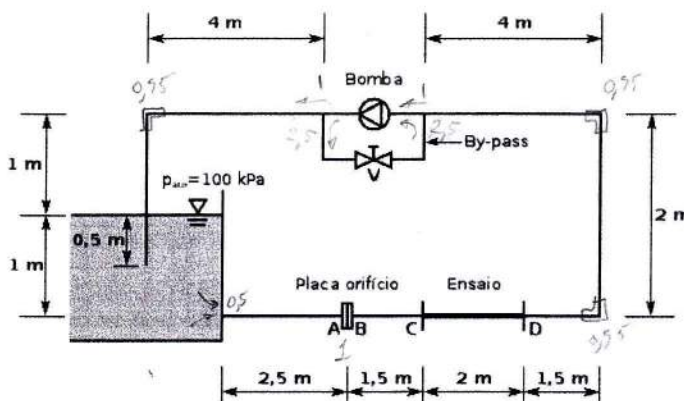


1. (10 v) – A instalação representada usa água como fluido de trabalho e destina-se a medir a rugosidade de tubagens, intercalando troços de 65 mm de diâmetro entre as secções C e D. A parte fixa da instalação é constituída por tubos de aço comercial ($\epsilon=0,046$ mm), também com 65 mm de diâmetro interno. Para medir o caudal em circulação existe uma placa orifício (tomadas de canto) com $\beta=0,8$.



- Determine o caudal que circulava na instalação num ensaio em que entre A e B foi medida uma diferença de pressões de 18,1 kPa.
- Em vez de uma placa orifício, seria possível usar um rotâmetro para determinar o caudal em circulação nesta instalação? Quais as vantagens e desvantagens dessa substituição?
- Admitindo que os valores máximos do caudal a medir são da ordem de 15 l/s, acha adequada a localização da placa orifício? Justifique devidamente a sua resposta.
- Determine a rugosidade da tubagem montada na instalação entre as secções C e D, sabendo que foi medida, entre essas secções, uma diferença de pressões de 4,21 kPa para um caudal de 10 l/s.
- A bomba montada na instalação tem uma potência de 1,5 kW e rendimento $\eta=85\%$. Para a condição da alínea anterior, caudal de 10 l/s, determine o caudal processado pela bomba, o caudal que passa pelo *by-pass* e o coeficiente de perda de carga da válvula V nele inserido.
- Ainda para um caudal medido pela placa orifício de 10 l/s, e admitindo que o caudal no *by-pass* é igual a 6 l/s, determine o maior NPSH que a bomba poderá ter sem que exista risco de cavitação.
Na sua opinião, a localização da bomba é adequada ou existiria outra melhor?

Despreze a perda de carga em linha nas tubagens cujo comprimento não está indicado.

Propriedades da água

$\rho=1000$ kg/m³; $\mu=10^{-3}$ Pa.s; $p_{sat}=7270$ Pa

Placa-orifício

$C_d=0,5959+91,71 \beta^{2,5} Re_D^{-0,75}$

Coefficientes de perda de carga localizada

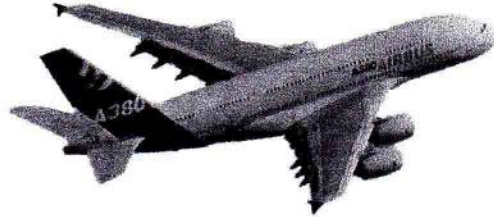
$K_{entr}=0,5$ (entrada); $K_{joelhos}=0,95$; $K_{placa}=1,0$ (referido à velocidade no orifício);

$K_{T\ linha}=1,0$ e $K_{T\ derivação}=2,5$ (referenciados à velocidade no ramo com maior caudal)

2. (6 v) – Um Airbus A380 desloca-se à velocidade de cruzeiro correspondente ao número de Mach de 0,85, e altitude de 10 km, em que as condições do ar são $T_{ar} = -50\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\rho_{ar} = 0,4135\text{ kg/m}^3$; $R_{ar} = 287\text{ J/(kg K)}$; $k = 1,4$.

O avião pesa 560000 kg e tem uma envergadura de asas de 79,75 m e uma corda média de 10,6 m (área de referência de 845 m²). Está equipado com 4 motores com um impulso de 348,31 kN cada.

Admita que apenas as asas produzem sustentação e que, da resistência aerodinâmica ao avanço, 30% ocorrem na fuselagem e motores.

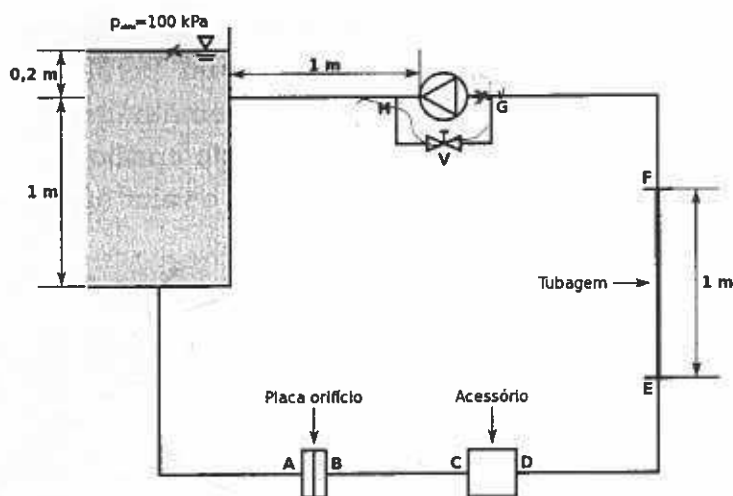


- a) Determine o coeficiente de sustentação (C_L) das asas, em condições de cruzeiro (trajetória horizontal a velocidade constante).
- b) Determine o coeficiente de arrasto (C_D) das asas.
- c) Na eventualidade de perda total de potência (avaria simultânea dos 4 motores) qual o ângulo da trajetória (ângulo com a horizontal) para que o piloto consiga controlar o avião e descer com velocidade constante, numa configuração aerodinâmica em que o coeficiente de arrasto nas asas é $C_D = 0,1$ e o coeficiente de sustentação $C_L = 0,5$?
Será possível nessas condições alcançar um aeroporto localizado a 100 km de distância, medidos na horizontal?

3 (4 v) – Um tubo de Pitot foi inserido numa conduta onde se escoava gás propano ($k = 1,13$, $R = 189\text{ J/(kg K)}$), num local onde a secção tem uma área de 50 cm² (secção A). Foi medida uma pressão de estagnação de 5,8 bar e uma pressão estática de 5,3 bar. O gás provém de um reservatório onde é mantido à temperatura de 25 °C. Assuma que o escoamento se processa adiabaticamente.

- a) Calcule o número de Mach e a velocidade do escoamento na conduta, tomando na devida conta os efeitos da compressibilidade.
- b) O tubo de Pitot foi depois inserido noutra local da mesma conduta (secção B) onde se mediu uma pressão de estagnação de 6 bar e uma pressão estática de 4,5 bar. Calcule o caudal mássico que circulava na conduta e a área da secção B. Qual das duas secções, A ou B, fica mais próxima do reservatório? Justifique.

1. (9 v) - A instalação representada destina-se a medir coeficientes de perda de carga em acessórios, montados entre os pontos C e D, e a rugosidade de tubagens, intercalando troços de 60 mm de diâmetro entre os pontos E e F. A parte fixa da instalação é constituída por tubagens também com 60 mm de diâmetro interno, rugosidade $\varepsilon=0,0015$ mm e tem um comprimento total de 10 m. A válvula V do *by-pass* entre H e G está normalmente fechada. Para medir o caudal em circulação existe uma placa orifício ligada a um manómetro diferencial. O fluido de trabalho é água.



- Determine o caudal que circula na instalação quando o manómetro ligado à placa orifício indicar $\Delta p=25$ kPa.
- Num determinado ensaio mediu-se entre os pontos C e D uma diferença de pressão $\Delta p_{CD}=50$ kPa quando circulava um caudal de 40 m³/h. Qual o coeficiente de perda de carga do acessório ensaiado?
- Se para o mesmo caudal de 40 m³/h a diferença de pressão entre os pontos E e F for $\Delta p_{EF}=14$ kPa, qual a rugosidade do tubo ensaiado?
- Montando na secção de ensaio um tubo de rugosidade idêntica aos restantes ($\varepsilon=0,0015$ mm), e sabendo que para 40 m³/h o NPSH da bomba é de $2,5$ m, qual o máximo valor que poderá ter K_{acess} sem que haja risco de cavitação? Em sua opinião, a localização da bomba é a mais adequada? Justifique.
- Estando montados na instalação um acessório com $K_{acess}=5,0$ e um tubo com rugosidade $\varepsilon=0,3$ mm foi instalada uma bomba com uma potência nominal de $1,5$ kW e um rendimento $\eta=75\%$. Para manter em circulação um caudal de 40 m³/h é agora necessário abrir parcialmente a válvula V. Determine o caudal no *by-pass* e o coeficiente de perda de carga da válvula.

Propriedades da água

$\rho=1000$ kg/m³; $\mu=10^{-3}$ Pa.s; $p_{sat}=2337$ Pa

Placa-orifício

$\beta=0,8$; $C_d=0,5959+91,71 \beta^{2,5} Re_D^{-0,75}$

Coefficientes de perda de carga localizada (K)

$K_{entr}=0,5$ (entrada); $K_{joelhos}=0,95$; $K_{placa}=1,0$ (placa orifício, referido à velocidade no orifício).

2. (4 v) – A secção de trabalho de um túnel de vento é quadrada, com 1 m de lado, e tem de comprimento 2 m. Uma contração precedendo a secção de trabalho permite que, à entrada desta, a espessura da camada limite seja desprezável.

Pretende-se ensaiar aí o efeito do escoamento sobre corpos, para velocidades entre os 2 e os 20 m/s (propriedades do ar: $\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$; $\mu=1,8 \times 10^{-5} \text{ Pa.s}$).

a) Faça uma estimativa da percentagem da secção que, a meio do seu comprimento, poderá ser utilizada para os ensaios, sabendo-se que se pretende um perfil transversal de velocidades tão plano quanto possível.

b) Um dos corpos ensaiados é um perfil alar com 980 mm de envergadura e 245 mm de corda. A balança aerodinâmica que mede a sustentação e o arrasto detetou, para uma velocidade de ensaio de 15 m/s, uma solitação vertical de 30 N e um arrasto de 3 N. Qual o valor aproximado do $C_{D\infty}$ do perfil?

