



Universidad
de Huelva

PROBLEMAS DE TERMOTECNIA

2º curso de Grado de Ingeniería en Explotación de Minas y Recursos Energéticos

Profesor Gabriel López Rodríguez
(Área de Máquinas y Motores Térmicos)

Curso 2011/2012

Tema 2: Primer Principio de la Termodinámica

Nota: los problemas de sistemas abiertos están incluidos en el siguiente Tema 3

1. Calcular el trabajo realizado en la expansión de 300 g de un gas a la presión constante de 200 kN/m² cuando el volumen pasa de 200 dm³ a 300 dm³. ¿Qué cantidad de trabajo habría que realizar para comprimirlo al volumen inicial? ¿Cuál será el trabajo específico desarrollado por el gas?

Solución: a) 20 kJ; b) 66.7 kJ/kg.

2. Un gas se comprime isotérmicamente desde una presión de 100 Pa y un volumen de 0.058 m³ a un volumen de 0.008 m³. Si supone que el gas sigue la ecuación de estado $pV = NR_uT$, ¿cuál es la ecuación de proceso? Determine la presión final y el trabajo puesto en juego.

Solución: a) 725 Pa; b) -11.49 J.

3. En un ensayo de laboratorio se obtiene que la ecuación de estado de un gas es de la forma $p(a + bV) = NR_uT$, donde a y b son constantes con valores 10 dm³ y 15, respectivamente. ¿Cuál sería el trabajo realizado si N moles del gas se expansionan isotérmicamente desde un volumen $V_1 = 10$ dm³ a otro $V_2 = 15$ dm³, sabiendo que la presión inicial del gas es de 20 kPa? ¿Y si en vez de expansionarse isotérmicamente, lo realiza mediante un proceso reversible adiabático de ecuación $pV^{1.2} = cte$?

Solución: a) 82 J; b) 77.5 J.

4. La fase de compresión de un motor Diesel, cuya relación de compresión $r (= V_1/V_2)$ es 15, se hace mediante un proceso de ecuación $pV^{1.35} = cte$. Si la temperatura inicial es de 35 °C, calcular la temperatura final T_2 y el trabajo específico molar desarrollado. Suponga al aire como un gas ideal ($pV = NR_uT$, donde $R_u = 8.3143$ kJ/(kmol K)).

Solución: a) 795 K; b) 11569 kJ/kmol.

5. Un sistema cerrado inicialmente en reposo sobre la superficie de la Tierra es sometido a un proceso en el que recibe una transferencia neta de energía por trabajo igual a 200 kJ. Durante este proceso hay una transferencia neta de energía por calor desde el sistema al entorno de 30 kJ. Al final del proceso, el sistema tiene una velocidad de 60 m/s y una altura de 60 m. La masa del sistema es de 25 kg. Calcular la variación de energía interna del sistema para el proceso.

Solución: 110.3 kJ.

6. Un gas está contenido en un depósito rígido cerrado provisto de una rueda de paletas. Dicha rueda agita el gas durante 20 minutos, con una potencia variable con el tiempo según la expresión $\dot{W} = -10t$, donde \dot{W} está en vatios y t en minutos. La transferencia de calor desde el gas al entorno se realiza con un flujo constante de -50 W. Calcular: a) la velocidad de cambio de la energía del gas para $t = 10$ min. b) El cambio neto de energía en el gas después de 20 min.

Solución: a) 50 W; b) 60 kJ.

7. Un conjunto cilindro-pistón contiene un gas que sufre varios procesos cuasiestáticos que constituyen un ciclo. El proceso es como sigue: 1-2, compresión adiabática; 2-3, isobaro; 3-4, expansión adiabática; 4-1, isocoro. La tabla que se muestra contiene los datos del comienzo y del final de cada proceso:

Estado	Sistema A				Sistema B			
	$p(\text{bar})$	$V(\text{m}^3)$	$T(\text{K})$	$U(\text{kJ})$	$p(\text{bar})$	$V(\text{m}^3)$	$T(\text{K})$	$U(\text{kJ})$
1	0.95	5700	20	1.47	110	500	300	0.137
2	23.90	570	465	3.67	950	125	650	0.305
3	23.90	1710	1940	11.02	950	250	1300	0.659
4	4.45	5700	1095	6.79	390	500	1060	0.522

Tanto para el sistema A como para el B, hágase un bosquejo del ciclo en un diagrama $p - V$ y determínese para cada uno de los cuatro procesos las interacciones térmicas y de trabajo.

