

_____ Guía de Trabajo

Termodinámica 2

Guía de Trabajo
Termodinámica 2
ASUC01607

Primera edición digital
Huancayo, 2022

De esta edición

© Universidad Continental, Oficina de Gestión Curricular
Av. San Carlos 1795, Huancayo-Perú
Teléfono: (51 64) 481-430 anexo 7361
Correo electrónico: recursosucvirtual@continental.edu.pe
<http://www.continental.edu.pe/>

Cuidado de edición

Fondo Editorial

Diseño y diagramación

Fondo Editorial

Todos los derechos reservados.

La *Guía de Trabajo*, recurso educativo editado por la Oficina de Gestión Curricular, puede ser impresa para fines de estudio.

Índice

Práctica 1: Procesos de combustión ideal y real	5
Práctica 2: Entalpías, primera ley y entropía en sistemas reactivos	7
Práctica 3: Ciclo Carnot	9
Práctica 4: Ciclo Otto	11
Práctica 5: Ciclo Diesel	13
Práctica 6: Ciclo Brayton ideal	15
Práctica 7: Ciclo Brayton con regeneración	17
Práctica 8: Ciclo Brayton con recalentamiento, con regeneración e interenfriamiento	19
Práctica 9: Análisis de energía de ciclo Rankine ideal y real	21
Práctica 10: Ciclo Rankine con recalentamiento	23
Práctica 11: Ciclo Rankine con recalentamiento	25
Práctica 12: Ciclo invertido de Carnot	27
Práctica 13: Ciclo invertido de Carnot	29
Práctica 14: Ciclos de refrigeración gas y sistema de refrigeración por absorción	31
Práctica 15: Mezcla de gases y mezcla de gas-vapor	33
Práctica 16: Procesos de acondicionamiento de aire	35



Práctica 1

Procesos de combustión ideal y real

Sección: Fecha:...../...../.....

Apellidos y nombres:

Instrucciones: Resuelva la práctica de manera responsable.

1. Se quema combustible de propano (C_3H_8) en presencia de aire. Suponiendo que la combustión es teórica —es decir, solo están presentes en los productos nitrógeno (N_2), vapor de agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2)—, determine: a) la fracción másica de dióxido de carbono y b) las fracciones molar y másica del vapor de agua en los productos.
2. El mezclador de combustibles en un quemador de gas natural mezcla metano (CH_4) con aire para formar una mezcla combustible a la salida. Determine los flujos másicos en las dos entradas que se necesitan para producir 0.5 kg/s de una mezcla ideal de combustión a la salida.
3. Se quema n-butano (C_4H_{10}) con la cantidad estequiométrica de oxígeno. Determine la fracción molar de dióxido de carbono y agua en los productos de combustión. También calcule el número de moles de dióxido de carbono en los productos por unidad de moles de combustible que se quema.
4. Una mezcla combustible de 60 %, a base másica, de metano (CH_4) y 40 % de etanol (C_2H_6O) se quema completamente con aire teórico. Si el flujo total del combustible es de 10 kg/s, determine el flujo necesario de aire.
5. Se determinó que la composición porcentual de una muestra es C = 85 %, H₂ = 9 %, S = 3 %, O₂ = 1.5 %, ceniza = 1.5 % para una relación aire-combustible de 12:1. Calcule la composición de mezcla como porcentaje rico y pobre y el análisis volumétrico de los productos secos de la combustión.



6. Un kilogramo de etano (C_2H_6) se quema con 80 % de aire teórico. Suponiendo una combustión completa del hidrógeno en el combustible, determine el análisis volumétrico de los productos secos de la combustión.
7. El análisis gravimétrico de una muestra de carbón está dado como 80 % C, 12 % H_2 y 8 % de ceniza. Calcule la relación estequiométrica A/C y el análisis de los productos en volumen.
8. Determine la relación estequiométrica aire-combustible para la combustión de alcohol etílico (C_2H_6O), en un motor de gasolina. Calcule las relaciones A/C para las composiciones finales de la mezcla de 90 % y 120 %. Determine también los análisis húmedo y seco en volumen del gas de escape para cada composición de la mezcla.



Práctica 2

Entalpías, primera ley y entropía en sistemas reactivos

Sección: Fecha:...../...../.....

Apellidos y nombres:

Instrucciones: Resuelva la práctica de manera responsable.

1. Determine la entalpía de combustión del metano (CH_4) a 25°C y 1 atm, usando los datos de entalpía de formación de la tabla proporcionada. Suponga que el agua en los productos está en forma líquida. Compare su resultado con el valor listado en la tabla proporcionada.
2. Calcule los valores caloríficos alto y bajo de un carbón de Illinois que tiene un análisis elemental (por masa) de 67,40 % de C, 5,31 % de H_2 , 15,11 % de O_2 , 1,44 % de N_2 , 2,36 % de S y 8,38 % de ceniza (no combustibles). La entalpía de formación del SO_2 es $-297\,100\text{ kJ/kmol}$.
3. Calcule el PCS y el PCI del combustible n-octano gaseoso (C_8H_{18}). Compare sus resultados con los valores de la tabla proporcionada.
4. Se quema etano (C_2H_6) a presión atmosférica con la cantidad estequiométrica de aire como el oxidante. Determine el calor rechazado, en kJ/kmol combustible, cuando los productos y los reactivos están a 25°C y el agua aparece en los productos como vapor.
5. Se determinó que la composición porcentual de una muestra es C = 85 %, H_2 = 9 %, S = 3 %, O_2 = 1.5 %, ceniza = 1.5 %. Para una relación aire-combustible de 12:1, calcule la composición de mezcla como porcentaje rico y pobre, el análisis volumétrico de los productos secos de la combustión.



6. Si el poder calorífico a mayor presión constante del (C_6H_6), a $25\text{ }^\circ\text{C}$ es $3\ 298\ 354\ \text{Kj/kg mol}$, determine su poder calorífico menor a presión constante.
7. El poder calorífico mayor del keroseno a volumen constante cuyo análisis final es $86\ \%$ carbono y $14\ \%$ hidrógeno, se determinó igual a $46\ 890\ \text{Kj/kg}$. Calcule los otros tres poderes caloríficos.



