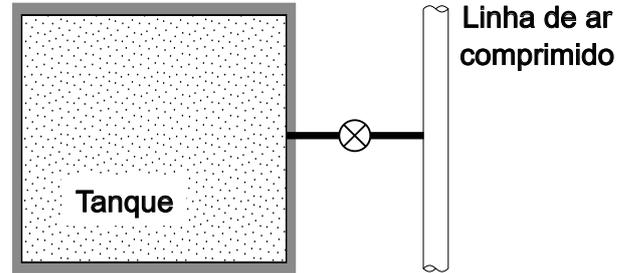
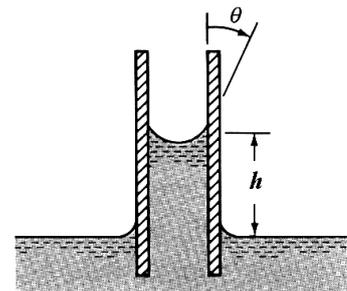


Exercícios de Sala – Propriedades Físicas dos Fluidos (aula 02)

- 1- Um tanque rígido com volume de 1 m^3 contém ar a 1 MPa e 400 K . O tanque está conectado a uma linha de ar comprimido do modo mostrado na figura. A válvula é então aberta e o ar escoá para o tanque até que a pressão alcance 5 MPa . Nesta condição a válvula é fechada e a temperatura do ar no tanque é $177 \text{ }^\circ\text{C}$. Qual a massa de ar antes e depois do processo de enchimento? Se a temperatura do ar no tanque carregado cair para 300 K , qual será a pressão do ar neste novo estado?
 Dado: $R_{\text{ar}} = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$



- 2- Um tubo de vidro limpo com diâmetro de 2 mm é inserido em água a $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\rho = 999 \text{ kg}/\text{m}^3$, $\sigma = 0,0741 \text{ N}/\text{m}$), conforme ilustrado na figura. Determine a altura h a que a água subirá no tubo, sabendo que ela faz um ângulo de contato de $\theta = 0^\circ$ com a parede de vidro e que a aceleração da gravidade no local vale $g = 9,8 \text{ m}/\text{s}^2$.

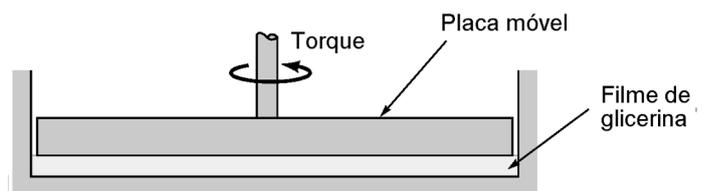


- 3- A distribuição de velocidade para o escoamento laminar desenvolvido entre placas paralelas é dada por

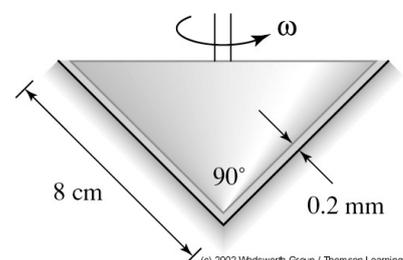
$$\frac{u}{u_{\max}} = 1 - \left(\frac{2y}{h}\right)^2$$

em que h é a distância separando as placas e a origem está situada na linha mediana entre as placas. Considere um escoamento de água a $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\nu = 1,141 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$), com $u_{\max} = 0,10 \text{ m}/\text{s}$ e $h = 0,1 \text{ mm}$. Calcule a tensão de cisalhamento na placa superior e dê o seu sentido. Calcule também a força exercida sobre uma seção de $0,3 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$ desta mesma placa. Esboce a distribuição da tensão de cisalhamento em uma seção transversal do canal.

- 4- A figura mostra uma placa móvel e circular montada sobre um placa fixa. O diâmetro da placa móvel é igual a 30 cm e o espaço delimitado pela superfície inferior da placa móvel e a placa fixa está preenchido com glicerina a $30 \text{ }^\circ\text{C}$ [$\mu = 0,6 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$]. Sabendo que a espessura do filme de glicerina é igual a $0,25 \text{ cm}$, determine o torque necessário para que a placa móvel gire a 2 rpm . Admita que o perfil de velocidade no filme é sempre linear e que os efeitos de borda são desprezíveis.



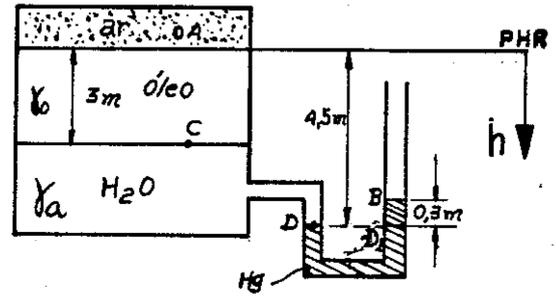
- 5- Calcule o torque necessário para girar o cone mostrado na figura a 2000 rpm , se óleo SAE-30 a $40 \text{ }^\circ\text{C}$ [$\mu = 0,09 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$] preenche o espaço entre o cone e o mancal. Qual a potência dissipada?



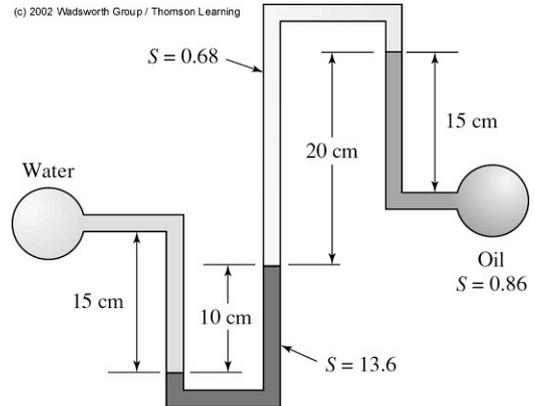
Exercícios de Sala – Manometria (aula 04)

1- Calcular a pressão efetiva em A, em kgf/cm^2 .

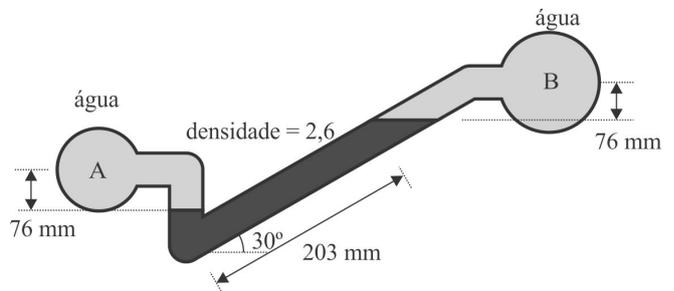
$\gamma_{\text{óleo}} = 800 \text{ kgf/m}^3$
 $\gamma_{\text{água}} = 1000 \text{ kgf/m}^3$
 $\gamma_{\text{Hg}} = 13600 \text{ kgf/m}^3$



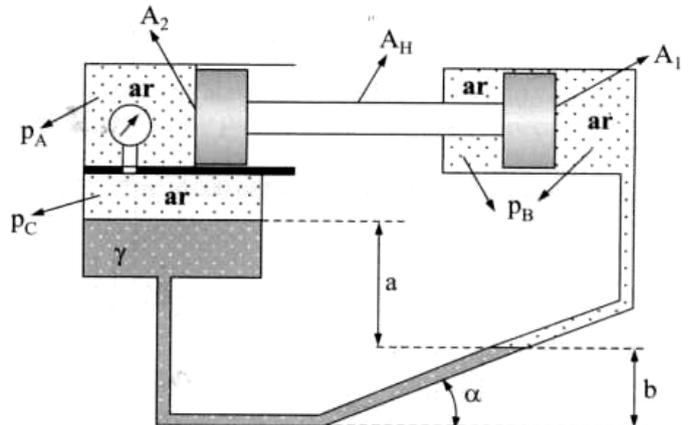
2- Determinar a diferença de pressão entre a tubulação de água e a tubulação de óleo mostrada na figura. (S é a densidade relativa, em relação à água, dos fluidos indicados)



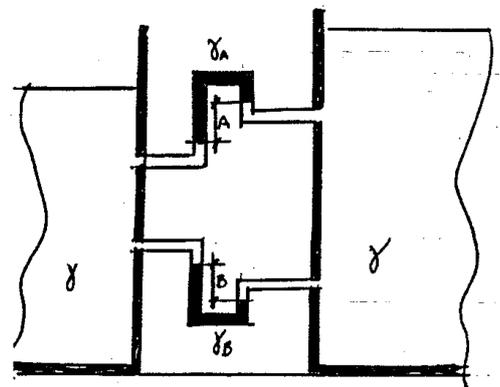
3- No manômetro inclinado da figura, a pressão no tubo A é de 4,137 kPa. O fluido que escoia nos tubos A e B é água e o fluido manométrico apresenta densidade de 2,6. Determine a pressão no tubo B que corresponde à condição mostrada na figura.



4- No dispositivo da figura, a leitura do manômetro é 30 kPa e a relação de áreas dos pistões é $A_2/A_1=2$. A pressão atmosférica no local é 700 mmHg. Estando o sistema em equilíbrio, pede-se a pressão p_B na escala absoluta em mca. Dados: $\gamma = 27000 \text{ N/m}^3$; $a = 100 \text{ cm}$; $b = 80 \text{ cm}$; $A_1/A_H = 2$; $\alpha = 30^\circ$; $\gamma_{\text{Hg}} = 136000 \text{ N/m}^3$; $\gamma_{\text{água}} = 10000 \text{ N/m}^3$.



5- Na instalação da figura, determinar uma relação para γ em função das leituras manométricas A e B e de γ_A e γ_B .



