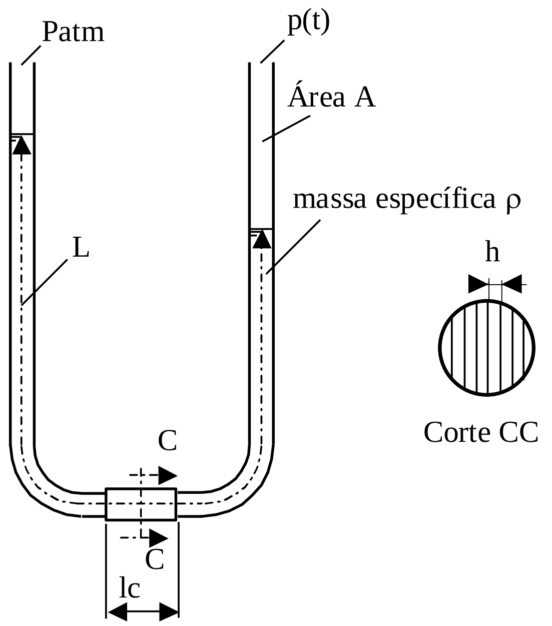
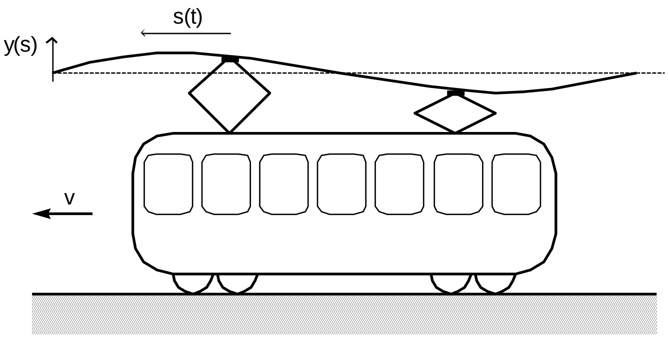
Prof. Francisco E. B. Nigro Prof. Walter Ponge-Ferreira

1ª **Questão** (3,5 pontos)– O manômetro de coluna líquida representado na figura tem área de secção transversal uniforme **A**, comprimento de coluna líquida **L**, fluido com massa específica ρ e viscosidade dinâmica μ, e é utilizado para medir a pressão de um gás **p(t)** em relação à pressão atmosférica **Patm**. Como a pressão **p(t)** pode sofrer variações rápidas e se deseja evitar oscilações prolongadas da coluna de líquido, incorporou-se no manômetro um elemento de fluxo laminar de comprimento **lc**. A área de passagem do elemento foi escolhida de modo que, para efeito de inércia do fluido contido, seu comprimento equivalente referido a área **A** é o próprio **lc**. Sabe-se que a perda de pressão no elemento de fluxo laminar submetido a uma vazão **Q** é $\Delta p = 12 \bullet \mu \bullet lc \bullet Q/(A \bullet h^2)$ onde **h** é o espassamento entre as lâminas. Pede-se:

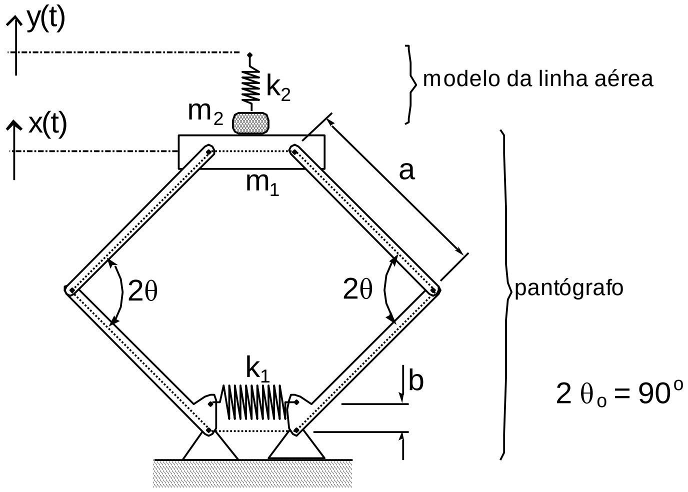
a) Escrever a equação diferencial do movimento de oscilação da coluna de líquido do manômetro submetida à pressão **p(t)**, sob aceleração da gravidade **g**.
b) Determinar o valor do espassamento **h** entre as lâminas do elemento de fluxo laminar para que o manômetro responda rapidamente às variações da pressão **p(t)**, mas sem oscilações prolongadas.
c) Sabendo-se que a extremidade de medida do manômetro, o qual estava em equilíbrio, é submetida bruscamente a uma pressão efetiva P_0, calcular a variação no tempo da altura da coluna de líquido no manômetro.



