MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
REITORIA
Avenida Rio Branco, 50 – Santa Lúcia – 29056-255 – Vitória – ES
27 3357-7500

CONCURSO PÚBLICO
EDITAL Nº 03 / 2016

Professor do Magistério do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico

ÍNDICE DE INSCRIÇÃO	319
HABILITAÇÃO	ENGENHARIA MECÂNICA

PROVA DE CONHECIMENTOS ESPECÍFICOS | DISCURSIVA
MATRIZ DE CORREÇÃO

QUESTÃO 01

Partindo do Teorema de transporte de Reynolds (Equação 1), que relaciona as variações das propriedades do sistema com as variações das propriedades no volume de controle, deduza a equação de energia e mostre que, para uma turbina adiabática, a potência gerada é dada pelo produto da vazão mássica pela variação de entalpia.

Solução:

$$\frac{dN}{dt}_{sistema} = \frac{\partial}{\partial t}\int_{VC} \eta\rho d\forall + \int_{SC} \eta\rho\,\vec{V}d\vec{A} \qquad \text{Eq. (1)}$$

Propriedade analisada (N): Energia (E);

Propriedade intensiva ($\eta = \frac{N}{m} = e$). Logo:

$$\frac{dE}{dt}_{sistema} = \frac{\partial}{\partial t}\int_{VC} e\rho d\forall + \int_{SC} e\rho\,\vec{V}d\vec{A} \qquad \text{Eq. (2)}$$

De acordo com a primeira lei da termodinâmica para um sistema,

$$\frac{dE}{dt}_{sistema} = \dot{Q} - \dot{W} \qquad \text{Eq. (3)}$$

onde: $\dot{Q}$ é a taxa de transferência de calor "do" ou "para" o sistema; e $\dot{W}$ é a taxa em que o trabalho é realizado por unidade de tempo.

A energia total é dada pela soma das energias cinética, potencial e interna.

$$E = \frac{1}{2}mV^2 + mgz + U \qquad \text{Eq. (4)}$$

onde: m = massa, g = gravidade, z = elevação e U = energia interna. Logo:

$$e = \frac{1}{2}V^2 + gz + u \qquad \text{Eq. (5)}$$

Aplicando a hipótese de regime permanente ($\frac{\partial}{\partial t} = 0$) e substituindo as Equações (3) e (5) na Eq. (2), tem-se:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \int_{SC} (\frac{1}{2}V^2 + gz + u)\rho \vec{V} d\vec{A} \qquad \text{Eq. (6)}$$

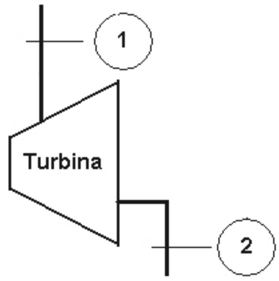
O trabalho, por unidade de tempo, pode ser dividido em trabalho de eixo ($\dot{W_e}$) e trabalho de superfície ($\dot{W_s}$). O trabalho de eixo refere-se à potencia gerada pela turbina ($\dot{W_e} = \dot{W_T}$) e o trabalho de superfície é o necessário para que o fluido cruze a superfície de controle, devido a resistência causada pela pressão, dado por:

$$\dot{W_s} = \int_{SC} p \vec{V} d\vec{A} = \int_{SC} \frac{p}{\rho} \rho \vec{V} d\vec{A} \qquad \text{Eq. (7)}$$

Separando-se as duas formas de trabalho e substituindo as informações acima na Eq. (6) tem-se:

$\dot{Q} - \dot{W}_T - \int_{SC} \frac{p}{\rho} \rho \vec{V} d\vec{A} = \int_{SC} (\frac{1}{2}V^2 + gz + u)\rho \vec{V} d\vec{A}$, ou

$$\dot{Q} - \dot{W}_T = \int_{SC} (\frac{1}{2}V^2 + gz + u + \frac{p}{\rho})\rho \vec{V} d\vec{A} \qquad \text{Eq. (8)}$$



Onde o trabalho de superfície foi agrupado com os termos referentes ao fluxo de energia através da superfície de controle.