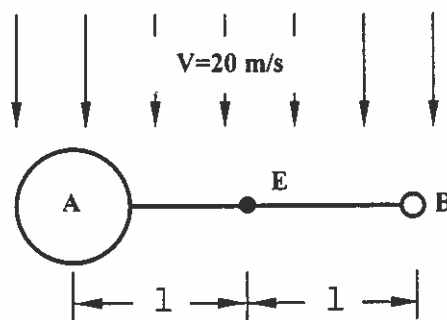
3. (4 v) – Uma corrente de ar ($\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$; $\mu=1,8 \times 10^{-5} \text{ kg/m/s}$) incide sobre um dispositivo constituído por duas esferas lisas, de 375 mm e 75 mm de diâmetro, ligadas por um tirante, o qual pode rodar em torno de um eixo vertical.

a) Se o mecanismo de travagem for subitamente desativado, em que sentido rodará o dispositivo? Exponha claramente os cálculos em que baseou a sua resposta.

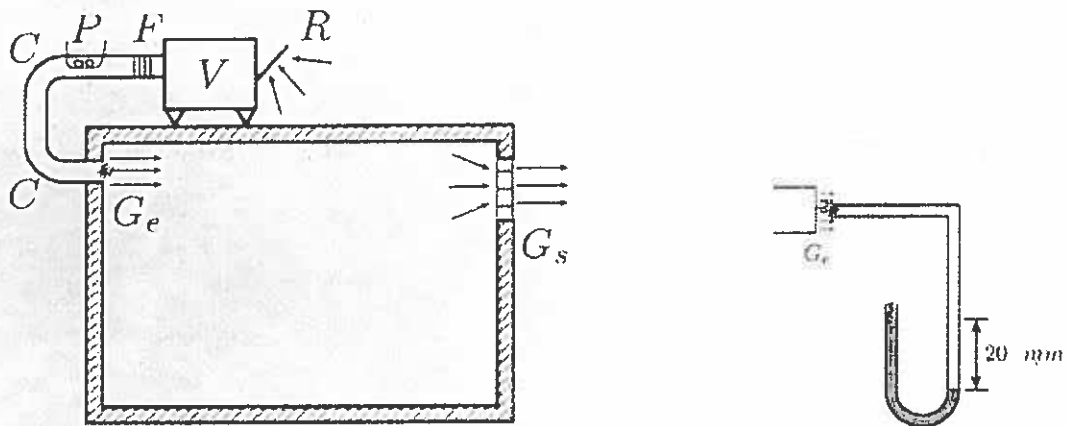
b) No caso de as esferas terem um acabamento superficial rugoso a resposta à questão anterior poderia ser diferente?

Comente os fenómenos que estão em causa, distinguindo as respetivas contribuições para a solitação a que cada esfera está sujeita.

[Admita a transição laminar-turbulento do escoamento em torno de uma esfera lisa para $Re=3 \times 10^5$, $C_{Dlaminar}=0,47$ e $C_{Dturbulento}=0,2$]



1. (6 v) – Uma sala de montagem de componentes eletrónicos é mantida com uma sobrepressão de 1000 Pa relativamente ao exterior por intermédio de um sistema de ventilação devidamente regulado.



A conduta, de secção circular, é de chapa galvanizada ($\epsilon=0,15$ mm) e tem um comprimento total de 15 m.

A velocidade de insuflação do ar ($\rho=1,2$ kg/m³, $\nu=1,51 \times 10^{-5}$ m²/s) na sala é avaliada com o dispositivo mostrado na figura, constituído por uma sonda e um manómetro de mercúrio ($d=13,6$).

- Qual a velocidade do ar à saída da grelha G_e na situação representada?
- Qual o diâmetro mínimo que deverá ter a conduta para que, com o ventilador disponível, seja possível circular 15900 m³/h de ar, garantindo a sobrepressão pretendida?
Que potência absorverá o motor do ventilador se o rendimento do conjunto for de 75%?
- Sendo a secção de passagem do ar na grelha G_s 0,5 m², qual deverá ser o coeficiente de perda de carga localizada, K_{G_s} , da grelha, para que se obtenham as condições pretendidas (15900 m³/h; $\Delta p=1000$ Pa)?

Caraterística do ventilador

$$\Delta h_v = 10,565 \times \dot{V}^2 \quad [\text{mm c.a.}]; \text{ m}^3/\text{s}$$

Perda de carga no filtro

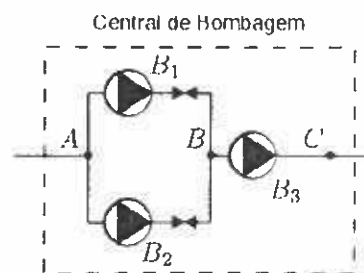
$$\Delta h_f = 2,562 \times \dot{V}^2 \quad [\text{mm c.a.}]; \text{ m}^3/\text{s}$$

Caraterísticas de perda de carga localizada

$$R \text{ (Rede)} K_R=0,4 \quad | \quad P \text{ (Permutador)} K_P=3,0 \quad | \quad G_s \text{ (Grelha entrada)} K_{G_s}=0,6 \quad | \quad C \text{ (Curva)} K_C=0,2$$

2 (5 v) – Considere a associação de bombas representada, cujas características constam da tabela. Admita uma montagem tal que o caudal se divide em partes iguais pelos ramos das bombas B1 e B2.

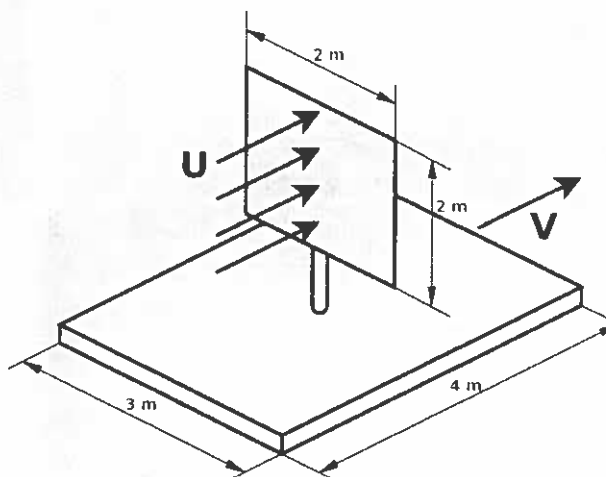
	Altura manométrica	NPSH
B1	$H=10-0,5 \times \dot{V}^2$	$NPSH=1,0+0,05 \times \dot{V}^2$
B2	$H=10-0,4 \times \dot{V}^2$	$NPSH=1,3+0,05 \times \dot{V}^2$
B3	$H=5-0,1 \times \dot{V}^2$	$NPSH=2,0+0,03 \times \dot{V}^2$



- Qual a característica global de altura manométrica desta central, em função do caudal total em circulação? Represente também graficamente essa característica.
- Qual a característica de NPSH da associação? No sentido de minimizar o risco de cavitação, a bomba B3 deveria ser colocada na posição indicada ou antes das outras bombas?

3 (5 v) – Considere a jangada representada, que se desloca sobre a água, com uma velocidade V , quando sujeita a um vento de velocidade $U=20$ km/h.

- Determine a velocidade V nas condições referidas.
- A fim de aumentar a velocidade da jangada, instalou-se um motor a gasolina, que funcionará em conjunto com a vela. Qual a potência necessária para que a jangada se desloque com velocidade $V=25$ km/h, mantendo-se as condições de vento?



Propriedades do ar

$\rho=1,2$ kg/m³; $\nu=1,5 \times 10^{-5}$ m²/s

Propriedades da água

$\rho=1000$ kg/m³; $\nu=10^{-6}$ m²/s.

4 (4 v) Numa aeronave voando a 10 km de altitude ($p_{atm}=26,5$ kPa, $T_{atm}=223,1$ K) uma sonda mede uma pressão de estagnação de 65 kPa.

- Determine qual a velocidade da aeronave, qual o número de Mach, e faça uma estimativa da temperatura a que pode estar a superfície da aeronave.
- Voando a 2000 m de altitude com $Ma=1,1$ a aeronave foi avistada por um pastor. Qual a distância por ela percorrida entre o momento em que sobrevoa o pastor e o instante em que este se apercebe do som produzido à sua passagem?

1. (8 v) – Numa instalação de ensaio de perdas de carga em tubagens escoa-se água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$, $\mu=10^{-3} \text{ kg/(m.s)}$, $p_{\text{sat}}=2337 \text{ Pa}$), por gravidade, entre dois reservatórios, através de uma conduta de aço ($\varepsilon=0,046 \text{ mm}$) com 50 mm de diâmetro, na qual os tubos a ensaiar (T) são intercalados. A água retorna ao reservatório superior através de um tubo liso.

Os ensaios cobrem uma gama de caudais de 2 l/s a 10 l/s.

a) Para um caudal de 7,85 l/s foi medida entre a entrada e a saída de um dos tubos ensaiados uma diferença de pressão $p_e - p_s = -10,97 \text{ kPa}$.

Qual o valor da perda de carga e qual a rugosidade do tubo em causa?

b) O caudal é medido com recurso à placa-orifício (PO) e a um manómetro diferencial.

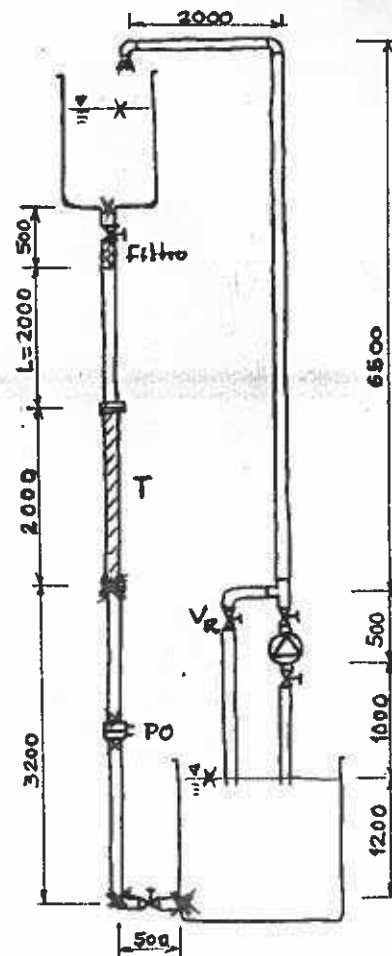
Qual a gama de diferenças de pressão (Δp) que o manómetro deverá cobrir, atendendo à gama de caudais pretendida?

Se decidisse substituir a placa-orifício por um rotâmetro, montá-lo-ia na mesma posição? Porquê?

c) Se a bomba instalada tiver uma potência de 1600 W e um rendimento de 85 %, qual o diâmetro que deverá ter a conduta em que está inserida para que circule o caudal máximo pretendido, 10 l/s? (Considere a válvula V_R fechada).

d) Foi instalada uma bomba com uma potência um pouco superior à necessária para realizar o ensaio referido em c). Para manter o desnível pretendido pode-se atuar na válvula V_R , abrindo-a parcialmente.

