MECANICA DE LOS FUIDOS-SEGUNDO PARCIAL- JUNIO 2012

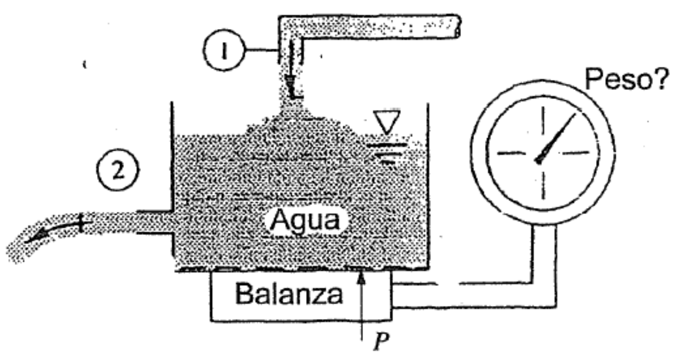
Tema 2:
PARTE PRACTICA

Ejercicio 1:
Un avión prototipo, fue diseñado para régimen de crucero de alta velocidad y se prevé que el prototipo vuele a una velocidad *V =240 m/seg* *(M =0,72)*, respecto al aire a *8 Km* de altura. Se construirá un modelo para pruebas de desempeño, con un factor de escala *1:12*, que será ensayado en un túnel de viento de anillo, a *25ºC* y que admite poder presurizar el aire en su interior.
Se pide con datos estipulados:

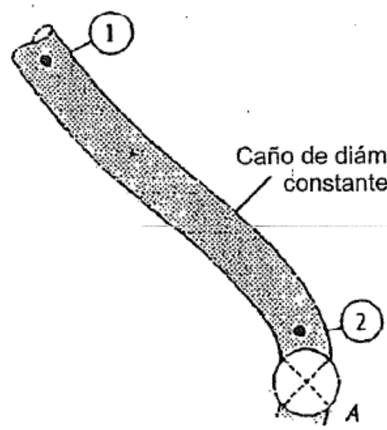
- Encontrar la presión necesaria que deberá tener el aire dentro del túnel para reproducir la igualdad de los números *Re* y *Ma.*

Datos:
A 8000m de altura tomar para el aire ρ=0.526 Kg/m^3; T= - 36.9ºC; μ(aire)=1,53 10^{-5} Pa x seg, en el del laboratorio de aerodinámica t = 25ºC , μ(aire) = 1,84 10^{-5} Pa x seg. Constante particular de los gases para aire: R = 287 Joule / Kg. ºK
Recordar que la velocidad del sonido en el medio puede aproximarse a $w_S = \sqrt{k\,R\,T}$, donde k es el cociente entre los calores específicos e igual a 1,41

Ejercicio 2:
El tanque de la figura pesa 50 Kg vacío y tiene 600 litros de agua a 20°C. Los caños 1 y 2 tienen un diámetro de 6cm y por ellos circula un caudal de 300 m^3/h. El tanque está sobre una balanza como lo muestra la figura, sabiendo que la densidad del agua puede aproximarse a 1000 Kg/m^3, ¿Qué peso marcará la balanza?



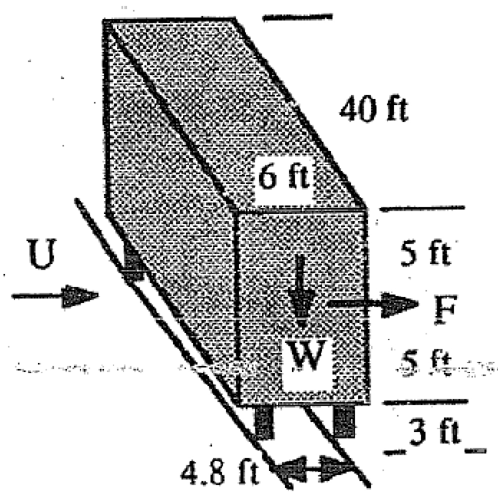
Ejercicio 3:
Un largo tubo está lleno con agua a 20°C (densidad: 1000 Kg/m^3). Cuando la válvula A esta cerrada la diferencia de presiones $p_1 - p_2 = 75\,KPa$ .Cuando la válvula se abre el caudal que circula es de 500m^3/h entonces la diferencia de presiones $p_1 - p_2 = 160\,KPa$ ¿Cuál será la pérdida de energía entre 1 y 2 cuando circulan por el caño los 500m^3/h?



