

Cuestionario de autoevaluación

Fundamentos básicos de ciclos de potencia de vapor

1. Señala cuál/es de las siguientes afirmaciones son verdaderas para un ciclo de potencia de Carnot:

- a. Consta de 4 procesos internamente reversibles.
- b. Su rendimiento depende de la sustancia de trabajo (agua, aire, etc.) y de las temperaturas absolutas de los focos frío y caliente.
- c. No resulta adecuado para ser implementado en una central de producción eléctrica.
- d. Ofrece más rendimiento a medida que se aumentan las temperaturas absolutas de los focos frío y caliente.

SOLUCIÓN: a, c

a. OK.

b. Su rendimiento depende únicamente de las temperaturas absolutas de los focos frío y caliente.

c. OK.

d. Ofrece más rendimiento a medida que se aumenta la temperatura absoluta del foco caliente (T_c) y se disminuye la temperatura absoluta del foco frío (T_f), ya que el rendimiento de un ciclo de potencia de Carnot $= 1 - (T_f/T_c)$

2. Señala cuál/es de las siguientes afirmaciones son verdaderas para un ciclo Rankine ideal sencillo:

- a. El ciclo está formado por 4 procesos internamente reversibles: 2 procesos isoentrópicos y 2 procesos isoterms.
- b. La sustancia que realiza el ciclo permanece siempre en fase gaseosa en todos los estados.
- c. El problema de tener bajo título de vapor a la salida de la turbina es menor que en un ciclo de Carnot.
- d. En todos los estados, la sustancia de trabajo es el agua.

SOLUCIÓN: c, d

a. El ciclo está formado por 4 procesos internamente reversibles: 2 procesos isoentrópicos y 2 procesos isobaros (el proceso de cesión de calor en el condensador es isobaro y generalmente isotermo, pero el proceso de absorción de calor en la caldera no es isotermo, sino isobaro).

b. En un ciclo Rankine ideal sencillo, generalmente sólo se estará en fase gaseosa (vapor sobrecalentado) a la salida de la turbina.

c. OK.

d. OK.

3. Señala cuál/es de las siguientes afirmaciones son verdaderas para un ciclo Rankine ideal sencillo:

- a. La suma del trabajo producido en la turbina y el trabajo consumido en la bomba será siempre igual a la suma del calor absorbido en la caldera y el calor cedido en el condensador.
- b. El rendimiento del ciclo es el cociente entre el trabajo neto del ciclo y el calor absorbido en la caldera.
- c. La relación de trabajos es el cociente entre el trabajo desarrollado por la turbina y el valor absoluto del trabajo consumido en la bomba.
- d. Ninguna de las respuestas es correcta.

SOLUCIÓN: a, b

a. OK.

b. OK.

c. Se define justo al revés: La relación de trabajos es el cociente entre el valor absoluto del trabajo consumido en la bomba y el trabajo desarrollado por la turbina.

d. Hay 2 respuestas correctas.

4. Señala cuál/es de las siguientes afirmaciones son verdaderas para un ciclo Rankine:

- a. Al reducir la presión en el condensador aumenta el título de vapor a la salida de la turbina.
- b. El rendimiento del ciclo aumenta al aumentar la temperatura de entrada a la turbina.
- c. El rendimiento del ciclo aumenta al aumentar la presión en la caldera.
- d. El rendimiento del ciclo y el trabajo neto del ciclo aumentan al reducir la presión en el condensador.
- e. En el ciclo Rankine ideal con recalentamiento, el trabajo neto del ciclo aumenta y el título de vapor a la salida de la turbina disminuye.
- f. Lo característico del ciclo Rankine ideal con regeneración es que el vapor sobrecalentado se expande siempre en dos etapas existiendo un proceso de absorción de calor entre dichas etapas de expansión.

SOLUCIÓN: b, c, d

a. Al reducir la presión en el condensador disminuye el título de vapor a la salida de la turbina.

b. OK.

c. OK.

d. OK.

e. En el ciclo Rankine ideal con recalentamiento, el trabajo neto del ciclo aumenta y el título de vapor a la salida de la turbina también aumenta.

f. Lo característico del ciclo Rankine ideal con regeneración es que el agua líquida (llamada también agua de alimentación) se precalienta antes de entrar a la caldera con vapor procedente de extracciones de turbina. Si el vapor sobrecalentado se puede expandir en dos o más etapas existiendo un proceso de absorción de calor entre dichas etapas de expansión, estaremos hablando de un ciclo Rankine ideal con recalentamiento.

5. En un ciclo Rankine real con irreversibilidades internas en la turbina y bomba, el vapor sobrecalentado entra a la primera etapa de la turbina a 80 bar y 480°C, saliendo de dicha etapa a 10 bar. Sabiendo que el rendimiento isoentrópico de la turbina es del 88%. Haciendo las hipótesis adecuadas, calcular la entalpía específica en kJ/kg a la salida de la turbina.

- a. 2778.10 kJ/kg
- b. 2811.50 kJ/kg
- c. 2875.93 kJ/kg
- d. 2951.77 kJ/kg

SOLUCIÓN: c

Se supone que la turbina es adiabática (aunque no isoentrópica), sin experimentar variaciones significativas en las energías cinética y potencial entre la entrada y la salida, y trabajando en estado estacionario. Se considera: estado 1: entrada a la turbina, estado 2: salida de la turbina.

Entrando a las tablas del agua como vapor sobrecalentado (Tabla A.4) con $P_1=80\text{bar}$ y $T_1=480^\circ\text{C}$, se obtiene $h_1=3348.4\text{kJ/kg}$ y $s_1=6.6586\text{kJ/kgK}$.

Si el proceso 1-2 fuese isoentrópico, el estado 2 se denotaría como el estado 2s y se cumpliría que $s_{2s}=s_1=6.6586\text{kJ/kgK}$. Además en dicho estado 2s se cumpliría que $P_{2s}=P_2=10\text{bar}$. Por tanto, en el estado 2s se conocen dos propiedades intensivas independientes (s_{2s} , P_{2s}) que permiten calcular h_{2s} interpolando linealmente en la Tabla A.4 para una presión de 10bar entre dos valores de entropía: $s_A=6.5865\text{kJ/kgK}$ y $s_B=6.6940\text{kJ/kgK}$:

$$h = h_A + ((h_B-h_A) \cdot (s-s_A)/(s_B-s_A)) = 2.778.1 + ((2827.9-2778.1) \cdot (6.6586-6.5865)/(6.6940-6.5865)) = 2811.50\text{kJ/kg} = h_{2s}$$

Como el proceso 1-2 de expansión en la turbina NO es isoentrópico, hay que considerar el rendimiento isoentrópico de la turbina (η_t) proporcionado como dato.

Por definición, se cumple que: $\eta_t = (h_1-h_2) / (h_1-h_{2s})$, de donde despejando h_2 se obtiene:

$$h_2 = h_1 - \eta_t(h_1-h_{2s}) = 3348.4\text{ kJ/kg} - 0.88 \cdot (3348.4 - 2811.50)\text{ kJ/kg} = 2875.93\text{ kJ/kg}$$