Formule a resolução do problema, esquematizando a sequência de operações/cálculos necessários para a determinação do coeficiente de perda de carga localizada dessa válvula, K , que permitiria garantir a condição pretendida.



Coefficientes de perda de carga localizada (K)

Válvulas abertas: 0,35 | Joelhos: 0,39 | PO: 1,38 | Entrada: 0,5 | T_{linha} : 0,9 | T_{ramal} : 1,2

Placa-orifício

$\beta=0,6$ | $C_d=0,5959+91,71 \beta^{2,5} Re_D^{-0,75}$

Filtro

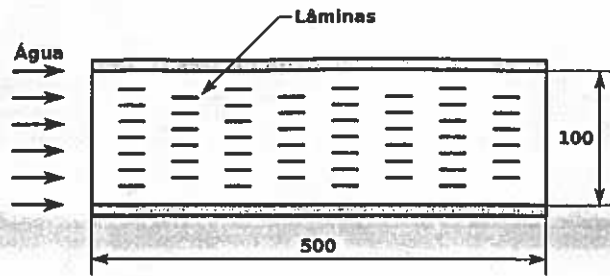
$H=30000 \times Q^2$

Atmosférica

10^5 Pa

2 (6 v) – Um sistema para aquecimento de água é composto por um conjunto de lâminas aquecidas, com dimensões 250 mm × 20 mm, montadas a toda a largura de uma conduta de aço ($\epsilon=0,046$ mm) de dimensões 250 mm × 100 mm × 500 mm. Pretende-se aquecer 4 m³/min de água e os requisitos do projeto impõem uma perda de carga máxima para o conjunto de 800 Pa.

- a) Qual o valor da força a que ficará sujeita cada lâmina?
 b) Determine o número máximo de lâminas que é possível montar cumprindo os requisitos do projeto.



- c) Não se conseguindo assegurar a transferência de calor pretendida sem ultrapassar a perda de carga máxima admissível, que solução recomendaria para que a perda de carga seja a menor possível: (i) usar mais lâminas com a mesma largura de 20 mm ou (ii) usar o mesmo número de lâminas com uma largura maior? Considere em ambas as alternativas a mesma área total de lâminas.

Propriedades da água: $\rho=1000$ kg/m³; $\mu=0.001$ Pa.s (despreze variações com a temperatura)

$$\frac{z}{4 \cdot \mu} = \frac{1}{4 \cdot \mu} \cdot \frac{1}{h} \cdot \frac{1}{h}$$

$$\frac{6z}{z^2 \cdot N} = \frac{0}{7} \cdot \frac{1}{1} = \frac{1}{N}$$

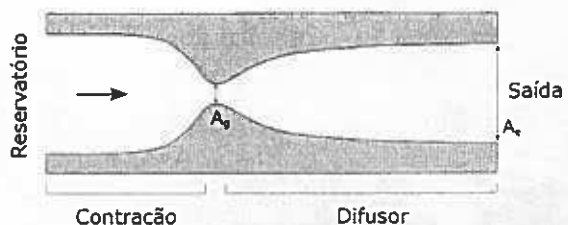
3 (3 v) – Um automóvel cujo motor tem a potência de 110 kW pesa 1200 kg, tem um coeficiente de arrasto $C_D=0,25$ e uma área frontal de 2 m². A resistência ao rolamento pode ser representada por um coeficiente de atrito de 0,064.

Para aumentar a estabilidade em curva pode ser-lhe colocado um *aileron* com a forma de uma asa invertida com uma envergadura de 1,4 m e uma corda de 0,3 m.

- a) Calcule a velocidade máxima que o automóvel pode atingir em terreno plano, sem o apêndice aerodinâmico montado.
 b) Se o apêndice aerodinâmico for montado numa posição em que os coeficientes de sustentação e de arrasto são $C_L=0,8$ e $C_D=0,01$, qual a potência adicional que o motor necessitaria para que o automóvel atinja 230 km/h?

Propriedades do ar: $\rho=1,2$ kg/m³; $\nu=1,5 \times 10^{-5}$ m²/s

4 (3 v) – Ar ($k=1,4$; $R=287$ J.kg⁻¹.K⁻¹) escoar-se de um reservatório por uma tubeira, sendo libertado para condições ambientes de pressão de 101,325 kPa. A secção é retangular, com uma largura de 100 mm (normal ao plano da figura) e a altura à saída é de 135 mm. Assuma o escoamento na tubeira como isentrópico.



- a) Calcule a área da garganta por forma a que o escoamento seja supersônico na secção de saída, com $Ma=2$.
 b) A que pressão e temperatura deverá estar o ar no reservatório para que o caudal na saída seja de 11,5 kg.s⁻¹.

1 (10 v) – A instalação laboratorial da figura é abastecida através da tubagem "C" com água ($\mu=0,001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$; $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$) que depois se escoam, por gravidade, através do tubo "A" ($L_A= 1,5 \text{ m}$) e, eventualmente, do "B". Atuando na válvula é possível produzir no tubo "A" escoamentos com características muito diversas que se pretendem estudar. Todas as tubagens são lisas ($\epsilon=0$).

a) Para um número de Reynolds de 1000, qual a distância da entrada da tubagem "A" a partir da qual se pode considerar o perfil de velocidades desenvolvido?

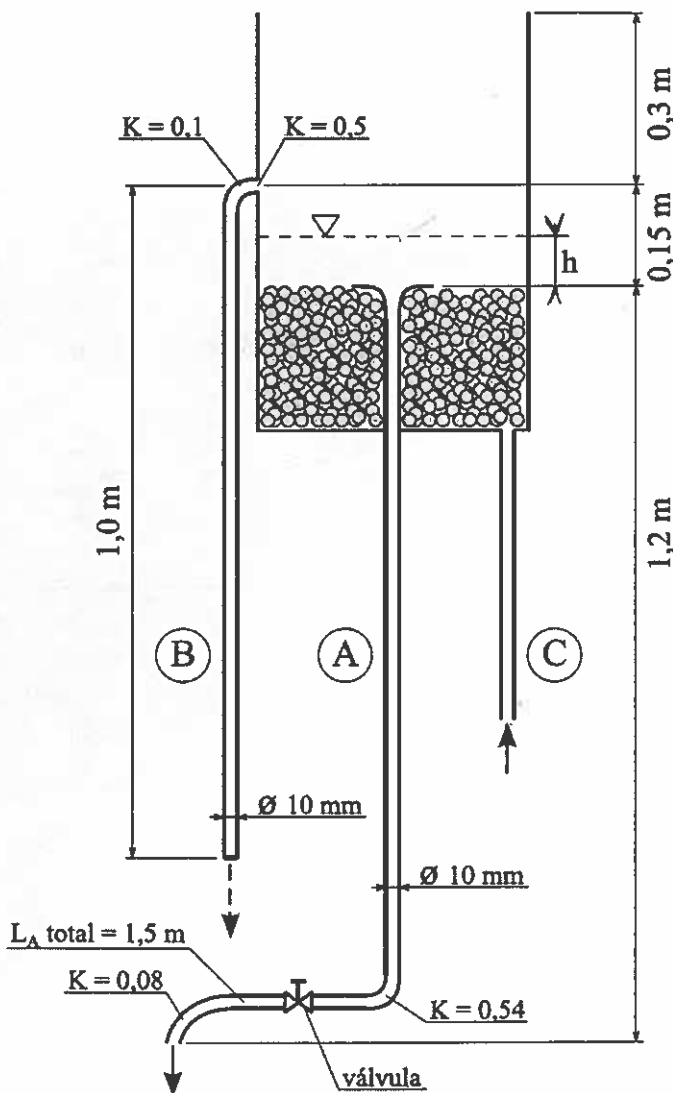
b) Para obter na tubagem "A" uma velocidade (V_A) de $0,1 \text{ m/s}$ é necessário atuar na válvula, fechando-a, de forma a que o respetivo coeficiente de perda de carga seja de 2440.

A que altura h ficará a superfície livre da água nessas condições?

(Ignore eventuais aspetos relacionados com o incompleto desenvolvimento do escoamento)

c) Estando a válvula completamente fechada, qual o caudal máximo que é possível fazer circular na instalação, entre "C" e "B", sem que a água transborde?

d) Admita que a solução de c) é um caudal de 700 l/h . Faça uma estimativa da velocidade no eixo da tubagem nessas condições.



1. (9 v) – Considere a instalação de filtragem de água representada esquematicamente na figura. A tubagem tem 25 mm de diâmetro e uma rugosidade característica de 0,05 mm. Considere os seguintes coeficientes de perda localizada: $K_{\text{joelho}}=0,6$; $K_{\text{entrada}}=0,5$; $K_{\text{válvula}}=2$; $K_{\text{filtro}}=4$. Despreze as perdas de carga em linha no troço horizontal onde está montada a bomba.

Propriedades da água: $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$; $\mu=10^{-3} \text{ Pa.s}$; $p_{\text{sat}}=2300 \text{ Pa}$ | $p_{\text{atm}}=10^5 \text{ Pa}$

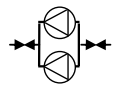
a) Calcule a potência do motor de accionamento da bomba para circular um caudal de 120 l/min, se o rendimento do conjunto for de 65%.

b) Para o mesmo valor do caudal calcule a pressão à entrada da bomba (ponto A) e comente a possibilidade de a mesma entrar em cavitação.

c) Ainda para o mesmo caudal faça uma estimativa da velocidade do escoamento no eixo da conduta a meio do troço vertical que integra o filtro.

d) Admita que a curva de altura manométrica da bomba era convenientemente traduzida pela expressão $H_B=30-7,65 \times 10^5 \times V^2 \text{ (SI)}$.

Para aumentar o caudal em circulação decidiu-se instalar, em paralelo com a existente, uma segunda bomba igual. Desprezando as perdas de carga localizadas nos acessórios necessários para esta nova montagem, estime qual o caudal que passará a circular na instalação.

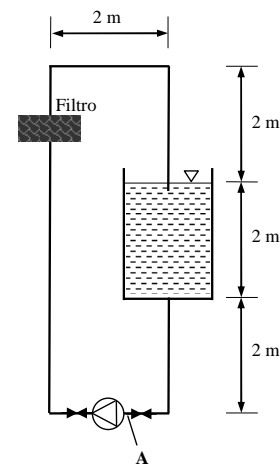


e) Diga que dispositivos poderiam ser utilizados para efectuar a monitorização do caudal numa instalação deste tipo, descrevendo sucintamente o princípio de funcionamento de cada um e o local conveniente para a sua colocação.

No caso de pretender fazer essa monitorização em permanência, diga que tipo de dispositivo de medição utilizaria e porquê.

