

**2ª Parte: TERMOTECNIA****14. Objetivo: Utilizar las tablas de propiedades del agua en sus diferentes estados**

Determinar el estado del agua en las siguientes condiciones, calculando el título cuando sea posible.

- a)  $T = 280\text{ °C}$                       b)  $T = 280\text{ °C}$                       c)  $T = 280\text{ °C}$   
 $P = 1500\text{ kPa}$                        $v = 8,571 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3/\text{kg}$      $s = 4,0115\text{ kJ/kg}$
- d)  $T = 280\text{ °C}$                       e)  $P = 22090\text{ kPa}$                       f)  $T = -10\text{ °C}$   
 $u = 2586,1\text{ kJ/kg}$                        $h = 2099,3\text{ kJ/kg}$                        $P = 0,2602\text{ kPa}$
- g)  $T = -10\text{ °C}$   
 $P = 0,5\text{ kPa}$

**15. Objetivo: Utilizar las tablas de propiedades del agua en sus diferentes estados**

Determina el estado del agua y la temperatura, presión y entropía en las siguientes condiciones:

$$h = 3609,6\text{ kJ/kg y } v = 0,02108\text{ m}^3/\text{kg}$$

**16. Objetivo: Utilizar las tablas de propiedades del agua en sus diferentes estados**

Determina el estado del agua y la temperatura, presión y volumen específico en las siguientes condiciones:

$$h = 3596,7\text{ kJ/kg y } s = 7,1855\text{ kJ/kgK}$$

**17. Objetivo: Calcular las propiedades del agua después de sufrir una transformación**

Vapor de agua saturado y seco a 100 kPa se comprime isoentrópicamente hasta una presión final de 549,12 kPa. Se desea calcular para el vapor obtenido:

- Estado.
- Temperatura.
- Variación de entalpía.
- Variación de entropía.

**18. Objetivo: Calcular las propiedades del agua después de sufrir una transformación**

Vapor de agua recalentado a 4000 kPa y 280°C se expande en una turbina hasta 1500 kPa (expansión isoentrópica), obteniéndose un vapor húmedo. Este vapor se dirige a un separador donde se obtienen dos corrientes diferentes: agua líquida y agua vapor. El líquido se expande a través de una válvula (expansión isoentálpica) hasta una presión de 500 kPa, mientras que el vapor se expande en una segunda turbina hasta la misma presión (500 kPa). Finalmente, ambas corrientes de agua (procedentes de turbina y válvula) se unen en un cambiador de calor donde se condensa totalmente el agua, obteniéndose un líquido saturado. Calcular:

- Título y entalpía del vapor húmedo que abandona la primera turbina.
- Estado y entalpía del agua a la salida de la válvula y segunda turbina.
- Cantidad de calor a eliminar en el cambiador de calor para condensar el agua
- Representar en un diagrama T-s las transformaciones anteriores.

**19. Objetivo: Calcular las variaciones de exergía en un sistema cerrado**

Dos kilogramos de agua se encuentran como vapor saturado seco a 120°C, circulando a una velocidad de 30 m/s y a una altura de 6m respecto del nivel de referencia. El sistema anteriormente definido evoluciona de forma espontánea hasta un estado final en el que el agua se encuentra como líquido saturado a 10°C, con una velocidad de 25 m/s y a una altura de 3m. Calcular la exergía de este sistema en los estados inicial y final. Considérese que las condiciones ambientales son 25°C y 1 atm.

**20. Objetivo: Calcular las variaciones de exergía en un sistema cerrado**

Considérese la pared de una casa de dimensiones 5 m x 6 m, con un espesor de 30 cm y con una conductividad térmica de  $0,69\text{ W m}^{-1}\text{ °C}^{-1}$ . Sabiendo que la temperatura del aire interior y exterior es de 27 y 0°C, respectivamente, y la de la superficie interna y externa de la pared, 20 y 5 °C, respectivamente, calcular:

- caudal de calor transmitido a través de la pared,
- exergía destruida en la pared,
- exergía total destruida (pared y aire interior y exterior).

