

Problema 14

14.1 Enunciado

Con el fin de extraer el aire caliente procedente de la nave central de unos altos hornos, se utilizan dos ventiladores axiales tipo TET/2-400. la temperatura en el interior de la nave es de 100 °C siendo la presión la atmosférica. Cada ventilador tiene su circuito independiente que conecta el interior con el exterior de la nave mediante un conducto de 400 mm de diámetro.

En el centro del conducto de aspiración de uno de los ventiladores, se ha situado un tubo de Prandtl, que conectado a un manómetro de columna de alcohol crea un desnivel de 12 mm de columna de alcohol. $\rho_{\text{alcohol}} = 784 \text{ kg/m}^3$.

1.- Determinar el punto de funcionamiento de cada ventilador, la ecuación de la característica de la instalación, el caudal másico total trasegado y la potencia de accionamiento requerida en cada máquina. Comprobar el régimen de flujo y realizar la hipótesis mas conveniente.

$$v_{\text{aire } 100^\circ\text{C}} = 2,324 \cdot 10^{-5} \text{ (m}^2/\text{s)}.$$

2.- En una reestructuración de la fábrica, se ha visto la necesidad de canalizar los gases salientes hacia una chimenea de 10 m de altura y 0,4 m de diámetro. En un ensayo previo a 20 °C se observó que cuando por la chimenea pasaba un caudal de 6000 m³/h la caída de presión era de 200 Pa. (Considerar que la curva del sistema hallada en el apartado anterior es la característica de aspiración de la nueva instalación).

Determinar el número de ventiladores que será necesario colocar en serie y/o paralelo con el fin de extraer el mismo flujo volumétrico que extrae un ventilador en el apartado anterior.

3.- Visto el comportamiento del sistema en el punto 2, se propone otra solución. Que consiste en utilizar un solo ventilador tipo CMT /4-355/145. Comparar esta solución con la propuesta en el apartado 2 indicando las ventajas e inconvenientes de cada solución. Determinar (aproximadamente) el rendimiento del ventilador centrífugo.

Las curvas características de los diversos ventiladores se han obtenido para una temperatura y presión atmosférica de $T = 20^\circ\text{C}$; $P_{\text{atm}} = 760 \text{ mm de columna de mercurio}$.

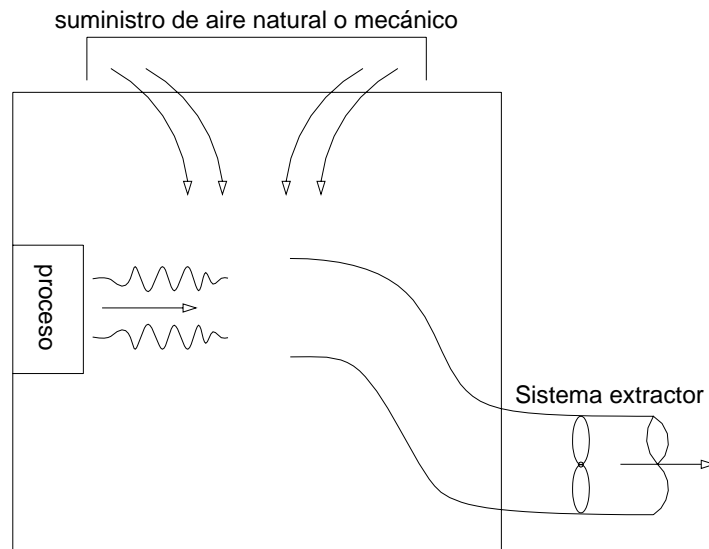


Fig. 14.1 Esquema de la instalación.

