.

- Compuertas o aletas radiales de entrada flojas.

- Velocidad demasiado alta o el ventilador gira en dirección errónea.

- Vibración transmitida al ventilador desde otro punto o fuente.

c) Sobrecarga de la fuente motriz

- Velocidad demasiada alta.

- Descarga que sobrepasa la capacidad, debido a que la resistencia existente del sistema es más baja que la original nominal.

- Densidad del gas por encima del valor de diseño.

- Empaque demasiado apretado o defectuoso.

- Sentido de rotación erróneo.

- Flecha vencida.

- Mal alineamiento.

- El rotor pega o roza contra la envolvente.

- Bobinado del motor defectuoso.

SISTEMAS DE VENTILACIÓN POR EXTRACCIÓN.- Un equipo de ventilación por extracción puede estar constituido con ventiladores $\begin{cases} \text{- de hélice} \\ \text{- axiales de tubo} \\ \text{- axiales de álabes-guía} \\ \text{- centrífugos} \end{cases}$, incluyendo el equipo auxiliar serpentines para enfriamiento y calentamiento, compuertas, lumbreras, etc.

La ventilación específica consiste en la captación de vapores, calor o polvos en su punto de origen

La ventilación general consiste en reemplazar el aire viciado de toda una planta por aire limpio y nuevo, a intervalos fijos

Ambos sistemas tienen aplicaciones que con frecuencia se realizan en la misma planta y al mismo tiempo.

Instalación de los sistemas de extracción.- El método más sencillo para extraer los vapores y el calor de un recinto es montar un *ventilador-extractor* en una ventana o en un muro; estos ventiladores están dotados de accesorios que les permiten cumplir con los códigos de seguridad necesarios por la planta y para dar cumplimiento a las disposiciones oficiales. Considerando el volumen de aire que se puede remover con ventiladores-extractores de este tipo, este método es el menos costoso y tiene el más bajo costo de mantenimiento, a la vez que es muy efectivo.

Una extensión del sistema descrito es la instalación de ventiladores-extractores en lumbreras instaladas en el techo, por encima de la planta, siendo su tamaño y localización función del calor y de las condiciones de operación fabriles determinantes. La ventilación para la eliminación de vapores, polvos, etc, se efectúa mediante sistemas de conductos de evacuación de varios tipos, dependiendo de las circunstancias inherentes a cada caso en particular. Los sistemas específicos de extracción varían desde unidades de un solo ventilador y de una sola campana, hasta sistemas de conductos muy complejos.

Ejemplos de extractores de una campana son:

- *Las casetas* $\begin{cases} \text{- rociadoras} \\ \text{- para la extracción de vapores y calores resultantes de las operaciones de soldar} \end{cases}$

- *Las campanas de* $\begin{cases} \text{- figones} \\ \text{- extracción en la soldadura de plomo o estaño} \end{cases}$

La presión estática exigida en conductos sencillos de extracción oscila entre $6 \div 20$ mm de columna de agua, aproximadamente.

En sistemas complejos, donde hay muchas campanas y tanques interconectados y particularmente en sistemas de conductos donde se usan $\begin{cases} \text{- campanas de ranura} \\ \text{- placas desviadoras} \\ \text{- eliminadores de agua} \end{cases}$, la presión estática llega hasta 100 mm de columna de agua; un ejemplo sería la conexión de $10 \div 12$ tanques de electrólisis y tanques limpiadores a un único sistema de conductos asistido por un ventilador axial de álabes-guía; el

cálculo de la caída de presión en sistemas complicados puede ser muy laborioso.

La extracción de vapores por medio de un ventilador axial de álabes-guía, en un sistema de campana de ranura colocada encima de un tanque limpiador, es un método satisfactorio para tanques de 2 ÷2,5 m de ancho. A los que miden más de 2,5 m de ancho se les coloca campana de ranura por ambos lados. Los conductos pueden ir montados en lo alto, aunque a veces, para ganar espacio de trabajo, en algunas plantas se colocan en el piso o debajo de él.

En plantas más grandes, los requisitos del sistema, las especificaciones de los materiales y la selección del equipo ventilador, dependen de las presiones estáticas implicadas.

