Escoamentos compressíveis

Para gases perfeitos:			
$p_i = \rho_i R T_i$ $Ma_i = \frac{v_i}{c_i}$ $c_i = (kRT_i)^{0.5}$	$R = c_p - c_v$ $R = R_{gás} = \frac{R_{univ}}{M}$ $k = \frac{c_p}{c_v}$	$s_2 - s_1 = \begin{cases} c_p \, ln \frac{T_2}{T_1} - R \cdot ln \frac{p_2}{p_1} \\ c_v \, ln \frac{T_2}{T_1} + R \cdot ln \frac{p_2}{p_1} \end{cases}$	$\dot{m} = \rho A v = \frac{p_i A_i Ma_i (kRT_i)^{\frac{1}{2}}}{RT_i}$ $\Delta h \; ou \; u = c_{p\; ou \; v}(\Delta T)$

Para escoamentos adiabáticos de gases perfeitos:	
$c_P T_i + \frac{v_i^2}{2} = c_P T_0$ ← da 1ª Lei da Termodinâmica h h₀	$\frac{T_i}{T_0} = \frac{1}{1 + \left[\frac{k-1}{2}\right] Ma_i^2}$

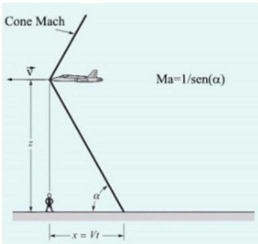
$(\ldots)_0$: propriedade de estagnação (v. = nula)

$(\ldots)^*$: propriedade crítica (Ma = 1, ou v = c) (se a propriedade for crítica, substituir o i pelo *)

$(\ldots)_i$: propriedade numa determinada secção i

Para escoamentos isentrópicos verifica-se:				Para não isentrópicos:
$\frac{p_i}{p_0} = \left(\frac{T_i}{T_0}\right)^{\frac{k}{k-1}} = \left(\frac{\rho_i}{\rho_0}\right)^k$	$p_i v_i^k = cte$ (vol. específico) $\frac{p_i}{\rho_i^k} = cte$	$(\ldots)_0 = $ cte (em qualqer secção as propriedades de estagnação não se alteram)	$p_0 = (p_{dinâmica})_i + (p_{estática})_i$ $p_0 = \left(\frac{\rho v^2}{2}\right)_i + p_i$	$\frac{p_i}{p_{0i}} = \left(\frac{\rho_i}{\rho_{0i}}\right)^k = \left(\frac{T_i}{T_0}\right)^{\frac{k}{k-1}}$

Rácios críticos (substituindo Ma = 1):			Relaciona área crítica, com área e nº de Mach numa secção
$\frac{p^*}{p_0} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$	$\frac{T^*}{T_0} = \frac{2}{k+1}$	$\frac{\rho^*}{\rho_0} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}}$	$\frac{A_i}{A*} = \frac{1}{Ma_i} \cdot \left(\frac{1 + \left[\frac{k-1}{2}\right] Ma_i^2}{1 + \frac{k-1}{2}}\right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}}$



* Se num escoamento as propriedades de *estagnação* não se mantiverem constantes de um local para outro não é escoamento isentrópico.

* Todas as pressões aqui são as pressões estáticas, exceto as de estagnação.

Escoamentos no interior de tubagens

Comprimento de entrada

$$\begin{cases} \text{esc. laminar} \rightarrow \frac{l_e}{D} = 0.06 Re \\ \text{esc. turbulento} \rightarrow \frac{l_e}{D} = 4.4 Re^{1/6} \end{cases}$$

Qeda de pressão, τ, v

$$\frac{\Delta p}{l} = \frac{2}{r}\left(-\mu \frac{du}{dr}\right)$$

$$\Delta p = \frac{4l\tau_w}{D} \quad \text{, se laminar} \rightarrow \bar{u} = \frac{D\tau}{8}$$

$$u = \frac{\Delta p D^2}{16\mu l}\left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right]$$

$$\dot{V} = \int u dA = \int_0^R \int_0^{2\pi} u(r) r dr d\theta = \frac{\pi D^4 \Delta p}{128 \mu l} = u_{máx} \frac{\pi R^2}{2}$$

Perfis de velocidades para escoamentos turbulentos

$$\frac{\bar{u}}{u^*} = \frac{yu^*}{v} \qquad \text{válido para} \qquad 0 \leq \frac{yu^*}{v} \leq 5$$

$$\frac{V_c - \bar{u}}{u^*} = 2.55 \, log\left(\frac{R}{y}\right) \qquad \text{para} \qquad \frac{yu^*}{v} \geq 1000$$

$$u^* = \left(\frac{\tau_w}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}} \rightarrow \tau_w = \frac{f\rho\bar{u}^2}{8}$$

$$\frac{\bar{u}}{V_c} = \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{7}}$$