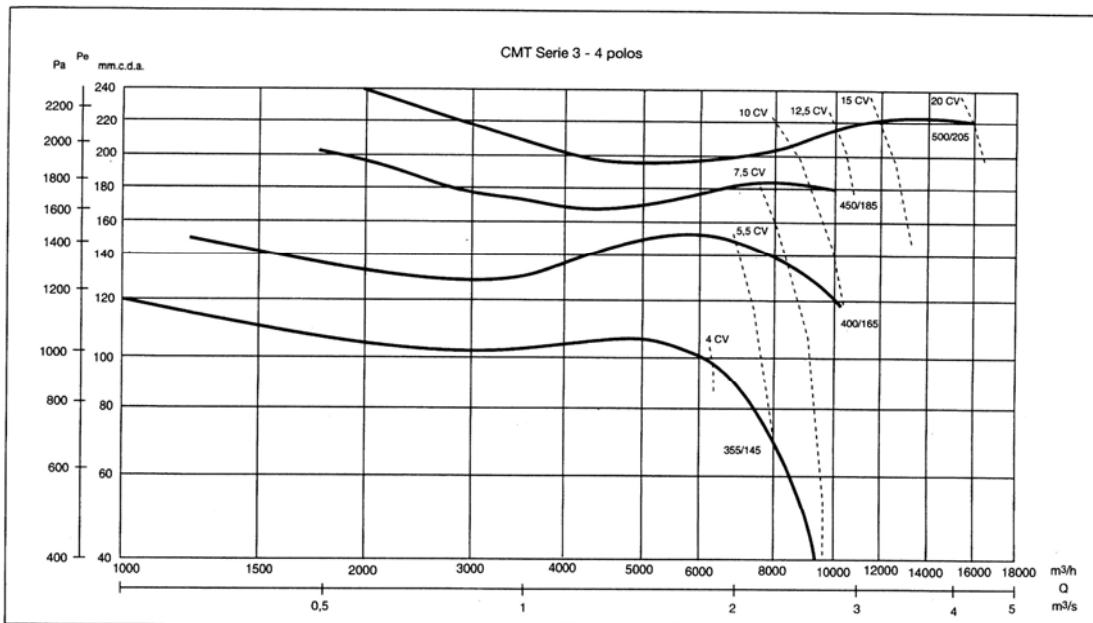


Fig. 14.2 Característica de la serie de ventiladores CMT.

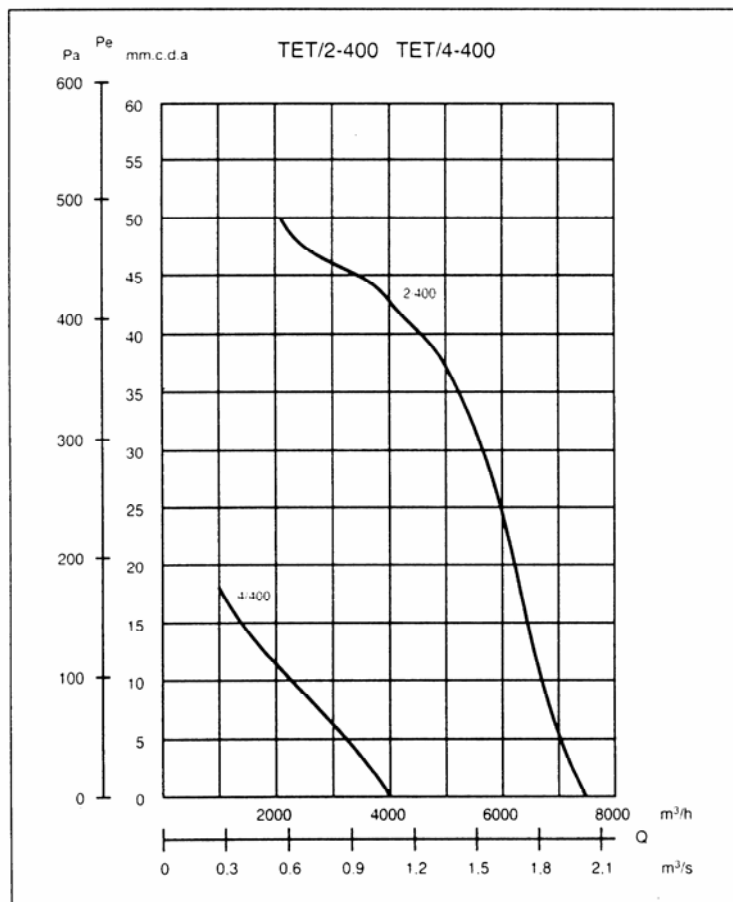


Fig. 14.3 Característica del ventilador TET/2-400.

