

Turbinas a gás: Análise dos componentes

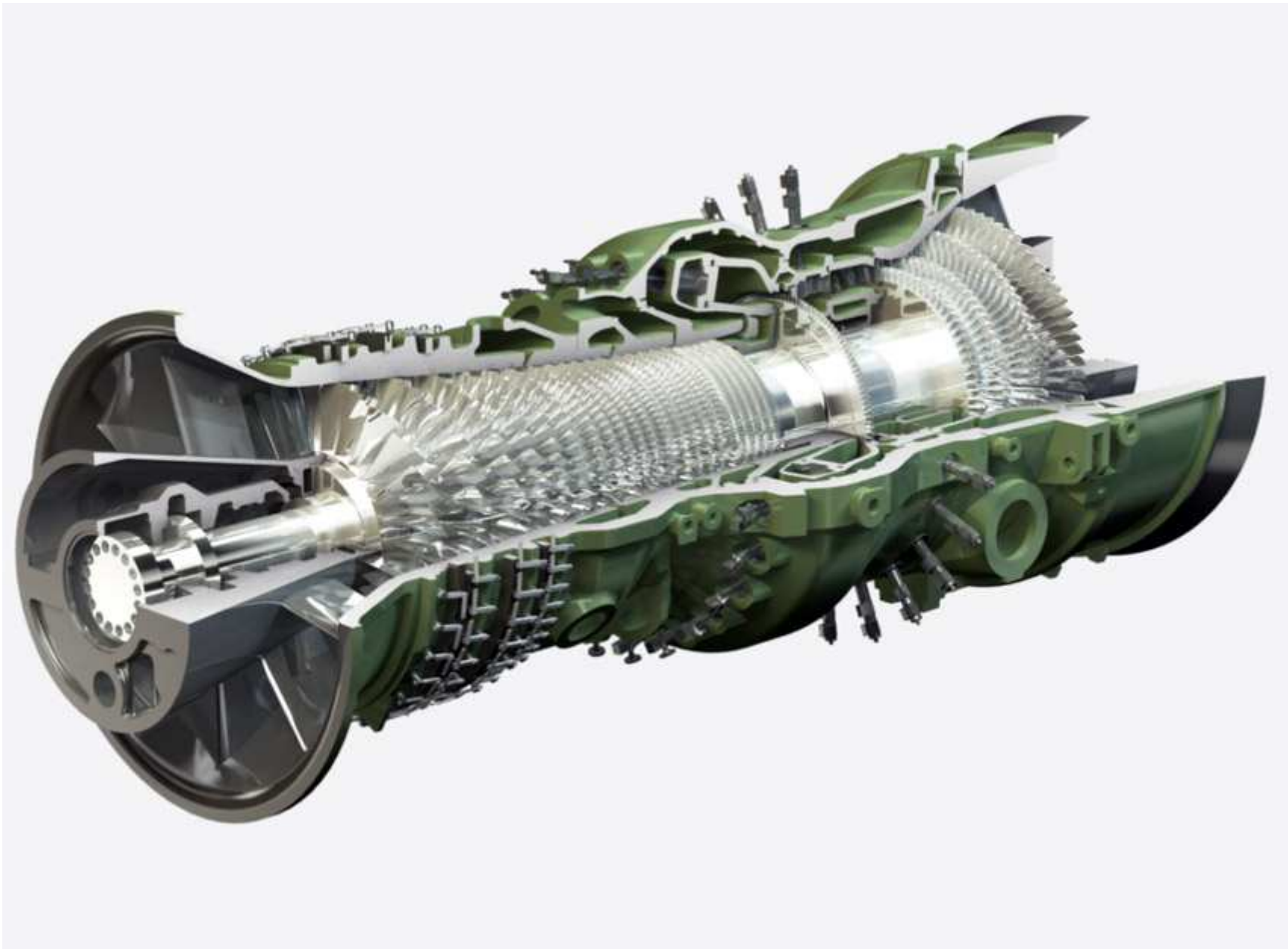
Parte 1

Introdução

- Componentes principais
 - Duto de admissão
 - Compressor
 - Câmara de combustão
 - Turbina
 - Bocal (duto de escape)

Dutos de Entrada

- Diferente segundo tipo e condições de operação da TG
 - TG potência de eixo
 - Baixas velocidades do ar no duto
 - TG propulsão
 - Velocidades fora do duto podem ser $M < 1$ ou $M > 1$
 - No caso de $M > 1$ fora do bocal
 - Pode ocorrer transição fora do duto => onda de choque fora do bocal
 - Pode ocorrer transição no interior do duto => onda de choque dentro do duto



Turbina Alstom GT24 (<http://www.alstom.com>)