2 (3 v) – Pretende-se dimensionar uma conduta para circulação de um caudal de 1440 m³/h de ar ($\rho_{\text{ar}}=1,2 \text{ kg/m}^3$; $\nu_{\text{ar}}=1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$), num material cuja rugosidade é de 0,015 mm, sendo necessário decidir entre a secção circular e a quadrada.

Pretendendo-se que a perda de carga não ultrapasse 1,2 mm de H₂O por metro de conduta, calcule o diâmetro que deverá ter a conduta de secção circular e o lado da de



secção quadrada.

3 (5 v) – O *steven-móvel* (Eco-Inegi) representado na figura tem 0,75 m² de área frontal e dispõe de um pequeno motor de 4 kW, estimando-se que o rendimento global da transmissão seja de 80%. A massa total é de 140 kg, incluindo o condutor. Admite-se que para as velocidades em causa neste problema a força de atrito de rolamento, F_r , pode ser dada pela expressão $F_r/V=0,8 \text{ [N.s/m]}$.



a) Sabendo-se que a velocidade máxima atingida é de 90 km/h, determine o coeficiente de arrasto aerodinâmico do veículo.

b) Para um coeficiente de arrasto de 0,35, determine a velocidade máxima com que o veículo sobe uma rampa de 3° de inclinação quando o vento ($\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$; $\mu=1,8 \times 10^{-5} \text{ Pa.s}$) sopra a favor, com a velocidade de 36 km/h.

c) Fale das diferentes contribuições para o arrasto aerodinâmico verificado sobre um corpo deste tipo, da sua magnitude relativa e de como, eventualmente, podem variar com a velocidade de deslocamento.

4. (3 v) – A partir de um reservatório contendo ar ($\gamma=1,4$; $R=287 \text{ J/kg/K}$) a uma pressão de 200 kPa e uma temperatura de 500 K pretende-se produzir um escoamento supersónico numa conduta de secção circular.

a) Diga qual a forma que deverá ter essa conduta e explique resumidamente as transformações porque passa o escoamento até atingir a condição desejada.

b) Se pretendermos assim expandir um caudal de 3 kg/s até um número de Mach de 2,5, admitindo que o processo é adiabático e isentrópico, qual deverá ser o diâmetro da conduta na saída?

1. (10 v) – A instalação representada na figura destina-se à medição de coeficientes de perda de carga em acessórios, montados entre os pontos C e D, e a rugosidade de tubagens, intercalando troços de 1 m de comprimento e 50 mm de diâmetro entre os pontos E e F. O fluido de trabalho é água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$; $\mu=10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$).

A parte fixa da instalação, com um comprimento total de 10 m, é constituída por tubagens também de 50 mm de diâmetro e rugosidade $\epsilon=0,0015 \text{ mm}$. A válvula V, instalada no *by-pass*, permite efectuar a regulação do caudal na instalação.

Coefficientes de perda de carga localizada: entrada da conduta, $K_e=0,5$; “tês” em linha, $K_l=0,9$; “tês” em derivação, $K_d=1,4$; curvas, $K_c=0,95$.

a) Calcule o coeficiente de perda de carga do acessório P se o desnível h verificado no manómetro de mercúrio ($d=13,6$) for de 525 mm, quando circula na conduta principal um caudal de $36 \text{ m}^3/\text{h}$.

b) Se, ainda para um caudal de $36 \text{ m}^3/\text{h}$, a diferença entre as pressões nos pontos E e F for de 17700 Pa, qual a rugosidade característica do tubo ensaiado?

c) Em determinadas circunstâncias, $K_p=5$ e rugosidade do tubo em ensaio $\epsilon=0,25 \text{ mm}$, a bomba debita um caudal de $72 \text{ m}^3/\text{h}$.

Qual deverá ser a perda de carga localizada introduzida pela válvula V para que o caudal se divida equitativamente pelo *by-pass* e pela conduta principal?

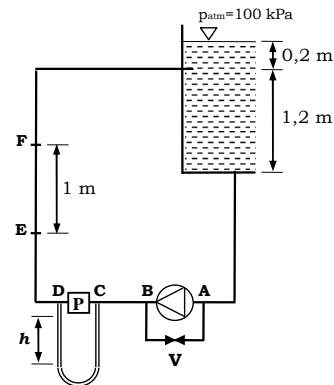
d) Comente a afirmação seguinte, justificando devidamente:

o desnível verificado no manómetro é proporcional ao caudal em circulação, uma vez que o coeficiente de perda de carga é independente do regime de escoamento.

e) Para medir o caudal de água em circulação, pensou-se em intercalar no troço horizontal superior uma placa orifício com um $\beta=0,7$ e um coeficiente de descarga dado pela expressão:

$$C_d=0,5959+91,71 \beta^{2,5} Re_D^{-0,75}$$

Sabendo que a queda de pressão efectiva que este dispositivo introduz no escoamento é de metade da diferença de pressões gerada, calcule o acréscimo em potência de



bombagem que seria necessário prever para a sua operação, ainda para o caudal de $36 \text{ m}^3/\text{h}$.

2 (2 v) – No cálculo dos escoamentos em condutas de secção não circular, fazemos algumas suposições e, no essencial, adoptamos uma abordagem decalcada da utilizada no estudo dos escoamentos em condutas de secção circular, à qual são acrescentados alguns passos, no sentido de melhorar a precisão do cálculo.

Explique os traços mais importantes dessa abordagem e os aspectos principais em que os dois escoamentos diferem.

[Refira-se a temas como o regime de escoamento, o coeficiente de fricção de Darcy, os diâmetros hidráulico e efectivo, etc.]

3 (5 v) – A secção de trabalho de um túnel de vento, precedida de uma contracção através da qual o ar do laboratório é aspirado, é quadrada, com 1 m de lado, e tem de comprimento 2 m. Pretende-se ensaiar aí o efeito do escoamento sobre corpos, para velocidades entre os 2 e os 20 m/s.

Propriedades do ar: $\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$; $\mu=1,8 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

a) Faça uma estimativa da percentagem da secção que, a meio do seu comprimento, poderá ser utilizada para os ensaios, sabendo-se que se pretende um perfil de velocidades tão plano quanto possível.

b) Um dos corpos ensaiados é um perfil alar, com 980 mm de envergadura e 245 mm de corda. A balança aerodinâmica que mede a sustentação e o arrasto detectou, para uma velocidade de ensaio de 15 m/s, uma solicitação vertical de 30 N e um arrasto de 3 N. Qual o valor aproximado do C_{Dx} do perfil?

c) Por que razão alguns aviões, e também certos modelos de aerogerador, têm as extremidades das asas (pás, no caso dos aerogeradores), como que dobradas, fazendo um ângulo acentuado com o plano do resto da asa? Descreva o fenómeno que, dessa forma, se pretende minimizar.

4. (3 v) – Um avião voando a $Ma=1,8$ a uma altitude de 1000 m sobrevoa um ponto de referência onde o som emitido pelo aparelho é registado. Considere que a temperatura do ar é homogénea no espaço em causa e igual a $5 \text{ }^\circ\text{C}$.

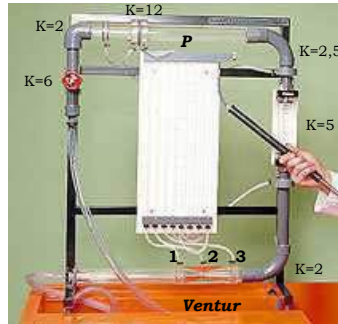
Propriedades do ar: $\gamma=1,4$; $R=287 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$

a) Calcule a distância percorrida pelo avião desde que passa pelo ponto em questão até que o som por si emitido é aí detectado.

b) Para responder à alínea anterior teve que calcular a velocidade do som no ar. Explique sumariamente o processo da propagação do som e diga por que razão a velocidade respectiva seria substancialmente maior se o meio em causa fosse a água em vez do ar.

1. (9 v) – Considere a instalação de demonstração de medidores de caudal representada na figura, funcionando em regime permanente com um caudal de água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$; $\mu=10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$) de 20 l/min.

A água circula na instalação em circuito fechado, por acção de uma bomba, sendo a alimentação proveniente de um reservatório à pressão atmosférica (10^5 Pa) situado na base do banco hidráulico.



Tubagem:
 $D=30 \text{ mm}$
 $L=6 \text{ m}$
 $\epsilon=0,05 \text{ mm}$
 $K_{\text{entrada}}=1,5$

Venturi:
 $\beta=0,50$
 1- entrada
 2- garganta
 3- saída

a) Sabendo-se que as alturas atingidas pela água nos tubos manométricos são $h_1=395 \text{ mm}$, $h_2=185 \text{ mm}$ e $h_3=328 \text{ mm}$, determine os coeficientes de descarga e de perda de carga localizada do tubo de Venturi.

b) Faça uma estimativa da velocidade do escoamento no eixo da conduta no ponto P.

c) Se a curva característica da bomba puder ser aproximada pela expressão $h_b = 12 - 8000 \times \dot{V}$ (unidades S.I.), determine o caudal em circulação. Despreze, para efeitos deste cálculo, a perda de carga no Venturi.

d) Como procederia para verificar a eventual ocorrência de cavitação nesta instalação? Que informação adicional necessitaria? Qual o melhor local para montar a bomba, para evitar a ocorrência de cavitação? Justifique convenientemente as suas respostas.

2. (3 v) – Um grande reservatório contém ar comprimido ($\gamma=1,4$; $R=287 \text{ J/kg/K}$) à temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Calcule o caudal que se escapa para atmosfera ($p_{\text{atm}}=100 \text{ kPa}$; $T=20 \text{ }^\circ\text{C}$) por uma fenda de 10 cm^2 de área nas situações (a) $p_{\text{reserv.}}=150 \text{ bar}$ e (b) $p_{\text{reserv.}}=200 \text{ bar}$, assumindo o escoamento aproximadamente isentrópico.

Justifique os passos do cálculo e comente os resultados obtidos.

3. (5 v) – Uma esfera lisa ($Re_{\text{trans}}=5 \times 10^5$), de madeira ($d=0,9$), com 15 cm de diâmetro e suspensa por um fio, está sujeita à acção de um escoamento ($\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$; $\mu=1,8 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$) conforme mostra a figura.

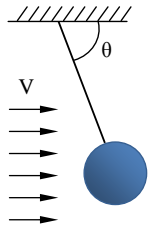
a) Encontre uma expressão, o mais simplificada possível, relacionando o ângulo θ com a velocidade do escoamento, V , que seja válida na gama $5 < V < 50 \text{ m/s}$.

b) Calcule a tensão no fio para uma velocidade de escoamento de 10 m/s .

Caso a esfera tivesse um acabamento superficial rugoso o valor encontrado seria muito diferente? Justifique convenientemente a sua resposta.

c) Na ausência de escoamento, e se o fio se partisse, qual a velocidade terminal que a esfera atingiria?

