

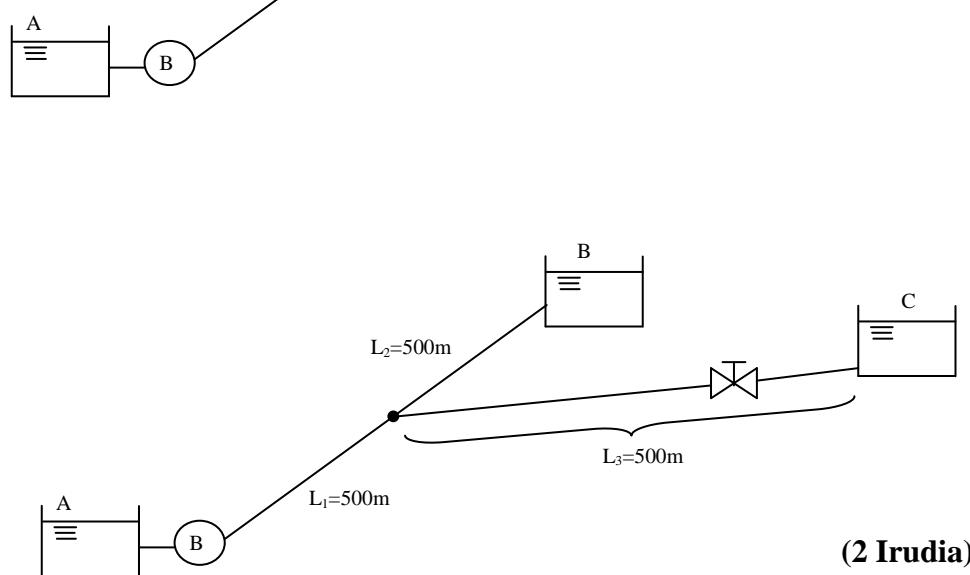
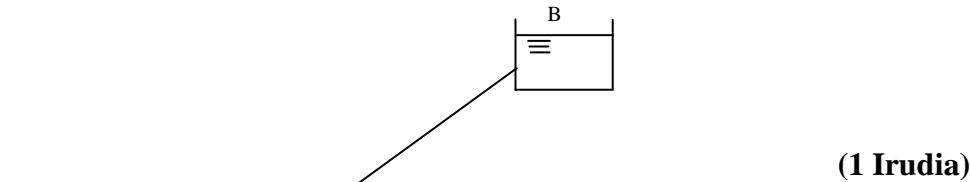
Ur banaketa sistema batek ( $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $v=10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ) atmosferara irekita dagoen A biltegi batetik (gainazal askeko altuera  $z = 20\text{m}$ ) goitik eta atmosferara ere irekita dagoen B biltegi batera (gainazal askeko altuera  $z = 80\text{ m}$ ) fluido eramatzen du. Biltegiak lotzen dituen altzairuzko hodiak  $D = 60 \text{ cm}$ -ko diametroa,  $\epsilon = 0,05 \text{ mm}$ -ko zimurdura absolutua eta  $L = 1 \text{ km}$ -ko luzera ditu. Azpiko biltegiaren sarreran ponpa bat dago (aspirazio tartean galerak mespretxagarriak dira), (1 irudia). Ponparen etekin osoa %85-a da eta ponparen irteeraren eta sarreraren artean kokatutako manometro diferentzial batek 6,40 bar presio diferentzia bat neurten du. Kalkula itzazu:

- a) Ponpatzen ari den emaria.
- b) Ponpaketako potentzia (kW-an)

Sistema aldatzen da ura aurreko B biltegira eta C biltegi berri batera (gainazal askeko altuera  $z = 60\text{ m}$ ) aldi berean eramateko eta emariak berdinak izan daitezzen. Aurreko sistemari diametro bera duen hodi tarte berri bat eransten zaio, eta tarte berri horretan erregulazio balbula bat dago.  $D = 60 \text{ cm}$ -ko diametroa eta  $L = 500 \text{ m}$ -ko luzera dituzten 3 hodi zati berdinak (2 irudia) geratzen dira (aurreko ataleko frikziozko faktorea baliogarria dela suposatu). Ponpatze sistemana, 6,40 bar-eko presio diferentzia bera baldin badago, kalkula itzazu:

- c) Emari-banaketa berria.
- d) Balbulako karga-galerak eta balbula horren K galeren koefizientea (adimentsionala).
- e) Energia-altueren eta kota piezometrikoen diagrama marraztu.