MECANICA DE LOS FUIDOS-SEGUNDO PARCIAL- JUNIO 2012
PARTE TEORICA
Tema 2

PROBLEMA 1

En el año 1938 un viento huracanado sopló a 85 mi /h sobre un vagón en Rodhe Island. El vagón tenía 10 ft de alto, 40 ft de largo y 6 ft de ancho con una altura de ruedas de 3 ft y una separación de vías de 4,8 ft.
¿Volcó el viento al vagón si éste pesaba 40000lbf?



PROBLEMA 2

Una placa lisa de 3,6m por 1,2 m se mueve a través del aire (15 C) con una velocidad relativa de 1,2 m/s, manteniéndose el movimiento paralelo a su superficie y a su longitud. Calcular la resistencia en una de las caras de la placa;

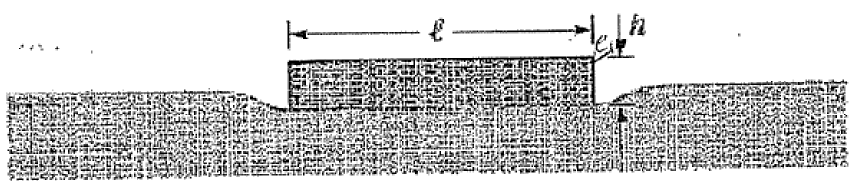
a) suponiendo condiciones laminares;

b) suponiendo condiciones turbulentas sobre toda la placa;

c) Para condiciones laminares, calcular el espesor de la capa límite de la placa y en el borde de salida.

PROBLEMA 3

Debido a la tensión superficial es posible, con cuidado, hacer que un objeto liviano pueda quedarse apoyado sobre la superficie del agua como muestra la figura.

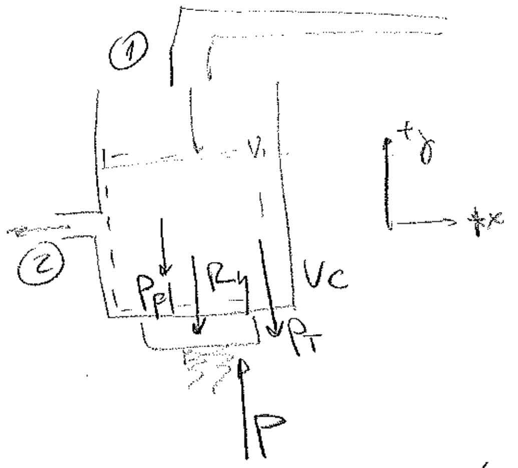


Usando la teoría de adimensionalidad, dar una expresión para la altura máxima, h, que pueda tener este objeto.

Parte práctica

Ejercicio 2: Hallar peso "P" de balanza

Tomo volumen control: Fluido en recipiente:



Para calcular la variación de la cantidad de movimiento debido al flujo, Aplico teorema de Reynolds:

$$\boxed{\sum \bar{F} = \frac{d\bar{p}}{dt} = \frac{d}{dt}\left[\iiint_{VC} \bar{v}\cdot\rho\cdot dvol\right] + \iint_{SC} \bar{v}\cdot\rho\,(\bar{v}\cdot\hat{n})\,dS_c} \quad (1)$$

$$\sum \bar{F} = \underbrace{\cancel{\frac{d}{dt}\left[\iiint \bar{v}\rho\, dvol\right]}}_{0\ \text{(vol control rígido)}} + \iint_{S_1} \bar{V}_1\,\rho(\bar{V}_1\cdot\hat{n}_1)\,dS_1 + \iint_{S_2} \bar{V}_2\cdot\rho\,(\bar{V}_2\cdot\hat{n}_2)\,dS_2$$

operando, queda:

$$\left.\begin{aligned}\sum\bar{F} &= R_x\,\hat{\imath} + R_y\,\hat{\jmath}\\ \sum\bar{F} &= (-V_2^2\rho A_2)\hat{\imath} + (-V_1^2\rho A_1)\hat{\jmath}\end{aligned}\right\} \qquad R_x = -\frac{V_2^2\rho\pi\phi^2}{4} \qquad R_y = \frac{-V_1^2\rho\pi\phi^2}{4}$$