Datos y notas:

- Temperatura del medio ambiente: 0°C.
- Considérese la transmisión de calor en régimen estacionario.

$$Q = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{e}$$

- Ley de Fourier:

Dónde: k, conductividad térmica de la pared; A, área de la pared; e, espesor de la pared;  $\Delta T$ , diferencia de temperatura en los extremos de la pared y Q, caudal de transporte de calor.

**21. Objetivo: Calcular las variaciones de exergía en un sistema cerrado**

En un cilindro, que dispone de un pistón móvil, que puede desplazarse libremente, se sitúa agua líquida saturada a 140 °C. En el cilindro se realiza el cambio de estado mediante un proceso a presión y temperatura constante hasta que el agua se encuentre como vapor saturado seco.

Determinar la exergía asociada al trabajo cuando:

- El proceso es adiabático y el trabajo necesario para llevarlo a cabo es aportado por un sistema eléctrico. En este caso calcular también el trabajo eléctrico aportado al sistema.
- El proceso es consecuencia de un calentamiento reversible del agua sin que existan pérdidas de calor al exterior. En este caso calcular también el calor aportado al sistema.

Condiciones ambientales  $T_0 = 25\text{ °C}$  y  $P_0 = 361,3\text{ kPa}$ .

**22. Objetivo: Calcular las variaciones de exergía en un sistema abierto**

En una turbina que opera en estado estacionario entra vapor a una presión de 3000 kPa, una temperatura de 400°C y una velocidad de 160 m/s. El vapor sale de la turbina saturado a 100°C y con una velocidad de 100 m/s. Existe una pérdida de energía por transferencia de calor de la turbina al ambiente a razón de 30 kJ/kg. La temperatura superficial media de la turbina es de 400 K. Tomando como condiciones ambientales, 22°C y 100 kPa, determinar para la turbina:

- el trabajo producido,
- la magnitud y dirección de la transferencia de exergía que acompaña al flujo de calor, y
- la irreversibilidad

Datos y notas:

La turbina de vapor está instalada en una industria donde la temperatura del entorno es de 27°C. Respóndase a los apartados anteriores considerando el sistema que incluye a la turbina y una porción de los alrededores tal que en su superficie externa la transferencia de calor indicada ocurre a 27°C. Compárense los resultados.

**23. Objetivo: Calcular las variaciones de exergía en un sistema abierto**

A un mezclador se alimentan dos corrientes, una de agua líquida a 300 kPa y 80°C y otra de vapor sobrecalentado a 300 kPa y 320 °C. El agua líquida y el vapor sobrecalentado entran en el mezclador a 1.5 y 2 kg/s, respectivamente. Se tiene estimado que las pérdidas de calor a los alrededores es de 1200 kJ/min ( $T_0=25^\circ\text{C}$ ). La mezcla deja el mezclador a 300 kPa. Suponer: a) que trabaja en estado estacionario, b) que la temperatura externa de la pared del mezclador es constante e igual a la temperatura del mezclador, c) que las condiciones de salida son las mismas que en el mezclador, etc. Determinar:

- El estado del agua a la salida del mezclador (presión, temperatura y título (con 3 cifras decimales)).
- La exergía destruida en el proceso de mezcla.
- Calcular la eficiencia exergética del proceso de mezcla.

Realizar las suposiciones necesarias y justificarlas.

**24 Objetivo: Estudiar un ciclo de potencia mediante turbina de vapor**

Una central térmica de vapor de agua funciona según un ciclo de Rankine ideal. El vapor sale de la caldera como vapor saturado seco a una presión de 8 MPa y a la salida del condensador se encuentra como líquido saturado a una presión de 0,008 MPa. Si la potencia neta obtenida es de 100 MW, calcular:

- rendimiento térmico del ciclo,
- relación de trabajos,
- caudal másico de vapor,
- caudal de calor que es necesario aportar en la caldera,
- caudal de calor que ha de cederse en el condensador, y
- caudal másico de agua de refrigeración si entra a 15°C y sale a 35°C.