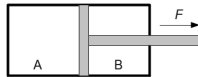
Solución: a) 0 kJ, -2.20 kJ; 10.08 kJ, 2.73 kJ; 0 kJ, 4.23 kJ; -5.32 kJ, 0 kJ; b) 0 kJ, -0.168 kJ; 0.473 kJ, 0.119 kJ; 0 kJ, 0.137 kJ; -0.385 kJ, 0 kJ.

8. Un conjunto vertical cilindro-pistón contiene un gas que está comprimido por un pistón sin fricción que pesa 3000 N. Durante un tiempo, la rueda con paletas que está dentro del cilindro hace un trabajo de -6800 Nm sobre el gas. Si el calor que transfiere el gas es de -10 kJ y el cambio de energía interna es de 1 kJ , determinar la distancia que se mueve el pistón. El pistón tiene un área de 52 cm^2 y el barómetro mide 1.0 bar .

Solución: -0.625 m .

9. El cilindro de la figura, de paredes y émbolo adiabáticos, contiene la misma cantidad de aire en ambas partes, a 300 °C y 1 bar . Desplazamos el pistón, sin rozamiento, aplicando una fuerza exterior resistida hasta que la presión en B aumenta a 2 bar . Calcular: a) el trabajo exteriormente suministrado; b) la variación de energía interna que sufre cada sistema. **Nota:** Considerar el aire como un gas ideal biatómico con índice adiabático de 1.4 y tomar $R_u = 8.314 \text{ kJ}/(\text{kmol K})$.

Solución: a) -1133 J/mol ; b) 1476 J/mol ; -2609 J/mol .



Nota: los problemas de sistemas abiertos están incluidos en el siguiente Tema 3

Tema 3: Propiedades Termodinámicas de las Sustancias Puras

3.1 Sistemas Cerrados

1. Completar los datos que se han omitido en la tabla (valores en negrita), si la sustancia es agua. La solución son los valores en negrita

$p(\text{bar})$	$T(^{\circ}\text{C})$	$v(\text{cm}^3/\text{g})$	$h(\text{kJ}/\text{kg})$	$u(\text{kJ}/\text{kg})$	x
4.758	150	392.8	2746.5	2559.5	1
20	320	130.8	3069.5	2807.9	
1.014	100	1255.0	2100.0	1984.6	0.75
60	275.6	25.0	2407.3	2257.5	0.76
50	140	1.0768	592.15	586.8	
15	400	203.0	3255.3	2951.8	
10	179.9	20.45	964.3	943.9	0.1
74.36	290	25.57	2766.2	2576.0	1
15.54	200	75.64	2000.0	1880.0	0.59
3.613	140	1.0797	589.1	588.7	0
4.5	147.9	1.0882	623.3	622.25	0

