

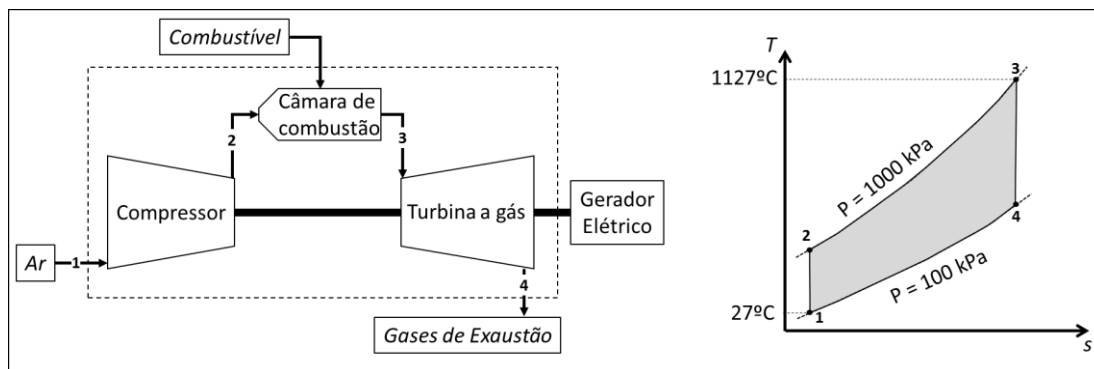
PROVA DE CONHECIMENTOS ESPECÍFICOS – PROCESSO SELETIVO PROPEN 2022-02  
GABARITO

Parte 1: TERMODINÂMICA

Considere uma turbina a gás operando em ciclo aberto, conforme a figura a seguir acompanhada do diagrama temperatura versus entropia do ciclo ideal Brayton correspondente.

A turbina opera com razão de pressão de 10 e temperaturas mínima e máxima de 27°C e 1127°C, respectivamente.

Sabendo que a eficiência do ciclo de Carnot é dada pela equação (1) e que a eficiência de uma máquina térmica é dada pela equação (2), faça o que se pede nos itens a seguir.



$$\eta_{Carnot} = 1 - \left( \frac{T_f}{T_q} \right) \quad \text{Equação (1)}$$

$$\eta_{máq} = \frac{W}{Q} \quad \text{Equação (2)}$$

- a) (1,5 pontos) Disserte sobre os modos de aumento da eficiência de uma turbina a gás.

*Resposta:*

*Para maximizar a produção de potência pela turbina a gás é necessário ajustar as temperaturas em diferentes etapas do ciclo. Os dois principais fatores que afetam o desempenho de turbinas a gás são a eficiência dos componentes e a temperatura de entrada na turbina.*

*1) Processo de compressão: o aumento da temperatura no processo de compressão deve ser o mínimo possível. Este aumento pode ser contornado inserindo trocadores de calor (intercoolers) entre os estágios de compressão. Porém, há também de se tomar cuidado pois os trocadores de calor possuem queda de pressão intrínseca. Então, deve-se selecionar a quantidade de estágios para inserir o trocador de calor de forma que não prejudique a eficiência do conjunto.*

2) *Temperatura de entrada da turbina (TET): a temperatura de entrada na turbina deve ser a maior possível. Porém, esta solução tem como problema principal os materiais de construção das palhetas (principalmente do primeiro estágio) da turbina a gás possui. O material das palhetas deve suportar os esforços devido à pressão (força normal), alta rotação (força centrípeta e de cisalhamento) e temperatura.*

3) *Eficiências dos componentes: além do ajuste de temperaturas, as eficiências de cada componente (compressor, câmara de combustão e turbina) do conjunto devem ser as maiores possíveis.*

- b) (1,0 ponto) A máxima eficiência da turbina demonstrada na Figura é (4 pontos):
- i. ( ) 76,8%
  - ii. ( ) 97,6%
  - iii. ( ) 90,0%
  - iv. ( X ) 78,6%
  - v. ( ) Nenhuma das alternativas anteriores