Exercícios de Sala – Cinemática dos Fluidos (aula 05)

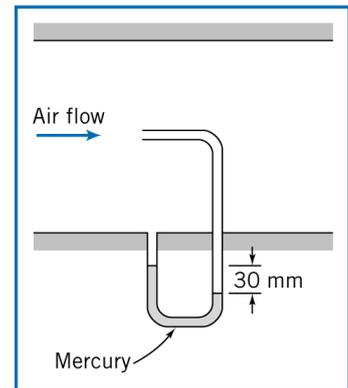
- 1- Um escoamento tem um campo de velocidades descrito por $\vec{V} = (U_0 + At)\hat{i} + V_0\hat{j}$. Calcule as linhas de corrente e as trajetórias deste escoamento. Qual a linha de emissão para um centro de emissão $N(x_N, y_N, z_N)$?

- 2- Dado o campo de velocidades $\vec{V} = (6 + 2xy + t^2)\hat{i} - (xy + 10t)\hat{j} + 2t\hat{k}$ obtenha as expressões das acelerações local, convectiva e total. Calcule a aceleração no ponto (1, 0, 1), no instante $t = 1$.

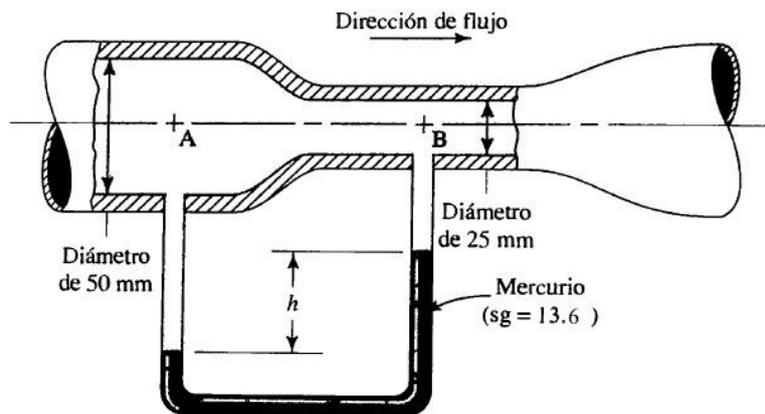
- 3- Para o campo de velocidades $\vec{V} = V_0 \frac{x}{k} \hat{i} + V_0 \frac{y}{k} \hat{j}$,
 - a) Calcule a aceleração e mostre que ela é radial.
 - b) Se $k = 2$ m, qual deve ser o valor de V_0 para que a aceleração total em (1, 1, 0) seja de $4\sqrt{2}$ m/s²?
 - c) Determine as linhas de corrente e as trajetórias.

Exercícios de Sala – Equação de Bernoulli (aula 07)

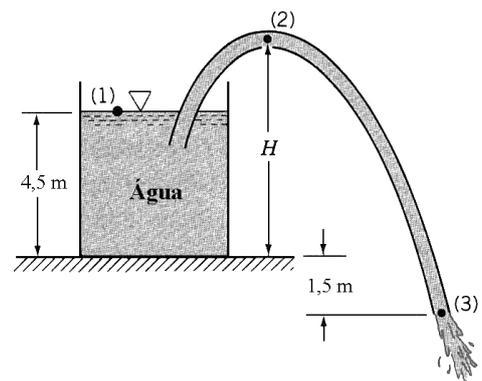
- 1- Um tubo de Pitot é inserido em um escoamento de ar para medir a velocidade do escoamento. A pressão estática é medida no mesmo local do escoamento com uma tomada de pressão na parede, e esta tomada está conectada ao tubo de Pitot por um manômetro em tubo U conforme ilustrado na figura. Se a diferença de pressão é de 30 mm de mercúrio (massa específica 13600 kg/m^3), a aceleração da gravidade no local é de $9,81 \text{ m/s}^2$, e a massa específica do ar $1,23 \text{ kg/m}^3$, determine a velocidade do escoamento.



- 2- Água ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$) escoa em regime permanente no tubo de Venturi da figura. No trecho considerado, supõem-se as perdas por atrito desprezíveis e as propriedades uniformes nas seções. Um manômetro cujo fluido manométrico é mercúrio é ligado entre as seções A e B e indica um desnível de $h = 100 \text{ mm}$. Qual é a vazão volumétrica da água que escoa pelo Venturi? Adote $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

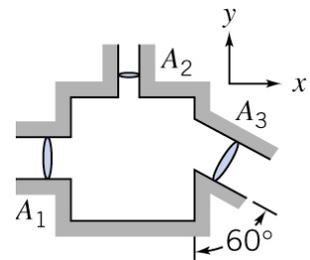


- 3- Um líquido pode ser sifonado de um reservatório como mostrado na figura, desde que a extremidade do tubo, ponto (3), esteja abaixo da superfície livre do reservatório, ponto (1), e a máxima elevação do tubo, ponto (2), não seja “muito grande”. Considere água a 15°C ($p_v = 1,765 \text{ kPa}$) sendo sifonada de um grande tanque através de uma mangueira de diâmetro constante. O final do sifão está $1,5 \text{ m}$ abaixo do fundo do tanque, e a pressão atmosférica é $101,3 \text{ kPa}$. Determine a altura máxima do tubo, indicada por H , para a qual a água pode ser sifonada sem que ocorra cavitação. Adote $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

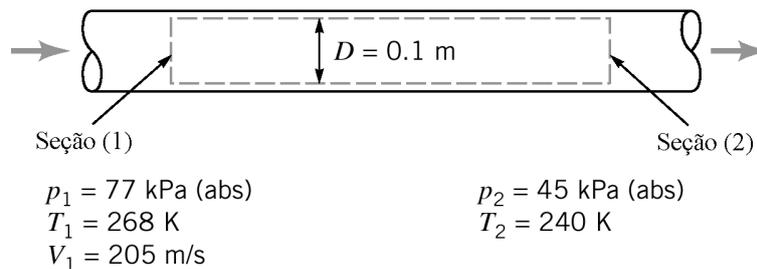


Exercícios de Sala – Equação da Continuidade (aula 08)

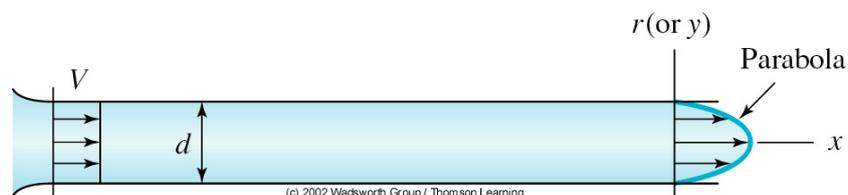
- 1- Um fluido com massa específica de 1040 kg/m^3 flui em regime permanente através da caixa retangular mostrada. Dados $A_1 = 0,046 \text{ m}^2$, $A_2 = 0,009 \text{ m}^2$, $A_3 = 0,056 \text{ m}^2$, $\mathbf{V}_1 = 3 \mathbf{i} \text{ m/s}$ e $\mathbf{V}_2 = 6 \mathbf{j} \text{ m/s}$, onde \mathbf{i} e \mathbf{j} são, respectivamente, os versores nas direções x e y , determine a velocidade \mathbf{V}_3 .



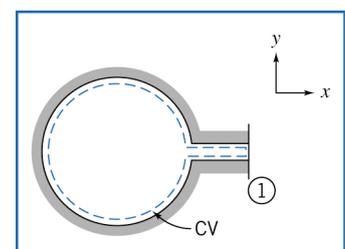
- 2- Ar escoia em regime permanente no tubo longo mostrado na figura. Levando em consideração as pressões estáticas e temperaturas indicadas na figura, determine a velocidade média na seção (2) sabendo que a velocidade média do escoamento na seção (1) é igual a 205 m/s .



- 3- Um fluido com massa específica constante escoia adentra uma tubulação com perfil de velocidades uniforme e após uma certa distância desenvolve um perfil de velocidades parabólico, conforme ilustrado na figura. Sabendo que o diâmetro da tubulação é $d = 2 \text{ cm}$ e a velocidade na seção de entrada é $V = 2 \text{ m/s}$, determine a velocidade máxima na seção de saída.

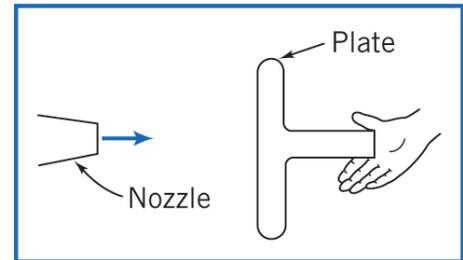


- 4- Um tanque, com volume de $0,05 \text{ m}^3$ contendo ar a $p = 800 \text{ kPa (abs)}$ e $T = 15 \text{ }^\circ\text{C}$. Em $t = 0$, o ar começa a escapar por uma válvula. O ar sai com velocidade $V = 300 \text{ m/s}$ e massa específica $\rho = 6 \text{ kg/m}^3$ por meio de uma área $A = 65 \text{ mm}^2$. Determine a taxa de variação da massa específica do ar no tanque em $t = 0$.