**25. Objetivo: Calcular el rendimiento térmico en un ciclo de potencia mediante turbina de vapor con recalentamiento intermedio**

Una turbina que utiliza vapor de agua como agente de transformación tiene una potencia efectiva neta de 100 MW. La producción de trabajo se realiza mediante un ciclo de Rankine con recalentamiento y recalentamiento intermedio. El vapor entra en la primera etapa de la turbina a 8 MPa y 480°C, expandiéndose isoentrópicamente hasta una presión de 0,7 MPa. El agua que sale de la primera etapa de la turbina se recalienta en la caldera hasta 440°C antes de entrar en la segunda etapa de la turbina, en la que se expande también adiabáticamente hasta la presión del condensador, que es 0,008 MPa. Calcular:

- rendimiento térmico del ciclo,
- caudal másico de vapor que recorre la turbina,
- caudal de calor cedido en el condensador, y
- repetir el apartado a) suponiendo que el rendimiento de cada etapa de la turbina es del 85%.

Datos y notas: El funcionamiento de la bomba es isoentrópico y no existen pérdidas de presión por rozamiento en toda la instalación.

**26. Objetivo: Calcular el rendimiento térmico en un ciclo de potencia mediante turbina de vapor con recalentamiento intermedio**

Vapor de agua a 3 MPa y 320°C se alimenta a una turbina de alta presión, expandiéndose en una primera etapa hasta 300 kPa. A continuación, el vapor se recalienta hasta 320°C y se expande en una segunda etapa hasta 4 kPa. Calcular el rendimiento térmico del ciclo, suponiendo procesos reversibles.

**27. Objetivo: Estudiar un ciclo de potencia mediante turbina de vapor con sistema regenerativo**

Se dispone de un ciclo de potencia que se puede modelar como un ciclo de Rankine regenerativo con un cambiador de calor abierto. El vapor de agua entra en la primera turbina a 8 MPa y 480°C, y se expande hasta 0,7 MPa donde parte de este vapor es extraído y enviado al cambiador de calor abierto que opera a 0,7 MPa. El resto del vapor se expande en la segunda turbina hasta la presión del condensador de 0,008 MPa. La salida del cambiador es líquido saturado a 0,7 MPa. El rendimiento de las turbinas y de las bombas es del 85 y 100%, respectivamente. Si la potencia del ciclo es de 100 MW, determine:

- el rendimiento térmico del ciclo.
- el caudal másico de vapor que entra en la primera turbina.

**28. Objetivo: Estudiar un ciclo de potencia mediante turbina de vapor con sistema regenerativo**

Una planta de potencia que emplea vapor de agua como agente de transformación se puede modelar como un ciclo de Rankine regenerativo mediante un cambiador cerrado y otro abierto. El vapor de agua sale de la caldera a 4 MPa y 600 °C (corriente 1), expansionándose de forma adiabática en la primera etapa de la turbina (Turbina 1) hasta 1,5 MPa (corriente 2) extrayéndose una parte del vapor (y) para el cambiador cerrado. El resto del vapor continúa la expansión adiabática (Turbina 2) hasta 0,3 MPa (corriente 3) donde se extrae otra parte (z) para el cambiador abierto. El resto del vapor continúa la expansión (Turbina 3) hasta la presión del condensador (corriente 4) que es de 20 kPa.

La corriente extraída de la primera etapa de expansión abandona el cambiador cerrado como líquido saturado (corriente 10) y se recircula después de ajustar su presión (expansión isoentálpica) (corriente 11) al cambiador abierto cuya presión de trabajo es 0,3 MPa.

En el cambiador cerrado la corriente que va a la caldera (corriente 9) sale a la temperatura de saturación. En el cambiador abierto se obtiene un líquido saturado (corriente 7).

- Dibujar el esquema del proceso y el diagrama T-s.
- Calcular el estado del agua y la entalpía en todas las corrientes.
- Calcular las fracciones de vapor respecto del caudal másico total (y, z) que se han extraído hacia los dos cambiadores (cerrado y abierto).
- Calcular el trabajo en las bombas y turbinas que haya en el proceso.
- Calcular el rendimiento térmico del ciclo.
- Calcular la potencia neta de la planta para un caudal másico de 35 kg/s en la caldera.

**NOTAS:** z e y son tanto por uno de la corriente de la caldera. Rendimientos en bombas y turbinas del 100%. Títulos con 3 cifras decimales.