14.2 Resolución

1. El tubo de Prandtl nos determina la velocidad del fluido, de donde:

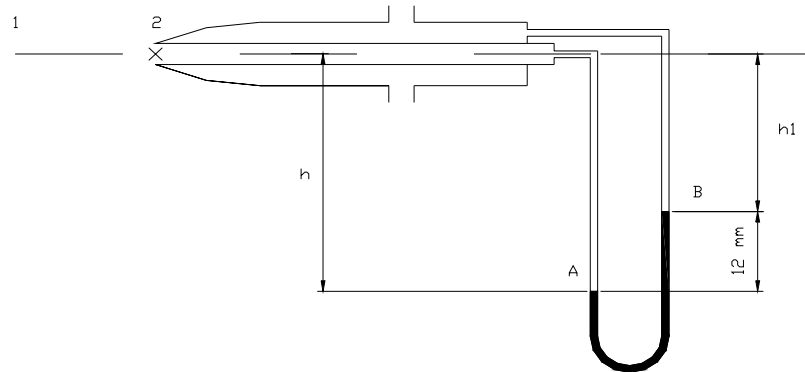


Fig. 14.4 Tubo de Prandtl.

Aplicando Bernoulli entre los puntos 1 (centro del conducto de aspiración del ventilador) y el punto 2 (boca de entrada del tubo de Prandtl).

$$\frac{P_1}{g \cdot \rho} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2^*}{g \cdot \rho} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2^*}{g \cdot \rho} - \frac{P_1}{g \cdot \rho} \quad (1)$$

Entre los puntos, 1,2, A y B, del manómetro de columna de alcohol se puede definir.

$$P_A = P_2^* + \rho_{\text{aire}} \cdot g \cdot h$$

$$P_B = P_1 + \rho_{\text{aire}} \cdot g \cdot h_1$$

$$P_A = P_B + \rho_{\text{alcohol}} \cdot g \cdot h_2$$

$$P_2^* + \rho_{\text{aire}} \cdot g \cdot h = P_1 + \rho_{\text{aire}} \cdot g \cdot h_1 + \rho_{\text{alcohol}} \cdot g \cdot h_2$$

$$P_2^* - P_1 = \rho_{\text{aire}} \cdot g \cdot (h_1 - h) + \rho_{\text{alcohol}} \cdot g \cdot h_2$$

Sabiendo que $(h_1 - h) = h_2$

$$P_2^* - P_1 = g \cdot h_2 (\rho_{\text{alcohol}} - \rho_{\text{aire}})$$

Sustituyendo a la ecuación (1)

$$\frac{V_1^2}{2g} = \frac{1}{g \cdot \rho} \cdot g \cdot h_2 (\rho_{\text{alcohol}} - \rho_{\text{aire}})$$

$$\text{Donde } \rho \text{ es } \rho_{\text{aire } 100^\circ\text{C}} = \frac{100000}{287 \cdot 373} = 0,934 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$V_1^2 = \frac{P_2 \cdot 2}{\rho_{\text{aire } 100^\circ\text{C}}} = \frac{(\rho_{\text{alcohol}} - \rho_{\text{aire}}) \cdot g \cdot h \cdot 2}{\rho_{\text{aire } 100^\circ\text{C}}} \rightarrow V_1 = \sqrt{\frac{784 \cdot 9,8 \cdot 0,012 \cdot 2}{0,934}} = 14,05 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