Ventiladores de techo.- Los ventiladores de techo, en la ventilación general de una planta, son de dos tipos:

- *Ventiladores motorizados*
- *Ventiladores que funcionan por gravedad*

Los *ventiladores de techo* que funcionan por gravedad dependen de:

- *La velocidad del viento que sople sobre ellos*
- *Su altura sobre el nivel del suelo*
- *La diferencia de temperaturas entre el suelo y el techo*

Estos ventiladores funcionan muy bien en donde se experimenta un calor fuerte y en donde el viento sopla a gran velocidad, pero se hallan sujetos a las condiciones externas climatológicas, sobre las que el operador no tiene ningún control.

Los *ventiladores de techo motorizados*, aunque en general se emplean para propósitos de extracción, también se construyen para sistemas de admisión del aire y se controlan sin tener en cuenta las condiciones externas climatológicas.

Para las plantas industriales se proporcionan ventiladores tipo hélice, o de tipo axial en tubo, debido a sus altas velocidades de descarga o de movimiento del aire; algunos fabricantes de equipos pueden efectuar adaptaciones especiales, empleando ventiladores reversibles para hacer entrar o salir el aire a la planta, a través de lumbreras y en ciertas épocas del año.

Normas para la extracción de aire.- En toda instalación de ventilación se pueden seguir algunas normas generales, como:

- Siempre que sea posible, los ventiladores deben colocarse de forma que la descarga siga la dirección del viento que prevalezca; si es posible, los lugares para la admisión de aire e deben colocar de forma que se saque ventaja de las presiones positivas creadas por los vientos prevalecientes; en esta situación los ventiladores extractores se deben colocar de forma que no haya interferencias de aberturas que den directamente al ventilador.

- En *monitores de techo*, los ventiladores se instalan de forma que descarguen con las ventanas contiguas abiertas, hecho que no es beneficioso ni para el personal ni para las condiciones existentes en el edificio y que, únicamente, permite que el aire sea succionado a través de las ventanas abiertas del lugar y sea descargado por el ventilador.

- El *área de succión* debe ser, por lo menos, un 50% mayor que el área de descarga del rotor del ventilador y aun mayor si fuere posible; debe colocarse de forma que las corrientes de aire no sean molestas para los trabajadores que se encuentren cerca de ellas. Si en la succión se emplean filtros, éstos deben arreglarse hasta donde sea práctico para mantener al mínimo la pérdida de presión debida a la resistencia que éstos presentan.

- *La resistencia estática va* $\begin{cases} \text{- desde 50 mm en filtros limpios} \\ \text{- hasta 100 mm en filtros sucios} \end{cases}$

- A menudo es necesario dotar a los ventiladores de tubos externos de refrigeración sobre los motores, debido a la existencia de altas temperaturas ambientales, o usar motores provistos de aislamientos que permitan que resista las condiciones de calor del lugar en donde vaya ubicado el ventilador.

- En aquellas ocasiones en que el aire es peligroso, debido a vapores gaseosos o a la concentración de polvos, la construcción del rotor del ventilador tiene que ser a prueba de chispas.

- *En atmósferas corrosivas o húmedas,* los vapores se captan por *ventilación específica* y se utilizan motores resistentes a los ácidos, así como revestimientos y materiales especiales que deben emplearse en los sistemas de ventilación.

Velocidades recomendadas para las campanas de extracción.- Las velocidades requeridas por el aire están en un rango muy amplio. Algunos de los procedimientos a tener en cuenta para la colocación de campanas de extracción, de ranura o del tipo de caseta, se rigen por el sentido común; es evidente que los vapores y el calor deben captarse lo más cerca posible de la fuente que los produce; también es bueno distribuir los conductos en forma directa y de corta longitud tanto como sea posible.

Otra regla práctica es mantener la velocidad del aire en el conducto lo más baja posible, teniendo en cuenta la clase de vapores que se vayan a manejar y el recorrido en el conducto; ésto no se puede hacer en el transporte de materiales, pues por lo que se refiere a la velocidad, existen requisitos definidos para cada tipo de material. En todo sistema de conductos complejos es bueno emplear codos flexibles o veletas interiores para mantener al máximo la resistencia que presentan los codos.

Una vez calculada la resistencia del sistema de extracción, es conveniente sugerir el uso de un ventilador que tenga una reserva de capacidad de un $10 \div 15\%$ más allá del punto seleccionado.