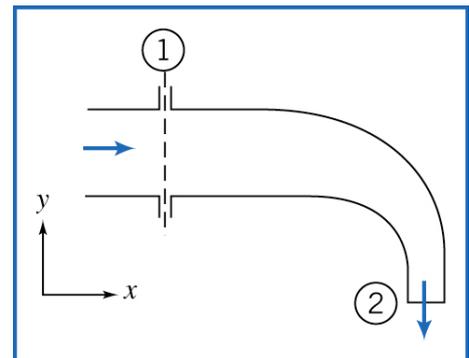


Exercícios de Sala – Equação da Quantidade de Movimento (aula 09)

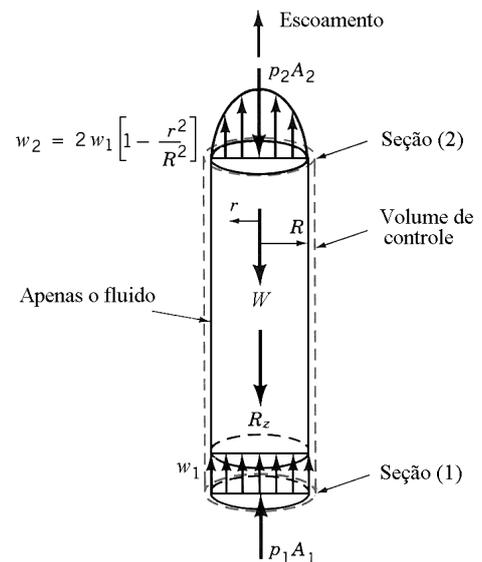
- 1- Água sai de um bocal estacionário e atinge uma placa plana, conforme mostrado. A água deixa o bocal a 15 m/s e a área do bocal é 0,01 m². Considerando que a água é dirigida normal à placa e que escoo totalmente ao longo da placa, determine a força horizontal necessária para manter a placa no lugar.



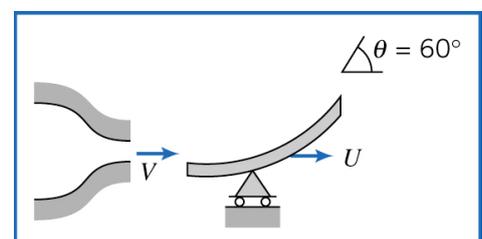
- 2- Água escoo em regime permanente através do cotovelo redutor de 90° mostrado na figura. Na entrada do cotovelo, a pressão absoluta é de 220 kPa e a área da seção transversal é 0,01 m². Na saída, a área da seção transversal é 0,0025 m² e a velocidade média é 16 m/s. O cotovelo descarrega para a atmosfera ($p_{atm} = 100$ kPa). O cotovelo pesa 20 N e tem volume interno igual a 800 cm³. Determine a força necessária para manter o cotovelo estático.



- 3- Desenvolva uma expressão para a queda de pressão que ocorre entre as seções (1) e (2) do escoamento vertical e ascendente indicado na figura. O tubo tem raio R , peso do fluido contido dentro dele é W e o tubo aplica uma força R_z no fluido.



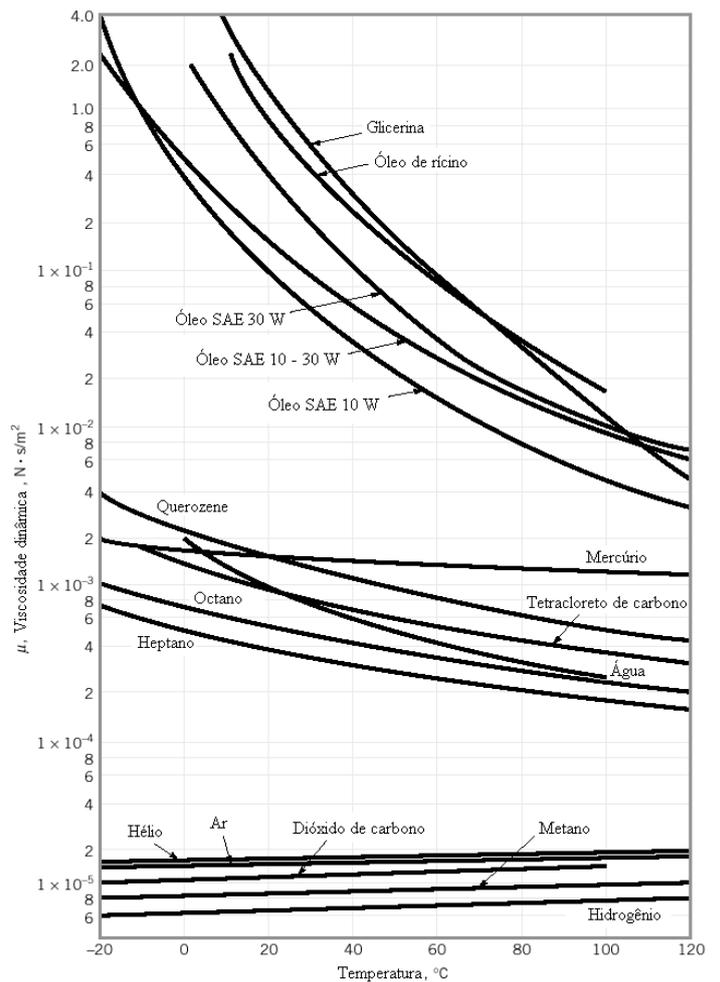
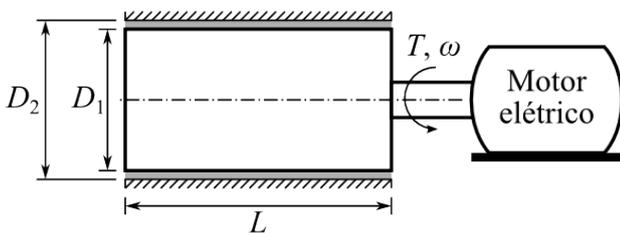
- 4- O esquema mostra uma pá defletora com ângulo de curvatura de 60°. Ela se move com velocidade constante, $U = 10$ m/s, e recebe um jato de água que deixa um bocal estacionário com velocidade $V = 30$ m/s. O bocal tem área de saída de 0,003 m². Determine as componentes da força que age sobre a pá.



Exercícios de Sala – Revisão para a P1 (aula 10)

1- **(P1 2015)** Pode-se construir um viscosímetro a partir de um conjunto eixo-mancal lubrificado acoplado o eixo a um micromotor elétrico instrumentado, capaz de medir o torque e a rotação do conjunto em regime permanente.

- Considerando que não há excentricidade entre eixo e mancal, encontre uma expressão literal do torque (momento) T em função da velocidade angular ω , da viscosidade dinâmica do óleo lubrificante μ e das dimensões geométricas fornecidas na figura abaixo.
- Qual será o valor numérico do torque para um sistema de $D_1 = 30$ mm, $D_2 = 32$ mm, $L = 60$ mm se o lubrificante for um óleo SAE 10-30W a 50°C e o eixo estiver girando a 400 r.p.m.?
- Considerando que o motor elétrico tenha um rendimento de 90%, qual será a potência consumida para fazer o sistema girar nas condições do item (b)?



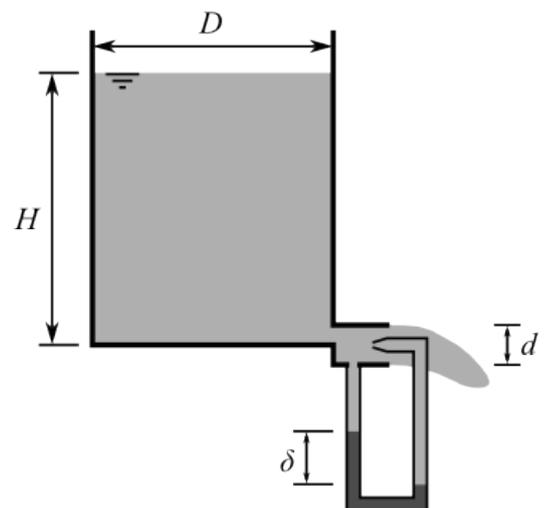
2- Dado o campo de velocidades em coordenadas cilíndricas

$$v_r = -\frac{3}{2}v_0 r^{1/2} \cos \frac{3\theta}{2}, \quad v_\theta = \frac{5}{2}v_0 r^{3/2} \sin \frac{3\theta}{2}, \quad v_z = 0$$

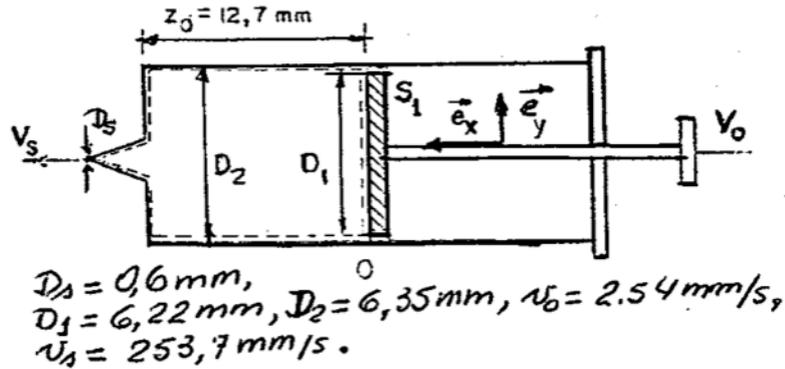
determine o campo de aceleração e as linhas de corrente, de emissão e trajetórias.

3- **(P1 2015)** A figura mostra um tanque cilíndrico de diâmetro D que armazena água ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$) e tem um tubo de dreno de diâmetro d instalado no fundo, instrumentado com um tubo de Pitot acoplado a um manômetro em tubo U com mercúrio (densidade igual a 13,6). No instante retratado, o dreno está aberto e o nível da água no tanque está a uma altura H do fundo. Desconsiderando quaisquer perdas e sabendo que a aceleração da gravidade no local vale $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, pede-se:

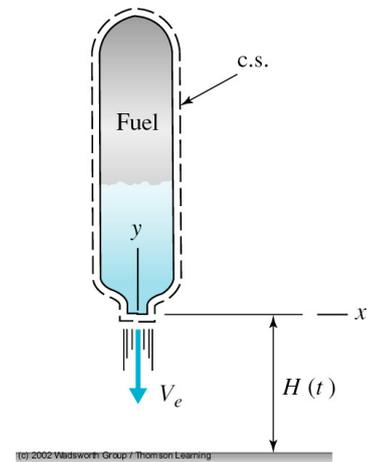
- Uma expressão literal da velocidade do escoamento no tubo de dreno no instante retratado, em função dos parâmetros mencionados no enunciado.
- A deflexão δ do manômetro, sabendo que $D = 2$ m, $d = 50$ mm e $H = 3$ m.
- A taxa de variação temporal do volume contido no tanque, em função da velocidade do escoamento no tubo de dreno.
- Quanto tempo passará a partir do instante retratado até que o tanque seja completamente esvaziado.