EMB145 (<http://www.panoramio.com>)



MIG-17 (<http://www.jalopnik.com.br>)



MIG-21 (<http://www.jalopnik.com.br>)



MIG-35 (<http://defesasaereas.blogspot.com.br>)

TG estáticas

- Ar “longe” se encontra em repouso
 - Parte da energia é transformada em energia cinética
- 1ª lei com $\Delta PE = \dot{Q} = \dot{W}_{outros} = 0$
- a => fora do duto
- 1 => fronteira jusante do duto

$$V_{1s} = \sqrt{2c_p(T_a - T_{1s}) + \frac{1}{2}V_a^2}$$

- OBS: se $V_a \ll V_{1s}$

$$V_{1s} \approx \sqrt{2c_p(T_a - T_{1s})}$$

TG estáticas

- Mas na realidade, esc. não é isentrop.

$$V_1 = \phi V_{1s}$$

- Onde ϕ = coeficiente de velocidade
– $0,91 \leq \phi \leq 0,98$

- A perda associada ao bocal é calculada como:

$$\Delta h_b = \frac{1}{2} (V_{1s}^2 - V_1^2)$$

TG propulsão

- Velocidade fora do bocal é diferente de zero
 - Exceto quando o avião está parado
- 1ª lei com $\Delta PE = \dot{Q} = \dot{W}_{outros} = 0$
- a => fora do duto
- 1 => fronteira jusante do duto

$$T_{t1,s} = T_{ta} = T_a + \frac{V_a^2}{2c_p}$$

- E, se frear adiabaticamente em 1 até v=0

$$\frac{P_{t1}}{P_a} = \left(\frac{T_{t1}}{T_a} \right)^{\gamma/(\gamma-1)}$$

TG propulsão

- Define-se a eficiência isentrópica

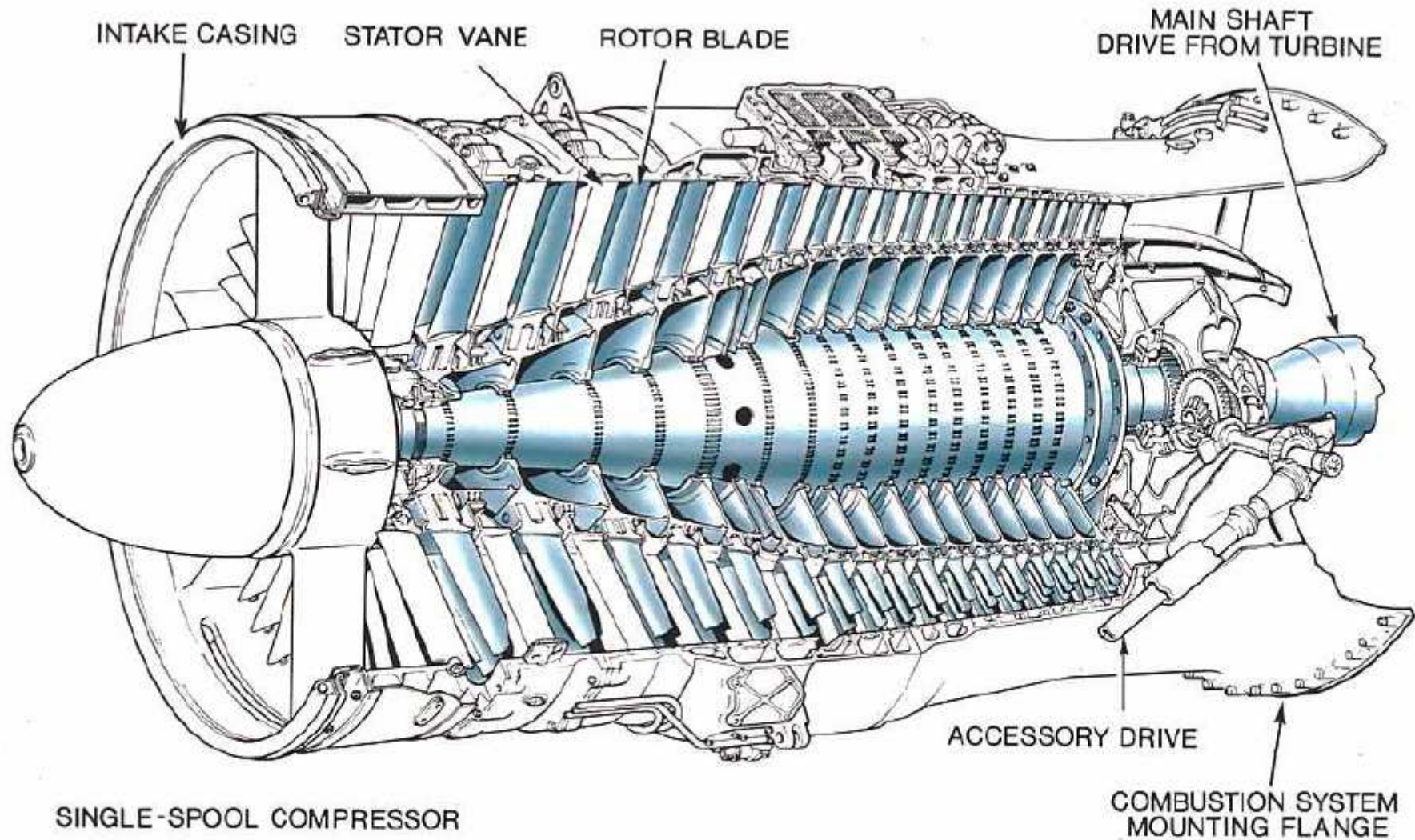
$$\eta_i = \frac{T_{t1} - T_a}{T_{t1,s} - T_a}$$

