APÉNDICES

CÁLCULOS TIPOS

A continuación, se presentan los cálculos que se utilizaron para obtener los resultados de la experiencia realizada. Todos los cálculos fueron realizados para la primera medición.

1. Caída de presión en el tubo de venturi:

$$\Delta P = \rho_{F1} \times g \times \Delta h_1 \times \frac{1m}{100cm} \tag{1}$$

Donde:

ΔP_1: Diferencia de presión en el tubo Venturi (Pa)

ρ_{F1}: Densidad del líquido manométrico (agua destilada) (kg/m^3)[]

g: Aceleración de la gravedad (m/s^2), g=9,81 m/s^2 [Felder, 1999]

Δh_1: Diferencia de altura del líquido manométrico con la pinza cerrada(cm)

$$\Delta P = 1000\frac{kg}{m^3} \times 9{,}81\frac{m}{s^2} \times 40 \times \frac{1m}{100cm} = 3920 Pa$$

2. Diferencia de presión entre el inicio del tubo de Venturi y el ambiente:

$$P_1 = \rho_{F1} \times g \times \Delta h_2 \times \frac{1m}{100cm} + 133{,}32 \times P_{ATM} \tag{2}$$

Donde:

P_1: Presión absoluta aguas arriba del tubo de venturi (Pa)

Δh_2: Diferencia en los niveles del fluido manométrico con la pinza abierta(cm)

P_{ATM}: Presión atmosférica (mm Hg)

$$P_1 = 1000\frac{kg}{m^3} \times 9{,}81\frac{m}{s^2} \times 14{,}4cm \times \frac{1m}{100cm} + 133{,}32 \times 692{,}0 mmHg = 93670 Pa$$

3. Presión absoluta en la garganta del tubo de venturi:

$$P_2 = P_1 - \Delta P \qquad (3)$$

Donde:

P_2: Presión absoluta en la garganta del tubo Venturi (Pa)

$$P_2 = 93670Pa - 3920Pa = 89750Pa$$

4. Capacidad calorífica del aire:

$$Cp = 28{,}09 + 1{,}965\times10^{-2}\times(T+273) + 4{,}799*10^{-6}\times(T+273)^2 - 1{,}965\times10^{-9}\times(T+273)^3 \qquad (4)$$

Donde:

Cp: Capacidad calorífica a presión constante (J/mol.K)

T: Temperatura del laboratorio (°C)

$$Cp = 28{,}09 + 1{,}965\times10^{-2}\times(25+273) + 4{,}799*10^{-6}\times(25+273)^2 - 1{,}965\times10^{-9}\times(25+273)^3$$

$$Cp = 29{,}52\frac{J}{mol.K}$$

5. Razón de las capacidades caloríficas:

$$K = \frac{Cp}{Cp - R} \qquad (5)$$

Donde:

K: Coeficiente de capacidades (adim)

R: Constante universal de los gases (J/mol.K), R=8,314 J/mol.K [Felder,1999]

$$K = \frac{29{,}52\frac{J}{mol.K}}{29{,}52\frac{J}{mol.K} - 8{,}314\frac{J}{mol.K}} = 1{,}392$$

6. <u>Razón de diámetros:</u>

$$\beta = \frac{D_2 - 2e}{D_1} = 0{,}505 \qquad (6)$$

Donde:

β: Razón del diámetro de la garganta al diámetro de la tubería (adim)

D_1: Diámetro interno de la tubería (cm)

D_2: Diámetro externo de la garganta del tubo de venturi (cm)

e: Espesor de la tubería (cm)

$$\beta = \frac{5{,}77cm - 2.0{,}301cm}{10{,}23cm} = 0{,}505$$

7. <u>Relación de presiones aguas arriba y garganta del tubo y la presión en la garganta:</u>

$$\gamma = \frac{P_2}{P_1} \qquad (7)$$

Donde:

γ: Relación entre presión aguas arriba del tubo de venturi y la presión de la garganta (adim)

$$\gamma = \frac{89750Pa}{93670Pa} = 0{,}958$$

8. Factor de expansión en el tubo de venturi:

$$\mathrm{Y} = \left(\gamma^{\frac{2}{K}}\right) \times \left(\frac{K}{K-1}\right) \times \left(\frac{1-\gamma^{\frac{K}{K-1}}}{1-\gamma}\right) \times \left(\frac{1-\beta^4}{1-\beta^4 \times \gamma^{2/K}}\right) \qquad (8)$$

Donde:

Y: Factor de expansión del tubo de venturi (adim)

$$\mathrm{Y} = \left(0{,}958^{\frac{2}{1{,}392}}\right) \times \left(\frac{1{,}392}{1{,}392-1}\right) \times \left(\frac{1-0{,}958^{\frac{1{,}392}{1{,}392-1}}}{1-0{,}958}\right) \times \left(\frac{1-0{,}505^4}{1-0{,}505^4 \times 0{,}958^{\frac{2}{1{,}392}}}\right) = 0{,}975$$

9. Diferencia de presión entre la presión de impacto y la presión estática local en el tubo de Pitot:

$$\Delta P_{tp} = \rho_{F2} \times g \times \Delta h \times \frac{1m}{100cm} \qquad (9)$$

Donde:

ΔP_{tp}: Diferencia entre la presión estática y dinámica en el tubo de Pitot (Pa)

ρ_{F2}: Densidad del líquido manométrico (tetracloluro de carbono) (Kg/m^3)

Δh: Diferencia en la altura del líquido manométrico (cm)

$$\Delta P_{tp} = 785\frac{kg}{m^3} \times 9{,}81\frac{m}{s^2} \times 2 \times \frac{1m}{100cm} = 154Pa$$

10. Densidad del aire:

$$\rho_{AIRE} = \frac{(P_1 + P_2) \times M_{AIRE}}{2 \times R \times (T + 273) \times 1000} \qquad (10)$$

Donde:

ρ_{AIRE}: Densidad del aire (kg/m^3)

M_{AIRE}: Peso molecular del aire (kg/kmol), $M_{AIRE=}$ 29 kg/kmol [Felder,1999]

$$\rho_{AIRE} = \frac{(93670 + 89750)Pa \times 29\frac{kg}{kmol}}{2 \times 8{,}314\frac{J}{mol.K} \times (26 + 273) \times 1000} = 1{,}073\frac{kg}{m^3}$$

11. Velocidad puntual:

$$U_0 = C \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta P_{tp}}{\rho_{AIRE}}} \qquad (11)$$

Donde:

U_0: Velocidad puntual (m/s)

C: Coeficiente del tubo de Pitot (adim), C=0,98[]

$$U_0 = 0,98 \times \sqrt{\frac{2 \times 154 Pa}{1,073 \frac{Kg}{m^3}}} = 16,6 m/s$$

12. Velocidad media teórica:

$$U_m = 0,817 \times U_{Máx} \qquad (12)$$

Donde

U_m: Velocidad media teórica (m/s)

$U_{Máx}$: Velocidad puntual Máxima (m/s)

$$U_m = 0,817 \times 22,9 \frac{m}{s} = 18,50 \frac{m}{s}$$

13. Área de la sección transversal de la tubería:

$$A = \pi \times \left(\frac{D_1}{100} \right)^2 \qquad (13)$$

Donde:

A: Área (m^2)

$$A = \pi \times \left(\frac{10,23}{200} \right)^2 = 0,008 m^2$$

14. Caudal de aire teórico:

$$Q_{TEORICO} = U_m \times A \qquad (14)$$

Donde:

$Q_{TEORICO}$: Caudal teórico (m^3/s)

$$Q_{TEORICO} = 18,5 \frac{m}{s} \times 0,008 m^2 = 152,3 \frac{m^3}{s}$$

15. <u>Coordenada radial del tubo de Pitot:</u>

$$r = \left(\frac{D_1}{2} - \frac{D_p}{2} + X \right) \times \frac{1m}{100cm} \qquad (15)$$