Práctica 3

Ciclo Carnot

Sección: Fecha:...../...../.....

Apellidos y nombres:

Instrucciones: Resuelva la práctica de manera responsable.

1. Un ciclo de Carnot de flujo estacionario utiliza agua como fluido de trabajo. El agua cambia de líquido saturado a vapor saturado cuando se le transfiere calor de una fuente a 250 °C. El rechazo de calor sucede a una presión de 20 kPa. Muestre el ciclo en un diagrama T-s respecto a las líneas de saturación y determine: a) la eficiencia térmica, b) la cantidad de calor rechazado y c) la salida neta de trabajo.
2. Repita el problema 1 para una presión de rechazo de calor de 10 kPa.
3. Considere un ciclo de Carnot de flujo estacionario con agua como fluido de trabajo. Las temperaturas máxima y mínima en el ciclo son 350 °C y 60 °C. La calidad del agua es 0.891 al principio del proceso de rechazo de calor y 0.1 al final. Muestre el ciclo en un diagrama T-s respecto a las líneas de saturación y determine a) la eficiencia térmica, b) la presión en la entrada de la turbina y c) la salida neta de trabajo.
4. Un gas diatómico, $cv = 5R/2$, describe el ciclo de Carnot de la figura. Las transformaciones A-B y C-D son isothermas y las transformaciones B-C y D-A son adiabáticas. Hallar los valores de la presión, el volumen, y la temperatura de cada uno de los vértices A, B, C y D a partir de los datos suministrados en la figura. Calcular de forma explícita el trabajo en cada una de las transformaciones, la variación de energía interna, y el calor. Hallar el rendimiento del ciclo, y comprobar que coincide con el valor dado por la fórmula del rendimiento de un ciclo de Carnot.



5. Una máquina de Carnot toma 2000 J de calor de un depósito a 500 K, realiza trabajo y desecha calor a un depósito a 350K. ¿Cuánto trabajo efectúa, cuánto calor expulsa y qué eficiencia tiene?
6. En la caldera de una máquina de Carnot de flujo estacionario entra agua como líquido saturado a 250psia y sale con una calidad de 0.95. El vapor sale de la turbina a una presión de 40 psia. Muestre el ciclo en un diagrama T-s respecto de las líneas de saturación y determine a) la eficiencia térmica, b) la calidad al final del proceso de rechazo de calor isotérmico y c) la salida neta de trabajo.
7. Un ciclo de Carnot de gas ideal usa aire como fluido de trabajo, recibe calor de un depósito térmico a 1.027 °C, se repite 1.500 veces por minuto y tiene una relación de compresión de 12. La relación de compresión se define como la relación de volúmenes durante el proceso de compresión isentrópica. Determine la temperatura máxima del depósito térmico de baja temperatura, la eficiencia térmica del ciclo y la cantidad de calor que se debe suministrar por ciclo si este dispositivo ha de producir 500 kW de potencia.



Práctica 4

Ciclo Otto

Sección: Fecha:...../...../.....

Apellidos y nombres:

Instrucciones: Resuelva la práctica de manera responsable.

1. Un ciclo ideal de Otto tiene una relación de compresión de 10.5, admite aire a 90 kPa y 40 °C y se repite 2500 veces por minuto. Usando calores específicos constantes a temperatura ambiente, determine la eficiencia térmica de este ciclo y la tasa de suministro de calor si el ciclo ha de producir 90 kW de potencia.
2. Repita el problema 1 para una relación de compresión de 8.5.
3. Alguien ha sugerido que el ciclo de Otto de aire estándar es más preciso si los dos procesos isentrópicos se reemplazan por procesos politrópicos con un exponente politrópico $n = 1.3$. Considere un ciclo así con una relación de compresión de 8, $P_1 = 95$ kPa, $T_1 = 15$ °C, y la temperatura máxima del ciclo es 1 200 °C. Determine el calor que se transfiere a este ciclo y que se rechaza de éste, así como la eficiencia térmica del ciclo. Use calores específicos constantes a temperatura ambiente.
4. Un motor de ignición de seis cilindros, cuatro tiempos, con encendido por chispa, operando en el ciclo ideal de Otto, toma aire a 14 psia y 65 °F, y está limitado a una temperatura máxima de ciclo de 1600 °F. Cada cilindro tiene un diámetro de 3.5 pulgadas, y cada émbolo tiene una carrera de 3.9 pulgadas. El volumen mínimo confinado es 14% del volumen máximo confinado. ¿Cuánta potencia producirá este motor cuando opera a 2500 rpm? Use calores específicos constantes a temperatura ambiente.
5. Un motor de gasolina de cuatro cilindros y cuatro tiempos, de 1.6 L, opera en ciclo de Otto con una relación de compresión

de 11. El aire está a 100 kPa y 37 °C al inicio del proceso de compresión, y la presión máxima en el ciclo es de 8 MPa. Los procesos de compresión y expansión pueden modelarse como politrópicos, con una constante politrópica de 1.3. Usando calores específicos constantes a 850 K, determine a) la temperatura al final del proceso de expansión, b) la producción neta de trabajo y la eficiencia térmica, c) la presión media efectiva, d) el número de revoluciones por minuto del motor para una producción de potencia neta de 50 kW y e) el consumo específico de combustible, en g/kWh, definido como la relación de la masa de combustible consumido al trabajo neto producido.

6. La relación aire-combustible, definida como la cantidad de aire dividida entre la cantidad de combustible admitido, es 16. En la caldera de una máquina de Carnot de flujo estacionario entra agua como líquido saturado a 250 psia y sale con una calidad de 0.95. El vapor sale de la turbina a una presión de 40 psia. Muestre el ciclo en un diagrama T-s respecto de las líneas de saturación y de termine a) la eficiencia térmica, b) la calidad al final del proceso de rechazo de calor isotérmico y c) la salida neta de trabajo.
7. Un motor con un cilindro de 200 mm de diámetro y 300 mm de carrera funciona en un ciclo Otto. El volumen del espacio muerto es 0.0016 m³. La presión y la temperatura iniciales son 1 bar y 60°C, respectivamente. Si la presión máxima está limitada a 24 bar, determine, la eficiencia de aire estándar del ciclo, la presión media efectiva del ciclo.
8. La eficiencia del ciclo Otto es 50% y $k = 1.5$. ¿Cuál es la relación de compresión?