- Logo,

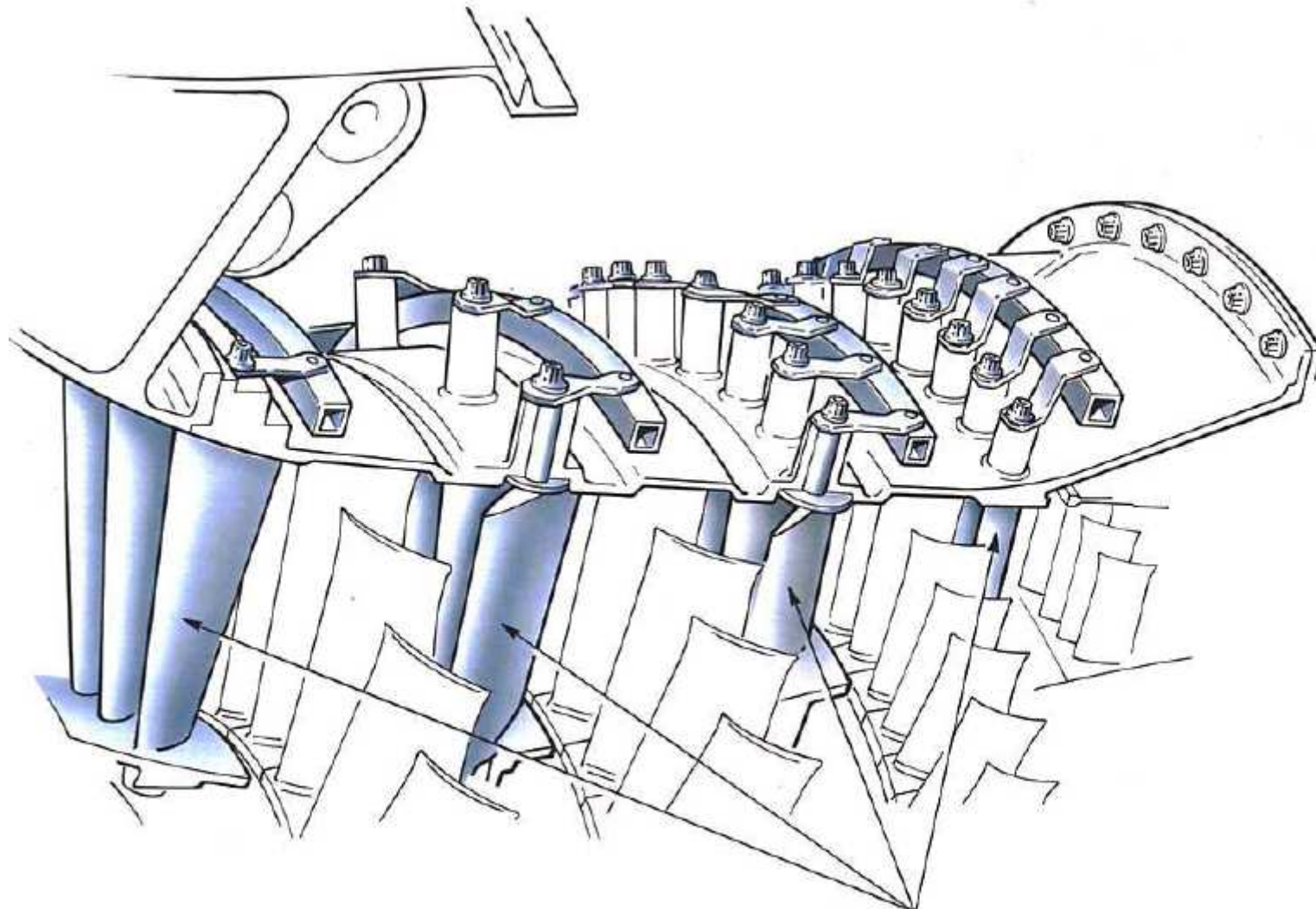
$$T_{t1} = T_a + \eta_i \frac{V_a^2}{2c_p}$$