Designando entrada e saída por 1 e 2, como mostrado na figura ao lado, tem-se:

$$\dot{Q} - \dot{W}_T = \int_{SC1} \left(\frac{1}{2}V^2 + gz + u + \frac{p}{\rho}\right) \rho \vec{V} d\vec{A} + \int_{SC2} (\frac{1}{2}V^2 + gz + u + \frac{p}{\rho})\rho \vec{V} d\vec{A}$$

Considerando-se que as propriedades do fluido são uniformes nas seções, tem-se:

$$\dot{Q} - \dot{W}_T = \left(\frac{1}{2}V^2 + gz + u + \frac{p}{\rho}\right)_1 \int_{SC1} \rho \vec{V} d\vec{A} + \left(\frac{1}{2}V^2 + gz + u + \frac{p}{\rho}\right)_2 \int_{SC2} \rho \vec{V} d\vec{A}$$

Fluxo entrando no volume de controle é negativo e saindo é positivo, devido ao produto escalar $\vec{V} d\vec{A}$, logo:

$$\dot{Q} - \dot{W}_T = -\left(\frac{1}{2}V^2 + gz + u + \frac{p}{\rho}\right)_1 \int_{SC1} \rho V dA + \left(\frac{1}{2}V^2 + gz + u + \frac{p}{\rho}\right)_2 \int_{SC2} \rho V dA$$

Como $\int_{SC1} \rho V dA = \int_{SC2} \rho V dA = \dot{m}$, ou seja, a vazão mássica passando pela turbina, tem=se:

$$\dot{Q} - \dot{W}_T = -\dot{m}\left(\frac{1}{2}V^2 + gz + u + \frac{p}{\rho}\right)_1 + \dot{m}\left(\frac{1}{2}V^2 + gz + u + \frac{p}{\rho}\right)_2$$

Como a entalpia h é dada por: $h = u + \frac{p}{\rho}$, obtem-se a Equação da energia aplicada a uma turbina.

$\dot{Q} - \dot{W}_T = -\dot{m}\left(\frac{1}{2}V^2 + gz + h\right)_1 + \dot{m}\left(\frac{1}{2}V^2 + gz + h\right)_2$, ou

$\dot{W}_T - \dot{Q} = \dot{m}\left\{\left(\frac{1}{2}V^2 + gz + h\right)_1 - \left(\frac{1}{2}V^2 + gz + h\right)_2\right\}$ ← **Equação da Energia.**

Para o caso de uma turbina adiabática $\dot{Q} = 0$. Desprezando-se as variações de energia cinética e potencial, tem-se:

$\dot{W}_T = \dot{m}\{h_1 - h_2\}$ ← **Solução.**

QUESTÃO 02

As bombas centrífugas são bombas hidráulicas em que a energia é transmitida para o fluido através de um rotor que fica no interior de uma carcaça. O fluido entra pelo centro da bomba e é movido em direção à periferia devido a forma e o movimento do rotor. **A função do rotor é transmitir energia cinética para o fluido**. A energia por unidade de peso de fluido bombeado é conhecida como carga. Ao sair do rotor, o fluido passa por um difusor. **A função do difusor é transformar parte da carga cinética em carga de pressão, necessária para que se consiga vencer as perdas de carga e promover a elevação do fluido**. A transformação da carga cinética em carga de pressão pode ser explicada pela equação de Bernoulli em que, desprezando-se as cargas potenciais, a soma da carga de pressão com a carga cinética deve permanecer constante, como mostrado na Eq. (1).

$\frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} = cte$ Eq. (1)

Com o aumento da área transversal ao escoamento no difusor, ocorre uma diminuição da velocidade, devido à conservação de massa, e consequentemente, um aumento da pressão.

Para se estimar a potencia necessária da bomba, é preciso determinar a altura manométrica de elevação (H_m), que é a soma da altura estática de elevação (h_e), devido à diferença de nível, e as perdas de carga na tubulação (h_f).

$H_m = h_e + h_f$ Eq. (2)

As perdas de carga podem ser divididas em perdas distribuídas (h_D) e perdas localizadas (h_L).