- 4- Uma injeção está sendo aplicada por meio de uma seringa cujas dimensões e outros dados estão indicados na figura. Avalie a porcentagem do volume do medicamento que está sendo perdida por vazamento devido à pequena folga entre as peças móveis e fixas da seringa.



- 5- O foguete mostrado na figura tem uma massa inicial de 150 kg, queima combustível à taxa de 10 kg/s, que uma velocidade (relativa) de exaustão constante de 700 m/s. Qual é a aceleração inicial do foguete e a velocidade após 4 s? Despreze o arrasto sobre o foguete.



Formulário geral

$$\tau = \mu \frac{du}{dn} \quad \rho + \frac{\rho V^2}{2} + \rho g z = \text{constante} \quad \frac{\partial}{\partial t} \int_{V_C} \rho dV + \int_{S_C} \rho \vec{V} \cdot \vec{n} dA = 0$$

$$p_1 = \gamma h + p_2 \quad \frac{dy}{dx} = f(x)g(y) \Rightarrow \int_{y_1}^{y_2} \frac{dy}{g(y)} = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx \quad \frac{Df}{Dt} = \frac{\partial f}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \nabla) f$$

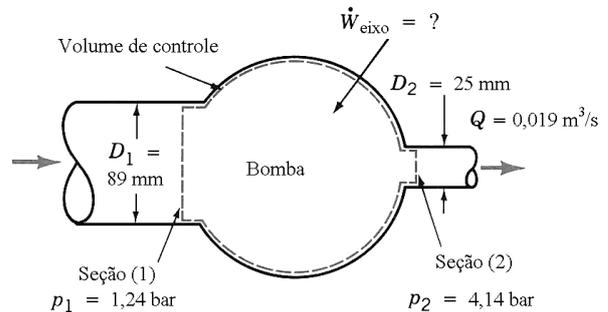
$$\nabla f = \frac{\partial f}{\partial r} \hat{e}_r + \frac{\partial f}{r \partial \theta} \hat{e}_\theta + \frac{\partial f}{\partial z} \hat{e}_z \quad \frac{\partial \hat{e}_r}{\partial \theta} = \hat{e}_\theta \quad \frac{\partial \hat{e}_\theta}{\partial \theta} = -\hat{e}_r \quad \frac{dr}{v_r} = \frac{r d\theta}{v_\theta} = \frac{dz}{v_z}$$

$$\frac{dr}{dt} = v_r(r, \theta, z, t) \quad r \frac{d\theta}{dt} = v_\theta(r, \theta, z, t) \quad \frac{dz}{dt} = v_z(r, \theta, z, t)$$

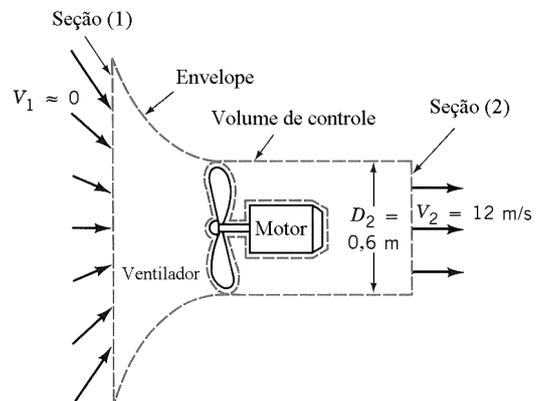
$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{V_C} \vec{V} \rho dV + \int_{S_C} \vec{V} \rho \vec{V} \cdot \vec{n} dA = \sum \vec{F}_{\text{ext}}$$

Exercícios de Sala – Equação da Energia (aula 11)

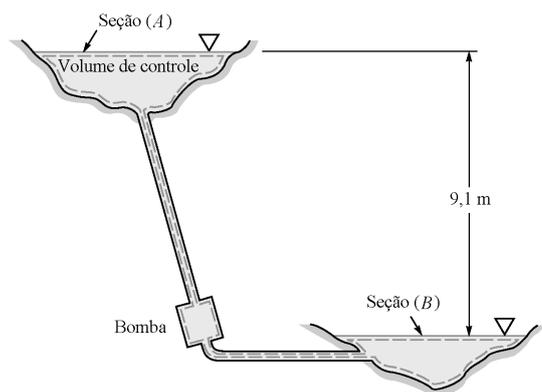
- 1- A figura mostra o esquema de uma bomba d'água que apresenta vazão, em regime permanente, igual a $0,019 \text{ m}^3/\text{s}$. A pressão na seção (1) da bomba – seção de alimentação da bomba – é 124 kPa e o diâmetro do tubo de alimentação é igual a 89 mm . A seção de descarga apresenta diâmetro igual a 25 mm e a pressão neste local é 414 kPa . A variação de elevação entre os centros das seções (1) e (2) é nula e o aumento de energia interna específica da água associada com o aumento de temperatura do fluido é igual a 279 J/kg . Determine a potência necessária para operar a bomba admitindo que esta opere de modo adiabático e que a massa específica da água seja 1000 kg/m^3 .



- 2- A figura mostra o esquema de um ventilador axial que é acionado por um motor que transfere $0,4 \text{ kW}$ para as pás do ventilador. O escoamento a jusante do ventilador pode ser modelado como cilíndrico (diâmetro igual a $0,6 \text{ m}$) e o ar nesta região apresenta velocidade igual a 12 m/s . O escoamento a montante do ventilador apresenta velocidade desprezível. Sabendo que a massa específica do ar no local é $1,23 \text{ kg/m}^3$, determine o trabalho transferido ao ar e que é convertido num aumento na energia disponível (potencial, cinética e de pressão) e estime a eficiência mecânica deste ventilador.



- 3- A vazão da bomba d'água indicada na figura é igual a $0,056 \text{ m}^3/\text{s}$ e o equipamento transfere $7,46 \text{ kW}$ para a água que escoar na bomba. Sabendo que a diferença entre as cotas das superfícies dos reservatórios indicados na figura é $9,1 \text{ m}$, determine as perdas de carga e de potência no escoamento de água. Admita que a água tem peso específico $\gamma = 9800 \text{ N/m}^3$.

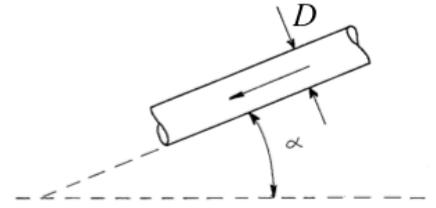


Exercícios de Sala – Análise Dimensional e Semelhança (aulas 13 e 14a)

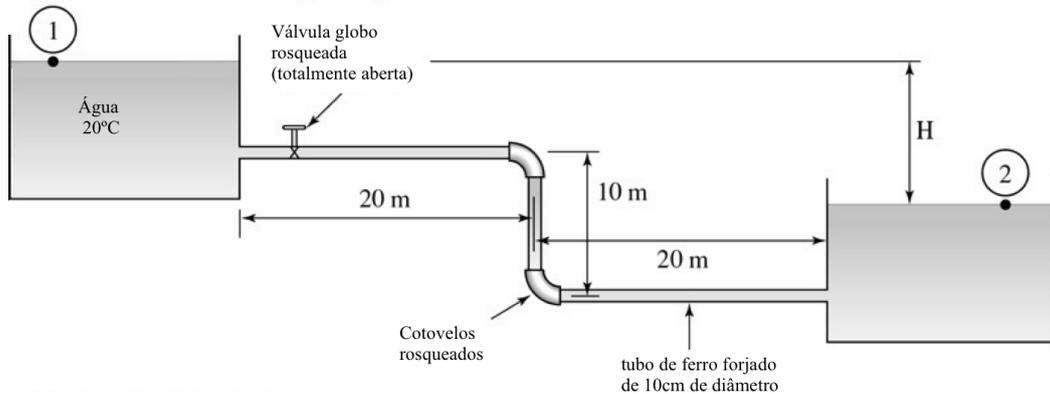
- 1- A força axial exercida por um hélice, F , para deslocar um barco é função da massa específica do fluido, ρ , da velocidade do barco, V , do diâmetro do hélice, D , da rotação do hélice, n e da aceleração da gravidade, g . Encontre uma relação adimensional entre a força e os parâmetros das quais ela depende.
- 2- Um hélice de 6 m de diâmetro desloca um barco com $V = 7,5$ m/s, girando a 120 rpm. Para um modelo geometricamente semelhante, escala 1:10, usado para medir a força axial F , determine qual a velocidade e rotação do modelo, V_m e n_m , para que haja semelhança completa. Nessa condição, qual a escala das forças? Dado: $F = f(\rho, V, D, n, g)$
- 3- A queda de pressão Δp , para escoamento em regime permanente, incompressível e viscoso, através de um tubo retilíneo horizontal, depende do comprimento do tubo, l , da velocidade média, V , da viscosidade do fluido, μ , do diâmetro do tubo, D , da massa específica do fluido, ρ , e da altura média da rugosidade, ε . Determine um conjunto de grupos adimensionais que possa ser usado para correlacionar dados.