Faça uma descrição sucinta das fases por que passa o movimento em causa (queda), particularizando as características do escoamento em torno da esfera.

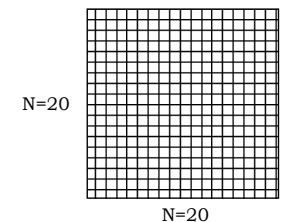
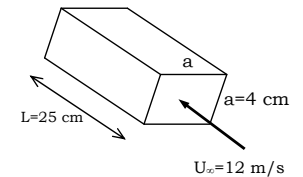


4. (3 v) – As câmaras de tranquilização dos túneis aerodinâmicos têm no seu interior estruturas cujo objectivo é a eliminação de componentes indesejáveis da velocidade. Essas estruturas, do tipo “favo de abelha”, podem ser constituídas por células de secção quadrangular ($a \times a$) e comprimento L , em arranjos semelhantes ao mostrado na figura.

Assumindo tratar-se de um escoamento laminar, do tipo camada limite sobre placa plana, e uma velocidade de aproximação de 12 m/s ($\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$; $\nu=1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$), calcule:

a) A resistência aerodinâmica produzida por cada favo, formado por um total de $N \times N$ células.

b) A queda de pressão produzida no escoamento ao atravessar uma destas estruturas.



1. (11 v) – Numa instalação de ensaio de perdas de carga em tubagens escoar-se água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$, $\mu=10^{-3} \text{ kg/(m.s)}$, $p_{\text{sat}}=2337 \text{ Pa}$), por gravidade, entre dois reservatórios, através de uma conduta de aço ($\epsilon=0,046 \text{ mm}$) com 50 mm de diâmetro, na qual os tubos a ensaiar (T) são intercalados. A água retorna ao reservatório superior através de um tubo liso, também de 50 mm de diâmetro. Os ensaios cobrem uma gama de caudais de 2 L/s a 10 L/s.

a) Qual o comprimento mínimo que poderia ter o troço L, sem comprometer as condições necessárias para a realização dos ensaios no tubo T?

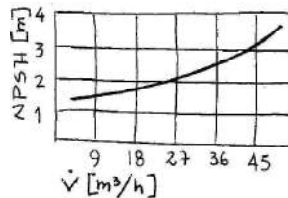
b) Para um caudal de 7,85 L/s foi medida entre a entrada e a saída de um dos tubos ensaiados uma diferença de pressão $p_e - p_s = -10,97 \text{ kPa}$. Qual o valor da perda de carga e qual a rugosidade do tubo em causa?

c) O caudal em circulação é medido com recurso à placa-orifício (PO) e a um manómetro diferencial.

Qual a gama de diferenças de pressão (Δp) que o manómetro deverá cobrir, atendendo à gama de caudais pretendida?

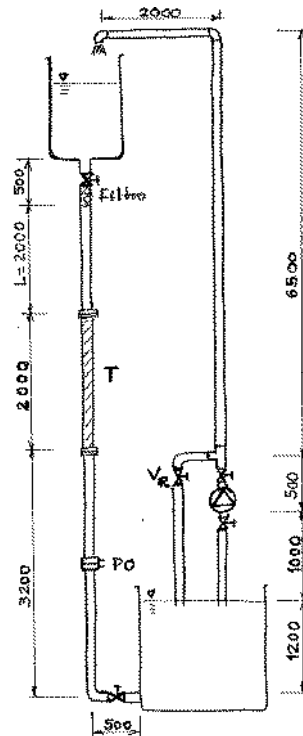
Caso se decidisse substituir a placa-orifício por um rotâmetro, manteria para o medidor a mesma localização? Porquê?

d) Sendo a curva de NPSH da bomba a indicada na figura, verifique a possibilidade de



ocorrerem na instalação problemas de cavitação.

e) Admitindo todas as válvulas abertas, à excepção de V_R que é mantida fechada, e numa situação em que o tubo a ensaiar é também de aço ($\epsilon=0,046 \text{ mm}$), calcule o caudal escoado por gravidade se for mantido um desnível constante de 7,7 m entre a superfície livre nos dois reservatórios. Qual a potência que a bomba deverá transferir para o fluido nestas condições?



f) Foi instalada uma bomba com uma potência de 1250 W, um pouco superior à necessária para realizar o ensaio referido em e). Para manter o desnível pretendido, 7,7 m, pode-se actuar na válvula V_R , abrindo-a parcialmente.

Formule a resolução do problema, esquematizando a sequência de operações/cálculos necessários para a determinação do coeficiente de perda de carga localizada dessa válvula, K , que permitiria garantir a condição pretendida.

Coefficientes de perda de carga localizada (K)

Válvulas: 0,35 | Joelhos: 0,39 | PO: 0,7 | Entrada: 0,5 | T_{linha} : 0,9 | T_{ramal} : 1,2

Placa-orifício

Filtro

Atmosférica

$\beta=0,8$ | $C_d=0,5959+91,71 \beta^{2,5} Re_D^{-0,75}$ | $H=30000 \times \dot{V}^2$

10^5 Pa

2. (6 v) – Alguns automóveis de competição usam “asas” para produzir uma força descendente e aumentar a aderência à pista, o que lhes permite curvar com velocidades mais elevadas.

a) Qual o coeficiente de sustentação da “asa” traseira, sabendo que ela produz uma força descendente de 17 kN a 220 km/h e que tem uma área de 0.8 m². Considere que a massa específica do ar é 1,2 kg/m³.

b) Para vencer a força de arrasto da mesma “asa” traseira em linha recta, a 300 km/h, é necessário dispendir 450 kW. Uma das equipas descobriu um sistema que, nessa situação, permite reduzir o coeficiente de arrasto em 10%.

Estime qual a velocidade que os carros dessa equipa conseguirão atingir, dependendo a mesma potência.

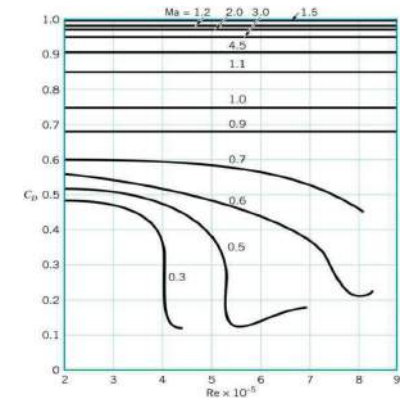
c) Comente a seguinte afirmação: “As asas dos aviões produzem uma força de arrasto apenas devido à viscosidade do ar. Se o ar fosse um fluido invíscido, as asas produziriam somente sustentação e nenhum arrasto.”

3. (3 v) - Um projectil de forma esférica e 2 cm de diâmetro é disparado atingindo uma velocidade de 240 m.s⁻¹.

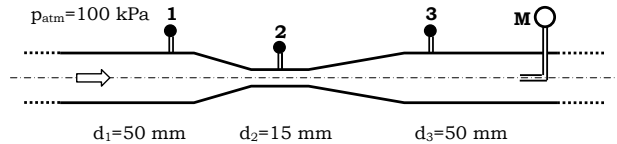
a) Admitindo que pretende simular estas condições em laboratório (escala 1:1), qual a força de arrasto que seria medida?

b) Como poderia realizar ensaios a vários números de Mach, mantendo o número de Reynolds constante? Caso assumira alguma simplificação, designadamente quanto à variação das propriedades do ar, explicita-a claramente.

$\rho_{\text{ar}}=1,225 \text{ kg/m}^3$ | $\mu_{\text{ar}}=1,789 \times 10^{-5} \text{ kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ | $R_{\text{ar}}=286,9 \text{ J/(kg.K)}$ | $\gamma=1,4$



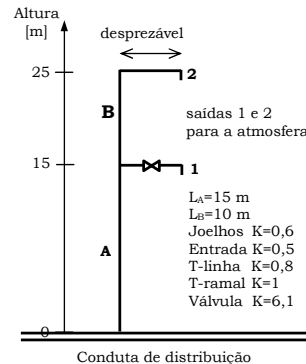
1. (5 v) – A figura representa parte de uma instalação laboratorial que inclui um tubo de Venturi, três tomadas de pressão (1, 2 e 3) e um outro tubo ligado a um manómetro, M. O fluido de trabalho é a água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$; $\nu=10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$).



Para um caudal de $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$, registaram-se as seguintes pressões relativas: $p_1=18,0 \text{ kPa}$, $p_2=13,5 \text{ kPa}$ e $p_3=17,0 \text{ kPa}$

- Determine os coeficientes de descarga e de perda de carga do tubo de Venturi.
 - Determine a pressão relativa indicada pelo manómetro M, admitindo que na secção em causa o escoamento está totalmente desenvolvido e que é desprezável a perda de carga entre as secções 3 e M.
 - Se o sentido do escoamento for invertido, o que espera quanto às eventuais alterações dos coeficientes obtidos na alínea a)? Justifique.
2. (6 v) – Considere a instalação de alimentação de água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$; $\nu=10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; $p_{\text{sat}}=2300 \text{ Pa}$) representada na figura, funcionando em regime permanente. Todos os troços têm 50 mm de diâmetro e $0,05 \text{ mm}$ de rugosidade. A conduta de distribuição é de grande diâmetro.

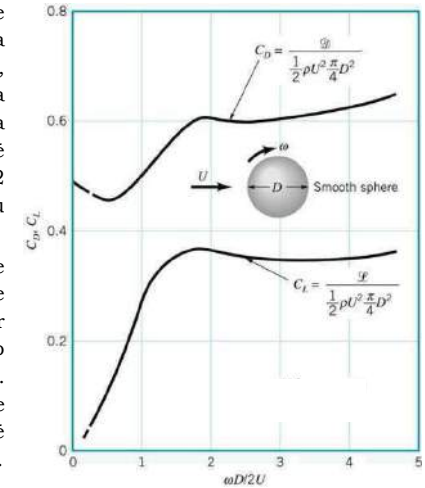
- Calcule a pressão estática (relativa) na conduta de distribuição para que, com a válvula fechada, o caudal de alimentação do consumidor 2 seja de $18 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Para uma pressão relativa de 360 kPa na conduta de distribuição, determine os caudais nas saídas 1 e 2.
Para a resolução desta alínea, considere $f=0,02$ em todos os troços.
- Faça uma estimativa da força tangencial de interacção do fluido com a parede da tubagem no troço A, para o caudal usado na alínea a), $18 \text{ m}^3/\text{h}$. Identifique e justifique as hipóteses simplificativas que usar.



