

PROBLEMA 2

En la figura se muestra un túnel de viento abierto, formado por las siguientes secciones:

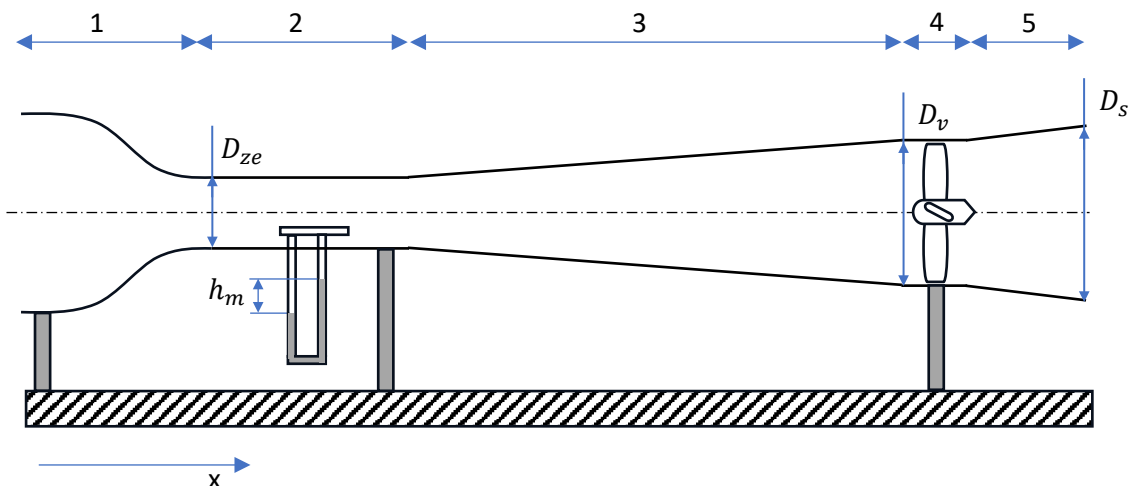
1. Contracción. Coeficiente de pérdidas total $K_{cont} = 0.12$
2. Zona para los ensayos. Diámetro constante, $D_{ze} = 1\text{ m}$
3. Difusor. Coeficiente de pérdidas total $K_{dif} = 0.25$
4. Ventilador. Diámetro, $D_v = 2.2\text{ m}$
5. Difusor de salida. Diámetro, $D_s = 2.4\text{ m}$; Pérdidas despreciables

Se introduce un tubo de Pitot en la zona de ensayo y, asumiendo flujo uniforme de aire ($\rho_a = 1.2\text{ kg/m}^3$), se mide una $h_m = 0.3\text{ m}$, con un líquido manométrico de densidad $\rho_m = 1000\text{ kg/m}^3$. Además, para esta velocidad, solo en esta sección (2), el aire ejerce una fuerza total sobre la pared $F_{aire-ze} = 120\text{ N}\vec{i}$.

Bajo estas condiciones y considerando el aire como fluido incompresible, se pide:

- (2.5 puntos) Fuerza horizontal que realiza el soporte sobre el túnel de viento completo.
- (2.5 puntos) Fuerza que realiza el aire sobre el difusor de salida (Sección 5).
- (1 punto) Pérdida de carga en la zona de ensayos en Pa (Sección 2).
- (3 puntos) Fuerza horizontal que realiza el ventilador sobre su sistema de sujeción (Sección 4).
- (1 punto) Potencia que aporta el ventilador al aire en W.