En eje vertical:

$$P - P_{Fl} - P_T = -R_y \quad ; \quad \therefore \quad P = \overset{\text{Fluido}}{P_{Fl}} + \overset{\text{Tanque}}{P_T} - R_y \; ;$$

$$\boxed{P = P_{Fl} + P_T + \frac{V_1^2\rho\pi\phi^2}{4}} \quad (2)$$

$$\llcorner\, P_{Fl} = \delta\cdot g\cdot Vol \; . \quad P_{Fl} = 10^3\,\frac{kg}{m^3}\cdot 9{,}81\,\frac{m}{s^2}\cdot 600\,l\cdot\frac{1\,m^3}{10^3\,l}\,.$$

$$\boxed{P_{Fl} = 5880\ N} \quad (3)$$

P_T (tanque)? ; $P_T = 50\,kg \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2}$; $\boxed{P_T = 490{,}5\,N}$ (4)

Para el término de velocidad:

$$Q = V \cdot A \longrightarrow V = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi \cdot \phi^2} \;\therefore\; \boxed{V^2 = \frac{16Q^2}{\pi^2 \phi^4}}$$

el término restante:

$$\frac{V_1^2 \rho \pi \phi^2}{4} = \frac{16 Q^2 \rho \pi \phi^2}{4 \cdot \pi^2 \phi^4} = \frac{4Q^2 \rho}{\pi \phi^2};$$

$$4 \cdot \left(\frac{300\,m^3}{h} \cdot \frac{1h}{3600\,s}\right)^2 \cdot \frac{10^3\,kg}{m^3 \cdot \pi \cdot (6 \cdot 10^{-2}\,m)^2} \Rightarrow [\;] = \frac{m^6 \cdot kg}{s^2\, m^3 \cdot m^2} = \frac{m \cdot kg}{s^2} = N$$

$$= 2456\,N$$

Finalmente: $P = (5880 + 490{,}5 + 2456)\,N$,

$$\boxed{P = 8826{,}5\,N}$$

Ejercicio 3 Hallar h_p: Altura de perdidas

Estado "i": Valvula "A" cerrada

Aplico ec de energía:

$$\boxed{\frac{(P_2 - P_1)}{\delta \cdot g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + (h_2 - h_1) = (-h_p)} \quad (1)$$

donde: $V_1 = V_2 = 0$ (fluido en reposo), queda:

$$-\cancel{h_p}^{\,0} = h_{21} + \frac{P_2 - P_1}{\delta g} \;\therefore\; \boxed{h_{21} = \left(\frac{P_1 - P_2}{\delta g}\right)_i} \quad (2)$$

(no hay perdidas por no circular fluido)

Estado "f": Válvula "A" abierta, aplico ec. (1).

$$h_p = \left(\frac{P_1 - P_2}{\delta \cdot g}\right)_f + \cancel{\frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}} + h_{12}$$

$\underbrace{\qquad}$ → Para sección cte, Q = cte; V = cte

$$\boxed{h_p = h_{12} + \left(\frac{P_1 - P_2}{\delta g}\right)_f}$$ (3); de (2):

$$\boxed{h_p = -\left(\frac{P_1 - P_2}{\delta g}\right)_i + \left(\frac{P_1 - P_2}{\delta g}\right)_f}$$ (3')

¿Energía perdida por fricción ($\dot{L}_p$)? $\boxed{\dot{L}_p = \delta \cdot g \cdot h_p \cdot Q}$ (4)

de (4) y (3): $\dot{L}_p = \delta \cdot g \cdot Q \cdot \left(-\frac{(P_1 - P_2)_i}{\delta \cdot g} + \frac{(P_1 - P_2)_f}{\delta \cdot g}\right)$