3. (6 v) – A "Jabulani" foi a bola desenvolvida para o último Campeonato do Mundo de Futebol. Várias pessoas se manifestaram contra a sua utilização, afirmando que, após ser chutada, "seguiu uma trajectória imprevisível". A bola tem um diâmetro de 22 cm e uma massa de 440 g . Para efeitos do estudo das forças a que está sujeita durante o seu movimento pelo ar, admita tratar-se de uma esfera lisa.

$$\rho_{\text{ar}}=1,2 \text{ kg/m}^3 \quad \mu_{\text{ar}}=1,8 \times 10^{-5} \text{ kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$$

- d) Considerando o gráfico ao lado e admitindo que ele é válido para qualquer número de Reynolds, determine a desaceleração causada pela força de arrasto quando, na marcação de um livre, a bola é chutada a 60 km/h efectuando 12 rotações por segundo em torno do seu centro.



- e) Considere o caso em que a bola se desloca com uma velocidade de $12,5 \text{ km/h}$ e efectua 10 rotações por segundo em torno de um eixo horizontal passando pelo seu centro. Utilizando o mesmo gráfico, verifique se a força de sustentação gerada é suficiente para superar o peso da bola.
- f) Comente a seguinte afirmação, admitindo que a velocidade de rotação da bola permanece constante ao longo da sua trajectória:

"Quando um jogador de futebol marca um livre, o efeito de Magnus causa um aumento dos coeficientes de arrasto e de sustentação na parte final da trajectória da bola. Por isso, a variação de velocidade da bola (aceleração/desaceleração) causada pelas forças aerodinâmicas será maior quando a bola se aproxima do guarda-redes do que no momento em que é chutada."

4. (3 v) – Ar ($R_{\text{ar}}=286,9 \text{ J/(kg.K)}$; $\gamma=1,4$) é mantido num reservatório de grandes dimensões que descarrega para a atmosfera em condições normais de pressão e temperatura (1 bar e $15 \text{ }^\circ\text{C}$). O número de Mach à saída é de $1,8$. Considere que o processo ocorre em condições isentrópicas.
- Quais as condições de pressão e temperatura no interior do reservatório?
 - Calcule a velocidade do ar na saída do reservatório.

2.2 Recurso de 13 de Julho de 2009

1. (9 v) – Numa instalação industrial escoa-se um fluido ($\rho=900 \text{ kg/m}^3$; $\mu=10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$; $p_{\text{sat}}=9800 \text{ Pa}$), a partir de um reservatório pressurizado a $p_0 = 1,5 \text{ bar}$ (pressão relativa), conforme mostra a figura.

A tubagem tem 25 mm de diâmetro e uma rugosidade característica de 0,05 mm.

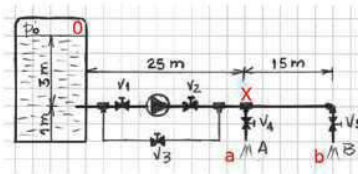
Considere os seguintes coeficientes de perda localizada:

$K_{\text{entrada}}=0,7$; $K_{\text{válvula}}=8,3$; $K_{\text{Tlinha}}=1,1$;

$K_{\text{Tramal}}=1,7$; $K_{\text{joelho}}=0,6$.

Despreze as perdas em linha em todos os troços verticais.

A válvula V3 está normalmente fechada.



- a) Calcule a potência de bombagem necessária para escoar um caudal de $7,2 \text{ m}^3/\text{h}$, igualmente dividido pelas saídas A e B, considerando para o grupo motor-bomba um rendimento de 75%.
- b) Se as válvulas V4 e V5 estiverem totalmente abertas não se verifica a divisão equitativa de caudais preconizada.
- Qual a divisão real de caudais se o caudal total for o mencionado em a)?
 - O que poderia fazer-se para garantir caudais iguais nas duas saídas? Quantifique uma das soluções.
 - Considerando a forma típica da curva característica de uma bomba centrífuga, diga se é possível manter o mesmo caudal total actuando na válvula V4 para igualar os caudais nas saídas.
- c) Qual a potência de bombagem adicional requerida para manter o mesmo caudal de a) se for intercalada na conduta, entre a bomba e a bifurcação, uma placa orifício com $\beta=0,7$, admitindo que a queda de pressão efectiva é 60% da lida? Considere $C_d = 0,5959 + 0,0312\beta^{2,1} + 91,71\beta^{2,5} \times Re_D^{-0,75}$
- e) Qual o efeito da abertura parcial da válvula V3 no caudal total que flui na instalação?
Se a válvula V4 estivesse ajustada para que os caudais em A e em B fossem iguais, a abertura de V3 altera esse equilíbrio? Justifique convenientemente a sua resposta.

2. (4 v) – O escoamento sanguíneo ($\rho=1050 \text{ kg/m}^3$; $\mu=4,0 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$) através de uma artéria de 15 mm de diâmetro apresenta um perfil de velocidades dado por $u(r) = 0,6 \times (1 - r^2/R^2)$ (unidades S.I.).

a) Determine o caudal em circulação.

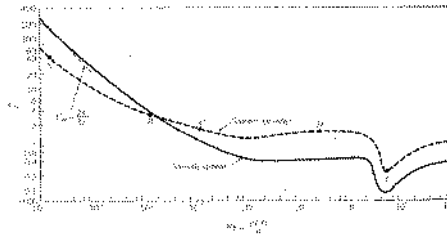
b) Admitindo regime permanente e perfil totalmente desenvolvido, e que a velocidade média é de 0,4 m/s, determine a queda de pressão sofrida pelo escoamento por unidade de comprimento.

3. (5 v) – As redes de voleibol têm 10 m de comprimento e 1,02 m de altura (dimensões exteriores). São constituídas por fios de 2 mm de diâmetro, numa malha quadrada de 10 cm de lado. Os bordos são constituídos por uma banda de tecido, cuja largura é de 7 cm no lado horizontal superior e 5 cm nos restantes três lados. A bola tem 21 cm de diâmetro e pesa 270 gramas.

a) Faça uma estimativa da força que se exerce sobre a rede se sobre ela incidir um vento de 36 km/h.

Qual a força necessária para deslocar a rede dentro de água à mesma velocidade?

Compare e comente os dois resultados que obteve.



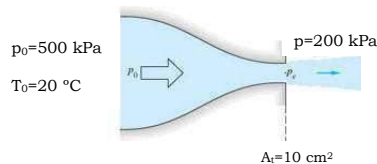
VER INFORMAÇÃO EM FOLHA ANEXA

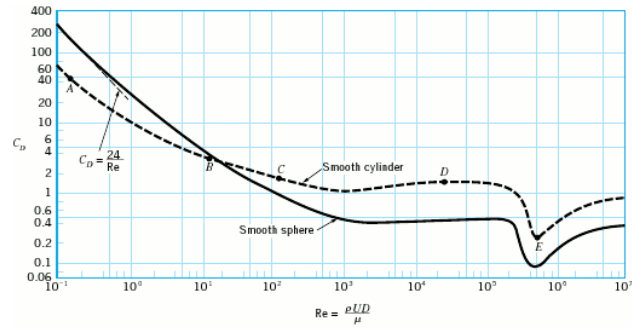
b) Explique, abstraindo-se dos efeitos da gravidade, por que razão a bola, batida com movimento de rotação, assume uma trajetória não retilínea. Diga qual o sentido da rotação que origina uma trajetória ascendente, se a força aplicada à bola no batimento for horizontal.










Propriedades do ar: $\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$; $\nu=1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

Propriedades da água: $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$; $\mu=0,001 \text{ Pa}$

4. (2 v) Determine o caudal de ar ($R=287 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, $c_p=1005 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, $\gamma=1,4$) proveniente de um reservatório a 20 °C e 500 kPa (abs), que se escoar através de uma tuberia convergente para um segundo reservatório onde a pressão é de 200 kPa (abs).





Shape	Reference area A (b = length)	Drag coefficient $C_D = \frac{1}{2} \rho U^2 A$	Reynolds number $Re = \rho U D / \mu$
 Square rod with rounded corners	$A = bD$	$\frac{R/D}{0} \quad \frac{C_D}{2.2}$ $\frac{R/D}{0.02} \quad \frac{C_D}{2.0}$ $\frac{R/D}{0.17} \quad \frac{C_D}{1.2}$ $\frac{R/D}{0.33} \quad \frac{C_D}{1.0}$	$Re = 10^2$
 Rounded equilateral triangle	$A = bD$	$\frac{R/D}{0} \quad \frac{C_D}{1.4}$ $\frac{R/D}{0.02} \quad \frac{C_D}{1.2}$ $\frac{R/D}{0.08} \quad \frac{C_D}{1.3}$ $\frac{R/D}{0.25} \quad \frac{C_D}{1.1}$	$Re = 10^2$
 Semicircular shell	$A = bD$	$\rightarrow 2.3$ $\leftarrow 1.1$	$Re = 2 \times 10^4$
 Semicircular cylinder	$A = bD$	$\rightarrow 2.15$ $\leftarrow 1.15$	$Re > 10^4$
 T-beam	$A = bD$	$\rightarrow 1.80$ $\leftarrow 1.65$	$Re > 10^4$
 I-beam	$A = bD$	2.05	$Re > 10^4$
 Angle	$A = bD$	$\rightarrow 1.98$ $\leftarrow 1.82$	$Re > 10^4$
 Hexagon	$A = bD$	1.0	$Re > 10^4$
 Rectangle	$A = bD$	$\frac{D}{\leq 0.1} \quad \frac{C_D}{1.9}$ $\frac{D}{0.5} \quad \frac{C_D}{2.5}$ $\frac{D}{0.65} \quad \frac{C_D}{2.9}$ $\frac{D}{1.0} \quad \frac{C_D}{2.2}$ $\frac{D}{2.0} \quad \frac{C_D}{1.6}$ $\frac{D}{3.0} \quad \frac{C_D}{1.3}$	$Re = 10^2$

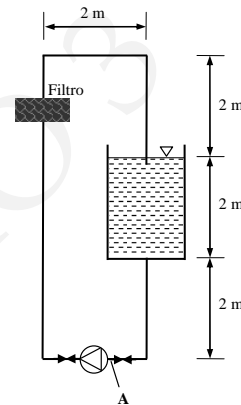
2.1 Exame de 12 de Junho de 2008

1. (9 v) - Considere a instalação de filtragem de água representada esquematicamente na figura. A tubagem tem 25 mm de diâmetro e uma rugosidade característica de 0,05 mm. Considere os seguintes coeficientes de perda localizada: $K_{\text{joelho}}=0,6$; $K_{\text{entrada}}=0,5$; $K_{\text{válvula}}=2$; $K_{\text{filtro}}=4$. Despreze as perdas de carga em linha no troço horizontal onde está montada a bomba.