*Para a resposta, o candidato deve lembrar de converter as temperaturas do diagrama T-s para Kelvin (27 °C = 300,15 K e 1127 °C = 1400,15 K). Com essas temperaturas e através da eficiência de Carnot já dá para saber a máxima eficiência do sistema:*

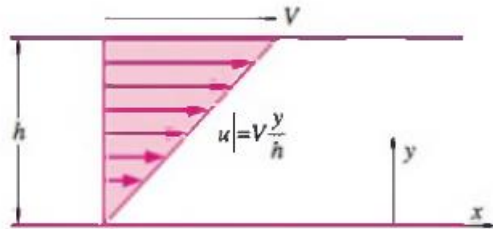
$$\eta_{Carnot} = 1 - \left(\frac{T_f}{T_q}\right) = 1 - \left(\frac{300,15}{1400,15}\right) = 0,786 \text{ ou } 78,6\%$$

*A resposta é a (iv).*

**Parte 2: MECÂNICA DOS FLUIDOS**

a) (0,75 ponto) Considere o escoamento de Couette — o escoamento entre duas placas paralelas infinitas separadas pela distância *h*, com a placa superior se movendo e a placa inferior fixa, como ilustra a Figura 1.

Figura 1



O escoamento é em regime permanente, incompressível e bidimensional no plano xy. O campo de velocidade é dado por:

$$\vec{V}(u, v) = V \frac{y}{h} \vec{i} + 0 \vec{j}$$

Mostre se o escoamento é rotacional ou irrotacional. Se rotacional as partículas de fluido desse escoamento giram no sentido horário ou anti-horário?

Vetor vorticidade em coordenadas cartesianas

$$\vec{\zeta} = \left( \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial z} \right) \vec{i} + \left( \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) \vec{j} + \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \vec{k}$$

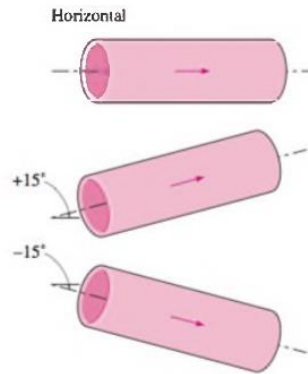
Resposta:

$$\begin{aligned} \vec{V}(u, v) &= V \frac{y}{h} \vec{i} + 0 \vec{j} \\ \vec{\zeta} &= \left( \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial z} \right) \vec{i} + \left( \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) \vec{j} + \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \vec{k} \\ \vec{\zeta} &= (0 - 0) \vec{i} + (0 - 0) \vec{j} + \left( 0 - \frac{V}{h} \right) \vec{k} \\ \vec{\zeta} &= -\frac{V}{h} \vec{k} \end{aligned}$$

As partículas giram no sentido horário.

b) (1,75 pontos) Óleo a 20°C ( $\rho = 888 \text{ kg/m}^3$  e  $\mu = 0,800 \text{ kg/m} \cdot \text{s}$ ) escoa estacionariamente através de um tubo de 5 cm de diâmetro e 40 m de comprimento (Figura 2). As pressões na entrada e saída do tubo são medidas como 745 kPa e 97 kPa, respectivamente. Determine a vazão volumétrica do óleo através do tubo supondo que o tubo seja: (a) horizontal, (b) inclinado 15° para cima, (c) inclinado 15° para baixo. Verifique também se o escoamento através do tubo é laminar.

Figura 2



Eq. continuidade

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{V.C.} \rho dV + \int_{S.C} \rho \vec{V} \cdot \vec{n} dA = 0$$

Eq. conservação da energia

$$\int_{S.C} \left( \frac{p}{\rho} + u + \frac{v^2}{2} + gz \right) \rho \vec{V} \cdot \vec{n} dA = \int_{S.C.} (\delta q' - \delta w') dA - H_T$$

$$\frac{H_T}{m \cdot g} = h_T \quad h_T = h_d + h_l \quad h_l = \sum K_L \frac{V^2}{2g} \quad h_d = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$\text{Escoamento laminar } f = \frac{64}{Re} \quad Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad Q = VA$$