- η_i é fração da T_{din} em “a” aproveitada para compressão isentrópica no duto

Compressores

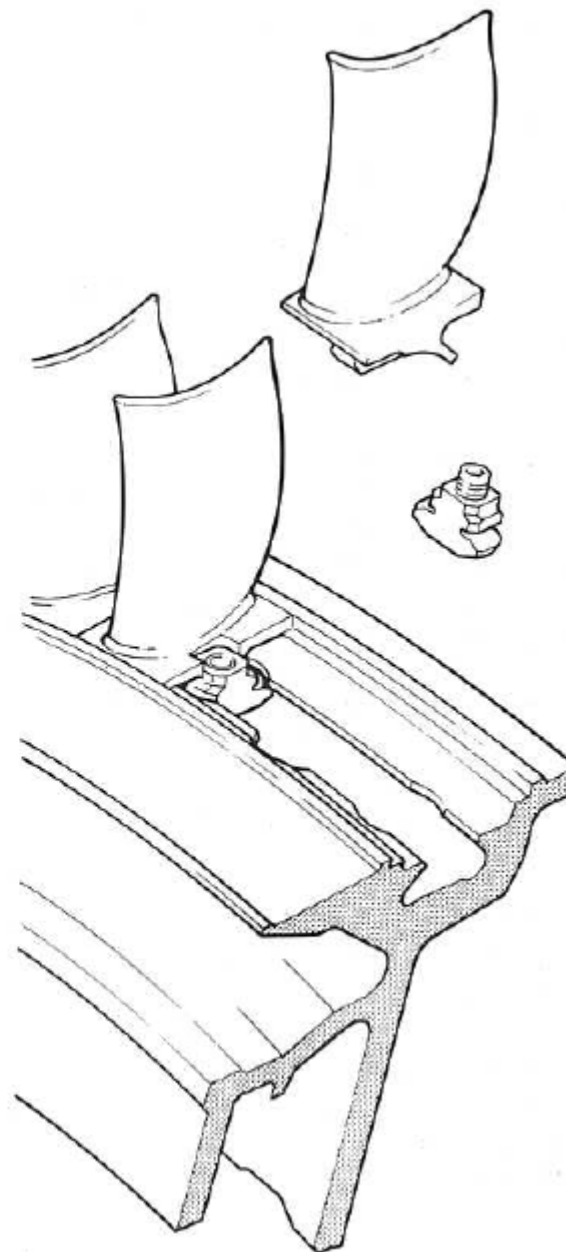
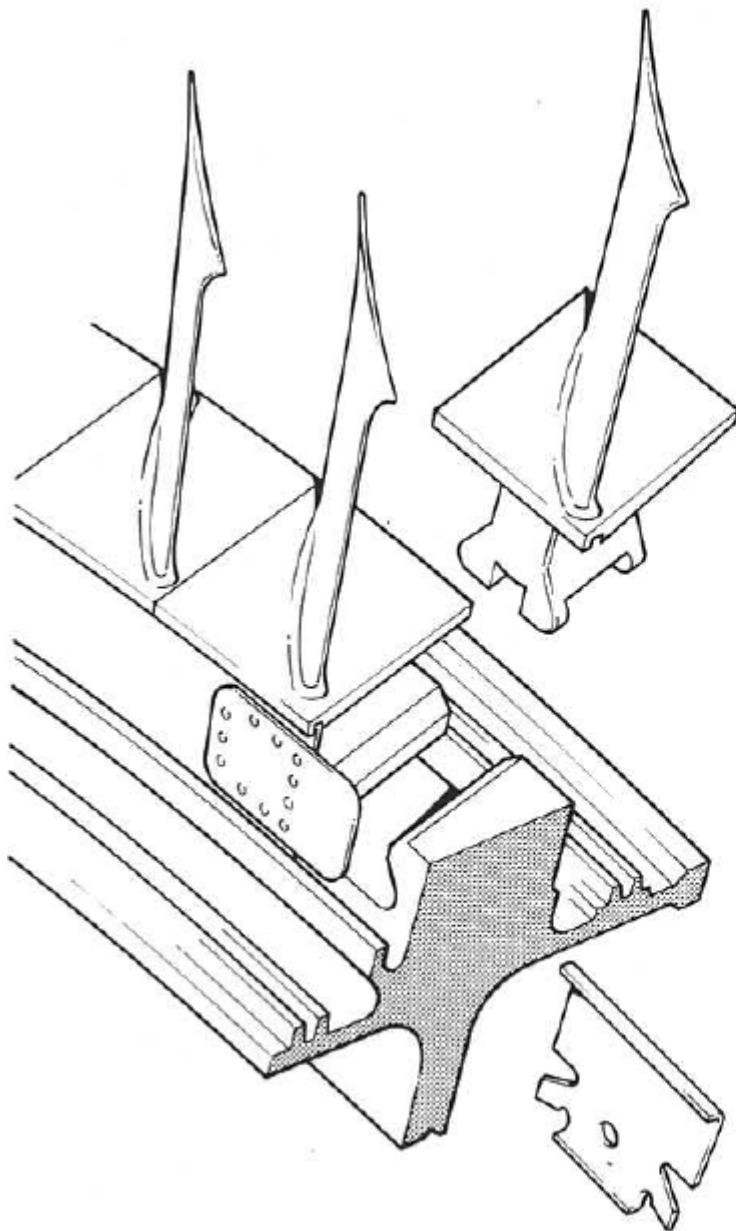