Propriedades da água: $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$; $\mu=10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$; $p_{\text{sat}}=2300 \text{ Pa}$ | $p_{\text{atm}}=10^5 \text{ Pa}$

- Calcule a potência do motor de accionamento da bomba para circular um caudal de 120 l/min, se o rendimento do conjunto for de 65%.
- Para o mesmo valor do caudal calcule a pressão à entrada da bomba (ponto A) e comente a possibilidade de a mesma entrar em cavitação.
- Ainda para o mesmo caudal faça uma estimativa da velocidade do escoamento no eixo da conduta a meio do troço vertical que integra o filtro.
- Admita que a curva de altura manométrica da bomba era convenientemente traduzida pela expressão $H_B=30-7,65 \times 10^5 \times \dot{V}^2$ (SI).

Para aumentar o caudal em circulação decidiu-se instalar, em paralelo com a existente, uma segunda bomba igual. Desprezando as perdas de carga localizadas nos acessórios necessários para esta nova montagem, estime qual o caudal que passará a circular na instalação.



- Diga que dispositivos poderiam ser utilizados para efectuar a monitorização do caudal numa instalação deste tipo, descrevendo sucintamente o princípio de funcionamento de cada um e o local conveniente para a sua colocação. No caso de pretender fazer essa monitorização em permanência, diga que tipo de dispositivo de medição utilizaria e porquê.

2 (3 v) - Pretende-se dimensionar uma conduta para circulação de um caudal de 1440 m³/h de ar ($\rho_{\text{ar}}=1,2 \text{ kg/m}^3$; $\nu_{\text{ar}}=1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$), num material cuja rugosidade é de 0,015 mm, sendo necessário decidir entre a secção circular e a quadrada.

Pretendendo-se que a perda de carga não ultrapasse 1,2 mm de H₂O por metro de conduta, calcule o diâmetro que deverá ter a conduta de secção circular e o lado da secção quadrada.

3 (5 v) – O *steven-móvel* (Eco-Inegi) representado na figura tem $0,75 \text{ m}^2$ de área frontal e dispõe de um pequeno motor de 4 kW , estimando-se que o rendimento global da transmissão seja de 80% . A massa total é de 140 kg , incluindo o condutor. Admite-se que para as velocidades em causa neste problema a força de atrito de rolamento, F_r , pode ser dada pela expressão $F_r/V=0,8 \text{ [N.s/m]}$.



- a) Sabendo-se que a velocidade máxima atingida é de 90 km/h , determine o coeficiente de arrasto aerodinâmico do veículo.
- b) Para um coeficiente de arrasto de $0,35$, determine a velocidade máxima com que o veículo sobe uma rampa de 3° de inclinação quando o vento ($\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$; $\mu=1,8 \times 10^{-5} \text{ Pa.s}$) sopra a favor, com a velocidade de 36 km/h .
- c) Fale das diferentes contribuições para o arrasto aerodinâmico verificado sobre um corpo deste tipo, da sua magnitude relativa e de como, eventualmente, podem variar com a velocidade de deslocamento.

4. (3 v) – A partir de um reservatório contendo ar ($\gamma=1,4$; $R=287 \text{ J/kg/K}$) a uma pressão de 200 kPa e uma temperatura de 500 K pretende-se produzir um escoamento supersônico numa conduta de secção circular.

- a) Diga qual a forma que deverá ter essa conduta e explique resumidamente as transformações porque passa o escoamento até atingir a condição desejada.
- b) Se pretendermos assim expandir um caudal de 3 kg/s até um número de Mach de $2,5$, admitindo que o processo é adiabático e isentrópico, qual deverá ser o diâmetro da conduta na saída?

1. (11 v) – Considere a imagem e toda a informação na página 3, relativa à instalação laboratorial de ensaio de perdas de carga em tubagens, e responda às questões seguintes.

- a) Escreva a equação que lhe permite determinar o coeficiente de Darcy, f , por via exclusivamente experimental; isto é, fazendo uso dos valores medidos e conforme constam na “Ficha de Resultados”, na página 3.
- b) De acordo com a alínea a) preencha a coluna 4 das Tabelas I e II¹, para o caso dos tubos 6 e 7
- c) Determine o coeficiente de atrito f , com recurso à equação de Colebrook, e preencha a coluna 5 das Tabelas I e II, para o caso dos tubos 6 e 7.
- d) Analise os resultados obtidos nas alíneas b) e c),
d1) quanto à sua evolução com o número de Reynolds
d2) compare os resultados experimentais com os obtidos pela equação de Colebrook, e justifique eventuais diferenças entre eles.
- e) Determine o coeficiente de perda de carga localizada de cada um dos 16 joelhos no tubo 8, admitindo que a perda de carga em linha por unidade de comprimento determinada na alínea b) para o caso do tubo 6 é igual à componente de perda de carga em linha no tubo 8.
Preencha a coluna 4 da Tabela III com os valores obtidos por via experimental, e na coluna 5 o valor que teria considerado de acordo com qualquer elemento de informação na sua posse.
- f) Determine a curva característica de toda a instalação, sabendo que ela pode ser caracterizada pelos valores médios seguintes:
 $f = 0.02$, $l_{\text{equiv}} = 5 \text{ m}$ e $D = 15 \text{ mm}$,
referentes ao coeficiente de atrito, comprimento equivalente e diâmetro médio.
- g) Com a válvula 26 completamente fechada, ou seja sem qualquer caudal a circular na instalação, a pressão no manómetro 4 foi igual a 2 bar. Determine a curva característica da bomba centrífuga, para um caudal de referência de $2 \text{ m}^3/\text{h}$
- h) Determine o coeficiente de perda de carga máximo da válvula 25 para que não ocorra cavitação para o caudal de referência de $2 \text{ m}^3/\text{h}$ e uma profundidade da água no reservatório igual a 20 cm.
 $\text{NPSH}_R = 3 \text{ m}$; $K_{\text{ent}} = 0,8$; $l_{\text{asp}} = 0,5 \text{ m}$; $d_{\text{asp}} = 20 \text{ mm}$, $f = 0.02$

¹ Estas tabelas, em folha separada, devem ser preenchidas conforme resolução das alíneas deste problema e entregue juntamente com as folhas distribuídas para a resolução do exame.

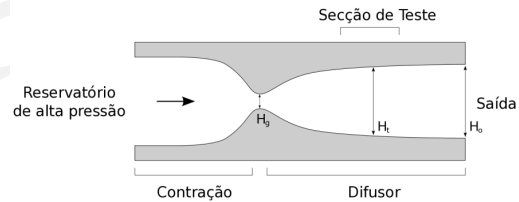
2. (6 v) A velocidade de aterragem do *Space Shuttle*, $C_{DA} = 2,5 \text{ m}^2$ e massa igual a 100000 kg, é de 346 km h^{-1} . De forma a reduzir a distância necessária para aterragem, quando atinge 340 km h^{-1} abre-se um para-quedas, $C_D = 1,5$ e 12 m de diâmetro, que a 110 km h^{-1} é libertado. A redução da velocidade até à imobilização total faz-se por meios mecânicos convencionais.

$$\rho_{\text{ar}} = 1.2 \text{ kg m}^{-3}, g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$$

- a) O procedimento de aterragem inclui uma fase, imediatamente antes de tocar no solo, em que o piloto mantém a velocidade de aterragem durante 200 m. Determine a potência dos motores e energia despendida nesta fase da aterragem.
- b) Em condições normais, qual o tempo de atuação do para-quedas?
- c) Sabendo que a imobilização total tem que ocorrer numa distância inferior a 4 600 m, o comprimento da pista de aterragem do *Kennedy Space Center*, determine o comprimento da pista disponível para imobilizar o *Shuttle*, após libertação do para-quedas.



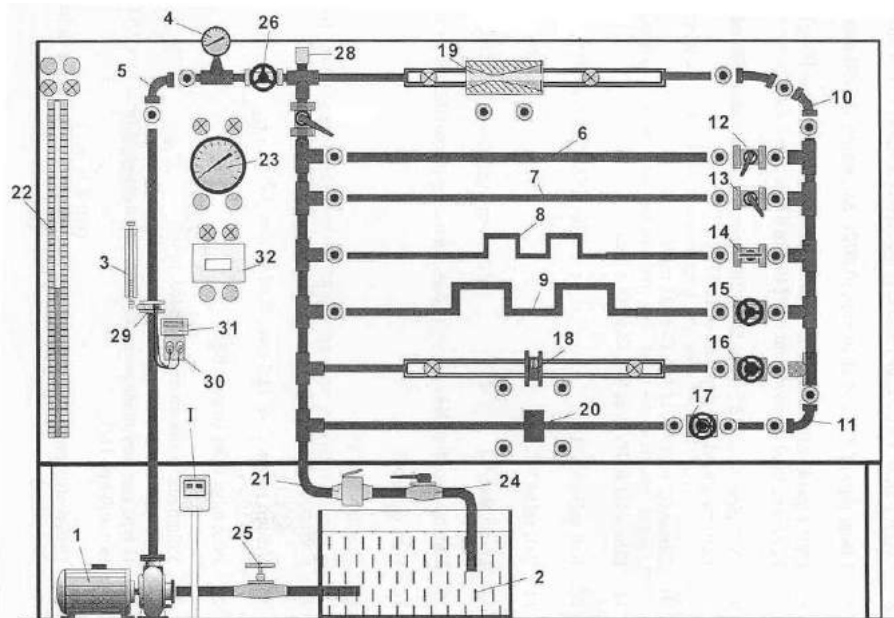
3. (3 v) Um túnel de vento supersônico, alimentado por um reservatório de ar comprimido, é constituído por uma tubeira (contração e difusor), que descarrega para o ambiente à pressão atmosférica, a uma temperatura de 10°C . Pretende realizar-se uma experiência na qual é requerido que o número de Mach na saída seja igual a 2. A secção do túnel é rectangular, de largura igual a 100 mm e altura da secção de saída igual a 135 mm.



$$R_{\text{ar}} = 287 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}, k (\equiv \gamma) = 1.4; P_{\text{atm}} = 101325 \text{ Pa.}$$

Considere escoamento isentrópico.

- a) Conhecendo as condições e a área da secção de saída, determine a altura da garganta para que sejam satisfeitas as condições exigidas.
- b) Dimensionar o reservatório de ar comprimido, calculando a pressão e temperatura do ar necessárias para que o escoamento na secção de teste seja supersônico e isentrópico. Note que a temperatura do ar à saída é igual a 10°C .
- c) Nas condições da alínea anterior, determine o caudal mássico.



