

Ejercicio 01

ENUNCIADO EJERCICIO 01

En el estator de una Turbina de Vapor de Acción con presión constante en el rotor, se mecanizan 20 Toberas adiabáticas y reversibles, en las que se expansiona vapor sobrecalentado a 40 bar y 450 °C. La sección es circular y el diámetro en la salida es de 15 mm. La velocidad del vapor a la entrada es de 25 m/s. La presión de salida es de 12 bar. En el rotor se produce un aumento de entalpía del 3 % respecto de la entalpía de salida de la tobera.

Notas:

- a) Para calcular la velocidad del sonido, suponer que el vapor se comporta (con suficiente aproximación) como un gas ideal de $\gamma = 1,3$.
- b) Para calcular los apartados (6) y (7), suponer despreciable el incremento de energía cinética del vapor, entre la entrada y la salida de la turbina

Determinar:

- 1) Caudal de vapor expansionado.
- 2) Número de Mach en la salida.
- 3) Forma de la Tobera
- 4) Rendimiento isoentrópico de la Turbina
- 5) Potencia obtenida en la turbina
- 6) Exergía del vapor a la salida de la turbina

Datos:

Condiciones de entrada a la tobera:

$$P_0 = 40 \text{ [bar]}$$

$$t_0 = 450 \text{ [C]}$$

$$c_0 = 25 \text{ [m/sec]}$$

$$h_0 = \mathbf{h} \text{ (water ; } T=t_0 ; P=P_0 \text{)}$$

$$P_1 = 12 \text{ [bar]}$$

$$P_1 = P_2$$

$$s_0 = \mathbf{s} \text{ (water ; } T=t_0 ; P=P_0 \text{)}$$

El derrame es isentrópico, por lo que a la salida se tiene la misma entropía que a la entrada:

$$s_1 = s_0$$

$$h_1 = \mathbf{h} \text{ (water ; } s=s_1 ; P=P_1 \text{)}$$

$$t_1 = \mathbf{T} \text{ (water ; } P=P_1 ; h=h_1 \text{)}$$

$$v_1 = \mathbf{v} \text{ (water ; } T=t_1 ; P=P_1 \text{)}$$

Hay 20 toberas, por lo que la sección de entrada total es la del total de las toberas:
Número de toberas

$$z = 20$$

Diámetro de la tobera

$$d = 0,015 \text{ [m]}$$

Sección de entrada a la tobera

$$\Omega = \pi \cdot \frac{d^2}{4}$$

$$\Omega_{\text{tot}} = z \cdot \Omega$$

La entalpía se incrementa 3% en la tobera

$$h_2 = 1,03 \cdot h_1$$

$$t_2 = \mathbf{T} \text{ (water ; } P=P_2 ; h=h_2 \text{)}$$

$$s_2 = \mathbf{s} \text{ (water ; } T=t_2 ; P=P_2 \text{)}$$

$$v_2 = \mathbf{v} \text{ (water ; } T=t_2 ; P=P_2 \text{)}$$

1) Caudal de vapor expansionado:

$$h_0 \cdot \left| 1000 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kJ}} \right| + \frac{c_0^2}{2} = h_1 \cdot \left| 1000 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kJ}} \right| + \frac{c_1^2}{2}$$

$$\dot{G} = \Omega_{\text{tot}} \cdot \frac{c_1}{v_1}$$

$$\gamma = 1,3$$

2) Número de Mach en la salida de las toberas

$$a_1 = \left[N \cdot P_1 \cdot \left| 100000 \cdot \frac{\text{Pa}}{\text{bar}} \right| \cdot v_1 \right]^{0,5}$$

$$M = \frac{c_1}{a_1}$$

3) Forma de la tobera: $M > 1$, tobera convergente – divergente

4) Rendimiento isentrópico de la tobera

$$\eta_{s;\text{turb}} = \frac{h_0 - h_1}{h_0 - h_1}$$

5) Potencia obtenida de la turbina

$$\dot{N} = \dot{G} \cdot (h_0 - h_2)$$

6) Exergía del vapor a la salida de la turbina

$$T_a = 15 \text{ [C]}$$

$$P_a = 1 \text{ [bar]}$$

$$h_a = \mathbf{h} (\text{water} ; T=T_a ; P=P_a)$$

$$s_a = \mathbf{s} (\text{water} ; T=T_a ; P=P_a)$$

$$T_{a;K} = \mathbf{ConvertTemp} (C ; K ; T_a)$$

$$B_{t;2} = \dot{G} \cdot (h_2 - h_a - T_{a;K} \cdot (s_2 - s_a))$$

Resolución en EES

"Condiciones de entrada a la tobera"