$\dot{L}_p = Q\left((P_1 - P_2)_f - (P_1 - P_2)_i\right)$; reemplazo valores:

$$\dot{L}_p = \frac{500\, m^3}{h} \cdot \frac{1 h}{3600 s} \cdot (160 - 75)\, kPa \cdot \frac{10^3\, Pa}{kPa} \cdot \frac{N}{m^2} \cdot \frac{1}{Pa} \cdot \frac{1 kW}{10^3 W}$$

$$\boxed{\dot{L}_p = 11{,}8\ kW}$$

Ejercicio 1 Hallar presión de aire dentro del túnel

Resolución: Para modelo (m) y prototipo (p) igualo números de Re y Ma

$$\boxed{Re = \frac{\delta \cdot V \cdot L}{\mu}}$$ (1) ; $$\boxed{Ma = \frac{V}{V_s}}$$ (2)

→ V: velocidad del móvil

→ Vs: velocidad del sonido en un medio.

En semejanza: $Re)_m = Re)_p$; $Ma)_m = Ma)_p$

de Re:
$$\boxed{\frac{\rho_M \cdot V_M \cdot L_M}{\mu_M} = \frac{\rho_P \cdot V_P \cdot L_P}{\mu_P}} \quad (2)$$

$$\boxed{\frac{V_M}{V_s)_M} = \frac{V_P}{V_s)_P}} \quad (3)$$

<u>Observaciones</u>: por la escala, $L_M = \frac{1}{12} L_P \longrightarrow \boxed{L_P = 12\, L_M}$ (4)

·) $\rho_P = 0{,}526\ \mathrm{kg/m^3}$ ·) $\mu_M = 1{,}84 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{Pa \cdot s}$

·) $T^{\circ}_{aire-P} = -36{,}9\,^{\circ}C$ ·) $T^{\circ}_{aire-M} = 25\,^{\circ}C$

·) $\mu_P = 1{,}53 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{Pa \cdot s}$

·) $V_P = 240\ \mathrm{m/s}$

·) para velocidad del sonido:

$$V_s)_m = \left[1{,}41 \cdot 287 \frac{J}{kg \cdot \cancel{K}} (25 + 273)\, \cancel{K}\right]^{1/2} \quad \boxed{V_s)_m = 347{,}3\ \frac{m}{s}} \quad (5)$$

Ojo: $\frac{J}{kg} = \frac{N \cdot m}{kg} = \frac{\cancel{kg} \cdot m}{s^2} \cdot \frac{m}{\cancel{kg}} = \frac{m^2}{s^2}$

$$V_s)_p = \left[1{,}41 \cdot 287 \frac{J}{kg \cdot K} (-36{,}9 + 273)\, K\right]^{\frac{1}{2}} \quad \boxed{V_s)_p = 309{,}1\ \frac{m}{s}} \quad (6)$$

de (5) y (6):

$$\frac{V_m}{V_s)_m} = \frac{V_P}{V_s)_P} \Rightarrow V_m = V_P \frac{V_s)_m}{V_s)_P} = V_P \cdot \frac{373{,}3\ m/s}{309{,}1\ m/s}$$

$$\boxed{V_m = 1{,}21\, V_P} \quad (7)$$

·) aplicando la ec. de gases ideales (válida para el aire):

$P \cdot V = m \cdot R \cdot T$, $P = \frac{m}{V} \cdot R \cdot T$, con $\rho = \frac{m}{V}$

$\boxed{P = \rho \cdot R \cdot T}$ (8) para el aire dentro del Túnel (modelo)

$\boxed{P_M = \rho_M \cdot R \cdot T_M}$ (8') ⟶ obtengo ρ_M de (2),

de (2): $\rho_M = \rho_P \cdot \left(\frac{V_P}{V_M}\right) \cdot \left(\frac{L_P}{L_M}\right) \cdot \left(\frac{\mu_M}{\mu_P}\right)$, reemplazo datos;

$$\rho_M = 0{,}526 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(\frac{\cancel{V_P}}{1{,}21 \cancel{V_P}}\right) \cdot \left(\frac{12 \cancel{L_M}}{\cancel{L_M}}\right) \cdot \left(\frac{1{,}84 \cdot \cancel{10^{-5}}\, \cancel{Pa \cdot s}}{1{,}53 \cdot \cancel{10^{-5}}\, \cancel{Pa \cdot s}}\right)$$

