

Problema 34

34.1 Enunciado:

En una instalación de refrigeración que funciona bajo el ciclo inverso de Rankine, siendo el fluido refrigerante agua, se cree que en el proceso de compresión debería utilizarse un turbocompresor con 8 etapas similar al que se muestra en la figura (34.1). Cada etapa estaría compuesta por un rotor y un estator según se ve en la figura (34.2). El proceso de compresión se esquematiza en la figura (34.3), para un caso de tres etapas, donde se observa que la energía comunicada en cada etapa es idéntica.

Se sabe que las condiciones termodinámicas a la entrada del compresor son: $T_1 = 100^\circ\text{C}$; $P_1 = 1$ bar; mientras que a la salida las condiciones del fluido deberían ser de $T_2 = 250^\circ\text{C}$; $P_2 = 3$ bar. Se ha estimado además, que la potencia en el eje del compresor debería ser de unos 5730 KW, teniendo el compresor un rendimiento del 73% respecto a un proceso isentrópico de compresión.

Se pide:

1.- Los triángulos de velocidades a la salida del rotor de la primera etapa, tanto para el cubo como la periferia.

2.- Considerando que el perfil de los alabes es un Göttinguen 622, cuya curva polar esta representada en la figura (34.4), determinar la longitud de los alabes en la periferia de la primera etapa, para ángulos de ataque α de 2 y 10 grados.

Considerar un rodete con 50 alabes.

¿Qué ángulo de ataque sería el mas apropiado?. Comentar los resultados obtenidos, indicando posibles soluciones a los problemas encontrados.

Datos:

$\beta_1 = 60^\circ$; $n = 8000$ rpm; Diámetro periferia = 0,8 m; Diámetro cubo = 0,5 m;

$\eta_{\text{Hidráulico}} = 1$; $R_{\text{vapor de agua}} = 461,5 \text{ (J/(KgK))}$;
 $C_p \text{ vapor de agua} = 1,89330 + 0,0003111 T \text{ (KJ/(KgK))}$.