Compressores

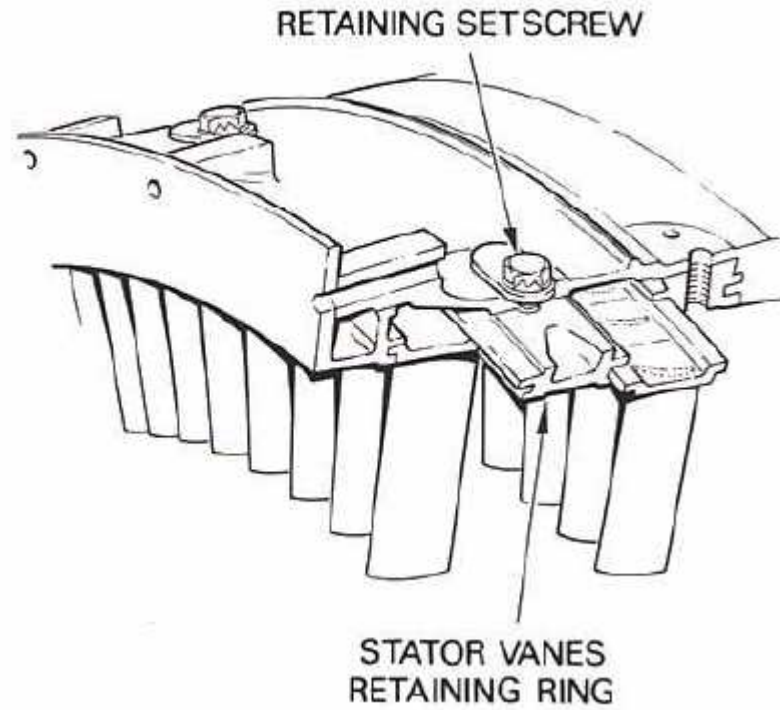
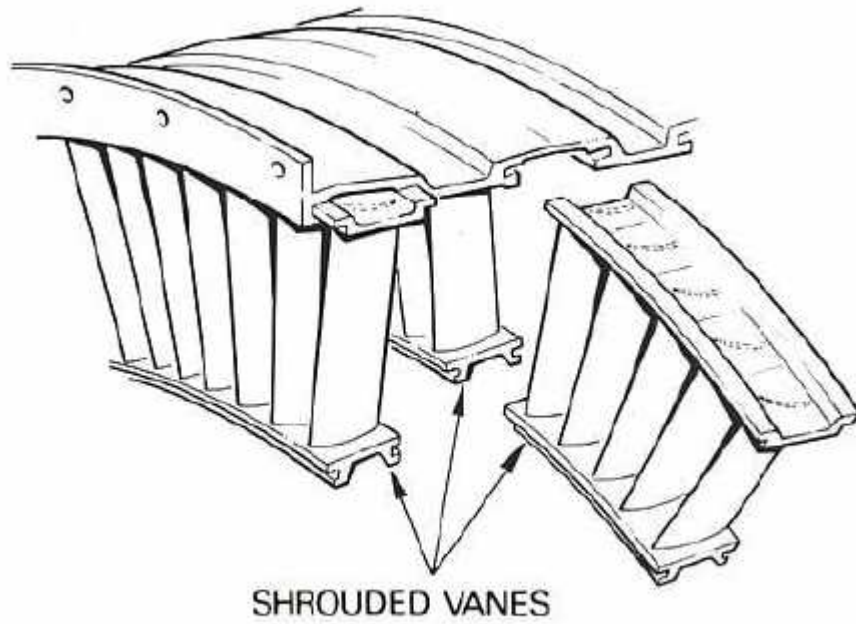