$h_f = h_D + h_L$ Eq. (3)

A perda de carga distribuída é devido ao atrito do fluido com a tubulação e é dada por:

$h_f = f\,\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g}$ Eq. (4)

onde f é o fator de atrito de Darcy-Weisbach, L é o comprimento da tubulação, D é o diâmetro e $\frac{V^2}{2g}$ é a carga cinética.

A perda de carga localizada pode ser estimada de duas maneiras: pelo produto de uma constante pela carga cinética ($h_L = k\frac{V^2}{2g}$) ou pelo método do comprimento equivalente ($h_L = f\frac{l_{eq}}{D}\frac{V^2}{2g}$). Tato k quanto l_{eq} são fornecidos pelo fabricante dos componentes (conexões, expansões, contrações, curvas, válvulas, etc). O fator de atrito pode ser obtido pela utilização do diagrama de Moody ou por equações empíricas como a fórmula de Colebrooke. Como dito anteriormente, a perda de carga total é dada pela soma da perda de carga distribuída com todas as demais perdas cargas localizadas.

O termo NPSH vem do inglês *Net Positive Suction Head* (carga líquida positiva de sucção). Representa a energia disponível na entrada de uma bomba hidráulica. O NPSH está relacionado à diferença entre a pressão do fluido (p_0) em uma tubulação e a pressão de vapor (p_v) a uma dada temperatura, Eq. (5).

$$NPSH = \frac{p_0 - p_v}{\gamma} + \Delta z + h_{f,s} \qquad \text{Eq. (5)}$$

onde γ é o peso específico do fluido, Δz é a diferença de nível entre o reservatório e a entrada da bomba e $h_{f,s}$ é a perda de carga na linha de sucção.

Em uma instalação de bombeamento, calcula-se o NPSH disponível e caso este seja menor que o requerido, fornecido pelo fabricante da bomba, pode ocorrer cavitação.

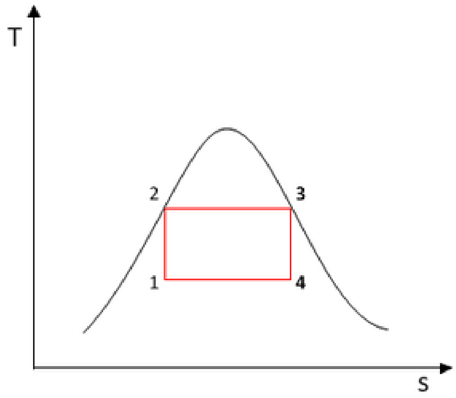
Quando uma bomba não consegue vencer a altura manométrica de uma instalação ou mandar a vazão desejada, pode-se utilizar do recurso de instalação em série ou em paralelo.

A curva característica de uma bomba é uma representação gráfica da altura manométrica de elevação em função da vazão que é bombeada pelo sistema. Ao se fazer uma instalação em série, para cada vazão, as alturas manométricas são somadas, permitindo que um fluido seja elevado a uma altura maior, com a mesma vazão. Para o caso da ligação em paralelo, para uma mesma altura manométrica de elevação, as vazões são somadas, permitindo que seja bombeada uma maior quantidade de fluido para aquela instalação.

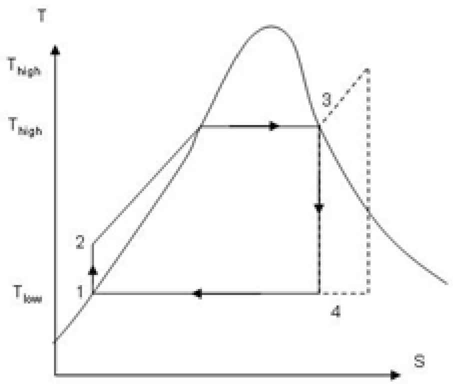
QUESTÃO 03

a) Como mostrado nos diagramas abaixo, o ciclo de Rankine possui algumas alterações com relação ao ciclo de Carnot, tais como:

- Entrada de líquido saturado na bomba (ponto 1) pois a entrada de uma mistura bifásica na mesma poderá acarretar na sua cavitação.
- Aquecimento do fluido de trabalho na caldeira (processo 2 – 3) com variação de temperatura. Com isso, a temperatura média termodinâmica de adição de calor será reduzida.