En un sistema específico de ventilación $\begin{cases} \text{- } el\ área\ de\ la\ campana \\ \text{- } la\ altura\ a\ la\ que\ ésta\ se\ coloca \\ \text{- } el\ espacio\ sobrante\ que\ la\ cubre \end{cases}$, deben ser suficientes para que se mantenga la efectividad de las condiciones de trabajo y se logre una eficaz captación de lo que se trata de extraer; ésto se aplica también a los sistemas de ventilación de tanques, de campanas tipo ranura y de otras instalaciones específicas de campanas.

Si se encuentran $\begin{cases} \text{- } vapores\ corrosivos \\ \text{- } condiciones\ de\ abrasión \\ \text{- } altas\ temperaturas \end{cases}$, hay que asegurarse de que las partes del conducto y del ventilador tengan tratamiento adecuado, para asegurar su larga duración.

Los sistemas de extracción funcionan bien durante el verano, o cuando las ventanas de la fábrica están abiertas. Sin embargo, una cosa diferente sucede cuando las ventanas y puertas se cierran durante el invierno, ya que en las operaciones de extracción, como con frecuencia sucede, hay carencia de aire, por lo que la presión estática se acumula y la eficiencia de las unidades disminuye.

Un sistema de extracción que no tenga abastecimiento de aire es muy ineficaz. Existen condiciones particularmente malas en las plantas de limpieza, donde el polvo constituye un problema, en las fábricas de papel, salas de electrólisis, etc. en lo que respecta a la condensación en muros y paredes, en ventanas, en techos, etc.

Es difícil determinar el volumen de aire de repuesto que se necesita en aplicaciones particulares. En la mayoría de los casos, el abastecer un 75% del volumen de aire por minuto que se expele es suficiente; el 25% restante que necesitan los ventiladores puede venir de la infiltración del aire, o aún puede ser posible que se baje en un $5 \div 10\%$ la capacidad normal, puesto que en invierno no se necesita refrescar el aire.

En otros casos, como el abastecimiento de aire en las casetas secadoras de pinturas, donde el principal objeto de los ventiladores es la extracción de los vapores explosivos o peligrosos, la entrada de aire debe mantenerse a un mínimo de $75 \div 80\%$ de lo que necesitan los ventiladores extractivos; si las unidades de entrada proporcionan más aire del que los extractores pueden remover, las emanaciones dentro de las estancias que estén siendo ventiladas se esparcirán por todo el edificio.

En lugares en donde:

- Se alojan transformadores, aparatos interruptores y de control de fuerza eléctrica

- Se encuentran dispositivos que están expuestos a deterioro por la acción del polvo o de materiales abrasivos suspendidos en el aire

es necesario filtrar el aire de entrada y admitir un exceso respecto del que se extrae por medio de los extractores, lo que mantiene el lugar a una presión positiva y permite que el aire salga por rendijas y otras aberturas hacia afuera y se evite que entren el polvo y la suciedad.

Existen varios tipos de sistemas de entrada de vapor, que en su mayoría están dotados de serpentines de:

- No congelación

- Unidades calefactoras con fluses extra para condensados fuera del tubo suministrador de vapor

de tal forma que los condensados estén calientes continuamente.

En el sistema deben instalarse dispositivos de control para parar el ventilador y para cerrar las compuertas de entrada cuando falle la presión del vapor o cuando los controles señalen *flujo cero*. Los serpentines se pueden dotar de ventiladores tipo hélice o axiales de álabes-guía, o centrífugos, y pueden equiparse con filtros de aire a la entrada o con difusores de aire, o con conductos para entubar el aire entrante y llevarlo a varias partes del edificio. En muchos casos es necesario emplear cabezales difusores o conductos para desviar el aire entrante hasta partes donde el aire caliente no esté en contacto directo con las personas; un ejemplo es el de las fábricas de papel, en las que el aire entrante se ha calentado, ya que se ha conducido por conductos por debajo de la máquina productora de papel, permitiendo que absorba el calor disipado por la máquina, siendo eliminado después.

Algunas instalaciones se colocan cerca del techo y fuerzan el aire hacia abajo, hasta el nivel del suelo, siendo necesario evitar que el aire incida directamente sobre las personas, método particularmente ventajoso en edificios demasiado amplios, en los que la provisión de aire se necesita cerca del centro. En instalaciones de este tipo, hay que tener cuidado en el entubamiento para asegurarse de su hermeticidad, siendo necesario instalar un bulbo termostático de control a considerable distancia más allá del serpentín, o escudarlo del calor radiante, para que así funcione adecuadamente; si el bulbo del termostato está sin protección o se instala muy cerca de la fuente de calor, puede hacer parar a la unidad, causando la congelación del núcleo y originando un fallo; deben seguirse rigurosamente las recomendaciones del fabricante en lo relativo a las válvulas de control.