Práctica 5

Ciclo Diesel

Sección: Fecha:...../...../.....

Apellidos y nombres:

Instrucciones: Resuelva la práctica de manera responsable.

1. Un ciclo Diesel ideal tiene una relación de compresión de 20 y una relación de cierre de admisión de 1.3. Determine la temperatura máxima del aire y la tasa de adición de calor a este ciclo cuando produce 250 kW de potencia y el estado del aire al inicio de la compresión es 90 kPa y 15 °C. Use calores específicos constantes a temperatura ambiente.
2. Un ciclo dual de aire estándar tiene una relación de compresión de 14 y una relación de cierre de admisión de 1.2. La relación de presiones durante el proceso de adición de calor a volumen constante es 1.5. Determine la eficiencia térmica, la cantidad de calor agregada y la presión y la temperatura máximas del gas cuando se opera este ciclo a 80 kPa y 20 °C al principio de la compresión. Use calores específicos constantes a temperatura ambiente.
3. Repita el problema 9-53 si la relación de compresión es 80 kPa y -20 °C.
4. Un motor ideal Diesel tiene una relación de compresión de 20 y usa aire como fluido de trabajo. El estado del aire al principio del proceso de compresión es 95 kPa y 20 °C. Si la temperatura máxima en el ciclo no ha de exceder 2.200 K, determine a) la eficiencia térmica y b) la presión efectiva media. Suponga calores específicos constantes para el aire a temperatura ambiente.
5. Un ciclo Diesel de aire estándar tiene una relación de compresión de 18 y el calor transferido hacia el fluido de trabajo es

1800 Kj/kg. Al inicio de la carrera de compresión, la presión es 1 bar y la temperatura es 300K. Calcule la eficiencia térmica y la presión media efectiva.

6. Un kilogramos de aire se aspira en un ciclo Diesel. Al inicio el aire está a 15 °C y a 1 atmósfera. La relación de compresión es 15 y el calor agregado es 1850 Kj. Calcule la eficiencia del ciclo ideal la presión media efectiva.
7. Un ciclo de Diesel que funciona con aire, en un ciclo reversible, tiene una relación de compresión r . El gas tiene una temperatura de 26 [°C] al inicio de la compresión adiabática y, al final de esta, llega a 611 [°C] y 0.5 [m³/kg]. Si después de la expansión isobárica la temperatura que alcanza el fluido es 2500 [°C], determine para dicha expansión.



Práctica 6

Ciclo Brayton ideal

Sección: Fecha:...../...../.....

Apellidos y nombres:

Instrucciones: Resuelva la práctica de manera responsable.

1. Un ciclo Brayton simple que usa aire como fluido de trabajo tiene una relación de presiones de 10. Las temperaturas mínima y máxima en el ciclo son 295 y 1.240 K. Suponiendo una eficiencia isentrópica de 83 % para el compresor y 87 % para la turbina, determine a) la temperatura del aire a la salida de la turbina, b) la producción neta de trabajo y c) la eficiencia térmica.
2. Considere un ciclo Brayton simple que usa aire como fluido de trabajo, tiene una relación de presiones de 12, una temperatura máxima de ciclo de 600 °C, y la entrada al compresor opera a 90 kPa y 15 °C. ¿Qué tendrá mayor impacto en la relación de trabajo de retroceso: una eficiencia isentrópica de compresor de 90 % o una eficiencia isentrópica de turbina de 90 %? Use calores específicos constantes a temperatura ambiente.
3. Entra aire al compresor de un ciclo de potencia de turbina de gas a 300 K y 100 kPa, y se comprime a 700 kPa y 580 K. Se transfiere calor al aire en la cantidad de 950 kJ/kg antes de que entre a la turbina. Para una eficiencia de turbina de 86 %, determine a) la fracción de la producción de trabajo de la turbina que se usa para accionar el compresor y b) la eficiencia térmica. Suponga calores específicos variables para el aire.
4. Repita el problema 3 usando calores específicos constantes a temperatura ambiente.
5. Un motor de avión opera en un ciclo Brayton ideal simple con una relación de presiones de 10. Se agrega calor al ciclo a ra-

zón de 500 kW; el aire pasa a través del motor a razón de 1 kg/s, y el aire al principio de la compresión está a 70 kPa y 0 °C. Determine la potencia producida por este motor y su eficiencia térmica. Use calores específicos constantes a temperatura ambiente.

6. Un ciclo de Brayton ideal opera con aire entre las temperaturas extremas de 37.8 [°C] y 704 [°C]. La presión al inicio de la compresión adiabática es 103.42 [kPa] y al final de la misma la temperatura es 551.334 [K]. Considerando el aire como gas ideal determine para el fluido:
 - a) El volumen específico al final de la compresión adiabática.
 - b) El cambio de entropía específica en la combustión isobárica.
7. En el diagrama se muestra un ciclo ideal y reversible de Brayton que utiliza aire. La relación de presiones es de 5 y la temperatura a la entrada de la turbina es $T_3 = 900$ [°C]; se sabe que la presión y la temperatura del aire a la entrada del compresor son $P_1 = 100\ 000$ [Pa] y $T_1 = 40$ [°C] respectivamente. Determine para el ciclo:
 - a) El volumen específico del aire a la entrada y a la salida del quemador.
 - b) El trabajo, asociado a cada unidad de masa, que recibe el compresor.



Práctica 7

Ciclo Brayton con regeneración

Sección: Fecha:...../...../.....

Apellidos y nombres:

Instrucciones: Resuelva la práctica de manera responsable.