**Oharra:** grabitatearen balioa:  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$   
 Termino zinetikoak mespretxatu, baita tokizko karga-galerak ere, balbulan izan ezik.  
 Ponparen sarrerako eta irteerako hodiekin diametro bera daudate.



a)  
DATOS:

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2, \gamma = 9810 \text{ N/m}^3$$

Tubería:  $L = 1000 \text{ m}$ ,  $D = 0,6 \text{ m}$ ,  $\varepsilon = 0,05 \text{ mm}$

$$\text{Bomba: } \Delta p = 6,4 \text{ bar} = 6,4 \cdot 10^5 \text{ Pa}, \text{ altura manométrica } H_m = \frac{\Delta p}{\gamma} = 65,239 \text{ m}$$

(Figura 1)

Ecuación energía (A) – (B):

$$H_A + H_m = H_B + h_f$$

$$z_A + H_m = z_B + \frac{8}{\pi^2 g} f L \frac{Q^2}{D^5}$$

$$4,9309 \cdot 10^{-3} = f Q^2 \quad (*)$$

$$\text{Iterar: } \frac{\varepsilon}{D} = 8,333 \cdot 10^{-5}$$

$$f = 0,02 ; (*) Q = 0,4965 \text{ m}^3/\text{s} ; Re = \frac{UD}{v} = \frac{4Q}{\pi D v} = 1,0537 \cdot 10^6 \quad (\text{Haaland}) \quad f = 0,0130$$

$$f = 0,0130 ; (*) Q = 0,6158 \text{ m}^3/\text{s} ; Re = \frac{UD}{v} = \frac{4Q}{\pi D v} = 1,3068 \cdot 10^6 \quad (\text{Haaland}) \quad f = 0,0128$$

$$f = 0,0128 ; (*) Q = 0,6207 \text{ m}^3/\text{s} ; Re = \frac{UD}{v} = \frac{4Q}{\pi D v} = 1,3172 \cdot 10^6 \quad (\text{Haaland}) \quad f = 0,0128$$

(FIN)

$$Q = 0,6207 \text{ m}^3/\text{s}$$

b)

$$P = \frac{\gamma Q H_m}{\eta} = 467346 \text{ W} = 467,3 \text{ kW}$$

c) (Figura 2)

$$f_1 = f_2 = f_3 = 0,0128 ; H_m = 65,239 \text{ m} ; Q_2 = Q_3 = Q_1 / 2 \quad (\text{Continuidad})$$

Ecuación energía (A) – (B):

$$H_A + H_m = H_B + h_{f1} + h_{f2}$$

$$z_A + H_m = z_B + \frac{8}{\pi^2 g} f L \frac{Q_1^2}{D^5} + \frac{8}{\pi^2 g} f L \frac{Q_2^2}{D^5}$$

$$H_m = (z_B - z_A) + \frac{8}{\pi^2 g} f L \frac{Q_1^2}{D^5} \left(1 + \frac{1}{2^2}\right) ; \boxed{Q_1 = 0,785 \text{ m}^3/\text{s} ; Q_2 = Q_3 = 0,392 \text{ m}^3/\text{s}}$$

d) Energía nodo central (E) – (B) + Energía nodo central (E) – (C)