- Una válvula demasiado grande puede originar frecuentes aperturas y cierres de la válvula, siendo causa de fallos prematuros

- Una válvula demasiado pequeña puede originar insuficiente calor o la congelación del núcleo

Existen unidades que se pueden emplear tanto para el suministro, como para la extracción de aire, dependiendo de la estación del año y de la naturaleza del trabajo que se haga. Buenos ejemplos del suministro de aire no calentado son las grandes plantas generadores de energía eléctrica, en las que el aire se introduce en los distintos niveles a través de los muros de la planta, haciéndolo fluir sin lumbreras, difusores o conductos, estando colocados los extractores a niveles altos, junto con los ventiladores soplantes de la caldera de tiro inducido, tomando este aire y descargándolo fuera del edificio.

A veces es necesario aumentar la ventilación general en fraguas, laminadoras, fundiciones, fá-

bricas de vidrio, etc. mediante sistemas de presión que suministran pequeñas corrientes de aire fresco del exterior, en determinadas operaciones y para ciertos operadores.

Extracción de gases y vapores corrosivos.- El problema de la extracción de gases y vapores corrosivos es serio desde el punto de vista del mantenimiento, porque el equipo de ventiladores está sujeto a la corrosión. Ningún metal en particular puede soportar todos los ácidos, gases y vapores corrosivos, durante un periodo razonable.

Algunos factores que afectan el deterioro de los metales, son:
- *el tipo de ácido o de álcali presentes*
- *la temperatura de los gases o vapores*
- *la concentración y la localización*

Algunos metales que se usan para los gases y vapores corrosivos son el acero inoxidable, el metal monel, el bronce, el hierro fundido, el níquel y las aleaciones especiales. Se debe especificar la aleación adecuada para combatir gases o vapores particulares, ya que por ejemplo, no todos los aceros inoxidables son resistentes en el mismo grado.

Otros materiales que se usan en los ventiladores contra condiciones ácidas o alcalinas son:

- Las resinas fenólicas con base de lona son excelentes por su resistencia a muchos ácidos y al agua salada, pero son pobres contra concentraciones de cáusticos.

- El cloruro de polivinilo rígido se usaba para los conductos y las envolventes de ventiladores, conductos y campanas, aunque en forma limitada; es prácticamente inerte a la mayoría de los ácidos y álcalis industriales, pero gran parte de los tipos de este material son propensos a reblandecerse al aumentar la temperatura por encima de los 80°C; el material se puede soldar con una varilla de soldadura del mismo material, y se debe conformar bajo la acción del calor.

- Telas y felpas de vidrio reforzadas con poliéster, se han usado en los conductos; la tela vitrificada a prueba de ácidos se usa con frecuencia para los conductos de forma cuadrada, particularmente en conductos subterráneos; esta tela también se aplica en forma redondeada para algunos conductos que tienen que resistir condiciones extremas de corrosión.

Existen muchos revestimientos especiales para los equipos que manejan aire, así como para los conductos y estructuras que los soportan; comprenden desde pinturas negras de asfalto para chimeneas, hasta las resinas de composición complicada y de alto precio, el hule natural y los revestimientos de neopreno, fenoles modificados, revestimientos de resinas epoxy y plastisoles hechos de cloruro de polivinilo, y otros revestimientos de vinilo y de poliésteres.

Es fácil proteger las envolventes de los ventiladores y los conductos, ya que en ellas existe poca abrasión, excepto en las esquinas y en los puntos de entrada; las partes rotativas de los ventiladores experimentan fuertes abrasiones y erosiones, a causa de las pequeñas gotas de agua.

Los revestimientos más suaves resisten el efecto abrasivo de las pequeñas gotas de agua y de las partículas sucias mejor que los revestimientos más duros. Cuando se usa un revestimiento duro, el

primer efecto es que la gotita de agua materialmente se estrella contra el revestimiento y, entonces, el ácido o el álcali se introducen por debajo del revestimiento, atacando el metal base; con los revestimientos más suaves, la partícula de agua mella el revestimiento pero resbala sobre él; es importante que los tornillos, los pernos y las flechas estén revestidos o hechos de un metal que resista la corrosión.