2ª **Questão** (3 pontos)



O pantógrafo, mecanismo para tomada de energia elétrica da linha aérea no carro metroviário mostrado na figura, é composto por um mecanismo de quatro barras articuladas de comprimento **a** e massa desprezível. O pantógrafo é mantido elevado pela ação de uma mola horizontal de rigidez k_1, com braço de alavanca **b** em relação à articulação inferior. O contato elétrico superior tem massa m_1 e deve manter-se em contato elétrico com a linha aérea. A linha aérea é modelada de forma simplificada



através de um sistema de massa $\mathbf{m_2}$ e mola de rigidez $\mathbf{k_2}$, que representa a dinâmica local da porção de cabo que se acopla ao pantógrafo. Quando em repouso na posição neutra (onde **y = 0** e **x = 0**) mostrada na figura, o cabo exerce uma força de pressão $\mathbf{Q_o}$ sobre o pantógrafo e o ângulo interno do pantógrafo vale **2θ = 90º.** Quando o carro se movimenta com velocidade constante **v**, a coordenada **y** do modelo da linha aérea varia senoidalmente com a posição **s**, i.e., $y(s) = Y_0 \operatorname{sen}\left(2\pi \frac{s(t)}{\lambda}\right)$, onde $\mathbf{Y_o}$ é a amplitude, λ o comprimento de onda da forma da linha aérea e **s** a coordenada de posição do carro.

Pede-se:

a) substituir o mecanismo do pantógrafo por uma mola vertical de rigidez equivalente $\mathbf{k_e}$, e obter a expressão dessa rigidez considerando pequenas oscilações do pantógrafo;
b) determinar a equação diferencial do movimento vertical do pantógrafo quando em contato contínuo com a linha aérea;
c) determinar a freqüência natural $\boldsymbol{\omega_n}$ do conjunto pantógrafo e linha aérea em contato;
d) determinar a expressão para o movimento vertical **x(t)** do pantógrafo;
e) determinar a velocidade do carro, $\mathbf{v_{res}}$, na qual ocorrerá ressonância do pantógrafo;
f) determinar a máxima velocidade do carro, $\mathbf{v_{max}}$, para qual não ocorre perda de contato entre o pantógrafo e a linha aérea.

3ª **Questão** (3,5 pontos) – O motor estacionário de combustão interna de quatro cilindros opostos e quatro tempos, representado na figura por uma vista pelo lado do volante, tem um eixo central de inércia praticamente coincidente com o eixo do virabrequim e deve ser suportado por quatro coxins de borracha com coeficiente de histerese **b=0,1**, dispostos simétricamente como indicado. O motor opera entre **800** e **3000 rpm** e, quando à plena carga, seu volante tem uma aceleração angular em relação à carcaça do motor dada pela seguinte expressão:

$$\ddot{\alpha} = 25 * sen(\Omega * t) + 600 * sen(2 * \Omega * t - 0{,}14) + 200 * sen(4 * \Omega * t - 0{,}66) +$$
$$+ 75 * sen(6 * \Omega * t - 1{,}05) + 62 * sen(8 * \Omega * t - 1{,}36) + 45 * sen(10 * \Omega * t - 1{,}50)$$

onde **Ω** é a velocidade angular média do motor correspondente à sua rotação de operação.
Sabendo-se que o momento de inércia equivalente das partes rotativas do motor em relação ao eixo do virabrequim é $\mathbf{I_r = 0{,}2\ kg.m^2}$, que o momento de inércia das partes não rotativas em relação ao mesmo eixo é $\mathbf{I_m = 30.I_r}$ e que a distância dos coxins ao eixo é **a= 0,25m**, pede-se:

a) determinar a equação diferencial do movimento angular absoluto da carcaça do motor em torno do eixo do virabrequim, supondo a rigidez **k** de cada coxim conhecida;
b) determinar os diversos componentes harmônicos do momento de força transmitido ao solo pelo motor em função de **Ω**;
c) calcular a rigidez **k** de cada coxim para que o momento de força máximo transmitido ao solo em qualquer frequência específica seja menor que **5 N.m**;