$\boxed{\rho_M = 6{,}27 \frac{kg}{m^3}}$ (9) de (9) en (8')

Otra forma:

(*)

$P_M = \rho_M \cdot R \cdot T_M$, de (2) $\rho_M = \rho_P \cdot \frac{V_P}{V_M} \frac{L_P}{L_M} \frac{\mu_M}{\mu_P}$,

$P_M = \rho_P \cdot \frac{V_P}{V_M} \cdot \frac{L_P}{L_M} \cdot \frac{\mu_M}{\mu_P} \cdot R \cdot T_M$, de (7): $\frac{V_P}{V_M} = \frac{V_S|_P}{V_S|_M}$;

$P_M = \rho_P \cdot \frac{V_S|_P}{V_S|_M} \cdot \left(\frac{L_P}{L_M}\right) \left(\frac{\mu_M}{\mu_P}\right) \cdot R \cdot T_M$, con $V_S = \sqrt{kRT}$

(v) $\frac{V_S|_P}{V_S|_M} = \frac{\sqrt{kRT_P}}{\sqrt{kRT_M}} = \sqrt{\frac{\cancel{kR}T_P}{\cancel{kR}T_M}} = \sqrt{\frac{T_P}{T_M}}$, finalmente:

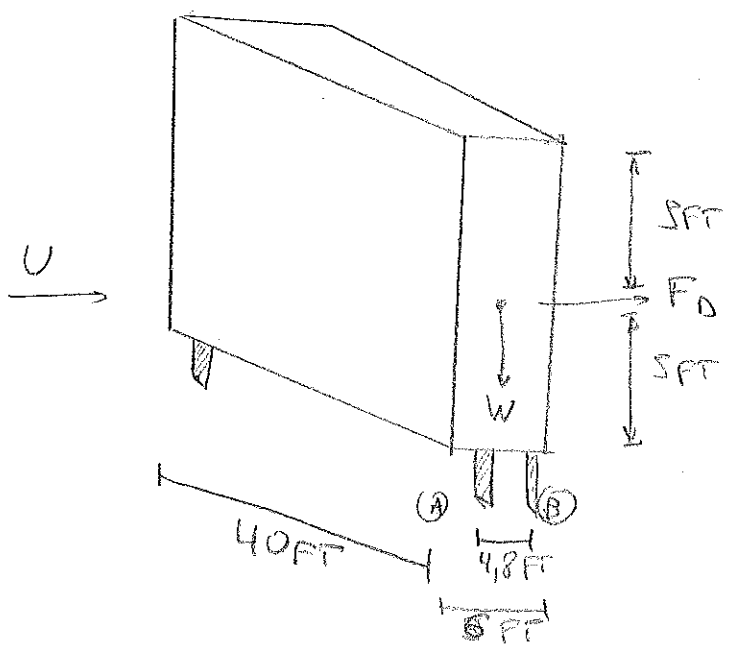
$$\boxed{P_M = P_P \cdot \sqrt{\frac{T_P}{T_M}} \cdot \frac{L_P}{L_M} \cdot \frac{\mu_M}{\mu_P} \cdot R \cdot T_M}$$; reemplazo valores:

$$P_M = 0{,}526 \frac{\cancel{kg}}{m^3} \cdot \sqrt{\frac{(273-36{,}9)\,K}{(273+25)\,K}} \cdot \frac{12\,\cancel{L_M}}{\cancel{L_M}} \cdot \frac{1{,}84 \cdot \cancel{10^{-5}}\,\cancel{Pa} \cdot \cancel{s}}{1{,}53 \cdot \cancel{10^{-5}}\,\cancel{Pa} \cdot \cancel{s}} \cdot \frac{287\,J}{\cancel{kg} \cdot \cancel{K}} \cdot (273+25)\,\cancel{K}$$

$$P_M = 577871\,\cancel{Pa} \cdot \frac{1\,kPa}{10^3\,\cancel{Pa}}, \quad \boxed{P_M = 577{,}87\,kPa}$$

Parte teórica

Problema 1 Verificar si el vagón vuelca



Para sección frontal

$\Sigma M_A = F_D \cdot 5FT - W \cdot \frac{4,8FT}{2}$

(+) (-)