- Una turbina de gas para un automóvil se diseña con un regenerador. El aire entra al compresor de este motor a 100 kPa y 20 °C. La relación de presiones del compresor es 8; la temperatura máxima del ciclo es 800 °C y el flujo de aire frío sale del regenerador 10 °C más frío que el flujo de aire caliente a la entrada del regenerador. Suponiendo que tanto el compresor como la turbina son isentrópicos, determine las tasas de adición y rechazo de calor para este ciclo cuando produce 150 kW. Use calores específicos constantes a temperatura ambiente.
- Una planta eléctrica de turbina de gas opera estacionariamente en un ciclo Brayton regenerativo ideal ($\epsilon = 100\%$) con aire como fluido de trabajo. El aire entra al compresor a 95 kPa y 290 K y a la turbina a 760 kPa y 1100 K. Se transfiere calor al aire de una fuente externa a razón de 75,000 kJ/s. Determine la potencia que produce esta planta a) suponiendo calores específicos constantes a temperatura ambiente y b) tomando en cuenta la variación de los calores específicos con la temperatura.
- Entra aire al compresor de un ciclo regenerativo de turbina de gas, a 310 K y 100 kPa, y se comprime a 900 kPa y 650 K. El regenerador tiene una efectividad de 80 %, y el aire entra a la turbina a 1.400 K. Para una eficiencia de la turbina de 90 %, determine a) la cantidad de calor que se transfiere en el regenerador y b) la eficiencia térmica. Suponga calores específicos variables para el aire.

4. Un ciclo Brayton con regeneración que usa aire como fluido de trabajo tiene una relación de presiones de 7. Las temperaturas mínima y máxima en el ciclo son 310 y 1150 K. Suponiendo una eficiencia isentrópica de 75 % para el compresor y de 82 % para la turbina, y una efectividad de 65 % para el regenerador, determine a) la temperatura del aire a la salida de la turbina, b) la producción neta de trabajo y c) la eficiencia térmica.
5. Repita el problema 3 usando calores específicos constantes a temperatura ambiente.
6. Repita el problema 3 para una efectividad del regenerador de 70 %.



Práctica 8

Ciclo Brayton con recalentamiento, con regeneración e interenfriamiento

Sección: Fecha:...../...../.....

Apellidos y nombres:

Instrucciones: Resuelva la práctica de manera responsable.

1. El proceso de expansión de una sola etapa de un ciclo Brayton ideal sin regeneración se reemplaza por un proceso de expansión de etapas múltiples con recalentamiento, entre los mismos límites de presión. Como resultado de la modificación, a) ¿aumenta, disminuye o permanece igual el trabajo de la turbina?, b) ¿aumenta, disminuye o permanece igual la relación del trabajo de retroceso?, c) ¿aumenta, disminuye o permanece igual la eficiencia térmica?
2. En un ciclo ideal de turbina de gas con interenfriamiento, recalentamiento y regeneración, al aumentar el número de etapas de compresión y expansión, la eficiencia térmica del ciclo tiende a a) 100 %, b) la eficiencia del ciclo de Otto, c) la eficiencia del ciclo de Carnot.
3. Considere un ciclo ideal de turbina de gas con dos etapas de compresión y dos etapas de expansión. La relación de presiones a través de cada etapa del compresor y de la turbina es 3. El aire entra a cada etapa del compresor a 300 K, y a cada etapa de la turbina a 1.200 K. Determine la relación del trabajo de retroceso y la eficiencia térmica del ciclo, suponiendo que a) no se usa regenerador y b) se usa un regenerador con efectividad de 75 %. Use calores específicos variables.
4. Repita el problema 4, suponiendo una eficiencia de 84 % para cada etapa de compresor y una eficiencia de 88 % para cada etapa de turbina.



5. Entra aire a una turbina de gas con dos etapas de compresión y dos etapas de expansión, a 100 kPa y 17 °C. El sistema usa un regenerador, así como recalentamiento e interenfriamiento. La relación de presiones a través de cada compresor es 4; se agregan 300 kJ/kg de calor al aire en cada cámara de combustión, y el regenerador opera perfectamente al aumentar la temperatura del aire frío en 20 °C. Determine la eficiencia térmica de este sistema. Suponga operaciones isentrópicas para todas las etapas de compresor y de turbina, y use calores específicos constantes a temperatura ambiente.
6. Repita el problema 5 para el caso de tres etapas de compresión con interenfriamiento y tres etapas de expansión con recalentamiento.



Práctica 9

Análisis de energía de ciclo Rankine ideal y real

Sección: Fecha:...../...../.....

Apellidos y nombres:

Instrucciones: Resuelva la práctica de manera responsable.

- Se usa refrigerante 134a como fluido de trabajo en un ciclo Rankine ideal simple que opera la caldera a 1 400 kPa y el condensador a 10 °C. La mezcla a la salida de la turbina tiene una calidad de 98 %. Determine la temperatura de entrada a la turbina, la eficiencia térmica del ciclo y la relación de trabajo de retroceso de este ciclo.
- En un ciclo de Rankine, se tiene la información del diagrama. Sabiendo que el gasto másico que utiliza el ciclo es 4.5 [kg/s], determine la eficiencia del ciclo.

$$P_1 = 20 \text{ [bar]}$$

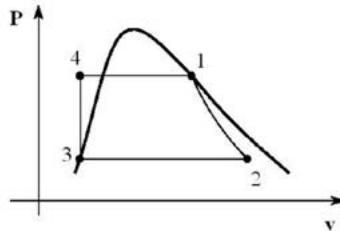
$$P_2 = 0.1 \text{ [bar]}$$

$$h_1 = 2\,800 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_2 = 1\,934.2 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_3 = 200 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_4 = 206.7 \text{ [kJ/kg]}$$



- En un ciclo de Rankine básico, como el que se muestra en la figura, se sabe que el agua entra en la caldera a 75 [bar] y una entalpía específica de 174.18 [kJ/kg]; entra en la bomba a 0.08 [bar], 1.0084×10^{-3} [m³ /kg] y 41.51 [°C], entra en la turbina como vapor saturado y seco ($v = 0.025445$ [m³ /kg], $u = 2575.15$ [kJ/kg]). La turbina produce 118.15 [kJ/kg]; determine, sin despreñar el trabajo en la bomba:
 - El calor, referido a la unidad de masa, que se le proporciona al agua en la caldera.
 - El trabajo, referido a la unidad de masa, que entrega el ciclo.