Ciclo de Carnot



Ciclo de Rankine

b) A eficiência do ciclo de Rankine pode ser mensurada levando em conta as suas temperaturas médias termodinâmicas de adição e rejeição de calor, conforme mostrado na equação abaixo:

$$\eta = 1 - \frac{T_F}{T_Q}$$

Onde T_F representa a temperatura média termodinâmica de rejeição de calor e T_Q representa a temperatura média termodinâmica de adição de calor. Com isso, percebe-se que o aumento de T_Q, ou a redução de T_F é possível aumentar a eficiência do ciclo de Rankine.

Dessa forma, visando esses parâmetros, algumas alterações podem ser feitas no ciclo visando aumentar sua eficiência.

- Superaquecimento: Visa aumentar o potencial de aproveitamento energético do vapor, fazendo com que esse saia na forma de vapor superaquecido da caldeira, podendo gerar uma maior quantidade de energia na turbina, quando comparado ao processo de expansão do vapor saturado. Com o superaquecimento eleva-se a temperatura média termodinâmica de adição de calor do ciclo, aumentando sua eficiência.
- Reaquecimento: Consiste na recirculação do fluido de trabalho na caldeira após passar por um estágio da turbina, fazendo com que o fluido seja aquecido novamente antes de entrar no próximo estágio de expansão. Tal processo consegue efetuar um melhor aproveitamento do calor dos gases de combustão na caldeira, elevando o valor da energia total gerada no processo de expansão do fluido de trabalho. Dessa forma, eleva-se a temperatura média termodinâmica de adição de calor do ciclo, aumentando sua eficiência.
- Ciclo supercrítico: O ciclo supercrítico consiste em utilizar o vapor acima do seu ponto crítico, dessa forma, esse irá possuir um maior teor energético a ser aproveitado na turbina, fazendo com que a geração energética seja maior, e elevando a sua temperatura média termodinâmica de adição de calor e, consequentemente, aumentando a eficiência do ciclo.
- Ciclo Regenerativo: A regeneração consiste na extração parcial do fluido de trabalho da turbina para realizar um pré-aquecimento do mesmo antes de entrar na caldeira, dessa forma, será necessária uma menor quantidade de energia a ser consumida para aquecer o vapor elevando a sua eficiência

QUESTÃO 04

Reação do Metano (CH_4) com 50% de ar seco em excesso:

$$CH_4 + 1,5a(O_2 + 3,76N_2) \rightarrow bCO_2 + cH_2O + 0,5aO_2 + 1,5a.3,76N_2$$

Para a obtenção dos coeficientes estequiométricos “a”, “b” e “c” é realizado o seguinte balanço de massa:

- Número de mols do composto no reagente = Número de mols do composto no produto. Dessa forma, isolando as moléculas de Carbono (C), Hidrogênio (H_2), Oxigênio (O) e Nitrogênio (N_2), os seguintes resultados serão obtidos:
    - a = 2
    - b = 1
    - c = 1
- Com isso, a reação terá o seguinte equacionamento:

$$CH_4 + 3(O_2 + 3,76N_2) \rightarrow CO_2 + 2H_2O + 1,5O_2 + 16,92N_2$$

- A razão Ar/Combustível será obtida da seguinte forma:

$$A/_C = \frac{Massa\ de\ Ar}{Massa\ de\ Combustível} = \frac{Mols\ de\ Ar}{Mols\ de\ Combustível}\ x \frac{Massa\ Molar\ do\ Ar}{Massa\ Molar\ dos\ Combustíveis}$$

$$A/_C = \frac{4,76}{1}\ x \frac{0,21\ x\ 32 + 0,79\ x\ 28}{16} = 8,58 \frac{kg\ de\ ar}{kg\ de\ combustível}$$

QUESTÃO 05

As equações da continuidade (1) e Navier-Stokes (2) são utilizadas para descrever o movimento de um fluido newtoniano incompressível escoando em regime permanente. Partindo destas equações, mostre que a velocidade média do fluido escoamento em uma tubulação é metade da velocidade máxima.