Cualquier metal especial que se use en ventiladores y conductos, así como muchos de los plásticos, son costosos, pero en en la mayoría de sus aplicaciones, en condiciones corrosivas graves, la duración extra del equipo y de los conductos, y una operación libre de problemas, compensa el costo inicial.

Es prácticamente imposible predecir la duración del equipo sujeto a condiciones de corrosión, ya que las temperaturas y los grados de concentración desempeñan un papel importante. Cuando se use un sistema de tuberías, el ventilador se sitúa tan lejos de la fuente de gases y vapores como sea posible, y se toma la precaución de purgar periódicamente el sistema de conductos; si es posible, se debe instalar un eliminador de agua, a prueba de corrosión, entre el ventilador y la fuente de gases y vapores.

Extracción de gases inflamables o explosivos.- La eliminación de gases explosivos o inflamables requiere de un equipo especial, necesitándose motores eléctricos a prueba de chispas y explosiones que lleven expresamente una placa que lo garantice.

a) Los *motores a prueba de explosiones* se pueden usar en las siguientes situaciones:

- Casos en que figuren gasolinas y petróleo, gases, plantas de lavanderías y tintorerías, fábricas de pinturas y barnices, plantas gasificadoras y plantas químicas, donde el gas de que se trate no sea más peligroso que la gasolina y que el vapor de los solventes de las lacas

- Motores que se utilizan en condiciones peligrosas para polvos de granos y polvos de carbón

- Motores, menos conocidos, son para acetileno, hidrógeno, éter, etc.

b) Los *motores a prueba de chispas* se utilizan en condiciones peligrosas para evitar posibles explosiones que se pueden producir al $\begin{cases} \text{- frotar dos metales ferrosos} \\ \text{- golpearse uno contra el otro} \end{cases}$; materiales que no producen chispas y que se usan en los rotores son el Al, el Cu, el latón y el monel.

Los ventiladores centrífugos usualmente están equipados con placas de frotamiento que no producen chispas y con rotores de Al o de latón.

Los equipos ventiladores se deben colocar tan cerca de la fuente de gases o de materiales explosivos como sea posible, para evitar que se esparzan por toda la planta; hay que tener cuidado de asegurarse de que los condensados de los gases se purguen de los conductos, utilizando frecuentemente compuertas con listones fusibles para cerrar o abrir el sistema en caso de incendio.

Ventiladores de torres de refrigeración e intercambiadores de calor.- Para el enfriamiento del agua en las torres de refrigeración y en los intercambiadores de calor se emplean ventiladores grandes; generalmente son del tipo hélice y mueven grandes volúmenes de aire a bajas presiones estáticas. En las torres de refrigeración más pequeñas, los ventiladores para el acondicionamiento del aire tienen diámetros entre 0,70 ÷4 m y son frecuentemente de aluminio o de acero inoxidable, monel, plástico, aluminio, madera y otros materiales. El mantenimiento de una torre de refrigeración es extremo, ya que tiene que estar operativa durante las 24 horas del día; el vapor de agua sobre las aspas y causa erosión y corrosión.

Limpieza de los ventiladores.- Para un funcionamiento eficiente es necesario limpiar periódicamente las aspas y las envolturas de los ventiladores; la acumulación de materias extrañas en las aspas de una hélice disminuye la eficiencia de la unidad y puede llegar a desequilibrarlas. Un caso extremo lo ofrece la caseta rociadora de pintura, en las que gran cantidad del material rociado pasa a través del ventilador; las pinturas se acumulan en los apoyos del aspa del ventilador y en los conductos. Para proteger los ventiladores y poderlos lavar fácilmente, existen revestimientos que se aplican a los ventiladores limpios y luego, cuando haya una acumulación suficiente, se lavan con agua o se les despoja de la capa de pintura.

El ventilador centrífugo de aspas curvadas hacia adelante, de gran cantidad de álabes, es especialmente susceptible a la acumulación de pelusas y polvos y que, a menos que se les elimine, pronto desequilibran las aspas. En esta limpieza hay que comprobar que las aspas no estén dañadas, y no utilizar herramientas que las puedan dañar pues es fácil causar grietas o doblarlas o desequilibrarlas.