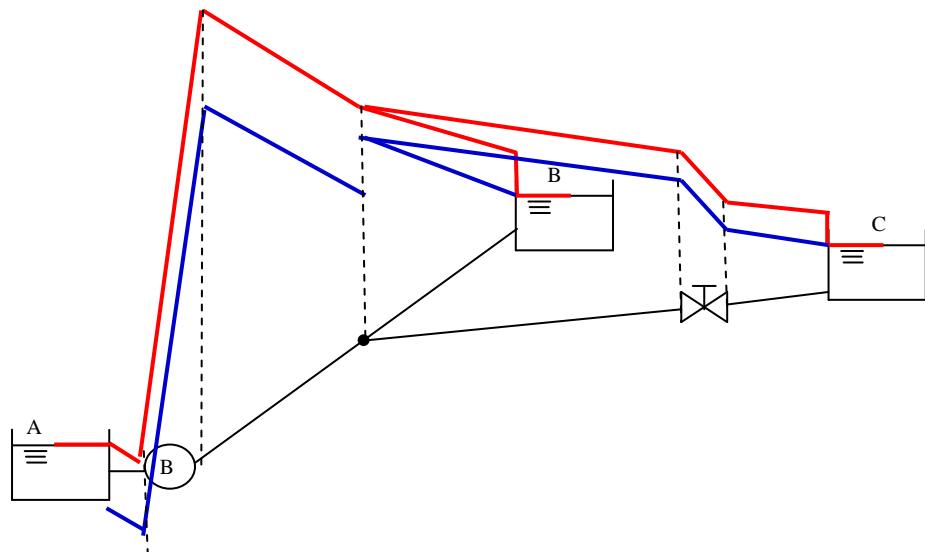
$$H_E = H_B + h_{f2} = H_C + h_{f3} + h_{valv}$$

$$\text{Pero: } h_{f2} = \frac{8}{\pi^2 g} f L \frac{Q_2^2}{D^5} = h_{f3} = \frac{8}{\pi^2 g} f L \frac{Q_3^2}{D^5}$$

$$H_B = H_C + h_{valv} \quad ; \quad z_B = z_C + h_{valv} \quad ; \quad h_{valv} = z_B - z_C = 20 \text{ m}$$

$$h_{valv} = 20 \text{ m} = \frac{8}{\pi^2 g} K \frac{Q^2}{D^4} \quad ; \quad K = 204,15$$

e)



## JARIAKINEN MEKANIKA

2014-ko ekainaren 27-an

Denbora: 35 minutu

Presiopean dagoen zirkuitu hidrauliko batean, hiru hodi daude eta urtegi batetik 50 l/s ur ponpatzen da. Beste muturrean, A puntu batean, ura hartzen da, eta B puntu batean 10 l/s ur sartzen dira zirkuituan. E puntu urtegiaren gainazal askean dago, eta puntu hau eta A puntu presio atmosferikoan daude. Aitzitik, B puntu presurizaturik dago. Aspirazio-hodia, urtegitik ponparaino doana, luzera txikikoa denez,  $K=10$  tokizko karga-galeren koefizientea duen elementu bat dela kontsidera daiteke. Zirkuituaren beste tokizko karga-galerak mespretxagarriak direla suposa daiteke, eta bakarrik grafikoan ikusten diren hiru hodietako lehen mailako karga-galerak kontuan hartuko dira. Sareko beste datuak ondorengoa dira:

Luzerak:

$$L_{1\text{hodi}}=1000\text{m} \quad L_{2\text{hodi}}=500\text{m} \quad L_{3\text{hodi}}=250\text{m}$$

Barruko hodiak:

$$D_{1\text{hodi}}=D_{\text{aspirazioa}}=200\text{mm} \quad D_{2\text{hodi}}=300\text{mm} \quad D_{3\text{hodi}}=100\text{mm}$$

Materialak:

$$\text{Hodien zimurdura: } \varepsilon_1=\varepsilon_2=\varepsilon_3=0,15\text{mm}$$