**29. Objetivo: Estudiar un ciclo de potencia mediante turbina de vapor con sistemas regenerativos**

En un ciclo de potencia, que se puede modelar como un ciclo de Rankine con regeneración mediante cambiador cerrado y recalentamiento intermedio, a la salida de la caldera (corriente 1) se obtiene un vapor recalentado a 12000 kPa y 520 °C. Este vapor recalentado se expande en la primera turbina hasta 3000 kPa (corriente 2), extrayéndose una cantidad del caudal para enviarlo al cambiador cerrado donde condensa totalmente (corriente 10). En este cambiador cerrado todas las corrientes que entran se encuentran a 3000 kPa. El resto del vapor continúa la expansión en una segunda turbina con un rendimiento del 85%, después de la cual se recalienta hasta 320 °C (corriente 4,  $h_4 = 3093$  kJ/kg) y prosigue su expansión en la tercera turbina hasta 100 kPa (corriente 5). A la salida del condensador (corriente 6) se ajusta su presión y se envía a 100°C (corriente 7,  $h_7 = 421,22$  kJ/kg) al cambiador cerrado donde se aumenta su temperatura hasta 200°C (corriente 8).

Por otro lado, el condensado que abandona el cambiador cerrado (corriente 10) se puede:

- a) expandir en una válvula de estrangulamiento (isoentálpicamente) hasta un vapor húmedo ( $x_{11a}=0,262$ ) a la presión de 35 kPa (corriente 11a), enviándose al condensador.
- b) ajustar su presión y enviarlo a la caldera (corriente 11b,  $h_{11b}=1019,35$  kJ/kg).

1- Dibujar el esquema del proceso, indicando claramente las dos opciones y todos los datos que conoces, y el diagrama T-s para las dos opciones.

2- Determinar el estado y la entalpía de todas las corrientes (indicando claramente los intervalos de las interpolaciones), el trabajo en bombas y turbinas y el calor aportado al ciclo.

3- ¿Cuál de las dos opciones a o b es la mejor según el rendimiento térmico del ciclo? Comentar a qué se debe la diferencia en el rendimiento térmico.

Notas: El rendimiento en las turbinas 1 y 3 y en las bombas es del 100% (expansión isoentrópica). Suponer que todas las transformaciones ocurren sin pérdidas de calor al exterior.

### 30. Objetivo: Estudiar un ciclo de potencia mediante turbina de gas

Una central térmica de gas se ha modelado utilizando un ciclo Brayton ideal de aire estándar. El aire entra al compresor a 100 kPa y 300 K con un caudal volumétrico de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ . La relación de compresión en el compresor es 10 y la temperatura de entrada a la turbina es 1400 K. Calcular:

- a) El rendimiento térmico del ciclo y la relación de trabajos, y
- b) potencia neta desarrollada.

### 31. Objetivo: Estudiar un ciclo de potencia mediante turbina de gas con sistema regenerativo

Un ciclo de Brayton de aire estándar que opera entre 100 y 500 kPa utiliza un regenerador con una eficacia de 75%. Teniendo en cuenta que las temperaturas máximas y mínima son 950 y 350 K, respectivamente, y el caudal de aire es de 10 kg/s, calcular el calor consumido, la potencia y el rendimiento térmico del ciclo.

### 32. Objetivo: Estudiar un ciclo de potencia mediante turbina de gas con sistema regenerativo

En una instalación de producción de potencia que opera según un ciclo de Brayton de aire estándar, el aire ( $M = 28$ ) entra al compresor a 120 kPa y 300 K y se comprime hasta 1200 kPa ( $\eta_C=100\%$ ). Se sabe que la temperatura de entrada a la turbina está en el intervalo 1250-1300 K y que se obtiene un trabajo de 640 kJ/kg, siendo el rendimiento en la turbina del 100%. Calcular la temperatura de entrada a la turbina (con una variación en el trabajo de  $\pm 1$  kJ/kg) y la temperatura de salida. Calcular el rendimiento térmico del ciclo.

En la instalación anterior debido a un problema de funcionamiento en la turbina su rendimiento baja al 90%. ¿A qué temperatura sale el aire de la turbina? Calcular el rendimiento térmico del ciclo.