VARIABLE STATOR VANES

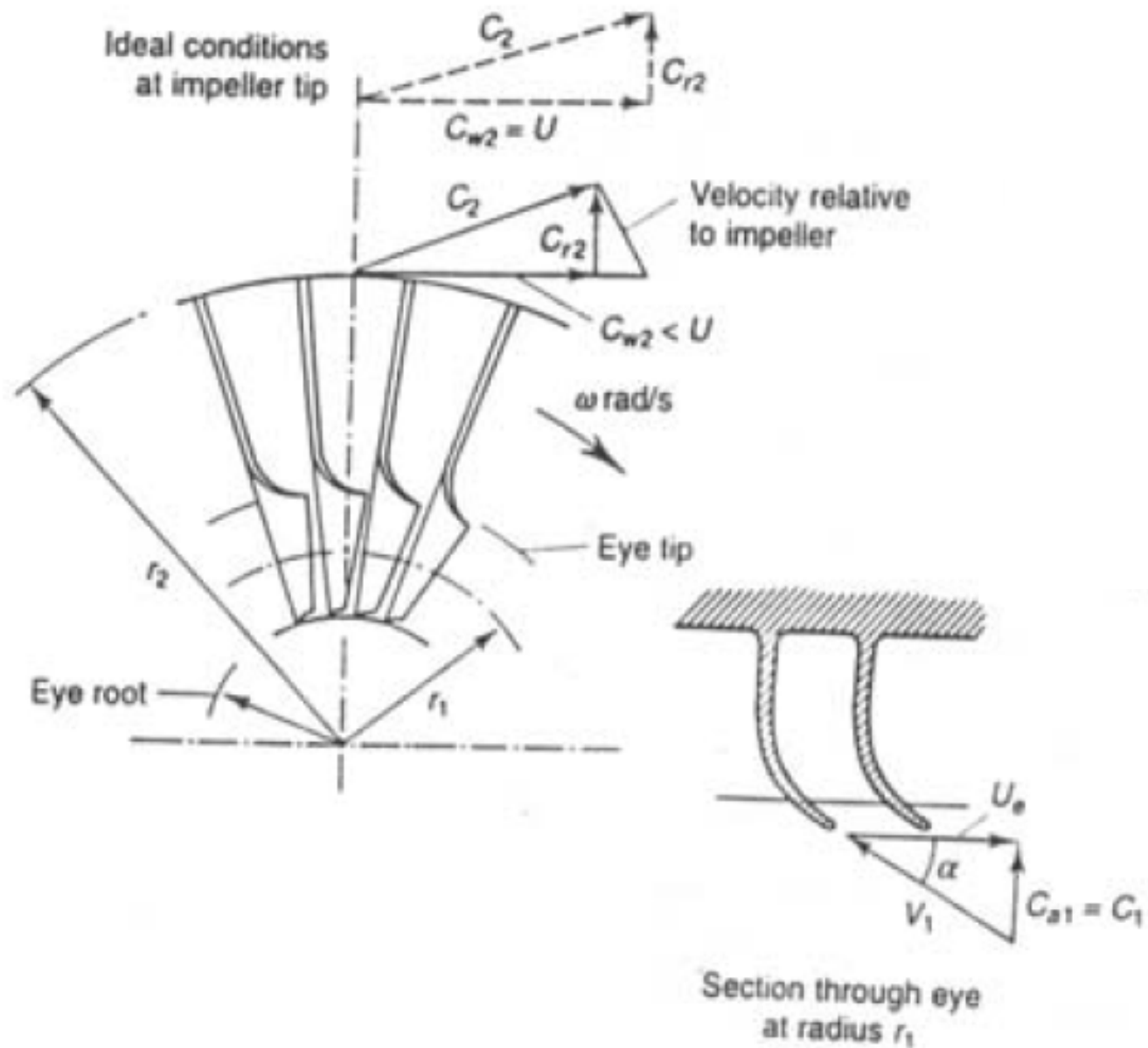
Pás em compressores



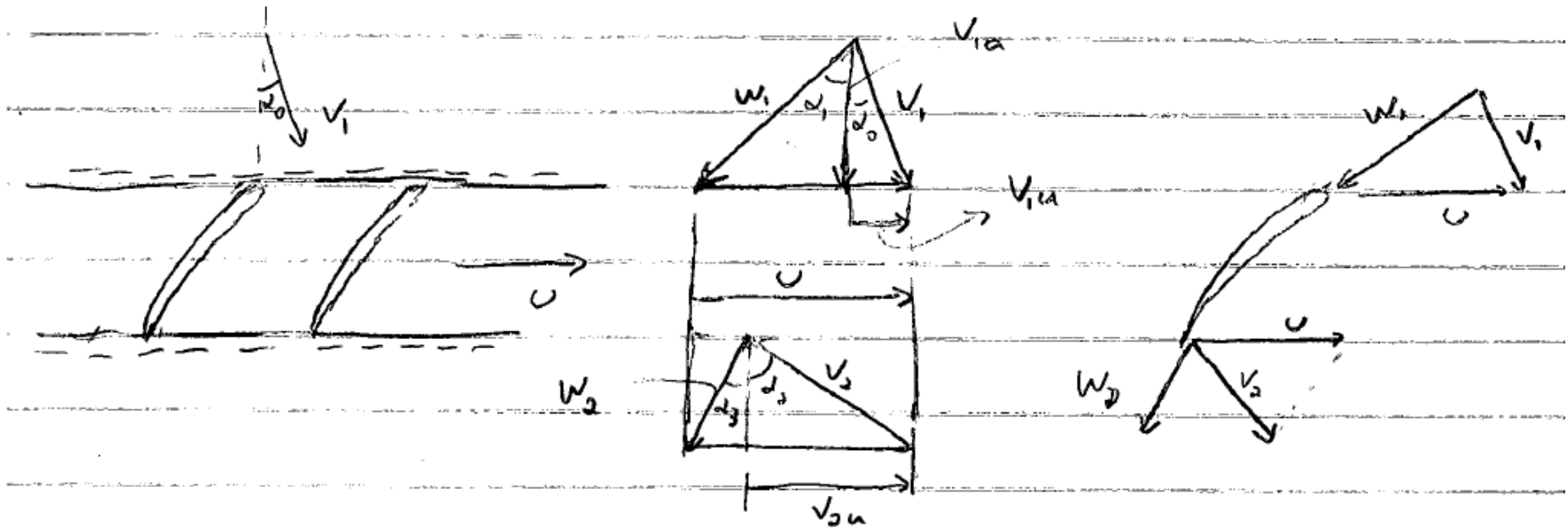
Estatores



Triângulo de velocidades: compressor radial



Triângulo de velocidades: compressor axial



$$\vec{V} = V_r \vec{e}_r + V_u \vec{e}_\theta + V_a \vec{e}_z$$

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} = \frac{\partial}{\partial t} \int (\vec{r} \times \vec{V}) \rho dV + \oint (\vec{r} \times \vec{V}) \rho \vec{V}_r \cdot d\vec{A}$$

Compressor: Potência

- Considere:
 - RP, PUF
 - Torque devido a forças de masa e superfície desprezíveis
 - Eixo z = eixo axial do compressor

- Então: para $\vec{r} = r\vec{e}_r + z\vec{e}_z$

$$M_z = \oint rV_u d\dot{m} = \dot{m}(r_2V_{2u} - r_1V_{1u})$$

$$\dot{W}_c = \omega M_z = \dot{m}(U_2V_{2u} - U_1V_{1u})$$

- OBS: para turbinas axiais, $U_2=U_1=U$

$$\frac{\dot{W}_c}{\dot{m}} = U(V_{2u} - V_{1u})$$

Compressor: Potência

- Aplicando a eq. Energia com $\Delta PE = \dot{Q} = 0$ (VC = rotor)

$$\frac{\dot{W}_c}{\dot{m}} = - \frac{\dot{W}_{outros}}{\dot{m}} = h_{t2} - h_{t1}$$

$$\frac{\dot{W}_c}{\dot{m}} = c_p(T_{t2} - T_{t1}) = (U_2V_{2u} - U_1V_{1u})$$

- Rendimento adiabático do compressor

$$\eta_c = \frac{\dot{W}_{c,s}}{\dot{W}_c} = \frac{T_{t2s} - T_{t1}}{T_{t2} - T_{t1}}$$