4. Considere una planta eléctrica de vapor de agua que opera en un ciclo Rankine ideal simple y tiene una producción neta de potencia de 45 MW. El vapor entra a la turbina a 7 MPa y 500 °C y se enfría en el condensador a una presión de 10 kPa mediante la circulación de agua de enfriamiento de un lago por los tubos del condensador a razón de 2000 kg/s. Muestre el ciclo en un diagrama T-s con respecto a las líneas de saturación y determine: a) la eficiencia térmica del ciclo, b) el flujo másico del vapor y c) la elevación de temperatura del agua de enfriamiento.
5. Repita el problema 4 suponiendo una eficiencia isentrópica de 87 % tanto para la turbina como para la bomba.
6. Un ciclo Rankine simple usa agua como fluido de trabajo. La caldera opera a 6000 kPa y el condensador a 50 kPa. A la entrada de la turbina, la temperatura es 450 °C. La eficiencia isentrópica de la turbina es 94 %, las pérdidas de presión y de bomba son despreciables, y el agua que sale del condensador está subenfriada en 6.3 °C. La caldera está diseñada para un flujo másico de 20 kg/s. Determine la tasa de adición de calor en la caldera, la potencia necesaria para operar las bombas, la potencia neta producida por el ciclo, y la eficiencia térmica.
7. Considere una planta termoeléctrica que quema el carbón y que produce 120 MW de potencia eléctrica. La planta opera en un ciclo Rankine ideal simple con condiciones de entrada a la turbina de 9 MPa y 550 °C, y una presión del condensador de 15 kPa. El carbón tiene un poder calorífico (energía liberada cuando se quema el combustible) de 29,300 kJ/kg. Suponiendo que 75 % de esta energía se transfiere al vapor de agua en la caldera, y que el generador eléctrico tiene una eficiencia de 96 %, determine a) la eficiencia total de la planta (la relación de producción neta de potencia eléctrica a entrada de energía como resultado de combustión de combustible) y b) la tasa necesaria de suministro de carbón.

Práctica 10

Ciclo Rankine con recalentamiento

Sección: Fecha:...../...../.....

Apellidos y nombres:

Instrucciones: Resuelva la práctica de manera responsable.

1. Considere un ciclo Rankine ideal simple y un ciclo Rankine con tres etapas de recalentamiento. Ambos ciclos operan entre los mismos límites de presión. La temperatura máxima es 700 °C en el ciclo simple y 450 °C en el ciclo con recalentamiento. ¿Cuál ciclo piensa usted que tendrá una eficiencia térmica más alta?
2. Un ciclo ideal de recalentamiento Rankine con agua como fluido de trabajo opera la entrada de la turbina de alta presión a 8000 kPa y 450 °C; la entrada de la turbina de baja presión a 500 kPa y 500 °C, y el condensador a 10 kPa. Determine el flujo másico a través de la caldera que se necesita para que este sistema produzca una potencia neta de 5000 kW, y la eficiencia térmica del ciclo.
3. Un ciclo Rankine ideal con recalentamiento con agua como el fluido de trabajo funciona con una presión en la caldera de 15 000 kPa, el recalentador a 2000 kPa y el condensador a 100 kPa. La temperatura es de 450 °C a la entrada de las turbinas de alta y baja presión. El flujo másico a través del ciclo es de 1.74 kg/s. Determine la potencia usada por las bombas, la potencia producida por el ciclo, la tasa de transferencia de calor en el recalentador y la eficiencia térmica de este sistema.
4. Una planta termoeléctrica que usa el vapor de agua, opera en el ciclo Rankine ideal con recalentamiento. El vapor entra a la turbina de alta presión a 6 MPa y 400 °C y sale a 2 MPa. El vapor se recalienta luego a presión constante a 400 °C antes de expandirse a 20 kPa en la turbina de baja presión. Determine

la producción de trabajo de la turbina, en kJ/kg, y la eficiencia térmica del ciclo. También muestre el ciclo en un diagrama T-s con respecto a las líneas de saturación.

5. Una planta termoeléctrica de vapor de agua opera en un ciclo Rankine ideal con recalentamiento entre los límites de presión de 15 MPa y 10 kPa. El flujo másico de vapor a través del ciclo es 12 kg/s. El vapor entra a ambas etapas de la turbina a 500 °C. Si el contenido de humedad del vapor a la salida de la turbina de baja presión no debe exceder 10 %, determine a) la presión a la que tiene lugar el recalentamiento, b) la tasa total de entrada de calor a la caldera y c) la eficiencia térmica del ciclo. También muestre el ciclo en un diagrama T-s con respecto a las líneas de saturación.
6. Una planta termoeléctrica de vapor de agua opera en el ciclo Rankine con recalentamiento. El vapor entra a la turbina de alta presión a 12.5 MPa y 550 °C, a razón de 7.7 kg/s y sale a 2 MPa. El vapor luego se recalienta a presión constante a 450 °C antes de expandirse en la turbina de baja presión. Las eficiencias isentrópicas de la turbina y la bomba son 85 % y 90 %, respectivamente. El vapor sale del condensador como líquido saturado. Si el contenido de humedad del vapor a la salida de la turbina no debe exceder 5 %, determine a) la presión de condensador, b) la producción neta de potencia y c) la eficiencia térmica.



Práctica 11

Ciclo Rankine con recalentamiento

Sección: Fecha:...../...../.....

Apellidos y nombres:

Instrucciones: Resuelva la práctica de manera responsable.