Resposta:

$$\text{Continuidade } \int_{S.C} \rho \vec{V} \cdot \vec{n} dA = -m'_1 + m'_2 = 0$$

Conservação da energia

$$\theta \int_{S.C} \left( \frac{P}{\rho} + u + \frac{V^2}{2} + gz \right) \rho \vec{V} \cdot \vec{n} dA = \int_{S.C} (\delta q' - \delta w') dA - H \cdot T$$

$$-m'_1 \left( \frac{P}{\rho} + gz \right)_1 + m'_2 \left( \frac{P}{\rho} + gz \right)_2 = -H \cdot a \left( \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + (z_1 - z_2) \right) = f \frac{L V^2}{D^2 g} \quad f = \frac{64}{Re}$$

$$V = \frac{\gamma D^2}{32 \mu L} \left( \frac{P_1 - P_2}{\gamma} - L \text{sen} \theta \right) \quad Q = V \pi \frac{D^2}{4}$$

a)  $\theta = 0^\circ$

$$V = \frac{\gamma D^2}{32 \mu L} \left( \frac{P_1 - P_2}{\gamma} \right) \quad V = \frac{9,81 \times 888 \times 0,05^2}{32 \times 0,8 \times 40} \left( \frac{(745 - 97) \times 10^3}{9,81 \times 888} \right)$$

$$V = 21,27 \times 10^{-3} (74,39) = 1,6 \frac{m}{s} \quad Q = 1,6 \pi \frac{0,05^2}{4} = 0,0031 \frac{m^3}{s}$$

$$Re = \frac{888 \times 1,6 \times 0,05}{0,8} = 87,8 < 2300$$

Escoamento laminar

b)  $\theta = +15^\circ$

$$V = \frac{\gamma D^2}{32 \mu L} \left( \frac{P_1 - P_2}{\gamma} - L \text{sen} \theta \right) \quad V = 21,27 \times 10^{-3} (74,39 - 40 \text{sen}(15^\circ)) = 1,4 \frac{m}{s}$$

$$Q = 1,4 \pi \frac{0,05^2}{4} = 0,00272 \frac{m^3}{s} \quad Re = \frac{888 \times 1,4 \times 0,05}{0,8} = 74,6 < 2300$$

Escoamento laminar

c)  $\theta = -15^\circ$

$$V = \frac{\gamma D^2}{32 \mu L} \left( \frac{P_1 - P_2}{\gamma} - L \text{sen} \theta \right) \quad V = 21,27 \times 10^{-3} (74,39 - 40 \text{sen}(-15^\circ)) = 1,8 \frac{m}{s}$$

$$Q = 1,8 \pi \frac{0,05^2}{4} = 0,00350 \frac{m^3}{s} \quad Re = \frac{888 \times 1,8 \times 0,05}{0,8} = 98,8 < 2300$$

Escoamento laminar

### Parte 3: PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

a) (1,25 pontos) Sobre os ângulos das ferramentas utilizadas na usinagem: (i) Qual o ângulo mais influente na força de corte? (ii) Qual o ângulo mais influente na força passiva?

Resposta:

- (i) Ângulo de saída
- (ii) Ângulo de posição principal

b) (1,25 pontos) Durante os processos de usinagem quais mecanismos de desgaste ocorrem preferencialmente a baixas velocidades de corte e quais mecanismos de desgaste ocorrem preferencialmente a altas velocidades de corte?

Resposta:

Baixas velocidades: adesão e abrasão

Altas velocidades: oxidação, difusão e abrasão

### Parte 4: MATERIAIS

Observe as figuras abaixo e responda às questões a seguir:

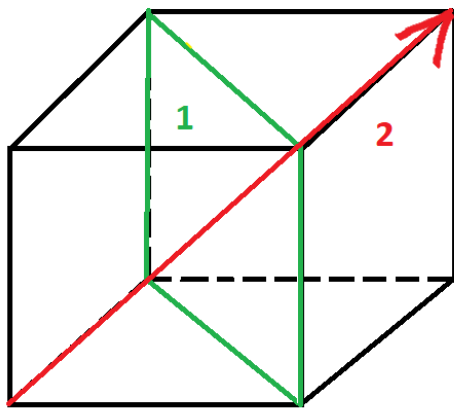


Figura A

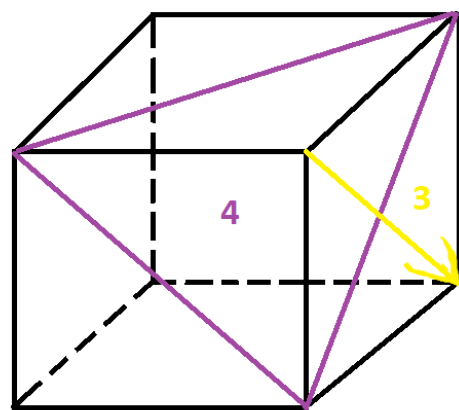


Figura B

a) (0,5 ponto) Forneça os índices de Miller dos planos e das direções. Observação: índices negativos deverão vir com o sinal negativo (-) antes do número.

Resposta:

Figura A:

Plano 1:  $(-110)$  ou  $(1-10)$

Direção 2:  $[-111]$

Figura B:

Plano 4: (-1-1-1)

Direção 3: [-10-1]

b) (0,5 ponto) Os planos e as direções das Figuras A e B são os mais importantes para qual estrutura cristalina? Justifique a sua resposta para cada plano e para cada direção. Máximo de seis linhas.

Resposta:

O plano e a direção da Figura 1 são mais importantes para a estrutura CCC porque fazem parte da família de planos e direções mais densos desta estrutura cristalina. Pelo mesmo motivo, o plano e a direção da Figura 2 são mais importantes para a estrutura cristalina CFC.

c) (1 ponto) Sabendo que a densidade atômica planar é dada pela relação entre o número de átomos no plano e a área do plano, pede-se determinar a densidade atômica PLANAR para o plano 4 da Figura B. Lembre-se de calcular a área do plano em função do parâmetro de rede  $a$  para a estrutura cristalina que este plano é o mais importante. A resposta deve ser dada em função do raio atômico  $R$  do elemento químico. Pede-se desenvolver este item da forma mais clara e completa possível.

Resposta:

Densidade atômica planar (DP) = número de átomos no plano / área do plano

Para a estrutura CFC:  $a = 2 \cdot (2^{1/2})R$

Cálculo do número de átomos:  $3 \cdot 1/2 + 3 \cdot 1/6 = 2$  átomos

Cálculo da área do plano: área de um triângulo equilátero = base \* altura / 2

Área do triângulo equilátero:  $[d \text{ (diagonal face)} \cdot h \text{ (triângulo)}] / 2$

Colocando  $h$  em função de  $d$ :  $(d)^2 = h^2 + (d/2)^2$ . Então,  $h = d \cdot (3^{1/2}) / 2$

Área do triângulo equilátero:  $d \cdot (d \cdot (3^{1/2}) / 2) / 2 = d^2 \cdot (3^{1/2}) / 4$

Colocando  $d$  em função de  $R$ :  $d = a(2^{1/2}) = 2(2^{1/2})R \cdot (2^{1/2}) = 4R$

Área do triângulo equilátero:  $16R^2 \cdot (3^{1/2}) / 4 = 4 \cdot (3^{1/2}) \cdot R^2$

Finalmente:  $DP = 2 / [4 \cdot (3^{1/2})R^2] = 1 / [2 \cdot (3^{1/2})R^2]$  (átomos/m<sup>2</sup> ou átomos/nm<sup>2</sup>)

d) (0,5 ponto) Levando-se em consideração as estruturas cristalinas para as quais os planos representados são os mais densos, normalmente, qual estrutura cristalina é mais susceptível ao encruamento: Figura A ou Figura B? Justifique a sua resposta em no máximo três linhas.

Resposta:

Figura B porque a estrutura cristalina CFC, por ser mais compacta, se deforma mais plasticamente e propicia maior encruamento do que a estrutura CCC.