Si $\Sigma MA > 0$, vuelca

Si $\Sigma MA < 0$, no vuelca

$$\boxed{\Sigma M_A = F_D \cdot 5FT - W \cdot 2,4FT} \quad ①$$

calculo de ①

$$\boxed{F_D = \frac{1}{2} \cdot Cd \cdot \rho \cdot U^2 \cdot A} \quad ②$$

de ②; datos: U, A; calcular ρ y Cd

Para aire, se suponen condiciones normales; $T° = 25°C$; ∴

$\rho = 1,205 \ kg/m^3$, $\mu = 1,8 \cdot 10^{-5} \ Pa \cdot s$

Para calcular Cd, primero calculo el nro de Reynolds Re:

$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu}$, tomo L como el largo de 40 FT

1 mi = 1609,34 m

$Re = \frac{1,205 \ kg \cdot 85 \ mi \cdot 1h}{m^3 \cdot h \cdot 3600 s} \left(\frac{1609,34 m}{mi}\right) \cdot \frac{40 FT \cdot 0,304 m}{FT \ 1,8 \cdot 10^{-5} \ Pa \cdot s} \cdot \frac{Pa \cdot m^2 \cdot N \cdot s^2}{N \cdot kg \cdot m}$

$\boxed{Re = 3,1 \cdot 10^7}$ — utilizo tabla 7.3 del White (válida para cuerpos con $Re > 10^4$)

$\frac{b}{h} = \frac{40 FT}{10 FT} = 4$ → por interpolación,

$b/h = 1$ ——— 1,18
$b/h = 4$ ——— z
$b/h = 5$ ——— 1,2

$y = ax + b$ — $1,2 = 5a + b$
$1,18 = a + b$

$a = \frac{2}{400}$, $b = 1{,}18 - a$, $b = 1{,}195$

$z = 1{,}195 + \frac{2}{400} \cdot 4$, $z = \rightarrow$ $\boxed{Cd = 1{,}195}$

reemplazo cd en ②, con los pasajes de unidades correspondientes:

$V = \frac{85 \cancel{mi}}{\cancel{h}} \cdot \frac{1h}{3600s} \cdot \frac{1609{,}34\,m}{\cancel{mi}}$. $\boxed{V = 38\,m/s}$

$A = 40\,FT \cdot 10\,FT \cdot \left(\frac{0{,}3048\,m}{FT}\right)^2 \longrightarrow \boxed{A = 37{,}16\,m^2}$

$\therefore$

$Fd = \frac{1}{2} \cdot 1{,}195 \cdot 1{,}205\,\frac{kg}{m^3} \left(\frac{38\,m}{s}\right)^2 \cdot 37{,}16\,m^2$. $\boxed{Fd = 38633\,N}$

En ①: $Fd \cdot 5FT - W \cdot 2FT = \Sigma M_A$

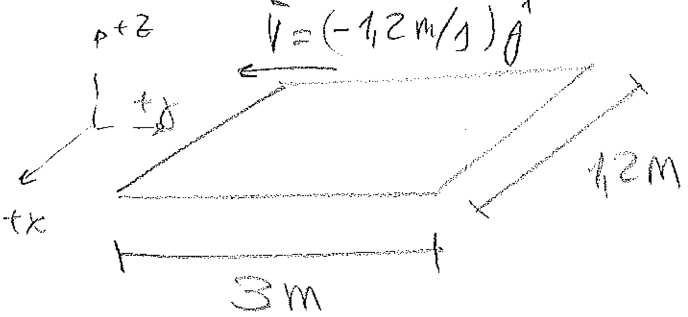
$\Sigma M_A = 38633\,N \cdot 5\cancel{FT} \cdot \frac{0{,}3048\,m}{\cancel{FT}} - 40220\,\cancel{lbF} \cdot \frac{4{,}48\,N}{1\cancel{lbF}} \cdot 2\cancel{FT} \cdot \frac{0{,}3048\,m}{\cancel{FT}}$

$\boxed{\Sigma M_A = -97464{,}7\,Nm}$ $\rightarrow \therefore$ como $\Sigma M_A < 0$, no vuelca.