1. Considere un ciclo Rankine ideal simple y un ciclo Rankine con tres etapas de recalentamiento. Ambos ciclos operan entre los mismos límites de presión. La temperatura máxima es $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el ciclo simple y $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el ciclo con recalentamiento. ¿Cuál ciclo piensa usted que tendrá una eficiencia térmica más alta?
2. Un ciclo ideal de recalentamiento Rankine con agua como fluido de trabajo opera la entrada de la turbina de alta presión a 8000 kPa y $450\text{ }^{\circ}\text{C}$; la entrada de la turbina de baja presión a 500 kPa y $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, y el condensador a 10 kPa . Determine el flujo másico a través de la caldera que se necesita para que este sistema produzca una potencia neta de 5000 kW , y la eficiencia térmica del ciclo.
3. Un ciclo Rankine ideal con recalentamiento con agua como el fluido de trabajo funciona con una presión en la caldera de 15000 kPa , el recalentador a 2000 kPa y el condensador a 100 kPa . La temperatura es de $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ a la entrada de las turbinas de alta y baja presión. El flujo másico a través del ciclo es de 1.74 kg/s . Determine la potencia usada por las bombas, la potencia producida por el ciclo, la tasa de transferencia de calor en el recalentador y la eficiencia térmica de este sistema.
4. Una planta termoeléctrica que usa el vapor de agua, opera en el ciclo Rankine ideal con recalentamiento. El vapor entra a la turbina de alta presión a 6 MPa y $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ y sale a 2 MPa . El vapor se recalienta luego a presión constante a $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ antes de expandirse a 20 kPa en la turbina de baja presión. Determine

la producción de trabajo de la turbina, en kJ/kg, y la eficiencia térmica del ciclo. También muestre el ciclo en un diagrama T-s con respecto a las líneas de saturación.

5. Una planta termoeléctrica de vapor de agua opera en un ciclo Rankine ideal con recalentamiento entre los límites de presión de 15 MPa y 10 kPa. El flujo másico de vapor a través del ciclo es 12 kg/s. El vapor entra a ambas etapas de la turbina a 500 °C. Si el contenido de humedad del vapor a la salida de la turbina de baja presión no debe exceder 10 %, determine a) la presión a la que tiene lugar el recalentamiento, b) la tasa total de entrada de calor a la caldera y c) la eficiencia térmica del ciclo. También muestre el ciclo en un diagrama T-s con respecto a las líneas de saturación.
6. Una planta termoeléctrica de vapor de agua opera en el ciclo Rankine con recalentamiento. El vapor entra a la turbina de alta presión a 12.5 MPa y 550 °C, a razón de 7.7 kg/s y sale a 2 MPa. El vapor luego se recalienta a presión constante a 450 °C antes de expandirse en la turbina de baja presión. Las eficiencias isentrópicas de la turbina y la bomba son 85 % y 90 %, respectivamente. El vapor sale del condensador como líquido saturado. Si el contenido de humedad del vapor a la salida de la turbina no debe exceder 5 %, determine a) la presión de condensador, b) la producción neta de potencia y c) la eficiencia térmica.



Práctica 12

Ciclo invertido de Carnot

Sección: Fecha:...../...../.....

Apellidos y nombres:

Instrucciones: Resuelva la práctica de manera responsable.

1. Un ciclo de Carnot de refrigeración de flujo estacionario usa refrigerante 134a como fluido de trabajo. El refrigerante cambia de vapor saturado a líquido saturado a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el condensador, cuando rechaza calor. La presión del evaporador es de 100 kPa . Muestre el ciclo en un diagrama T-s en relación con las líneas de saturación, y determine a) el coeficiente de desempeño, b) la cantidad de calor absorbido del espacio refrigerado y c) la entrada neta de trabajo.
2. Entra refrigerante 134a al condensador de un refrigerador de Carnot de flujo estacionario como vapor saturado a 90 psia , y sale con una calidad de 0.05 . La absorción de calor del espacio refrigerado tiene lugar a una presión de 30 psia . Muestre el ciclo en un diagrama T-s en relación con las líneas de saturación, y determine a) el coeficiente de desempeño, b) la calidad al principio del proceso de absorción de calor y c) la entrada neta de trabajo.
3. Un refrigerador Carnot requiere 1.3 kW por ton de refrigeración para mantener una región a una baja temperatura de $-38\text{ }^{\circ}\text{C}$. Determine:
 - a) El COP del refrigerador.
 - b) La temperatura mayor del ciclo.
 - c) El calor suministrado y el COP cuando este dispositivo se utiliza como una bomba de calor.
4. Un sistema refrigerante funciona en el ciclo Carnot inverso. La temperatura mayor del refrigerante en el sistema es de $35\text{ }^{\circ}\text{C}$

y la temperatura menor es $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. La capacidad debe ser de 12 ton. Ignore todas las pérdidas. Determine:

- a) El COP.
- b) El calor rechazado del sistema por hora.
- c) La potencia requerida.

5. Determine la potencia mínima de una máquina térmica inversa perfecta que produce 400 kg de hielo por hora a $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ a partir de agua de alimentación a $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Suponga que el calor específico del hielo es 2.09 KJ/kg K y que su calor latente es 334 KJ/kg .
6. Una bomba de calor se utiliza para calentar el interior de un hogar en un clima frío. La temperatura ambiente es $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la temperatura interior deseada es de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. El compresor de la bomba de calor se accionará por una máquina térmica que funciona entre 1000 y $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tratado los dos ciclos como reversibles, calcule la relación a la que la bomba de calor y la máquina térmica comparten la carga de calefacción.



Práctica 13

Ciclo invertido de Carnot

Sección: Fecha:...../...../.....

Apellidos y nombres:

Instrucciones: Resuelva la práctica de manera responsable.

1. Considere dos ciclos de refrigeración por compresión de vapor. El refrigerante entra a la válvula de estrangulación como líquido saturado a 30 °C en un ciclo y como líquido subenfriado a 30 °C en el otro. La presión del evaporador para ambos ciclos es la misma. ¿Cuál ciclo piensa usted que tendrá un COP más alto?
2. Un refrigerador opera en el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor y usa refrigerante 134a como fluido de trabajo. El condensador opera a 300 psia, y el evaporador a 20 °F. Si estuviera disponible un dispositivo de expansión adiabática y reversible, y se usara para expandir el líquido que sale del condensador, ¿cuánto mejoraría el COP usando este dispositivo en lugar de un dispositivo de estrangulación?
3. Un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor que usa refrigerante 134a como fluido de trabajo mantiene un condensador a 1 000 kPa y el evaporador a 4 °C. Determine el COP de este sistema y la cantidad de potencia necesaria para proporcionar una carga de enfriamiento de 400 kW.
4. En un ciclo de refrigeración por compresión de un vapor que opera con tetrafluoroetano (refrigerante R-134a) se sabe que este último entra en el compresor a -10 [°C], 2 [bar] y $h = 241$ [kJ/kg], sale a 16 [bar] y $h = 295$ [kJ/kg]. Sabiendo que entra a la válvula de expansión con una entalpía específica de 134 [kJ/kg], determine: a) Los calores referidos a la unidad de masa en el evaporador y en el condensador-enfriador. b) La potencia del compresor si el gasto másico fue 15 [kg/s]. c) El coeficiente de operación del ciclo.