Donde

r: Coordenada radial (m)

X: Posición del tubo Pitot (adim)

D_p: Diámetro externo del tubo de Pitot (cm)

$$r = \left(\frac{10{,}23cm}{2} - \frac{0{,}945cm}{2} + 0 \right) \times \frac{1m}{100cm} = 0{,}046m$$

16. <u>Tipo de régimen:</u>

$$\mathrm{Re} = \frac{U_m \times \left(\frac{D_1}{100} \right) \times \rho}{\mu} \qquad (16)$$

Donde:

Re: Reynolds (adim)

μ: Viscosidad del fluido (cp)

$$\mathrm{Re} = \frac{16{,}5 \frac{m}{s} \times \left(\frac{10{,}23cm}{100} \right) \times 1{,}073 \frac{Kg}{m^3}}{1{,}84 \times 10^{-5} Pa} = 98218{,}3$$

17. <u>Perfil teórico:</u>

$$U_o = 2 \times U_m \times \left[1 - \left(\frac{2.r}{D_1} \right)^n \right] \qquad (17)$$

Donde:

n: Depende del tipo de régimen (2 para régimen laminar y 1/7 para turbulento)[]

$$U_o = 2 \times 18{,}5 \frac{m}{s} \times \left[1 - \left(\frac{2 \times 0{,}046m}{10{,}23cm} \right)^{1/7} \right] = 18{,}12 \frac{m}{s}$$

18. Radio interno de la tubería:

$$R = \frac{D_1}{200} \qquad (18)$$

Donde:

R: Radio interno de la tubería (m)

$$R = \frac{10{,}23cm}{200} = 0{,}051m$$

19. Caudal de aire experimental:

$$Q_{EXP} = \int_0^{ri} 2\pi r U_o dr \qquad (19)$$

Donde:

Q_{EXP}: Caudal experimental (m^3/s)

Esta integral se solucionó con el método de trapecio:

$$Q_{EXP} = \frac{h}{2} \times \left[f(x_0) + f(x_N) + 2 \times \sum_{i=1}^{N-1} f(x_i) \right] \qquad (20)$$

Donde:

$$f(x) = 2 \times \pi \times r \times U_o$$

$$f(x_o) = 2.\pi.0{,}046.16{,}6\frac{m}{s} = 4{,}79$$

$$Q_{EXP} = \frac{0{,}005}{2} \times \left[\begin{array}{l} 4{,}84 + 3{,}59 + 2 \times (4{,}83 + 4{,}41 + 4{,}08 + 3{,}54 + 2{,}96 + 2{,}30 \\ +1{,}60 + 0{,}92 + 0{,}20 + 0{,}52 + 1{,}22 + 1{,}87 + 2{,}41 + 3{,}06 + 3{,}59) \end{array} \right] = 136\frac{m^3}{s}$$

21. Constante de calibración:

$$K = \frac{Q_2 - Q_1}{\sqrt{H_2 - \sqrt{H_1}}} \qquad (22)$$

Donde:

K: Constante de proporcionalidad ($m3/min.cm^2$)

$Q_{1,2}$: Caudales correspondientes a dos puntos de la recta (m^3/min)

$\sqrt{H}_{1,2}$: Raíz cuadrada de la diferencia de altura manométrica correspondientes a dos punto (cm^2)

$$K = \frac{24{,}078 \times 5 - 24{,}078 \times 4}{5-4} = 24{,}078$$

22. <u>Porcentaje de desviación entre el caudal teórico y experimental:</u>

$$\%Desv.Q = \frac{(\left|Q_{TEORICO} - Q_{EXP}\right|) \times 100}{Q_{TEORICO}} \qquad (23)$$

Donde:

$\%Desv.Q$: Porcentaje de desviación del flujo volumpetrico (%)

$$\%Desv.Q = \frac{(\left|152{,}3\,\frac{m^3}{s} - 136\,\frac{m^3}{s}\right|) \times 100}{136\,\frac{m^3}{s}} = 11\%$$