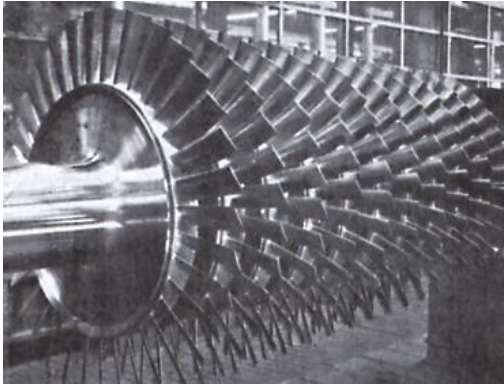


Figura 34 1

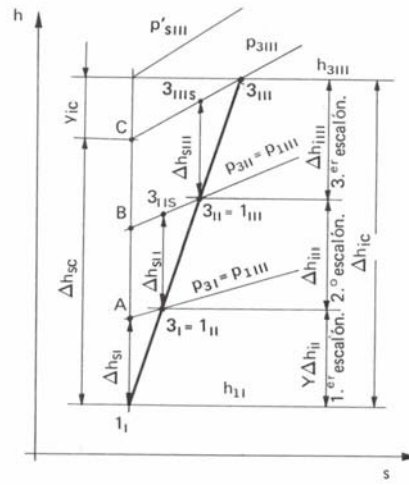


Figura 34 3

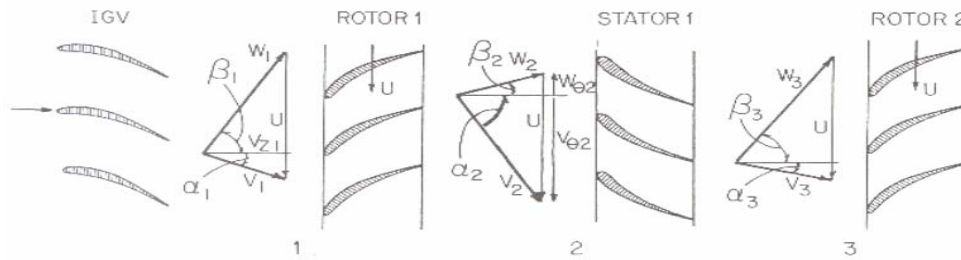


Figura 34 2

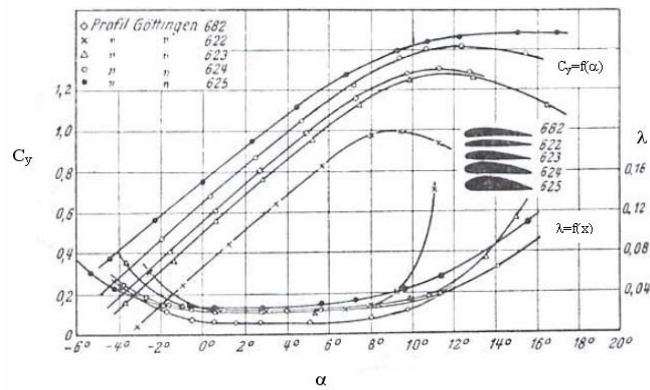


Figura 34.4

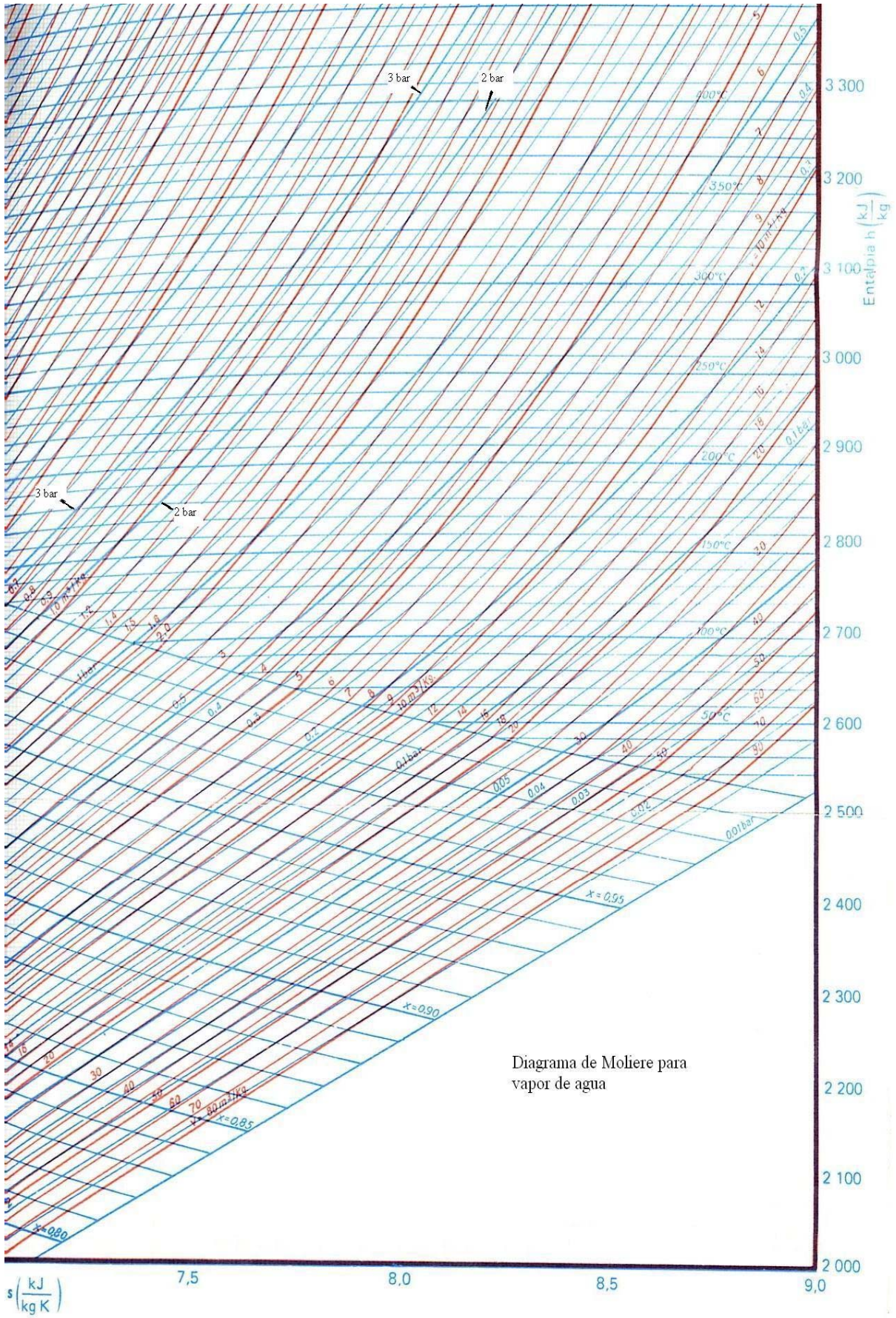


Diagrama de Moliere para vapor de agua

34.2 Resolución:

Se sabe, que las condiciones termodinámicas a la entrada del compresor son: $T_1 = 100^\circ\text{C}$; $P_1 = 1$ bar (absoluta), mientras que a la salida del mismo son de: $T_2 = 250^\circ\text{C}$ y $P_2 = 3$ bar (absoluta). Se recomienda ver el diagrama termodinámico.