El régimen del flujo será:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{14,05 \cdot 0,4}{2,384 \cdot 10^{-5}} = 235738,26 \quad \text{Flujo turbulento desarrollado.}$$

El perfil de velocidades para el flujo turbulento desarrollado es aplanado, muy similar a un perfil uniforme, concretamente, el caudal puede ser dado como:

$$Q = \frac{\pi \cdot 0,4^2}{4} \cdot 14,05 = 1,765 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \equiv 6356,07 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

De la curva característica del ventilador se extraen los siguientes datos, obsérvese asimismo que se representa la energía del ventilador en forma de energía por unidad de masa.

Tabla TET/2-400			
P [mmC.d.a]	Q [m3/h]	Q [m3/s]	Y [J/Kg]
50	2000	0,5555	408,3
42,5	4000	1,1111	347
37,5	5000	1,3888	306
25	6000	1,6666	204,1
5	7000	1,9444	40,8

Para determinar la energía por unidad de masa que suministra el ventilador se utiliza:

$$\rho_{20} = \frac{0,760 \cdot 13600 \cdot 9,8}{287 \cdot 293} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Y = \frac{\Delta P}{\rho} = \frac{1000 \cdot 9,8 \cdot 0,050}{1,2} = 408,3 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Si el ventilador suministra un caudal de aire de 1,765 m³/s. La diferencia de presión entre sus extremos será de 131 Pa, ver figura 14.3.

La ecuación de cada conducto donde va instalado cada ventilador será del tipo $Y = k \cdot Q^2$;

$$Y = \frac{\Delta P}{\rho_{100}} = \frac{131}{0,934} = 140 = k \cdot 1,765^2 \rightarrow k = \frac{140}{1,765^2} = 44,9; \quad \boxed{Y = 44,9 \cdot Q^2}$$

El caudal másico trasegado por los dos ventiladores será:

$$\dot{m} = 2 \cdot Q \cdot \rho = 2 \cdot 1,765 \cdot 0,934 = 3,297 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

La potencia que cada ventilador suministra al fluido será:

$$N = \rho g H Q = \rho Y Q = \dot{m} \cdot Y = 1,765 \cdot 0,934 \cdot 140 = 230,79 \text{ W}$$

La potencia total será de $2 \cdot N = 461,58 \text{ W}$

2. La curva característica de la chimenea es:

$$Y = \frac{200}{1,2} = k \cdot 1,66^2 \Rightarrow k = \frac{200}{1,2 \cdot 1,66^2} = 60 \quad \boxed{Y = 60 \cdot Q^2} \quad (2)$$

La característica del ventilador se obtiene aplicando Bernoulli entre 1 y 2 en la figura 14.5.

$$\begin{aligned} Y_v &= z_2 \cdot g + \frac{V_2^2}{2} + \Delta Y_{12} \Rightarrow \\ \Rightarrow Y_v &= 10 \cdot 9,8 + \frac{Q^2}{2 \cdot S^2} + 104,9 Q^2 \Rightarrow \\ \Rightarrow \boxed{Y_v} &= \boxed{98 + 108,87 Q^2} \quad (3) \end{aligned}$$

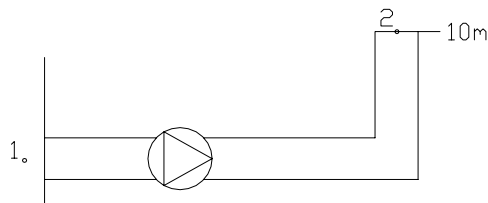


Fig. 14.5 Esquema instalación en el segundo apartado.

En la representación de la curva (3) se observa claramente que con el fin de obtener el mismo caudal que en el apartado 1 son necesarios 3,12 ventiladores colocados en serie:

$$\frac{437}{140} = 3,12 \cong 3 \text{ ventiladores (el caudal circulante será ligeramente menor)}$$