Justificar todas las hipótesis realizadas. En caso necesario, dibujar claramente el/los volumen/es de control. Las fuerzas calculadas en los diferentes apartados deben expresarse en forma vectorial. **En las pérdidas secundarias o locales se empleará siempre la velocidad de la sección menor.**



Mecánica de Fluidos

Apellidos, Nombre:

Mayo, 2025

- a) Con el tubo de Pitot se evalúa la velocidad del aire en la Sección 2. Además, usando la lectura del manómetro y despreciando la columna de aire, se obtiene:

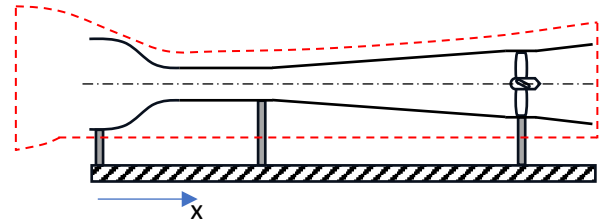
$$v_2 = \sqrt{2 \frac{(p_o - p_s)}{\rho_a}} \approx \sqrt{2 \frac{\rho_m g h_m}{\rho_a}} = 70 \text{ m/s}$$

Como el aire se considera fluido incompresible ($Ma < 0.3$), el caudal se mantiene constante a lo largo de todo el túnel de viento. Por tanto, la velocidad de salida es:

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_s \rightarrow Q_2 = Q_s = 54.97 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \rightarrow v_{s5} = v_2 \frac{A_2}{A_s} = v_{ze} \frac{D_{ze}^2}{D_s^2} = 12.2 \text{ m/s}$$

Al aspirar del ambiente y tener una contracción gradual, es posible asumir que la velocidad antes de entrar en la misma es muy pequeña y por tanto despreciable frente a la velocidad de salida. Por tanto, se escoge un VC desde un punto exterior donde el fluido está en reposo hasta la salida del túnel de viento, cortando los soportes. Al no depender del tiempo y ser un VC no deformable, la ecuación de la conservación de la cantidad de movimiento lineal queda como:

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \iiint_{VC} \rho \vec{v} dV + \iint_{SC} \rho \vec{v} (\vec{v}_r \cdot \vec{n}) dA$$



Y particularizando para el eje x:

$$\vec{F}_{soportes-túnel} = \rho v_s^2 A_s \vec{i} = 802.6 \text{ N } \vec{i}$$

- b) La velocidad a la entrada del difusor de salida (e_5) es:

$$Q = Q_2 = Q_{e_5} \rightarrow v_{e_5} = v_2 \frac{A_2}{A_{e_5}} = v_{ze} \frac{D_{ze}^2}{D_v^2} = 14.5 \text{ m/s}$$

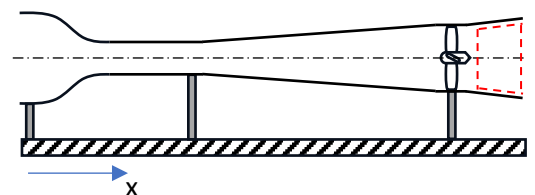
Para la calcular la presión relativa en este punto, se aplica Bernoulli desde el punto e_5 hasta la salida del túnel:

$$\left(\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z \right)_{e_5} = \left(\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z \right)_{s_5} + h_{pérdidas}$$

$$\frac{p_{e_5}}{\rho g} + \frac{v_{e_5}^2}{2g} = \frac{v_{s_5}^2}{2g} \rightarrow p_{e_5} = \rho \frac{v_{s_5}^2 - v_{e_5}^2}{2} \Rightarrow p_{e_5} = -36.9 \text{ Pa}$$

Se escoge un VC interior al difusor de salida, la ecuación de la conservación de la cantidad de movimiento lineal queda como:

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \iiint_{VC} \rho \vec{v} dV + \iint_{SC} \rho \vec{v} (\vec{v}_r \cdot \vec{n}) dA$$



Mecánica de Fluidos

Apellidos, Nombre:

Mayo, 2025

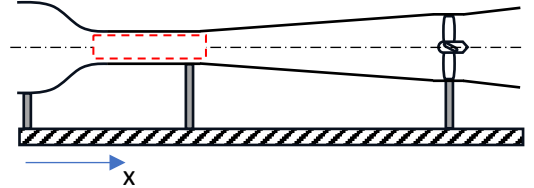
Al despreciar el peso del aire y por la simetría del problema, la componente vertical de la fuerza es nula. Así, proyectando en el eje x:

$$p_{e_5} A_v \vec{i} + F_{pared \rightarrow aire} \vec{i} = \rho (v_s^2 A_{s_5} - \rho v_{e_5}^2 A_v) \vec{i} = -12.2 \text{ N } \vec{i}$$