Exercícios e Sala – Escoamento Viscoso em Conduitos (aulas 14b e 15)

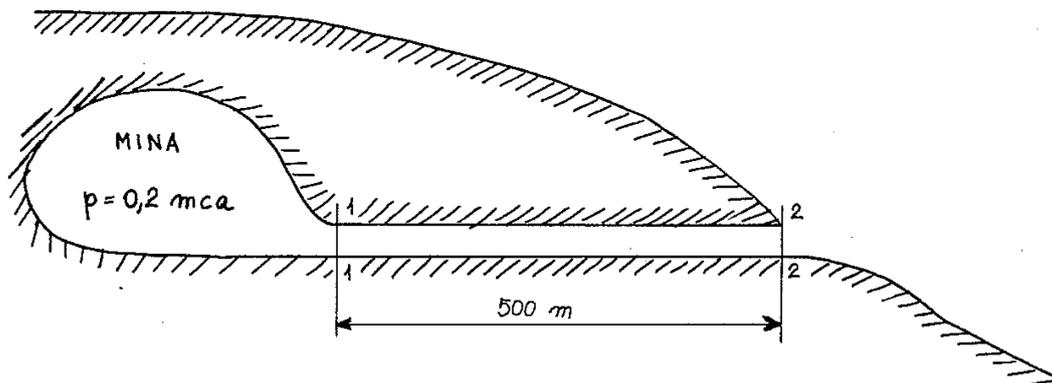
- 1- No trecho de tubo mostrado na figura, que tem diâmetro $D = 0,0127$ m, escoo um óleo de peso específico $\gamma = 900$ kgf/m³ e viscosidade cinemática $\nu = 1,1 \times 10^{-4}$ m²/s a uma vazão de $Q = 0,142$ m³/h. Para $\alpha = 30^\circ$, qual seria a queda de pressão por unidade de comprimento, $\Delta p/l$? Para que ângulo α a queda de pressão Δp seria nula?



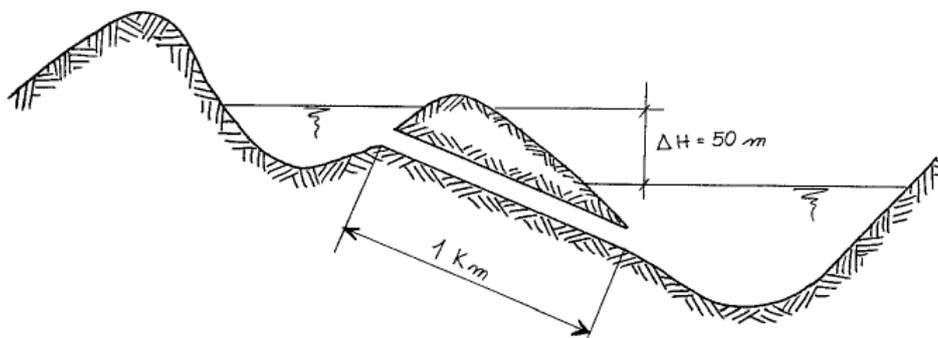
- 2- Se a vazão através de um tubo de ferro forjado de 10 cm de diâmetro no sistema da figura é de 0,04 m³/s, encontre a diferença de elevação H para os dois reservatórios.



- 3- Uma galeria de seção quadrada ($0,6 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}$) esgota ar de uma mina, onde a pressão é de 0,2 mca, para a atmosfera. Calcule a vazão de ar, desprezando as perdas singulares. Dados: $\nu_{\text{ar}} = 10^{-5}$ m²/s, $\gamma_{\text{ar}} = 12,7$ N/m³, $\epsilon = 10^{-3}$ m.



- 4- Na instalação da figura quer se determinar o diâmetro da tubulação, para que na condição mostrada a vazão seja de 1,0 m³/s. Desprezam-se as perdas de carga singulares. A rugosidade média do tubo é de $\epsilon = 0,001$ m e a viscosidade cinemática do fluido $\nu = 10^{-6}$ m²/s.

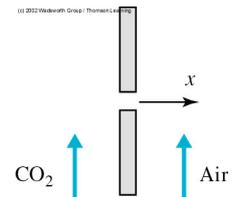


Exercícios de Sala – Transferência de massa (aula 17)

- 1- Um lago de volume 10^4 m^3 coberto de gelo sofre aumento da taxa de desoxigenação devido a uma taxa elevada de demanda de oxigênio dentro dos sedimentos do lago. Antes da data do congelamento, a concentração de oxigênio dissolvido (OD) no lago é de 12,4 mg/L. Suponha que a transferência de OD ocorra na interface sedimento água segundo a relação $r = kC$, em que a constante de taxa $k = 0,1 \text{ dia}^{-1}$ e C é a concentração mássica de OD no lago bem misturado. A fim de aumentar a concentração de OD no lago, retira-se água do lago e esta é exposta à atmosfera. A água, reabastecida com oxigênio da atmosfera, é reintroduzida no lago abaixo do gelo. A descarga de entrada e de saída é de 2 L/s e o OD de entrada é 13,8 mg/L. O limite inferior de sobrevivência de OD é de 3 mg/L para peixes de águas frias.
- a) Estime a concentração de OD no lago 30 dias após a data de congelamento.
 b) Quantos dias os peixes conseguem sobreviver no lago?

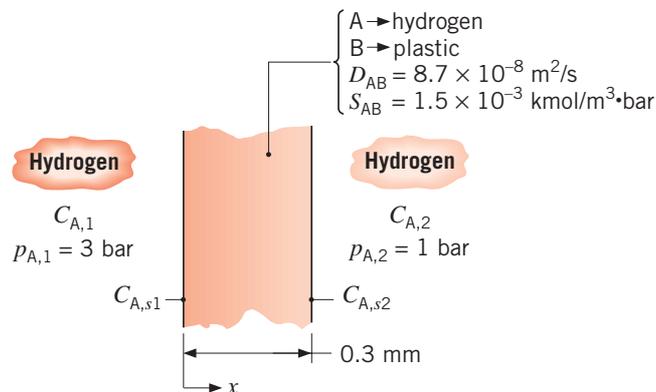


- 2- Duas correntes de gás puro, CO_2 e ar, escoam na mesma direção em um canal. O canal encontra-se dividido em volumes iguais por um pedaço de parede de vidro de 1 cm de espessura. No ponto médio da parede de vidro, um orifício de $3,14 \text{ cm}^2$ permite a difusão de CO_2 no ar e a difusão de ar no CO_2 . A concentração de CO_2 a montante do orifício é zero na corrente de ar e 35 mol/m^3 na corrente de CO_2 . Sabendo que o coeficiente de difusão binária do CO_2 no ar é $D_{AB} = 0,16 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, estime:



- a) O fluxo molar do estado de CO_2 para o ar no estado estacionário.
 b) A massa de CO_2 que passa através do orifício em 2 horas.

- 3- Hidrogênio gasoso é mantido a pressões de 3 bar e de 1 bar nos lados opostos de uma membrana plástica com 0,3 mm de espessura. A temperatura é de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e o coeficiente de difusão binária do hidrogênio no plástico é igual a $8,7 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$. A solubilidade do hidrogênio na membrana é de $1,5 \times 10^{-3} \text{ kmol}/(\text{m}^3 \cdot \text{bar})$. Qual é o fluxo mássico difusivo de hidrogênio através da membrana?



Exercícios de Sala – Revisão para a P2 (aula 18)

1- (P2 2015) A força resultante por unidade de comprimento de envergadura, F_R' , exercida por um fluido sobre um perfil de asa, depende do comprimento da corda do perfil c , da massa específica, ρ , e da viscosidade dinâmica μ do fluido, da velocidade V do perfil em relação ao fluido e do ângulo de ataque α .

- (a) Determine uma forma funcional das variáveis adimensionais do fenômeno.
- (b) Para prever a força exercida na asa de uma pequena aeronave voando em altitude de cruzeiro (3100 m) a 185 km/h, com ângulo de ataque igual a 5° , será realizado um ensaio em túnel de água com um modelo em escala 1:8. Em qual ângulo de ataque o modelo deve ser posicionado e qual deve ser a velocidade do escoamento na seção de testes para que o ensaio seja dinamicamente semelhante ao escoamento no protótipo?
- (c) Nas condições calculadas no item (b), a força por unidade de comprimento de envergadura medida no modelo foi de 16 kN. Qual será então a força por unidade de comprimento de envergadura no protótipo?