Problema 2

Hallar resistencia (F_D)

Esquema de la placa:



La resistencia de la placa puede calcularse con la fuerza de Drag F_D, definida como:

$$\boxed{F_D = \frac{1}{2}\, C_d\, \rho\, A\, V^2} \quad (1)$$

Datos conocidos: $\longrightarrow A = 3m \cdot 1{,}2m = 3{,}6\ m^2$

$\rho)_{aire} = 1{,}2\ \frac{kg}{m^3}$ (valor asumido p/ aire)

$\mu)_{aire} = 1{,}84 \cdot 10^{-5}\ Pa \cdot s$

Debo calcular C_d, variará según las condiciones del flujo (laminar / turbulento)

a) En condiciones laminares: puede utilizarse la expresión:

$$\boxed{C_d = \frac{1{,}328}{Re^{1/2}}} \quad (2), \quad \text{donde} \quad \boxed{Re = \frac{\rho V L}{\mu}} \quad (3)$$

Tomo L (longitud característica) como la longitud (eje y) de la placa (3m), paralela al movimiento de la misma.

queda con (3), (2) y (1): $$F_D = \frac{1}{2} \cdot \frac{1{,}328\ \mu^{1/2}}{(\rho V L)^{1/2}} \cdot \rho \cdot A \cdot V^2$$

de (3): $$Re = 1{,}2 \frac{\cancel{kg}}{\cancel{m^3}} \cdot \frac{1{,}2\cancel{m}}{\cancel{s}} \cdot \frac{3m}{1{,}84 \cdot 10^{-5}\ \cancel{Pa}} \cdot \frac{\cancel{Pa}}{\cancel{s}} \frac{\cancel{m^2}}{\cancel{1N}} \frac{\cancel{N} \cdot \cancel{s^2}}{\cancel{kg} \cdot m} ; \quad \boxed{Re = 2{,}35 \cdot 10^5}$$

$$\therefore C_d = \frac{1{,}328}{(2{,}35 \cdot 10^5)^{1/2}} ; \quad \boxed{C_d = 2{,}74 \cdot 10^{-3}} \quad \therefore$$

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot 2{,}74 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}2 \frac{kg}{m^3} \cdot 3{,}6 m^2 \cdot (1{,}2)^2 \frac{m^2}{s^2}$$

$$\boxed{F_D = 8{,}52 \cdot 10^{-3}\ N}$$

b) En condiciones turbulentas sobre toda la placa:

Puede usarse la aproximación: $\boxed{Cd = \frac{0{,}074}{Re^{1/5}}}$ (4)
Re=

$$Cd = \frac{0{,}074}{(2{,}35 \cdot 10^5)^{1/5}} \rightarrow \boxed{Cd = 6{,}24 \cdot 10^{-3}}, \text{ en (1)}.$$

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot 6{,}24 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}2 \frac{kg}{m^3} \cdot 3{,}6 m^2 (1{,}2)^2 \frac{m^2}{s^2}$$

$$\boxed{F_D = 1{,}94 \cdot 10^{-2}\ N}$$

c) Calcular espesor de capa límite de placa y en borde de salida:

Calculo el "y" crítico (oso; y: a lo largo de la placa, z: en altura; ver sistema de referencia del esquema).

$$Re = \frac{\rho y \cdot V}{\mu} \longrightarrow \boxed{y = \frac{Re \cdot \mu}{\rho \cdot V}} \ (5)$$, reemplazo valores: ($Re_{crítico} = 5 \cdot 10^5$)

$$y = \frac{5 \cdot 10^5 \cdot 1{,}84 \cdot 10^{-5} \cancel{Pa} \cdot 1\, m^3 \cdot 1\, \cancel{N} \cdot \cancel{kg}\, m}{1{,}2\, \cancel{kg} \cdot 1{,}2\, \cancel{m} \cdot m^2 \cdot \cancel{Pa} \cdot s^2 \cdot \cancel{N}} ; \boxed{y = 6{,}4\, m}$$