Finalmente, $F_{aire \rightarrow pared} = -F_{pared \rightarrow aire} \vec{i} = 12.2 \text{ N } \vec{i}$

c) Se escoge un VC interior a la zona de ensayo, la ecuación de la conservación de la cantidad de movimiento lineal queda como:

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \iiint_{VC} \rho \vec{v} dV + \iint_{SC} \rho \vec{v} (\vec{v}_r \cdot \vec{n}) dA$$



Al despreciar el peso del aire y por la simetría del problema, la componente vertical de la fuerza es nula. Por tanto, proyectando en el eje x:

$$(p_{e_2} - p_{s_2}) A_2 \vec{i} + F_{pared \rightarrow aire} \vec{i} = 0$$

$$(p_{e_2} - p_{s_2}) A_2 \vec{i} = -F_{pared \rightarrow aire} \vec{i} = F_{aire \rightarrow pared} \vec{i} = 120 \text{ N } \vec{i}$$

$$(p_{e_2} - p_{s_2}) = \frac{120}{A_2} = 152.8 \text{ Pa}$$

Para la calcular la pérdida de carga (Pa) en la zona de ensayo, aplicamos Bernoulli desde su entrada hasta su salida:

$$\left(\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z \right)_{e_2} = \left(\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z \right)_{s_2} + h_{pérdidas_2}$$

$$h_{pérdidas_2} \rightarrow p_{e_2} - p_{s_2} = 152.8 \text{ Pa}$$

d) Anteriormente se ha calculado la velocidad a la salida del ventilador (e5), que es igual en su entrada:

$$v_{e_5} = v_{e_v}$$

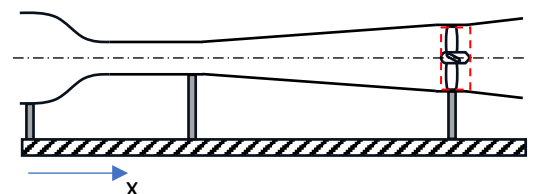
La presión a la entrada del ventilador (e_v) se calcula con la ecuación Bernoulli, desde el aire en reposo:

$$\left(\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z \right)_{\infty} = \left(\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z \right)_{s-w} + h_{pérdidas}$$

$$\frac{p_{e_v}}{\rho g} = - \left(\frac{v_{e_v}^2}{2g} + h_{pérdidas_2} + K_{cont} \frac{v_{ze}^2}{2g} + K_{dif} \frac{v_{ze}^2}{2g} \right) = -116.2 \text{ m. c. aire}$$

Se escoge un VC que englobe al ventilador y que, por tanto, recorte el sistema de sujeción:

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \iiint_{VC} \rho \vec{v} dV + \iint_{SC} \rho \vec{v} (\vec{v}_r \cdot \vec{n}) dA$$



Mecánica de Fluidos

Apellidos, Nombre:

Mayo, 2025

Particularizando para el eje x:

$$(p_{e_v} - p_{s_v})A_v \vec{i} + F_{soporte \rightarrow ventilador} \vec{i} = 0$$

$$F_{soporte \rightarrow ventilador} \vec{i} = -(p_{e_v} - p_{s_v})A_v \vec{i} = 5057 \text{ N } \vec{i}$$

$$F_{ventilador \rightarrow soporte} \vec{i} = -5057 \text{ N } \vec{i}$$

e) Una forma de evaluar la potencia del ventilador sería empleando Bernoulli entre su entrada y salida:

$$\left(\frac{p}{\rho g} + \cancel{\frac{v^2}{2g}} + \cancel{z} \right)_{e_v} + h_v = \left(\frac{p}{\rho g} + \cancel{\frac{v^2}{2g}} + \cancel{z} \right)_{s_v}$$

$$h_v = \frac{p_{s_v} - p_{e_v}}{\rho g} = 113 \text{ m.c. aire} \rightarrow Pot_v = \rho Q g h_v = 73058 \text{ W}$$