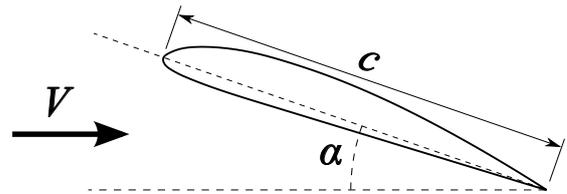
Dados:

propriedades do ar a 3100 m de altitude:

$$\rho_{ar} = 0,900 \text{ kg/m}^3; \nu_{ar} = 1,88 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

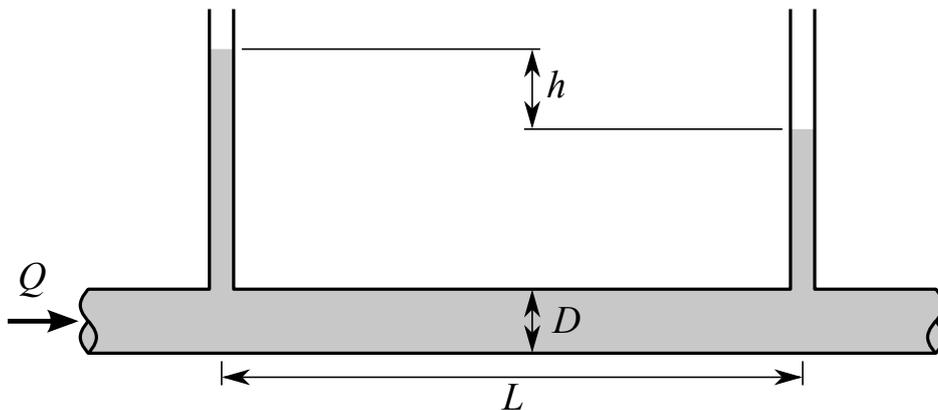
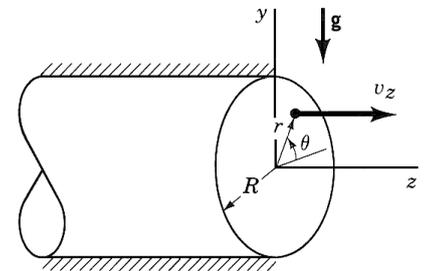
propriedades da água no túnel:

$$\rho_{\text{água}} = 1000 \text{ kg/m}^3; \nu_{\text{água}} = 1,00 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$



2- (PSUB 2015) Considere o escoamento laminar, axissimétrico e em regime permanente no interior de um tubo horizontal de raio R , conforme ilustrado na figura ao lado. Determine:

- (a) Uma expressão **literal** do perfil de velocidades em função de R , $\partial p/\partial z$ e das propriedades físicas do fluido. Parta das equações de continuidade e Navier–Stokes em coordenadas cilíndricas fornecidas no formulário e enuncie claramente as hipóteses utilizadas para simplificá-las.
- (b) A partir do perfil encontrado no item (a), determine o fator de atrito, f , deste escoamento.
- (c) Considere o escoamento ilustrado abaixo. Sabendo que o diâmetro do tubo é $D = 7 \text{ mm}$, que o fluido escoando é água ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$; $\mu = 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$), que a distância entre os tubos piezométricos é $L = 0,8 \text{ m}$, que a diferença de nível dos tubos piezométricos é $h = 6 \text{ mm}$, e que a aceleração da gravidade é $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, determine a vazão volumétrica, supondo escoamento plenamente desenvolvido. Verifique se o escoamento é de fato laminar.



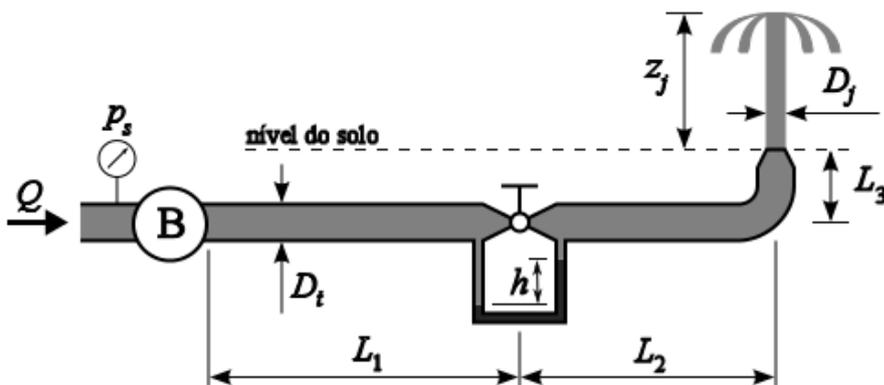
3- Como um empregado da CETESB, foi solicitado a você o desenvolvimento de um modelo para calcular a distribuição de NO_2 na atmosfera. O fluxo molar de NO_2 no nível do solo, $J''_{A,0}$, é considerado conhecido. Esse fluxo é atribuído às emissões dos automóveis e das chaminés das indústrias. Sabe-se também que a concentração de NO_2 a uma distância bem acima do nível do solo é nula e que o NO_2 reage quimicamente na

atmosfera. Em particular, o NO_2 reage com hidrocarbonetos não queimados (em um processo que é ativado pela luz do Sol) para produzir PAN (nitrato de peroxiacetila), o produto final da névoa fotoquímica. A reação é de primeira ordem e a taxa local na qual ela corre pode ser representada por $\dot{C}_A = -k_1 C_A$.

- (a) Supondo condições de regime estacionário e uma atmosfera estagnada, obtenha uma expressão para a distribuição vertical $C_A(x)$ das concentrações molares de NO_2 na atmosfera
- (b) Se uma pressão parcial de NO_2 de $p_A = 2 \times 10^{-6}$ bar é suficiente para causar complicações pulmonares, qual é o valor do fluxo molar ao nível do solo para o qual você emitiria um aviso de alerta? Você pode admitir uma atmosfera isotérmica a $T = 300$ K, um coeficiente de reação de $k_1 = 0,03 \text{ s}^{-1}$ e um coeficiente de difusão de NO_2 -ar de $D_{AB} = 0,15 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

4- (P3 PME3230 2015) A figura abaixo mostra a instalação hidráulica que alimenta uma fonte ornamental. Uma bomba de rendimento 75%, indicada pela letra 'B' na figura, recebe água de massa específica 1000 kg/m^3 e viscosidade cinemática $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ a uma pressão de $p_s = 50 \text{ kPa}$ e a movimentada por uma tubulação de diâmetro $D_t = 90 \text{ mm}$ e rugosidade média de $0,15 \text{ mm}$. A tubulação conta também com uma válvula reguladora de vazão com um manômetro em 'U', cujo fluido manométrico tem densidade de $13,6$, ligado a tomadas de pressão na entrada e na saída. Após um cotovelo de coeficiente de perda $K_{cot} = 0,3$, um bocal está instalado na extremidade, de modo que o diâmetro do jato que deixa a tubulação é $D_j = 50 \text{ mm}$. Quando o jato atinge uma altura igual a $z_j = 5 \text{ m}$, a diferença de alturas lida no manômetro em 'U' da válvula é de $h = 45 \text{ mm}$. Nessas condições, e sabendo que $L_1 = 7,5 \text{ m}$, $L_2 = 10 \text{ m}$, $L_3 = 1,5 \text{ m}$ e $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, determine:

- (a) O valor do coeficiente de perda localizada da válvula, K_{valv} ;
- (b) A potência fornecida à bomba.



Formulário geral

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\forall C} \rho d\forall + \int_{\text{SC}} \rho \vec{V} \cdot \vec{n} dA = 0$$

$$\left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \bar{V}_1^2}{2g} + z_1 \right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \bar{V}_2^2}{2g} + z_2 \right) + h_b = h_{Lr}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(rv_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$$

$$J_A'' = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial x}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\forall C} \vec{V} \rho d\forall + \int_{\text{SC}} \vec{V} \rho \vec{V} \cdot \vec{n} dA = \sum \vec{F}_{\text{ext}}$$

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{\bar{V}^2}{2g} \quad h_{Lm} = K \frac{\bar{V}^2}{2g}$$

$$h_b = \frac{\dot{W}_b}{\gamma Q} \quad p_1 = \gamma h + p_2$$

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \nabla) C_A = D_{AB} \nabla^2 C_A + \dot{C}_A$$

$$\rho \left(\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} - \frac{v_\theta^2}{r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial r} + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_r}{\partial r} \right) - \frac{v_r}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right] + \rho g_r$$

$$\rho \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{v_r v_\theta}{r} + v_z \frac{\partial v_\theta}{\partial z} \right) = -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} \right) - \frac{v_\theta}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial z^2} \right] + \rho g_\theta$$

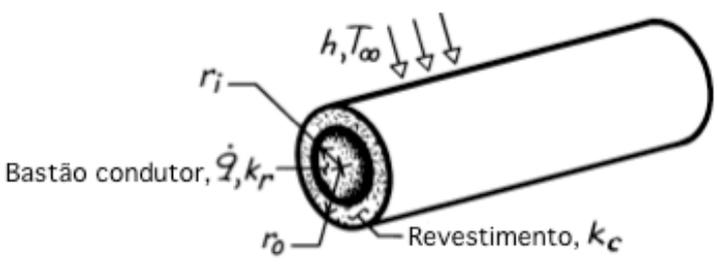
$$\rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right] + \rho g_z$$

Exercícios de Sala – Introdução à Transferência de Calor / Condução (aulas 19, 20 e 21)

Introdução à transferência de calor

- 1- Uma placa de alumínio, com 4 mm de espessura, encontra-se na posição horizontal e a sua superfície inferior está isolada termicamente. Um fino revestimento especial é aplicado sobre sua superfície superior de tal forma que a mesma pode ser considerada uma superfície cinza com emissividade 0,50. A massa específica ρ e o calor específico c do alumínio são iguais a 2700 kg/m^3 e $900 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$, respectivamente.
 - a) Considere condições nas quais a placa está à temperatura de 25°C e a sua superfície superior é subitamente exposta a uma corrente de ar com $T_\infty = 20^\circ\text{C}$ estando numa câmara cujas paredes estão a 150°C . O coeficiente de transferência de calor por convecção entre a superfície e o ar é de $h = 20 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. Qual é a taxa inicial da variação de temperatura da placa?
 - b) Qual será a temperatura de equilíbrio da placa quando as condições de regime estacionário forem atingidas?