Parâmetros de desempenho

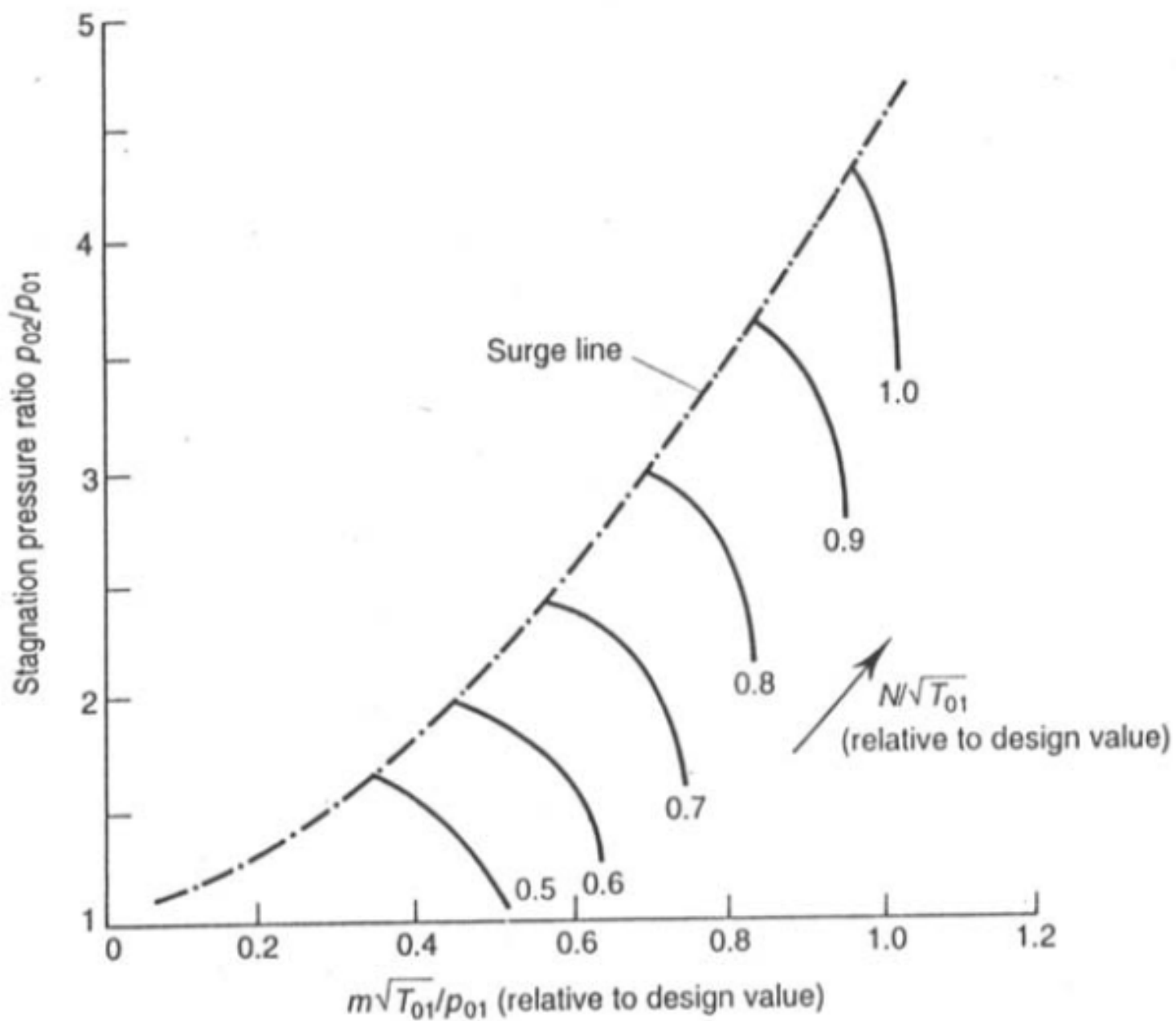
- Análise dimensional:

$\pi_1 = \Psi = \frac{W_c}{U^2}$ (coeficiente de pressão)	$\pi_4 = M_1 = \frac{ND}{\sqrt{\gamma RT_{t1}}}$ (Número de Mach)
$\pi_2 = \Phi = \frac{\dot{m}}{\rho ND^3}$ (coeficiente de vazão)	$\pi_5 = \gamma = \frac{c_p}{c_v}$ (relação dos calores específicos)
$\pi_3 = R_e = \frac{\rho DU}{\mu}$ (Número de Reynolds)	$\pi_6 = P_r = \frac{\mu c_p}{k}$ (Número de Prandtl)

$$\frac{P_{t2}}{P_{t1}} = f\left(\frac{\dot{m}\sqrt{RT_{t1}}}{AP_{t1}}, \frac{ND}{\sqrt{\gamma RT_{t1}}}, \gamma\right)$$

E, considerando que γ varia pouco:

$$\frac{P_{t2}}{P_{t1}} = f\left(\frac{\dot{m}\sqrt{T_{t1}}}{P_{t1}}, \frac{N}{\sqrt{T_{t1}}}\right)$$



Exercício

- Determine a razão de pressões (totais) e a potência necessária para acionar um compressor centrífugo de entrada axial, operando com velocidade periférica de 439 m/s, eficiência adiabática de 85%, vazão mássica de ar de 30 kg/s e temperatura ambiente de 15°C. Considere que a velocidade tangencial do fluido é igual à velocidade periférica.