Para intentar mejorar el sistema anterior se emplea un regenerador con un rendimiento del 77%. Calcular el rendimiento térmico del ciclo manteniendo las condiciones de entrada al compresor y la turbina. En este caso ¿cuál es la eficiencia exergética de la turbina y del compresor?

Dibujar el diagrama T-s del ciclo con regenerador.

Notas: a) Considerar el aire como gas ideal (utilizar la tabla C1) y rendimiento del compresor 100% en todos los casos. b) Indicar claramente los intervalos de interpolación y las suposiciones que se hagan. c)  $R = 8,31$  kJ/kmolK.

### 33. Objetivo: Estudiar un ciclo de potencia mediante turbina de gas con sistema regenerativo y recalentamiento

En una central térmica de gas que funciona según un ciclo de Brayton de aire estándar con recalentamiento y regeneración el aire entra al compresor a 100 kPa y 300 K y se comprime hasta 1000 kPa. La temperatura de entrada a la primera etapa de la turbina es 1400 K. La expansión es isoentrópica en ambas etapas de turbina, recalentándose el gas, que sale

de la primera etapa a presión de 300 kPa, hasta 1400 K, temperatura a la que entra en la segunda etapa de la turbina. El gas que sale de la segunda etapa de la turbina se encuentra a 100 kPa y se utiliza en un regenerador para calentar el aire que entra al combustor. Calcular el rendimiento térmico del ciclo suponiendo que el regenerador tiene una eficacia del 100%.

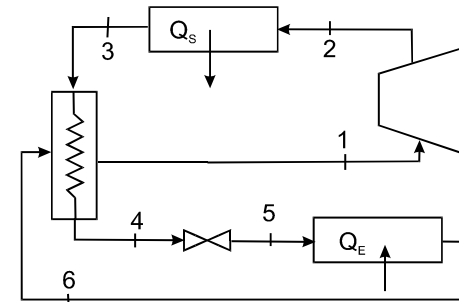
### 34. Objetivo: Estudiar un sistema de refrigeración por compresión de vapor

Un sistema de aire acondicionado funciona con Freon (R12) según un ciclo ideal. A la entrada del compresor el Freon está como vapor saturado seco a  $12^\circ\text{C}$  y abandona el condensador a  $48^\circ\text{C}$  y 1,4 MPa. Si el caudal de Freon es 0,08 kg/s y el rendimiento del compresor es 80%, calcular

- a) potencia consumida por el compresor,
- b) capacidad de refrigeración,
- c) coeficiente de operación.

### 35. Objetivo: Estudiar un sistema de refrigeración mediante vapor con refrigeración intermedia

Un sistema de refrigeración opera con Freon según el ciclo esquematizado en la Figura. El freon entra en el compresor como vapor saturado a 2,8 bar y comprime hasta 10 bar. A continuación, se condensa totalmente en un condensador y se enfría hasta  $20^\circ\text{C}$  en un cambiador, antes de expandirse en una válvula hasta 2,8 bar. Suponiendo que el compresor funciona reversiblemente, representar los diferentes estados del freon en un diagrama T-s y calcular el coeficiente de operación.



### 36. Objetivo: Estudiar un sistema de refrigeración con compresión multietapa con refrigeración intermedia

Un sistema de refrigeración por compresión de vapor en 2 etapas (multietapa) con refrigeración intermedia entre ambas y que utiliza como agente de transformación el refrigerante R-134a se utiliza para eliminar un caudal de calor de 180 kW de una habitación. Para la refrigeración intermedia se emplea un cambiador abierto que opera a 320 kPa, donde se mezcla el vapor que abandona la primera etapa de compresión (2) y el vapor procedente de un separador líquido-vapor (8). Al separador líquido-vapor llega el refrigerante (6) después de la primera etapa de expansión del líquido saturado (5) que abandona el condensador que opera a 800 kPa. El líquido del separador líquido-vapor (7) se expande hasta la presión del evaporador (140 kPa). Posteriormente, el agente de transformación abandona el evaporador como vapor saturado seco (1). Calcular:

- a) Dibujar el esquema del proceso y el diagrama T-s con los puntos y transformaciones del ciclo de refrigeración.
- b) Calcular la entalpía, la temperatura y el estado del refrigerante en todos los puntos del ciclo.
- c) Calcular el caudal de refrigerante R-134a, el caudal de calor transferido en el condensador del ciclo de refrigeración y el coeficiente de operación del ciclo.