Condução

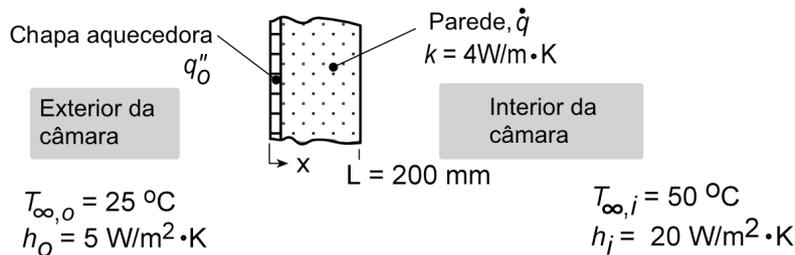
- 1- As temperaturas das superfícies interna e externa de uma janela de vidro, com espessura de 5 mm, são de 15°C e 5°C respectivamente. Qual é a perda de calor através de uma janela com dimensões de 1 m de largura por 3 m de altura? Assuma que a distribuição de temperaturas ao longo da espessura da janela é linear e que a condutividade térmica do vidro é constante e igual a $1,4 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.
- 2- A passagem de uma corrente elétrica através de um longo bastão condutor de raio r_i e condutividade térmica k_r resulta em um aquecimento volumétrico uniforme a uma taxa \dot{q} . O bastão condutor é coberto por um revestimento de material não-condutor elétrico, com raio externo r_o e condutividade térmica k_c . A superfície externa é resfriada pelo contato com um fluido em escoamento. Para condições de estado estacionário, escreva as formas apropriadas da equação do calor para o bastão e para o revestimento. Enuncie as condições de contorno apropriadas para a solução dessas equações.

Bastão condutor, \dot{q}, k_r

Revestimento, k_c
- 3- As paredes externas de um edifício são compostas por três camadas: uma placa de gesso ($k_g = 0,17 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) com 10 mm de espessura, espuma de uretano ($k_u = 0,026 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) com 50 mm de espessura, e uma madeira macia ($k_m = 0,12 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) com 10 mm de espessura. Em um dia típico de inverno, as temperaturas do ar nos lados externo e interno da parede são de -15°C e 20°C , respectivamente., com os correspondentes coeficientes de transferência de calor por convecção iguais a $15 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ e $5 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.
 - a) Qual a carga de aquecimento necessária para um seção de 1 m^2 da parede?
 - b) Qual a carga de aquecimento necessária se a parede composta for substituída por uma janela de vidro ($k_v = 1,4 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) com 3 mm de espessura?
 - c) Qual a carga de aquecimento necessária se a parede composta for substituída por uma janela dupla, com duas lâminas de vidro de 3 mm de espessura separadas por um espaço de 5 mm contendo ar estagnado ($k_a = 0,0263 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$)?
- 4- Um aquecedor elétrico delgado é enrolado ao redor da superfície externa de um tubo cilíndrico longo cuja superfície interna é mantida a uma temperatura de 5°C . A parede do tubo possui raios interno e externo iguais a 25 mm e 75 mm, respectivamente, e condutividade térmica de $10 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. A resistência térmica de contato entre o aquecedor e a superfície externa do tubo (por unidade de comprimento do tubo) é de $R'_{t,c} = 0,01 \text{ m}\cdot\text{K/W}$. A superfície externa do aquecedor está exposta a um fluido com $T_\infty = -10^\circ\text{C}$ e um coeficiente de convecção de $h = 100 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. Determine a potência do aquecedor, por unidade de comprimento do tubo, requerida para mantê-lo a $T_o = 25^\circ\text{C}$.
- 5- Vapor d'água superaquecido a 575°C é conduzido de uma caldeira para a turbina de uma usina de geração de potência elétrica através de tubos de aço ($k = 35 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$), com diâmetro interno igual a

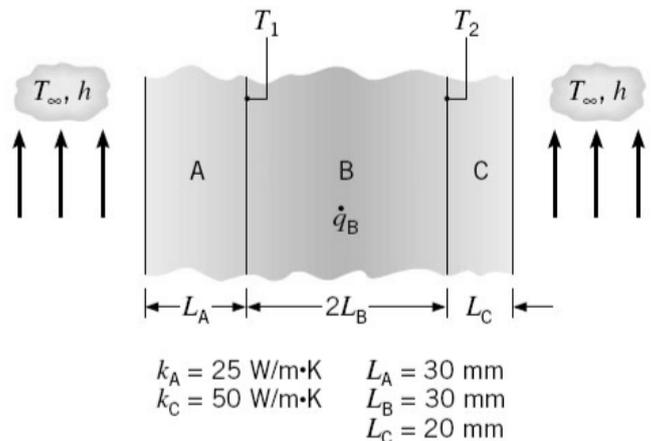
300 mm e 30 mm de espessura de parede. Para reduzir a perda térmica para a vizinhança e para manter a temperatura externa segura para o toque, uma camada de isolante de silicato de cálcio ($k = 0,10 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) é aplicada nos tubos. A degradação do isolante é reduzida ao cobri-lo com uma folha fina de alumínio que possui uma emissividade $\varepsilon = 0,20$. A temperatura do ar e das paredes da planta de potência é igual a $27 \text{ }^\circ\text{C}$. Considerando que a temperatura da superfície interna do tubo de aço seja igual à do vapor e que o coeficiente convectivo externo à folha de alumínio seja igual a $6 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, qual é a espessura mínima de isolante necessária para garantir que a temperatura do alumínio não seja superior a $50 \text{ }^\circ\text{C}$? Qual é a perda de calor correspondente, por metro de comprimento de tubo?

- 6- Ar no interior de uma câmara a $T_{\infty,i} = 50^\circ\text{C}$ é aquecido por convecção, com $h_i = 20 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, através de uma parede com 200 mm de espessura, condutividade térmica de $4 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ e com geração uniforme de calor a uma taxa de $1000 \text{ W}/\text{m}^3$. Para evitar que o calor gerado no interior da parede seja perdido para o lado de fora da câmara, a $T_{\infty,o} = 25^\circ\text{C}$ e com $h_o = 5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, um aquecedor elétrico delgado é colocado sobre a superfície externa da parede para fornecer um fluxo térmico uniforme, q''_o .
- Esboce a distribuição de temperatura na parede, em um sistema de coordenadas $T-x$, para a condição em que nenhum calor gerado no seu interior é perdido para o lado de fora da câmara.
 - Quais são as temperaturas nas superfícies da parede, $T(0)$ e $T(L)$, para as condições da parte (a)?
 - Determine o valor de q''_o que deve ser fornecido pelo aquecedor elétrico de modo que todo o calor gerado no interior da parede seja transferido para o interior da câmara.
 - Se a geração de calor na parede for interrompida e o fluxo fornecido pelo aquecedor elétrico permanecer constante, qual será a temperatura em regime estacionário, $T(0)$, na superfície externa da parede.

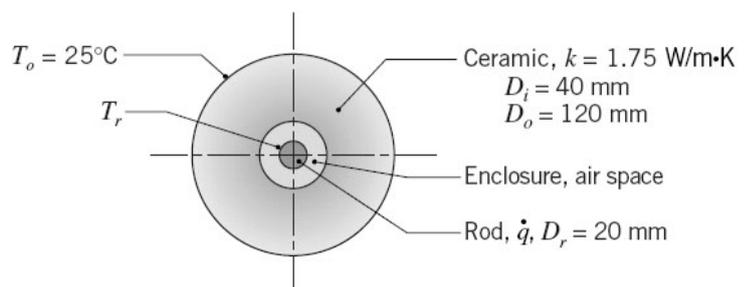


- 7- Um cabo de cobre, com 30 mm de diâmetro e resistência elétrica de $5 \times 10^{-3} \Omega/\text{m}$, conduz uma corrente elétrica de 250 A. O cabo está exposto ao ar ambiente a $20 \text{ }^\circ\text{C}$, onde o coeficiente de transferência de calor por convecção é $25 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Quais são as temperaturas na superfície e no centro do cabo de cobre?

- 8- Seja a condução unidimensional em uma parede plana composta. Sua superfície externa está exposta a um fluido a $25 \text{ }^\circ\text{C}$, com um coeficiente convectivo de $1000 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Na parede intermediária B há geração uniforme de calor a uma taxa \dot{q}_B , enquanto não existe geração nas paredes A e C. As temperaturas nas interfaces são $T_1 = 261 \text{ }^\circ\text{C}$ e $T_2 = 211 \text{ }^\circ\text{C}$. Supondo resistências de contato desprezíveis nas interfaces, determine a taxa volumétrica de geração de calor \dot{q}_B e a condutividade térmica k_B .

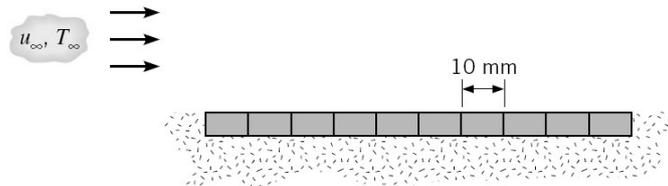


- 9- Uma barra longa de latão [$k_r = 110 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$] conduz corrente elétrica gerando energia térmica a uma taxa volumétrica uniforme de $\dot{q} = 2 \times 10^6 \text{ W}/\text{m}^3$. A barra é concêntrica com um cilindro de cerâmica oco, criando um espaço cheio de ar entre os dois. A resistência térmica por unidade de comprimento devido à radiação entre as superfícies do espaço barra/cerâmica é igual a $R'_{\text{rad}} = 0,30 \text{ m}\cdot\text{K}/\text{W}$ e o coeficiente associado à convecção natural neste mesmo espaço é de $h = 20 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Calcule a temperatura no centro da barra.