Propriedades da água a 30° C

$$\rho_{\text{água}} = 995,7 \text{ kg m}^{-3}, \mu_{\text{água}} = 7,975 \times 10^{-4} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}, p_{\text{sat}} = 4243 \text{ Pa}$$

Propriedades do mercúrio

$$\rho_{\text{Hg}} = 13600 \text{ kg m}^{-3}, \nu_{\text{Hg}} = 0,114 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

Ficha de Resultados

Tubagem: $d_6 = 14,50 \text{ mm}$ $l_6 = 1270 \text{ mm}$ Temp. água: 30° C
 $d_7 = 9,50 \text{ mm}$ $l_7 = 1270 \text{ mm}$ $\epsilon = \epsilon_6 = \epsilon_7 = \epsilon_8 = 0,005 \text{ mm}$
 $d_8 = 14,50 \text{ mm}$ $l_8 = 1740 \text{ mm}$ n° de joelhos 16

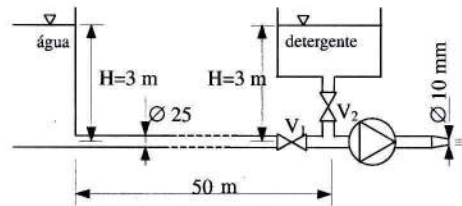
N.	ΔV (L)	Δt (s)	Δh_6 (mm Hg)	Δh_7 (mm Hg)	Δh_8 (mm Hg)
1	1	6,52	14	63	57
2	1	3,76	25	199	190
3	2	4,83	50	415	426
4	3	5,70	76	626	717

- ΔV e Δt são o volume de água medido com contador volumétrico e o tempo medido com o cronómetro.
- l , d e Δh são o comprimento, o diâmetro e a diferença de pressão nas extremidades dos tubos, medida no manómetro de mercúrio (22).
- Os índices identificam os tubos 6, 7 e 8.

Duração: 2 horas. Elementos de consulta: apontamentos pessoais (4 páginas A4)

1. (8 v) - Um sistema de lavagem de peças utiliza uma mistura de água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$; $\nu=10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) e de um detergente cujas propriedades físicas se podem assumir idênticas às da água, para produzir um jacto com uma velocidade de 10 m/s, conforme se mostra esquematicamente na figura.

Todas as tubagens da instalação são de aço inoxidável ($\epsilon=0,0025 \text{ mm}$), com 25 mm de diâmetro. As válvulas, quando abertas, têm um coeficiente de perda de carga localizada $K_v=4$, e o "T", quando em linha, $K_t=0,6$, e quando em ramal, $K_r=0,9$. São desprezáveis as restantes perdas de carga localizadas, bem como os comprimentos de tubagem não indicados na figura.



a) Numa primeira fase da operação de lavagem utiliza-se apenas água, mantendo-se fechada a válvula V2. Calcule a potência que deverá ter o motor de accionamento da bomba ($\eta=70 \%$) para que sejam satisfeitas as condições requeridas.

b) Inicialmente tinha-se pensado que a bombagem poderia não ser necessária, utilizando-se apenas a gravidade para promover o escoamento. Qual a velocidade que o jacto teria nessas condições?

Mostre que bastaria um cálculo sumário, tomando não mais de 1 minuto, para concluir que a velocidade seria claramente insuficiente.

c) Esboce as curvas características de altura manométrica da instalação e da bomba, assumindo para esta a forma típica da curva das bombas centrífugas.

Assinale os pontos notáveis resultantes da sobreposição das duas curvas, designadamente os pontos de funcionamento nas condições de a) e de b) (ausência de bombagem), e a altura manométrica da instalação em vazio.

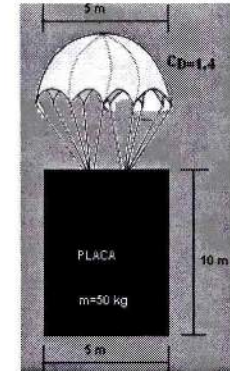
d) Numa segunda fase da lavagem pretende-se que o fluido seja uma mistura de 50 % de água e 50 % de detergente, mantendo-se o jacto com a velocidade de 10 m/s.

Qual deverá ser o coeficiente de perda de carga a introduzir pela válvula V2 para garantir estas condições?

2. (6 v) - O pára-quedas mostrado na figura tem 5 m de diâmetro e uma massa de

5 kg, suportando uma placa plana, lisa, de 50 kg de massa e espessura desprezável.

- Comente as contribuições relativas esperadas do pára-quedas e da placa para o arrasto total, relacionando-as com a natureza do escoamento em torno de cada um.
- Determine a velocidade terminal de queda do conjunto.
- Supondo que a velocidade de queda é de 4 m/s, estime a velocidade do escoamento num ponto situado a 1 m do bordo de ataque da placa e com 5 mm de afastamento em relação a ela.

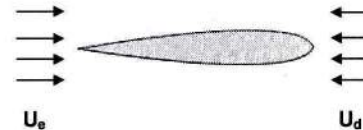


Propriedades do ar: $\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$ e

$\nu=1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

3. (3 v) - Considere o perfil alar simétrico e de superfície lisa representado na figura.

- Tomando por base a semelhança com um escoamento sobre placa plana e considerando os gradientes de pressão favorável e adverso, explique qual dos dois sentidos do escoamento, (1) esquerda \rightarrow direita ou (2) direita \rightarrow esquerda, conduz a um menor arrasto total (fricção + pressão) sobre o perfil representado.



- Quais as consequências de uma rugosidade não nula sobre o arrasto?
- Esboce e explique a evolução do coeficiente de sustentação em função do ângulo de ataque para o caso (2).

4. (3 v) - Um escoamento de ar numa conduta horizontal de secção circular uniforme ocorre nas condições seguintes:

Secção 1

Temperatura = 227 °C

Pressão = 700 kPa

Velocidade = 150 ms⁻¹

Secção 2

Temperatura = 760 K

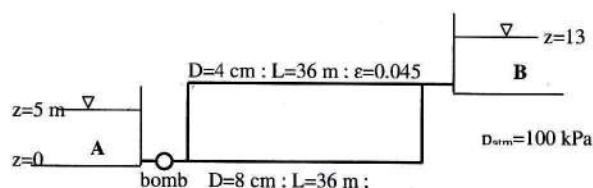
Velocidade = 300 ms⁻¹

- Determine a pressão na secção 2 e o número de Mach nas duas secções.
- Existe a possibilidade de ocorrer alteração do regime do escoamento ao longo da conduta?
Caso responda "Não", diga que alterações seriam necessárias para que isso acontecesse. Caso responda "Sim", diga porquê.

R (constante do ar) = 287 J/(kg.K); γ (expoente isentrópico do ar) = 1,4;
 c_p (calor específico a pressão constante) = 1005 J/(kg.K)

Duração: 2 horas. Elementos de consulta: apontamentos pessoais (4 páginas A4)

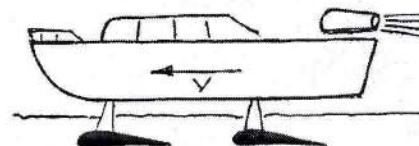
1 (9 v) – Água ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$; $\nu=1,0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; $p_{\text{sat}}=2340 \text{ Pa}$) é bombada do reservatório **A** para o **B**, conforme indicado na figura. Consideram-se desprezáveis todas as perdas de carga localizadas, assim como as perdas em linha nos pequenos troços de ligação entre os reservatórios e o paralelo.



- Supondo que uma hipotética válvula impede a circulação da água no ramal superior ($D=4 \text{ cm}$), determine a potência de bombagem para que o caudal entre **A** e **B** seja de $72 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Para o mesmo caudal de a), determine o valor máximo que poderá ter o NPSH da bomba, a fim de prevenir a ocorrência de cavitação.
- Considere um medidor de caudal do tipo placa-orifício ($\beta=0,73$), intercalado no ramal inferior ($D=8 \text{ cm}$). Sabendo-se que a perda de carga provocada pelo medidor é equivalente a 60 % da queda de pressão observada, calcule o acréscimo de potência necessário para garantir o mesmo caudal de $72 \text{ m}^3/\text{h}$. Diga que outros tipos de medidor de caudal conhece, dentro da família de "obstrução fixa", que pudessem ser utilizados para o mesmo efeito, e que vantagens/desvantagens têm relativamente à placa-orifício.
Coeficiente de descarga da placa orifício: $C_d=0,5959+91,71 \beta^{2,5} \text{Re}_D^{-0,75}$
- Suponha agora que o escoamento se efectua pelos dois ramais, sem qualquer impedimento (nem válvula nem medidor de caudal). Considerando que a potência do motor é de 8 kW e que o rendimento global do grupo de bombagem é de 70 %, determine o caudal que flui de **A** para **B**.
(Sugestão: considere escoamento rugoso para a obtenção de uma solução inicial)

2 (2 v) – Diga, listando as grandezas que fizer intervir, de que forma se define coeficiente de perda de carga localizada e por que razão, na grande maioria das instalações de transporte de fluidos em tubagens, os seus valores são tratados como constantes.

3 (6 v) – Um "jet foil" é uma embarcação que dispõe de perfis alares abaixo do casco, os quais, quando em movimento, geram uma força de sustentação. O seu dimensionamento é efectuado por forma a que, quando em velocidade de cruzeiro, a embarcação tenha o casco completamente fora de água. Uma dessas embarcações



pesa 30 toneladas. Os perfis alares, cuja geometria (ângulo de ataque) pode ser ajustada em movimento, têm 1 m de corda e 5 m de envergadura cada, sendo conhecidos os coeficientes aerodinâmicos $C_{D_w}=0,009$ e $C_{L_{\text{máx}}}=1,2$.

A potência máxima das turbinas utilizadas na propulsão é de 355 kW.

A parte emersa da embarcação tem uma característica aerodinâmica definida por $C_{D,A_{\text{frontal}}}=25 \text{ m}^2$.

- Qual a velocidade mínima que, neste caso concreto, permite que o casco saia completamente fora de água?
- Qual a velocidade máxima que o "jet foil" consegue atingir?
- No caso de não serem conhecidos os coeficientes aerodinâmicos dos perfis alares, haveria alguma forma de estimar, ainda que de forma aproximada, o seu C_{D_w} ? Diga como, e em que condições, tal aproximação poderia ser efectuada.

Propriedades da água do mar: $\rho=1070 \text{ kg/m}^3$; $\mu=1,068 \times 10^{-3} \text{ kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$

Propriedades do ar: $\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$; $\nu=1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

4 (3 v) – Um avião voa ao mesmo número de Mach independentemente da altitude. Comparando-a com a sua velocidade a 12000 m de altitude, a velocidade do avião ao nível do mar é, contudo, 127 km/h mais elevada.

As temperaturas ao nível do mar e a 12000 m são, respectivamente, $15 \text{ }^\circ\text{C}$ e $-57 \text{ }^\circ\text{C}$.

- Qual o valor do número de Mach em causa?
- Qual o regime a que o avião se desloca?
Acha provável a ocorrência de ondas de choque neste escoamento? Porquê?

R (constante do ar) = $287 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

γ (expoente isentrópico do ar) = 1,4