5. Con el equipo de la práctica de laboratorio del ciclo de refrigeración por compresión de un vapor, el cual se muestra en la figura, unos alumnos utilizaron alcohol en vez de agua cuya capacidad térmica específica es $c = 2\,428 \text{ [J / (kg} \cdot \Delta^\circ\text{C)]}$. Los datos que midieron del alcohol se encuentran en la tabla. Sabiendo que el equipo estuvo operando 5 [min], determine: a) La potencia del compresor. b) El coeficiente de rendimiento (o de desempeño) del equipo de refrigeración utilizado.

En el evaporador	En el condensador
$T_{\text{inicial}} = 20 \text{ [}^\circ\text{C]}$	$T_{\text{inicial}} = 20 \text{ [}^\circ\text{C]}$
$T_{\text{final}} = 12 \text{ [}^\circ\text{C]}$	$T_{\text{final}} = 33 \text{ [}^\circ\text{C]}$
$m = 3 \text{ [kg]}$	$m = 3 \text{ [kg]}$

6. En la práctica de ciclo de refrigeración por compresión de un vapor realizada en el laboratorio de esta asignatura, un alumno obtuvo la información que se indica en la tabla. Sabiendo que el compresor estuvo funcionando 10 minutos, determine el coeficiente de rendimiento del refrigerador.

<i>evaporador:</i>				
sustancia	$c \text{ [J/(kg} \cdot \Delta^\circ\text{C)]}$	$m \text{ [kg]}$	$T_{\text{final}} \text{ [}^\circ\text{C]}$	$T_{\text{inicial}} \text{ [}^\circ\text{C]}$
agua	4 186	2	12	17
<i>condensador:</i>				
sustancia	$c \text{ [J/(kg} \cdot \Delta^\circ\text{C)]}$	$m \text{ [kg]}$	$T_{\text{final}} \text{ [}^\circ\text{C]}$	$T_{\text{inicial}} \text{ [}^\circ\text{C]}$
agua	4 186	2	30	24

7. Entra refrigerante 134a al compresor de un refrigerador a 100 kPa y $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ a razón de $0.5 \text{ m}^3/\text{min}$ y sale a 0.8 MPa. La eficiencia isentrópica del compresor es de 78 %. El refrigerante entra a la válvula de estrangulación a 0.75 MPa y $26 \text{ }^\circ\text{C}$ y sale del evaporador como vapor saturado a $-26 \text{ }^\circ\text{C}$. Muestre el ciclo en un diagrama T-s con respecto a las líneas de saturación, y determine a) la entrada de potencia al compresor, b) la tasa de remoción de calor del espacio refrigerado y c) la caída de presión y la tasa de ganancia de calor en la línea entre el evaporador y el compresor.
8. Para el ejercicio 8 considera una eficiencia isentrópica del compresor de 80 % y calcula la entrada de potencia al compresor, a) con los mismos datos y b) si al compresor ingresan con 101.235 KPa y $-10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Práctica 14

Ciclos de refrigeración gas y sistema de refrigeración por absorción

Sección: Fecha:...../...../.....

Apellidos y nombres:

Instrucciones: Resuelva la práctica de manera responsable.

1. Un sistema de refrigeración de gas que usa aire como fluido de trabajo tiene una relación de presiones de 5. El aire entra al compresor a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. El aire de alta presión se enfría a $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ rechazando calor al entorno. El aire sale de la turbina a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ y luego absorbe calor del espacio refrigerado antes de entrar al regenerador. El flujo másico de aire es de 0.4 kg/s . Suponiendo eficiencias isentrópicas de 80% para el compresor y 85% para la turbina y usando calores específicos constantes a temperatura ambiente, determine a) la efectividad del regenerador, b) la tasa de remoción de calor del espacio refrigerado y c) el COP del ciclo. También determine d) la carga de refrigeración y el COP si este sistema operase en el ciclo simple de refrigeración de gas. Use la misma temperatura dada de entrada al compresor, la temperatura de entrada a la turbina como se calculó y las mismas eficiencias de compresor y de turbina.
2. Un ciclo de refrigeración de gas con una relación de presiones de 3 usa helio como fluido de trabajo. La temperatura del helio es de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a la entrada del compresor y de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a la entrada de la turbina. Suponiendo eficiencias isentrópicas de 80% tanto para la turbina como para el compresor, determine a) la temperatura mínima en el ciclo, b) el coeficiente de desempeño y c) el flujo másico del helio para una carga de refrigeración de 18 kW .