Exercícios de Sala – Convecção forçada em escoamento externo (aulas 22 e 23)

- 1- Ar a uma pressão de 1 atm e a uma temperatura de 15 °C escoam paralelamente, a uma velocidade de 10 m/s, sobre uma placa plana com 3 m de comprimento. A placa é aquecida até uma temperatura uniforme de 140 °C.
 - a) Qual é o coeficiente médio de transferência de calor em toda a placa?
 - b) Qual é o coeficiente local de transferência de calor no ponto intermediário da placa?
- 2- Um elemento aquecedor elétrico, na forma de um longo cilindro, com diâmetro $D = 10$ mm, condutividade térmica $k = 240$ W/(m·K), massa específica $\rho = 2700$ kg/m³ e calor específico $c_p = 900$ J/(kg·K), é instalado em um duto através do qual ar, a uma temperatura de 27 °C e uma velocidade de 10 m/s, escoam em escoamento cruzado em relação ao elemento aquecedor. Desprezando a radiação, calcule a temperatura superficial em regime estacionário quando, por unidade de comprimento do aquecedor, energia elétrica está sendo dissipada a uma taxa de 1000 W/m.
- 3- Uma série de 10 chips quadrados de silício, cada um com lado $L = 10$ mm, é isolada em uma de suas superfícies e resfriada pela superfície oposta com ar atmosférico, em escoamento paralelo conforme mostrado na figura, com $T_\infty = 24$ °C e $u_\infty = 40$ m/s. Quando em operação, a mesma potência elétrica é dissipada em cada chip, mantendo um fluxo térmico uniforme ao longo de toda a superfície resfriada. Se a temperatura em cada chip não pode ultrapassar 80 °C, qual é a potência máxima permitida em cada chip? Qual é a potência máxima permitida se um promotor de turbulência for utilizado para perturbar a camada limite na aresta frontal? Seria preferível orientar a série de chips em uma direção normal ao escoamento do ar em vez de na direção paralela?



- 4- Um cilindro de cobre puro, com diâmetro de 15 mm, comprimento de 200 mm e uma emissividade de 0,5, está suspenso em um grande forno com as paredes a uma temperatura uniforme de 600 °C. Ar escoam sobre o cilindro a uma temperatura de 900 °C e a uma velocidade de 7,5 m/s. Determine a temperatura do cilindro no regime estacionário.
- 5- Água quente a 50 °C é transportada de um prédio no qual ela é gerada para um prédio adjacente no qual ela é usada para aquecimento ambiental. A transferência entre os prédios ocorre em um tubo de aço ($k = 60$ W/(m·K)), com diâmetro externo de 100 mm e 8 mm de espessura de parede. Durante o inverno, condições ambientais representativas envolvem o ar a $T_\infty = -5$ °C e $V = 3$ m/s em escoamento cruzado sobre o tubo.
 - a) Se o custo de produzir a água quente é de \$0,05 por kWh, qual é o custo diário representativo da perda térmica para o ar em um tubo não isolado, por metro de comprimento de tubo?
 - b) Determine a economia associada à aplicação na superfície externa do tubo de um revestimento de 10 mm de espessura de isolante de uretano ($k = 0,026$ W/(m·K))

Exercícios de Sala – Convecção natural (aula 24) e Radiação (aula 25)

Transferência de calor por convecção – convecção natural

- 1- A porta de um forno doméstico, com 0,5 m de altura e 0,7 m de largura, atinge uma temperatura superficial média de 32 °C durante a operação do forno. Estime a perda de calor para o ambiente externo a 22 °C.
- 2- O escoamento de ar através de um longo duto de ar condicionado, com formato quadrado de 0,2 m de lado, mantém a sua superfície externa a uma temperatura de 10 °C. Se o duto, na posição horizontal, não possui isolamento térmico e está exposto ao ar a 35 °C no porão de uma casa, qual é o ganho de calor por unidade de comprimento do duto?
- 3- Uma placa, com dimensões de 1 m por 1 m e inclinada com um ângulo de 45°, tem a sua superfície inferior exposta a um fluxo térmico radiante líquido de 300 W/m². Se a superfície superior da placa for bem isolada, estime a temperatura que a placa atingirá quando o ar ambiente estiver quiescente e a uma temperatura de 0 °C.
- 4- Bebidas em lata, com 150 mm de comprimento por 60 mm de diâmetro, encontram-se inicialmente a uma temperatura de 27 °C e devem ser resfriadas pela sua colocação em uma geladeira a 4 °C. Com o objetivo de maximizar a taxa de resfriamento, as latas devem ser colocadas na geladeira na posição horizontal ou na posição vertical? Como uma primeira aproximação, despreze a transferência de calor nas extremidades da lata.

Transferência de calor por radiação

- 1- A superfície escura do topo de um fogão de cerâmica pode ser aproximada por um corpo negro. Os “queimadores”, que estão integrados ao topo do fogão, são aquecidos por baixo por aquecedores de resistência elétrica. Considere um queimador com diâmetro $D = 200$ mm operando com uma temperatura de superfície uniforme de $T_s = 250$ °C em ar ambiente a $T_\infty = 20$ °C. Sem um pote ou panela sobre o queimador, quais são as taxas de perda térmica por radiação e por convecção no queimador? Sendo a eficiência associada à transferência de energia dos aquecedores para os queimadores de 90%, qual é a exigência de potência elétrica?
- 2- Duas superfícies pequenas, A e B, estão localizadas no interior de um recipiente isotérmico a uma temperatura uniforme. O recipiente proporciona uma irradiação de 6300 W/m² em cada uma das superfícies, e as superfícies A e B absorvem a radiação incidente nas taxas de 5600 W/m² e 630 W/m², respectivamente. Considere condições após o transcorrer de um longo período de tempo.
 - a) Quais são os fluxos térmicos líquidos para cada superfície? Quais são as suas temperaturas?
 - b) Determine a absorvidade de cada superfície.
 - c) Quais são os poderes emissivos de cada superfície?
 - d) Determine a emissividade de cada superfície.
- 3- Um termopar cuja superfície é difusa e cinza, possuindo uma emissividade de 0,6, indica uma temperatura de 180 °C quando é utilizado para medir a temperatura de um gás que escoia através de um grande duto cujas paredes possuem uma emissividade de 0,5 e uma temperatura uniforme de 450 °C. Se o coeficiente de transferência de calor por convecção entre o termopar e a corrente de gás for de $\bar{h} = 125$ W/(m²·K) e as perdas por condução pelo termopar forem desprezíveis, determine a temperatura do gás.

Exercícios de Sala – Revisão de Transferência de Calor (aula 26)

- 1- (P3 2015) Um restaurante fast food de comida árabe assa suas esfihas, que tem formato de um disco de 8,5 cm de diâmetro, em um forno de esteira como o mostrado na figura 1a. A figura 1b mostra o funcionamento do forno de forma esquemática. Em horários de pico, a velocidade da esteira precisa ser ajustada num valor tal que as esfihas permanecem dentro do forno por 2 minutos, e tem que ser assadas neste tempo. Para que isso aconteça, a temperatura da esfiha tem que ficar a $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ na condição de regime permanente, que é atingida na porção final do percurso da esfiha no interior do forno. As esfihas tem absorvidade de 0,8 para a radiação do forno. Sabendo que o ar no interior do forno fica a $84\text{ }^{\circ}\text{C}$, determine:
- O coeficiente de troca de calor por convecção na condição de regime permanente. A velocidade da esteira é pequena o suficiente para que possa ser desprezada nos cálculos de convecção, portanto o mecanismo neste caso pode ser admitido de convecção natural (considere $g = 9,8\text{ m/s}^2$).
 - A temperatura do forno para este regime de operação.
 - A radiosidade de uma esfiha na condição de regime permanente.



Figura 1a

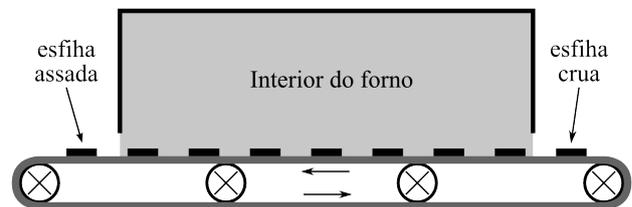


Figura 1b

- 2- (PRec 2015) Uma placa horizontal opaca tem uma espessura de $L = 21\text{ mm}$ e condutividade térmica de $k = 25\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Água escoa em contato com a superfície inferior da placa e está a uma temperatura de $T_{\infty, \text{ag}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ar escoa acima da placa a $T_{\infty, \text{ar}} = 260\text{ }^{\circ}\text{C}$, com $h_{\text{ar}} = 40\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. A parte superior da placa é difusa e é irradiada com $G = 1450\text{ W/m}^2$, dos quais 435 W/m^2 são refletidos. As temperaturas em regime estacionário das superfícies superior e inferior da placa são $T_{\text{sup}} = 43\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $T_{\text{inf}} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Determine:
- a refletividade, a absorvidade e a emissividade da placa;
 - o coeficiente convectivo de transferência de calor associado ao escoamento de água.
- 3- A janela traseira vertical de um automóvel é quadrada com lado $H = 0,5\text{ m}$ e possui uma espessura $L = 8\text{ mm}$. O vidro contém fios aquecedores formando uma malha fina que podem induzir um aquecimento volumétrico praticamente uniforme. Considere condições de regime estacionário, nas quais a superfície interna da janela está exposta ao ar quiescente a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, enquanto a superfície externa está exposta ao ar ambiente a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, movendo-se paralelamente à superfície com uma velocidade de 20 m/s . Determine a taxa volumétrica de aquecimento necessária para manter a superfície interna da janela a uma temperatura de $T_{s,i} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 4- Um longo fio de cobre de alta tensão com 8 mm de diâmetro possui uma resistência elétrica de $10^{-4}\text{ }\Omega/\text{m}$ e está transmitindo uma corrente de 1000 A . O fio está encapado com uma camada de borracha vulcanizada dura de 1 mm de espessura. Se ar ambiente a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $7,5\text{ m/s}$ escoar transversalmente ao fio, qual é a temperatura no centro do fio?