Si se usan rejillas en la succión y en la descarga de un ventilador, hay que procurar que no estén tapadas o sucias por cuanto la acumulación de suciedad, pelusas, hojarascas y desperdicios afectará materialmente al funcionamiento del ventilador.

Donde existan condiciones de humedad, de ácidos o de abrasivos, o en cualquier aplicación donde se note que la envoltura del ventilador y del rotor se han corroído, la unidad se debe cepillar con cepillo de alambre y pintar con un material que soporte esas condiciones particulares de que se trata. La pintura se debe aplicar con cuidado en las aspas o rotores para asegurar que no afecte el balanceo.

Mantenimiento de los motores eléctricos.- Los motores eléctricos del tipo totalmente cerrado se debe mantener libres de acumulaciones de pinturas, pelusas y suciedades y no rociar sobre él materiales en exceso, ya que reducen la transferencia del calor de la carcasa del motor. En los motores eléctricos enfriados por aire, deben mantenerse limpios tanto los ventiladores como los canales por los cuales pasa el aire fresco.

En motores con un extremo abierto, hay que tener cuidado de que las entradas o las salidas del aire no estén tapadas en ningún momento.

Los motores en atmósferas cargadas de vapor o en atmósferas donde se registran fluctuaciones severas de temperatura, deben estar provistos de agujeros o de tubos de drenaje para eliminar los condensados.

Los ventiladores de techo de materiales galvanizados se deben dejar a la acción de las condiciones ambientales durante varias semanas, antes de ser pintados. Los ventiladores de hierro negro o de otros materiales se deben retocar después de su instalación, si es que se notan puntos desnudos o rasguños de pintura. Los ventiladores se deben revisar periódicamente para comprobar que las rejillas estén libres de basuras.

En los serpentines de las unidades calefactoras y en los de las unidades de entrada, particularmente en aquellos del tipo de aleta, es necesario que las pequeñas intersecciones entre las aletas se mantengan libres de pelusa y polvo; en muchas plantas esto se suele hacer cada dos o tres años, pero en circunstancias en que abunde el polvo y la pelusa, como es el caso de plantas textiles, se hace necesario limpiar las aletas cada cuatro o cinco semanas, haciendo soplar aire sobre ellas.

En unidades calefactoras de encendido por gas o por petróleo es necesario revisar el arranque y el equipo periódicamente y asegurarse de que los tubos estén en buen estado; a veces se descuida el hecho de que cuando estas unidades calefactores no funcionan correctamente se hace un vacío en la planta y hay que proceder a su corrección proporcionando aire caliente a la entrada a los ventiladores extractores que están causando el vacío, o proporcionar aire al elemento quemador de la unidad calefactora.

En unidades calefactoras de vapor, las válvulas se deben revisar antes del comienzo de la temporada en que se va a utilizar la calefacción; si existe la posibilidad de incrustación en la unidad, hay que extraer la trampa de suciedades y revisar si hay corrosión o depósitos de cal en esa parte; estas unidades se usan para calefacción por vapor a baja presión y en algunos procesos industriales. Los motores de los ventiladores, los filtros, rejillas en la entrada, compuertas y controles, se deben revisar cuidadosamente como cualquier otro ventilador. Muchas veces las unidades calefactoras y las unidades de entrada se instalan y se olvidan, pero son una parte integral del sistema de calefacción y de ventilación de la planta y requieren atención por lo menos una vez al año.

Las unidades de entrada del tipo de vapor generalmente se proporcionan provistas con un serpentín de no congelación, que es un tubo distribuidor de vapor en el cual éste entra al calentador y al mismo tiempo calienta los condensados; éstos serpentines calentadores son efectivos, pero los pequeños orificios que se usan requieren vapor limpio que esté no sólo libre de aceite sino que no se incruste; si se encuentra incrustación durante la inspección periódica, las unidades se limpian con

un compuesto desincrustante para calderas.

La razón principal para que una planta industrial mantenga el punto máximo de eficiencia es una razón de índole económica; cuando los sistemas se han deteriorado o ensuciado tanto, que la presión estática aumente o que el volumen de aire a proporcionar disminuya, se tiene que aumentar la velocidad del ventilador con objeto de mover el volumen adecuado de aire requerido por la instalación, variando la potencia en función de la presión estática.