Datos y notas:

- Rendimiento de compresión de cada etapa: 0,9.
- Tablas del refrigerante R-134a.
- Todas las corrientes que entran o salen del cambiador abierto se encuentran a la presión de trabajo del cambiador abierto.

**37. Objetivo: Estudiar un sistema de refrigeración de ciclo combinado en cascada de dos etapas por compresión de vapor.**

Un sistema de refrigeración se puede modelar como un ciclo combinado en cascada de dos etapas por compresión de vapor utilizando en el ciclo de baja temperatura el refrigerante R12 y en el de alta temperatura el refrigerante R134a. El sistema de refrigeración opera entre las presiones de 700 y 100 kPa, con temperaturas máxima y mínima de 40°C y -30°C. El intercambio de calor desde el ciclo de baja presión al de alta presión tiene lugar en contracorriente en un cambiador de calor cerrado donde el refrigerante R12 entra a 260 kPa (corriente 2) y el R134a a 200 kPa (corriente 8). En este cambiador de calor cerrado se obtiene un líquido saturado en el ciclo de baja presión (corriente 3) y el refrigerante con una entropía de 0,9386 kJ/kgK en el ciclo de alta presión (corriente 5).

En el ciclo de baja presión a la salida del evaporador se obtiene un vapor saturado seco (corriente 1) y el compresor tiene un rendimiento del 90 %. En el ciclo de alta presión a la salida del condensador se obtiene un líquido saturado (corriente 7).

- a) Dibujar el esquema del proceso.
- b) Calcular el estado del refrigerante, entalpía, temperatura y título (con tres cifras) de todas las corrientes y el rendimiento del compresor del ciclo de alta presión. Señalar claramente entre que valores se hacen las interpolaciones.
- c) Calcular el coeficiente de operación del ciclo.
- d) Calcular la eficiencia exergética del compresor del ciclo de alta presión.

$T_0 = 25^\circ\text{C}$  y  $P_0 = 100$  kPa.

**38. Objetivo: Calcular el coeficiente de operación de un sistema de refrigeración por gas**

En una planta de refrigeración con aire, éste se comprime desde 100 kPa y 22°C hasta una presión de 500 kPa en un compresor que tiene un rendimiento del 78%. El aire se enfría hasta -3°C y a continuación se expande hasta 100 kPa en una turbina cuyo rendimiento es del 82%. Utilizando las tablas del aire como gas ideal, calcular la temperatura a la salida de la turbina y el compresor, el coeficiente de operación y la capacidad de refrigeración.

**39. Objetivo: Calcular el coeficiente de operación de un sistema de refrigeración por gas con regeneración.**

Un sistema de refrigeración que utiliza aire como agente refrigerante opera según un ciclo de Brayton inverso con regeneración en el que la relación de presiones es de 4. El aire sale del compresor a 520 K (corriente 2) y se enfría en primer lugar hasta 390 K (corriente A), cediendo calor al medio ambiente, y posteriormente hasta 300 K (corriente 3) por enfriamiento regenerativo, temperatura a la cual entra en la turbina. A la salida de la turbina (corriente 4) el aire se encuentra a 220 K, aumentándose la temperatura hasta 250 K (corriente B) después de la extracción de 12 kW del foco frío.

- a) Representa el esquema del proceso y los diferentes puntos del ciclo de refrigeración en un diagrama T-s.
- b) Calcular la temperatura del aire en la corriente de entrada al compresor.
- c) Calcular los rendimientos del compresor, el regenerador y la turbina del ciclo.
- d) ¿Qué coeficiente de operación tiene el ciclo? Comentar el resultado.
- e) ¿Qué caudal másico de aire es necesario?

Datos y notas: Utilizar las tablas del aire como gas ideal para resolver el problema.