Caudal e velocidade média

$$\dot{V} = Av = \int \bar{u} dA$$

Equação da energia

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + g z_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + g z_2 + g h_L$$

$$gh = \dot{w} \quad , \quad \dot{w} = \frac{\dot{W}}{\rho \dot{V}} \quad , \quad h = \frac{\dot{W}}{\rho \dot{V} g}$$

Perdas em linha e fator de fricção

Para escoamento completamente desenvolvido regime permanente e incompressível

$$h_{L_{major}} = f \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g}$$

$$f \rightarrow \begin{cases} \text{esc. laminar} \rightarrow f = \frac{64}{Re} \\ \text{esc. turbulento} \rightarrow \begin{cases} f^{-0.5} = -1.8 \, log\left(\left(\frac{\epsilon}{3.7D}\right)^{1.11} + \frac{6.9}{Re}\right) \\ \text{para tubos lisos} \rightarrow f = \frac{0.316}{Re^{0.25}} \end{cases} \end{cases}$$

Perdas locais

$$h_{L_{minor}} = K_L \frac{v^2}{2g}$$

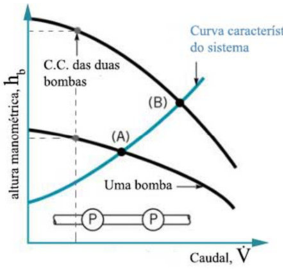
Turbomáquinas

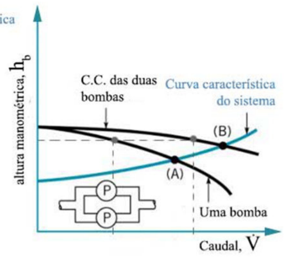
Potência

$$\begin{cases} \dot{W} = \dot{V} \cdot \Delta p \\ \dot{W} = Mt \cdot \omega \end{cases}$$

NPSH

NPSH$_A$ (instalação: calculado) > NPSH$_R$ (bomba: gráfico, dado em forma de equação)

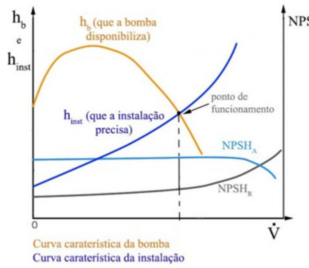




$$NPSH_A = \frac{p_e - p_v}{\rho g} + \frac{v_e^2}{2g}$$

Medidores de caudal

$$\text{Placa orifício e tubo de Venturi} \rightarrow \dot{V} = C_d \beta^2 A \left(\frac{2\Delta p}{\rho(1-\beta^4)} \right)^{0.5}$$



Escoamentos exteriores

Forças de arrasto e sustentação e respetivos coeficientes:

$$F_{L\ ou\ D} = \frac{\rho_{fluido} v_{relativa}^2}{2} C_{L\ ou\ D} A_{ref}$$

Placas planas:

$$C_D \rightarrow \begin{cases} \text{esc. laminar} \rightarrow C_D = \dfrac{1.3285}{Re_L^{0.5}} \\ \text{esc. turbulento} \rightarrow C_D = \dfrac{0.455}{(log\, Re_L)^{2.58}} - \dfrac{1700}{Re_L} \end{cases}$$

$$\text{esc. laminar} \rightarrow \begin{cases} \delta = 5x Re_x^{-0.5} \\ \tau = 0.332 \rho v^2 Re_x^{-0.5} \\ \delta^* = 1.721 Re_x^{-0.5} \end{cases}$$

$$\text{esc. turbulento} \rightarrow \begin{cases} \delta = 0.370 x Re_x^{-1/5} \\ \tau = 0.0288 \rho v^2 Re_x^{-0.2} \\ \delta^* = \dfrac{\delta}{8} \end{cases}$$

Outros:

$$\tau_{L\ ou\ D} = \frac{\rho v^2}{2} C_{L\ ou\ D}$$

$$I = \rho_{fluido} V_{corpo} g$$

$$V_{esfera} = \frac{4\pi R^3}{3}$$

$$\text{Transição} \rightarrow \begin{cases} \text{esc. interiores} \rightarrow Re_t \approx 2100 \\ \text{esc. exteriores} \rightarrow Re_t \approx 5 \cdot 10^5 \end{cases}$$

$$D_h = \tfrac{4A}{P}$$

$$\Delta p = \rho g h$$