Solução:

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

Hipóteses:

(1) escoamento axissimétrico (circunferencialmente simétrico), $\frac{\partial}{\partial \theta} = 0$.
(2) Escoamento completamente desenvolvido, $\frac{\partial}{\partial z}(v_z)$.
(3) regime permanente, $\frac{\partial}{\partial t} = 0$.
(4) Efeitos gravitacionais desprezíveis ($g_z = 0$).

Aplicando as hipóteses (1) e (2) para a equação (1), tem-se:

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(rv_r) = 0 \quad \rightarrow rv_r = constante.$$

Como, $v_r = 0\ na\ parede\ da\ tubulação, v_r = 0\ para\ todo\ o\ domínio.$ (5)

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

Aplicando as hipótese (1) a (4) na equação (2c), tem-se:

$0 = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left\{ \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial v_z}{\partial r} \right) \right\}$, ou

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial v_z}{\partial r} \right) = \frac{1}{\mu}\frac{\partial p}{\partial z} \qquad \text{Eq. (3)}$$

O termo do lado esquerdo é função de r e o do lado direito é função de z, ou seja, $f(r) = g(z)$. Logo, $\frac{\mu}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial v_z}{\partial r} \right) = \frac{\partial p}{\partial z} = constante = \frac{dp}{dz}$.

Rearranjando a Eq. (3), tem-se:

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial v_z}{\partial r} \right) = \frac{1}{\mu}\frac{dp}{dz} r$$

Que integrando-se em r, resulta em:

$$r\frac{\partial v_z}{\partial r} = \frac{1}{\mu}\frac{dp}{dz}\frac{r^2}{2} + c_1$$

Devido à simetria em relação à linha de centro da tubulação, em $r = 0$, $\frac{\partial v_z}{\partial r} = 0$, logo: $c_1 = 0$, portanto:

$r\frac{\partial v_z}{\partial r} = \frac{1}{\mu}\frac{dp}{dz}\frac{r^2}{2}$, ou

$\frac{\partial v_z}{\partial r} = \frac{1}{\mu}\frac{dp}{dz}\frac{r}{2}$, que integrando-se em r, resulta em:

$$v_z = \frac{1}{\mu}\frac{dp}{dz}\frac{r^2}{4} + c_2 \qquad \text{Eq. (4)}$$

Como em $r = R$, $v_z = 0$, tem-se:

$$c_2 = -\frac{1}{\mu}\frac{dp}{dz}\frac{R^2}{4}.$$

Substitundo $c_2$na Equação 4, resulta em:

$v_z = \frac{1}{\mu}\frac{dp}{dz}\frac{r^2}{4} - \frac{1}{\mu}\frac{\partial p}{\partial z}\frac{R^2}{4} \rightarrow v_z = \frac{1}{4\mu}\frac{dp}{dz}(r^2 - R^2)$, portanto:

$$v_z = -\frac{R^2}{4\mu}\frac{dp}{dz}\left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \qquad \text{Eq. (5)}$$

O sinal de negativo no termo do lado direito da equação é devido ao fato de $\frac{dp}{dz} < 0$.

A velocidade é máxima ($v_{z,max}$) em $r = 0$. Logo:

$v_{z,max} = -\frac{R^2}{4\mu}\frac{dp}{dz} \quad \leftarrow$ **Velocidade máxima**.

Pela definição de velocidade média tem-se:

$$\overline{v_z} = \frac{1}{A}\int_A v_z \, dA \qquad \text{Eq. (6)}$$

onde: $A = \pi R^2$ e $dA = 2\pi r dr$.

Substituindo a Eq. (5) na Eq. (6) e integrando-se em r, tem-se:

$\overline{v_z} = -\frac{R^2}{8\mu}\frac{dp}{dz} \quad \leftarrow$ **Velocidade média**.

Portanto:

$\overline{v_z} = \frac{v_{z,max}}{2}$ $\leftarrow$ **Solução**.