1.- Del diagrama termodinámico:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Para: } T_1 = 100^\circ\text{C} \\ P_1 = 1 \text{ bar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = 2696 \text{ [KJ/Kg]} \\ s_1 = 7,35 \text{ [KJ/Kg}\cdot\text{K]} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{y para: } T_2 = 250^\circ\text{C} \\ P_2 = 3 \text{ bar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_2 = 2975 \text{ [KJ/Kg]} \\ s_2 = 7,5 \text{ [KJ/Kg}\cdot\text{K]} \end{array}$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{Si proceso isoentrópico} \\ h_2 = 2900 \text{ [KJ/Kg]} \end{array} \right]$$

$$\Delta h = 2975 - 2696 = 279 \text{ KJ/Kg}$$

$$\Delta h_{1 \text{ etapa}} = \frac{279}{8} = 34,875 \text{ KJ/Kg}$$

$$Y_{1 \text{ etapa}} = \frac{\Delta P}{\rho} = \Delta h = 34875 \text{ J/Kg}; = u \cdot \Delta C_u$$

$$u_{\text{periferia}} = 8000 \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot 0,5 = 335,1 \text{ m/s}$$

$$u_{\text{cubo}} = 8000 \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot 0,25 = 209,4 \text{ m/s}$$

$$34875 = 335,1 \cdot \Delta C_{u,p}; \quad \Delta C_{u,p} = 104,07 \text{ m/s}$$

$$34875 = 209,1 \cdot \Delta C_{u,c}; \quad \Delta C_{u,c} = 166,54 \text{ m/s}$$

La potencia total comunicada al fluido es de:

$$(h_2 - h_1) \dot{m} = 279000 \text{ m}$$

De donde el rendimiento del compresor será:

$$\eta_c = \frac{(h_2 - h_1) \cdot \dot{m}}{N_a} = \frac{279000 \cdot \dot{m}}{5730000} = 0,73$$

$$\dot{m} = 15 \text{ Kg/s}$$

El volumen específico del vapor de agua a la entrada del compresor es, según el diagrama de Mollier, de:

$$v = 1,7 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

De donde la densidad es:

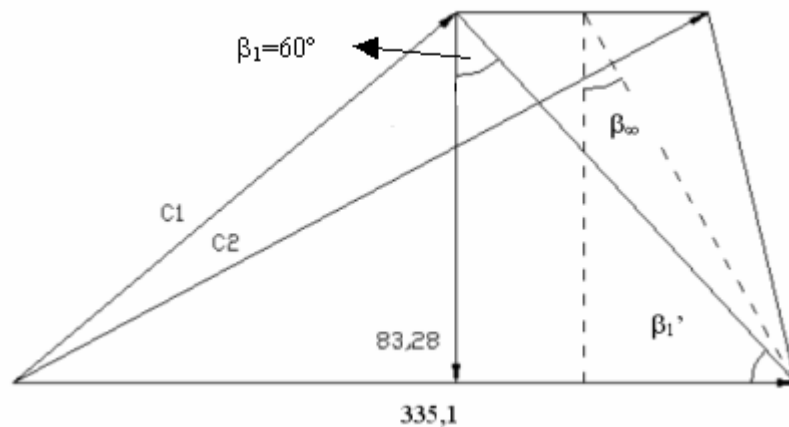
$$\rho = \frac{1}{v} = 0,588 \text{ Kg/m}^3$$

El caudal volumétrico es de (a la entrada):

$$\dot{m} = Q \cdot \rho = 15 = Q \cdot 0,588; \quad Q = 25,50 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C_{1m} = \frac{Q}{S} = \frac{25,50 \cdot \text{m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4} \cdot (0,8^2 - 0,5^2)} = 83,28 \text{ m/s}$$

El triángulo de velocidades en la periferia será:



$$\text{tg } \beta_1 = \text{tg } 60^\circ = \frac{W_{1u}}{C_m} \quad W_{1u} = 83,28 \cdot \text{tg } 60^\circ = 144,24 \text{ m/s}$$

$$C_{2u_p} = 335,1 - 144,24 + 104,07 = 294,92 \text{ m/s}$$

$$W_{\infty u_p} = W_{1u_p} - \frac{\Delta C_u}{2} = 144,24 - \frac{104,07}{2} = 92,2 \text{ m/s}$$

$$\text{tg } \beta_{\infty_p} = \frac{W_{\infty u}}{C_{1m}} = \frac{92,2}{83,28} \quad \Rightarrow \quad \beta_{\infty} = 47,91^\circ$$

$$W_{\infty} = \frac{C_{1m}}{\cos \beta_{\infty}} = \frac{83,28}{\cos 47,91} = 124,24 \text{ m/s}$$