Kotak:

$$Z_A=100\text{m} \quad Z_B=50\text{m} \quad Z_E=0\text{m}$$

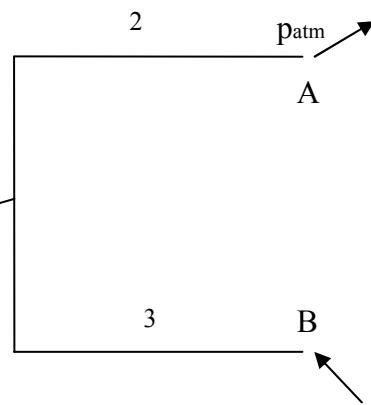
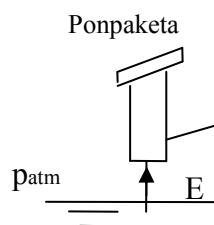
Datu hauekin kalkulatu behar dira: A puntuaren kontsumitutako emaria (l/s-tan), B puntuko presio manometrikoa m.u.z.-tan, eta ponparen potentzia kW-tan, bere etekina 0,85 bada.

Ura

$$\rho=1000 \text{ kg/m}^3$$

$$v=10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$g=9,81 \text{ m/s}^2$$



## EBAZPENA

CONTINUIDAD en el punto de unión de las tres tuberías:  
 $Q_1 + Q_3 = Q_2$  ; Por lo que:  $Q_2 = \mathbf{Q_A = 60 \text{ l/s}}$

ENERGÍA de B-A:

$$H_B = H_A + \Delta H_{BA} ; \quad \text{De aquí: } P_B = 547565 \text{ Pa} = \mathbf{55,87 \text{ m.c.a.}}$$

$$H_B = 50,08 + P_B / 9800$$

$$H_A = 100,04 \text{ m}$$

$$\Delta H_{BA} = h_{f3} + h_{f2} = 4,80 + 1,12$$

$$h_{f3} = 4,80 \text{ m}$$

$$\text{Rugosidad relativa} = 0,15 / 100 = 1,5 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{Reynolds} = (0,1 \times 1,27) / 10^{-6} = 1,27 \cdot 10^5$$

$$\text{Haaland: } f_3 = 0,0232$$

$$h_{f2} = 1,12 \text{ m}$$

$$\text{Rugosidad relativa} = 0,15 / 300 = 5 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Reynolds} = (0,3 \times 0,85) / 10^{-6} = 2,55 \cdot 10^5$$

$$\text{Haaland: } f_1 = 0,0183$$

ENERGÍA de E-A (Igualmente vale E-B):

$$H_E + H_m = H_A + \Delta H_{EA} ; \quad \text{De aquí: } H_m = 114,95 \text{ m} ; \quad P = (9800 * 0,05 * 114,95) / 0,85 = \mathbf{66,26 \text{ Kw}}$$

$$H_E = 0 \text{ m}$$

$$H_A = 100,04 \text{ m}$$

$$\Delta H_{EA} = h_{s(asp)} + h_{f1} + 1,12 = 1,29 + 12,50 + 1,12$$

$$h_{s(asp)} = 10 * (8 / \pi^2 g) * (Q^2 / D^4)_{asp} = 1,29 \text{ m}$$

$$h_{f1} = 12,50 \text{ m}$$

$$\text{Rugosidad relativa} = 0,15 / 200 = 7,5 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Reynolds} = (0,2 \times 1,59) / 10^{-6} = 3,18 \cdot 10^5$$

$$\text{Haaland: } f_3 = 0,0193$$

## JARIAKINEN MEKANIKA

14/06/27

DENBORA: 40 min

---

Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) entsegu aerodinamikoaren arloko laborategi akreditatua bat da eta haien betebeharren artean eskalazko ereduetan egindako entseguak daude. Bai arlo aeroespazialean eta baita ingeniaritzan oro har ere: ibilgailuen diseinua, itsasontziak, eraikinak, estrukturak edo energia eolikoa.

"Epiarkier" aire-globo gidatuen egileak INTA kontratatu du prototipo berri bateko arraste indarra aztertzeko. Jarritako tunel-gune guztien artetik, laborategiak entseguak ur-tunel batean egitea erabaki du. Han, globo gidatu eredu, 1/20 eskalan egindakoa, euskarri batean finkatzen da. Euskarrian instrumentazioa dago (indar sentsoreak) eta fluxua ponpa batekin kontrolatzen da. Ponparen abiadura alda daiteke.