$P[0] = 40$ [bar]
 $t[0] = 450$ [C]
 $c[0] = 25$ [m/sec]
 $h[0] = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T = t[0]; P = P[0])$

$P[1] = 12$ [bar]
 $P[1] = P[2]$

$s[0] = \text{Entropy}(\text{Water}; T = T[0]; P = P[0])$

"Derrame isoentropico"

$s[1] = s[0]$
 $h[1] = \text{Enthalpy}(\text{Water}; s = s[1]; P = P[1])$
 $t[1] = \text{Temperature}(\text{Water}; P = P[1]; h = h[1])$
 $v[1] = \text{Volume}(\text{Water}; T = T[1]; P = P[1])$

$z = 20$
 $d = 0,015$ [m]
 $\omega = \pi * d^2 / 4$
 $\omega_{tot} = z * \omega$

"Cantidad de toberas "
 "Diámetro de toberas "
 "Sección de salida de las toberas "
 "Sección total de salida"

"El incremento de entalpia en el rotor es de 3%"

$h[2] = 1,03 * h[1]$
 $t[2] = \text{Temperature}(\text{Water}; P = P[2]; h = h[2])$
 $s[2] = \text{Entropy}(\text{Water}; T = T[2]; P = P[2])$
 $v[2] = \text{Volume}(\text{Water}; T = T[2]; P = P[2])$

"1) Para calcular el caudal hay que calcular la velocidad de salida"

$h[0] * \text{convert}(\text{kJ}; \text{J}) + c[0]^2 / 2 = h[1] * \text{convert}(\text{kJ}; \text{J}) + c[1]^2 / 2$

$G_{dot} = \omega_{tot} * c[1] / v[1]$

"2) Velocidad MACH de salida"

$\gamma = 1,3$

$a_1 = (\gamma * P[1] * \text{convert}(\text{bar}; \text{Pa}) * v[1])^{0,5}$

$M = c[1] / a_1$

"3) Tobera convergente - divergente"

"4) Rendimiento isoentrópico de la turbina"

$\eta_{s_turb} = (h[0] - h[1]) / (h[0] - h[1])$

"5) Potencia que se consigue en la turbina"

$N_{dot} = G_{dot} * (h[0] - h[2])$

"6) Exergia del vapor a la salida"

Ejercicio 01

$T_a = 15$ [C]
 $P_a = 1$ [bar]
 $h_a = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T = t_a; P = P_a)$
 $s_a = \text{Entropy}(\text{Water}; T = T_a; P = P_a)$

"Condiciones ambientales"
 "Condiciones ambientales"

$T_{a_K} = \text{convertTemp}('C'; 'K'; T_a)$

$B_{t_2} = G_{\text{dot}} * ((h[2] - h_a) - T_{a_K} * (s[2] - s_a))$

RESULTADOS:

c[i]	h[i]	P[i]	s[i]	t[i]	v[i]
[m/sec]	[kJ/kg]	[bar]	[kJ/kg-K]	[C]	[m ³ /kg]
25	3330	40	6,936	450	
822,6	2992	12	6,936	275,9	0,2036
	3082	12	7,094	317	0,2209

$a_1 = 563,5$ [m/sec]

$B_{t_2} = 14846$ [kW]

$d = 0,015$ [m]

$\eta_{s_turb} = 1$

$\gamma = 1,3$

$G_{\text{dot}} = 14,28$ [kg/sec]

$h_a = 63,01$ [kJ/kg]

$M = 1,46$

$N_{\text{dot}} = 3546$ [kW]

$\omega = 0,0001767$ [m²]

$\omega_{\text{tot}} = 0,003534$ [m²]

$P_a = 1$ [bar]

$s_a = 0,2242$ [kJ/kg-K]

$T_a = 15$ [C]

$T_{a_K} = 288,2$ [K]

$z = 20$