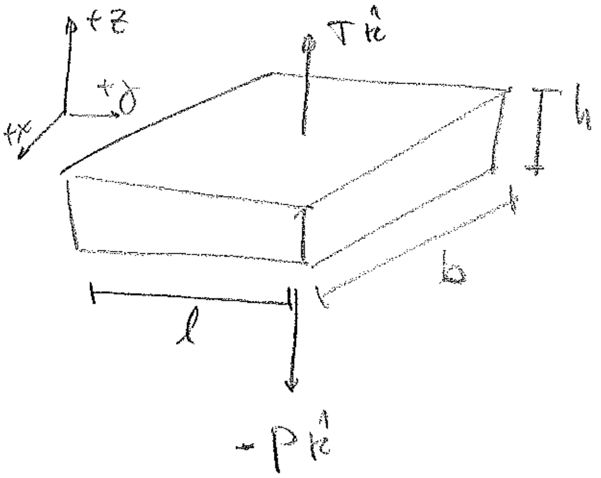
ojo! en este caso, dado que el "y" crítico excede la longitud de la tabla, se observa que el comportamiento de la capa límite es laminar en toda su extensión.

Para altura de capa límite en borde de salida:

$$\frac{\delta}{y_{TOT}} = \frac{5}{Re^{1/2}} \rightarrow \delta = \frac{5 y_{TOT}}{Re^{1/2}} = \frac{5 \cdot 3m}{(2{,}35 \cdot 10^5)^{1/2}}, \boxed{\delta = 0{,}03\ m}$$

Problema 3 Hallar expresión para altura máxima "h" $\boxed{6}$

¿Variables intervinientes? ⟶ longitud (l), altura (h), Peso (P), Tensión superficial (T), profundidad (del objeto: b).



Para el objeto: $\Sigma F = 0$

$T - P = 0$

$\boxed{T = P}$ (1)

Peso: P: $P = \delta \cdot vol \Rightarrow$

$\boxed{P = \delta \cdot g \cdot l \cdot b \cdot h}$

Tensión superficial: $\boxed{T = \gamma \cdot l}$

donde: γ: constante de proporcionalidad, $[\gamma] = \frac{F}{L}$

queda: $P \to l, \delta, b, h, g$; $T \to \gamma, l$

Variables: $\delta, h, b, l, \gamma, g$

$[\delta] = \frac{M}{L^3}$; $[g] = \frac{L}{T^2}$, $[\gamma] = \frac{M \cdot L}{T^2 \cdot L} = \frac{M}{T^2}$

$[h] = [b] = [l] = L$

nros pi: Variables − magnitudes $= 6 - 3 = 3$ nros pi

Tomo variables fijas: δ, g, γ

) $\Pi_1 = \delta^a \cdot \gamma^b \cdot g^c \cdot h$

$\Pi_1 = \left(\frac{M}{L^3}\right)^a \left(\frac{M}{T^2}\right)^b \left(\frac{L}{T^2}\right)^c \cdot L$

M) $a + b = 0$

T) $-2b - 2c = 0$

L) $-3a + c + 1 = 0$

$a = (-b)$

$c = (-b)$

$-3(-b) + (-b) + 1 = 0$

$3b - b + 1 = 0$

$b = -1/2$

$a = 1/2$, $c = 1/2$

$\Pi_1 = \delta^{1/2} \cdot \gamma^{-1/2} \cdot g^{1/2} \cdot h \to h = \frac{\Pi_1 \cdot \gamma^{1/2}}{\delta^{1/2} g^{1/2}}$, $\boxed{h = \Pi_1 \cdot \left(\frac{\gamma}{\delta \cdot g}\right)^{1/2}}$

$\pi_2 = \delta^a \cdot \gamma^b \cdot g^c \cdot b \longrightarrow \pi_2 = \left(\frac{\delta \cdot g}{\gamma}\right)^{1/2} \cdot b \quad ; \quad \pi_3 = \left(\frac{\delta \cdot g}{\gamma}\right)^{1/2} \cdot l$

$\pi_3 = \delta^a \cdot \gamma^b \cdot g^c \cdot l$

quede: $\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3)$; $\boxed{h = \left(\frac{\gamma}{\delta g}\right)^{1/2} \cdot f\left(\left(\frac{\delta g}{\gamma}\right)^{1/2} b, \left(\frac{\delta g}{\gamma}\right)^{1/2} l\right)}$