Globo gidatu prototipoaren 36 km/h-ko abiadura baterako, laborategian eta antzekotasun balditzetan 1649 N-ko arraste indar bat neurtu da, entsegutako abiaduratan. Eskatzen da:

- a) Entsegu kontrolatzen duten 2 parametro adimentsionalak zeintzuk diren ezarri, kualitatiboki justifikatuz.
- b) Laborategiak zergatik aukeratu duen erabilitako tunel mota hori (ur tunela haize tunela erabili beharrean) justifikatu, antzekotasunaren teoria erabiliz.
- c) Ur-tunelean, globo gidatu ereduaren abiadura zein den kalkulatu.
- d) Prototipoaren arraste potentzia kalkulatu.

---

### Datuak:

- Aire (1 bar eta 25 °C):  $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ ;  $v = 15,58 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ;  $k=1,4$  eta  $R=29,3 \text{ m/K}$
- Ura:  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ;  $v = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

a)

La velocidad es baja con respecto a la velocidad del sonido: los efectos de compresibilidad no son importantes y por tanto el número de Mach no es controlante en el ensayo.

Dado que no existe superficie libre el número de Froude tampoco es un parámetro relevante.

Así, los parámetros adimensionales a considerar de cara a la semejanza serán el número de Reynolds y el coeficiente de resistencia o arrastre (esta conclusión puede también determinarse de manera analítica considerando la dependencia de la fuerza de arrastre con las variables  $U$ ,  $L$ ,  $\rho$  y  $\mu$  y aplicando el Teorema de Buckingham).

b)

De cara a la semejanza dinámica entre modelo y prototipo deberá existir igualdad de números de Reynolds:

$$Re_m = \frac{U_m L_m}{v_m} = Re_p = \frac{U_p L_p}{v_p}$$

La velocidad la velocidad a la que se debe mover el modelo será:

$$U_m = U_p \frac{L_p}{L_m} \frac{v_m}{v_p}$$

La velocidad del aire en un túnel de viento sería:

$$U_m = U_p \frac{L_p}{L_m} \frac{v_m}{v_p} = 10 \frac{20}{1} \frac{15,58 \cdot 10^{-6}}{15,58 \cdot 10^{-6}} = 200 \text{ m/s}$$

De este valor de velocidad se derivan dos problemas:

- Trabajar con elevadas velocidades de flujo de aire (limitación experimental)
- Trabajar con números de Mach relativamente altos ( $M>0,2$ ) y tener que considerar efectos de compresibilidad

Para evitar estos dos problemas, se ensaya en un túnel de agua (la viscosidad cinemática del agua es unas 15 veces menor que la del aire, y con ello la velocidad de ensayo en agua baja en la misma proporción).

c)

A partir de la relación anterior y con los datos disponibles:

$$U_m = U_p \frac{L_p}{L_m} \frac{v_m}{v_p} = 10 \frac{20}{1} \frac{10^{-6}}{15,58 \cdot 10^{-6}} = 12,84 \text{ m/s}$$

d)

La potencia de arrastre vendrá determinada por:

$$P_D = F_D U$$

En el ensayo se ha obtenido la fuerza de arrastre sobre el modelo. El valor de la fuerza sobre el prototipo se determina mediante semejanza dinámica en base al coeficiente de arrastre.

$$\frac{F_{Dm}}{\frac{1}{2} \cdot \rho_m \cdot A_m \cdot U_m^2} = \frac{F_{Dp}}{\frac{1}{2} \cdot \rho_p \cdot (\lambda^2 \cdot A_p) \cdot U_p^2}$$

$$F_{Dp} = F_{Dm} \frac{\rho_p}{\rho_m} \left( \frac{U_p}{U_m} \right)^2 \left( \frac{L_p}{L_m} \right)^2 = 1649N \frac{1,2}{1000} \left( \frac{10}{12,84} \right)^2 \left( \frac{20}{1} \right)^2 = 480,1 N$$

La potencia de arrastre en el prototipo del dirigible será por tanto:

$$P_{Dp} = F_{Dp} U_p = (480,1 N)(10m/s) = 4,8 kW$$