3. Entra aire al compresor de un ciclo ideal de refrigeración de gas a 7°C y 35 kPa , y a la turbina a 37°C y 160 kPa . El flujo másico del aire a través del ciclo es de 0.12 kg/s . Suponiendo calores específicos variables para el aire, determine a) la carga de refrigeración, b) la entrada neta de potencia y c) el coeficiente de desempeño.
4. Un refrigerador por absorción reversible consiste en una máquina térmica reversible y un refrigerador reversible. El sistema quita calor de un espacio enfriado a -15°C a razón de 70 kW . El refrigerador opera en un entorno a 25°C . Si el calor se suministra al ciclo mediante la condensación de vapor de agua saturado a 150°C , determine a) la tasa de condensación de vapor y b) el suministro de potencia al refrigerador reversible. c) Si el COP de un enfriador por absorción real a los mismos límites de temperatura es de 0.8 , determine la eficiencia según la segunda ley de este enfriador.
5. Se usa un ciclo de refrigeración de absorción de amoníaco-agua para mantener un espacio a 25°F cuando la temperatura ambiente es de 70°F . El amoníaco puro entra al condensador a 300 psia y 140°F , a razón de 0.04 lbm/s . El amoníaco sale del condensador como líquido saturado y se expande a 30 psia . El amoníaco sale del evaporador como vapor saturado. El calor se suministra al generador por agua líquida geotérmica que entra a 240°F a razón de 0.55 lbm/s , y sale a 200°F . Determine a) la tasa de enfriamiento que suministra el sistema, en Btu/h , el COP, y b) la eficiencia de la segunda ley del sistema. Las entalpías para el amoníaco en los varios estados del sistema son: entrada del condensador, $h_2 = 665.7\text{ Btu/lbm}$; entrada del evaporador, $h_4 = 190.9\text{ Btu/lbm}$; salida del evaporador, $h_1 = 619.2\text{ Btu/lbm}$. También considere el calor específico del agua geotérmica como $1.0\text{ Btu/lbm} \cdot ^{\circ}\text{F}$.
6. Un sistema de refrigeración por absorción recibe calor de una fuente a 120°C y mantiene el espacio refrigerado a 0°C . Si la temperatura del entorno es de 25°C , ¿cuál es el máximo COP que puede tener este sistema de refrigeración por absorción.

Práctica 15

Mezcla de gases y mezcla de gas-vapor

Sección: Fe-
 cha:...../...../.....

Apellidos y nombres:

Instrucciones: Resuelva la práctica de manera responsable.

1. Una mezcla gaseosa consiste en 3 lbmol de helio, 1.5 lbmol de oxígeno, 0.3 lbmol de vapor de agua y 25 lbmol de nitrógeno. Determine la fracción molar de los diversos constituyentes y el peso molecular aparente de esta mezcla, en lbm/lbmol.
2. Una mezcla de gases consiste en 5 kg de O₂, 8 kg de N₂ y 10 kg de CO₂. Determine a) la fracción másica de cada componente, b) la fracción molar de cada componente, y c) la masa molar promedio y la constante del gas de la mezcla.
3. Una mezcla de gases consiste en 5 kmol de H₂ y 4 kmol de N₂. Determine la masa de cada gas y la constante del gas aparente para la mezcla.
4. En una mezcla de gases ideales, las presiones parciales de los gases componentes son como sigue: CO₂, 12.5 kPa; O₂, 37.5 kPa, y N₂, 50 kPa. Determine las fracciones molares y fracciones másicas de cada componente. Calcule la masa molar aparente, la constante aparente de la mezcla de los gases, el calor específico a volumen constante, y la relación de calores específicos a 300 K para la mezcla.
5. Las temperaturas de bulbo seco y húmedo del aire atmosférico a 95 kPa son 25 y 17 °C, respectivamente. Determine a) la humedad específica, b) la humedad relativa, y c) la entalpía del aire, en kJ/kg aire seco.



6. El aire de un cuarto está a 1 atm, 23 °C y humedad relativa de 50 %. Determine a) la humedad específica, b) la entalpía, en kJ/kg aire seco, c) la temperatura de bulbo húmedo, d) la temperatura de punto de rocío y e) el volumen específico del aire, en m³/kg aire seco. Use la carta psicrométrica.
7. El aire de un cuarto tiene una presión de 1 atm, una temperatura de bulbo seco de 24 °C y una temperatura de bulbo húmedo de 17 °C. Usando la carta psicrométrica, determine a) la humedad específica, b) la entalpía, en kJ/kg aire seco, c) la humedad relativa, d) la temperatura de punto de rocío y e) el volumen específico del aire, en m³/kg aire seco.



Práctica 16

Procesos de acondicionamiento de aire

Sección: Fecha:...../...../.....

Apellidos y nombres:

Instrucciones: Resuelva la práctica de manera responsable.

- Una persona promedio produce 0.25 kg de humedad al bañarse en la ducha y 0.05 kg al bañarse en tina. Considere una familia de cuatro, cada uno de los cuales se da una ducha una vez al día en un cuarto de baño que no está ventilado. Tomando el calor de vaporización del agua como 2.450 kJ/kg, determine la contribución de las duchas a la carga de calor latente del acondicionador de aire por día en el verano.
- Un pollo promedio (1.82 kg o 4.0 lbm) tiene una tasa metabólica basal de 5.47 W y una tasa metabólica promedio de 10.2 W (3.78 W sensible y 6.42 W latente) durante la actividad normal. Si hay 100 pollos en una sala de crianza, determine la tasa de generación total de calor y la tasa de producción de humedad en la sala. Tome el calor de vaporización del agua como 2.430 kJ/kg.
- Entra aire a una sección de enfriamiento de 30 cm de diámetro a 1 atm, 35 °C y 45% de humedad relativa, a 18 m/s. Se quita calor del aire a razón de 750 kJ/min. Determine a) la temperatura de salida, b) la humedad relativa de salida del aire y c) la velocidad de salida.
- Repita el problema 4 para una tasa de remoción de calor de 1 100 kJ/min.
- Se calienta aire húmedo saturado a 200 kPa, de 15 °C a 30 °C, mientras fluye por un tubo de 4 cm de diámetro con una velocidad de 20 m/s. Despreciando las pérdidas de presión,



calcule la humedad relativa a la salida del tubo y la tasa de transferencia de calor al aire, en kW.

6. Aire a 1 atm, 15 °C y 60 % de humedad relativa se calienta primero a 20 °C en una sección de calentamiento y luego se humidifica por introducción de vapor de agua. El aire sale de la sección de humidificación a 25 °C y 65 % de humedad relativa. Determine a) la cantidad de vapor que se agrega al aire y b) la cantidad de calor que se transfiere al aire en la sección de calentamiento.
7. Aire húmedo a 101.3 kPa, con un bulbo seco a 39 °C y 50 % de humedad relativa se enfría a presión constante a una temperatura de 10 °C por debajo de su temperatura de punto de rocío: a) Trace el diagrama del equipo del sistema y el diagrama psicrométrico para el proceso. b) Si para este proceso se ha determinado que la tasa de transferencia de calor del aire atmosférico es de 1340 kW, ¿cuál es la tasa volumétrica de aire atmosférico en m³/s?