2. Una mezcla húmeda de agua se mantiene en un tanque rígido a 60°C . El sistema se calienta hasta el estado crítico. Determinar la calidad de la mezcla inicial y el cociente inicial del volumen de vapor y líquido. *Sol.: 0.00028; 2.10.*
3. Un sistema cerrado contiene una mezcla de agua líquida y gaseosa a 200°C . La energía interna del líquido saturado es el 25% de la energía interna total del sistema. ¿Cuál es la calidad de la mezcla? *Sol.: 0.496*
4. Una caldera de 12 m^3 de capacidad cerrada herméticamente está llena de vapor saturado seco a 15 bar. Se enfría la caldera y se observa que la presión ha descendido a 10 bar. Determinar: a) estado final del vapor; b) cantidad de calor sustraído a la caldera. *Sol.: a) mezcla húmeda a $179,9^{\circ}\text{C}$, $x = 0$; 6756; b) $-54,834\text{ kJ}$.*
5. Vapor de agua saturado y seco a 30 bar se halla en un cilindro. El vapor se enfría a volumen constante hasta que la temperatura alcanza 200°C . Seguidamente, el sistema se expande isotérmicamente hasta que el volumen es el doble del valor inicial. Calcular las presiones en los estados 2 y 3 y el cambio de la energía interna para los dos procesos. *Sol.: 15.54 bar; 15 bar; $-848\text{ kJ}/\text{kg}$; $842\text{ kJ}/\text{kg}$.*
6. Agua a 50 bar y 80°C cambia de estado a 200 bar y 100°C . Determinar: a) el cambio de la energía interna y la entalpía con base en la tabla de líquido comprimido; b) la variación de energía interna y de entalpía con base en los datos de saturación. *Sol.: a) $79.67\text{ kJ}/\text{kg}$ y $95.21\text{ kJ}/\text{kg}$; b) $84.08\text{ kJ}/\text{kg}$ y $100.0\text{ kJ}/\text{kg}$.*
7. Un cilindro con émbolo contiene 1.5 kg de vapor de agua saturado a 3 bar. El sistema recibe 600 kJ de calor, y una rueda de paletas dentro del sistema gira 2000 revoluciones. Si la temperatura final es 400°C y la presión se mantiene constante, determine el torque constante que se aplica a la flecha de la rueda de paletas despreciando la energía que la rueda pueda almacenar. **Nota:** $W = 2\pi\tau N^{\text{vueltas}}$ *Sol.: 17.9 Nm.*
8. Un recipiente rígido con un volumen de 0.05 m^3 está inicialmente lleno con vapor de agua saturado y seco a 1 bar. El contenido se enfría hasta 75°C . Represente el proceso en un diagrama $p-V$ con respecto a la línea de saturación. ¿Cuál es la presión final? Hallar la cantidad de calor disipada por el sistema. *Sol.: 0.3858 bar; -38.5 kJ*
9. Un sistema que tiene un volumen inicial de 2.0 m^3 se llena con agua a 30 bar y 400°C . El sistema se enfría a volumen constante hasta 200°C . Un segundo proceso a temperatura constante finaliza con agua líquida saturada. Hallar la transferencia total de calor. *Sol.: -44965 kJ*
10. Determinar el cambio de energía interna y de entalpía de agua para un cambio de estado desde 20°C y 50 bar hasta 80°C y 100 bar empleando la tabla de líquido comprimido y la regla de aproximación junto con datos de saturación. ¿Cuál es el error porcentual que resulta con el segundo método? *Sol.: $248.9\text{ kJ}/\text{kg}$ y $254.2\text{ kJ}/\text{kg}$; $250.91\text{ kJ}/\text{kg}$ y $256.2\text{ kJ}/\text{kg}$; 0.8% y 0.8%*

11. Un dispositivo cilindro-pistón contiene una mezcla de líquido y vapor de agua saturados inicialmente a 500 kPa y con un título del 98%. Se produce una expansión a un estado donde la presión es 200 kPa. Durante el proceso la presión y el volumen específico están relacionados por $p \cdot v = \text{constante}$. Determine la transferencia de calor y el trabajo por unidad de masa. *Sol.: $w = 168.3 \text{ kJ/kg}$; $q = 196 \text{ kJ/kg}$.*
12. Dos tanques rígidos están conectados por medio de una válvula. El tanque A contiene 0.2 m^3 de agua en estado de mezcla saturada a 400 kPa y con un título de vapor de 0.8. El tanque B contiene 0.5 m^3 de vapor de agua a 200 kPa y $250 \text{ }^\circ\text{C}$. La válvula se abre y con el tiempo los dos tanques alcanzan el mismo estado. a) Calcule la masa total de agua contenida en el sistema; Si el sistema alcanza el equilibrio térmico con los alrededores que están a $24 \text{ }^\circ\text{C}$, determine: b) la presión del sistema; c) el título de vapor; d) la cantidad de calor cedido por el sistema. *Sol.: a) 0.9574 kg ; b) 0.029824 bar ; c) 0.016 ; d) -2176.57 kJ*
13. Un bloque de hierro de 50 kg a $80 \text{ }^\circ\text{C}$ se introduce en un tanque aislado que contiene 0.5 m^3 de agua líquida a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Determinar la temperatura cuando se alcanza el equilibrio térmico, sabiendo que $c_{\text{hierro}} = 0.450 \text{ kJ/kg K}$ y $c_{\text{agua}} = 4.184 \text{ kJ/kg K}$. *Sol.: $25.6 \text{ }^\circ\text{C}$*
14. Calcular la variación de entalpía del oxígeno (en kJ/kg) cuando éste aumenta su temperatura de 500 K a 1000 K mediante: a) datos tabulados de entalpía; b) la ecuación empírica del calor específico en función de la temperatura c) el valor de c_p a 500 K d) el valor medio de c_p en el intervalo de 500 K y 1000 K . ¿Qué valor es el más representativo? ¿Sería necesario especificar que el proceso fuera isóbaro? ¿Se podría haber empleado información de c_v ? **Nota:** Los datos tabulados y la función $c_p = c_p(T)$ hay que buscarlos (en libros, internet, amigos, ...). *Sol.: a) 519.34 kJ/kg ; b) 520.6 kJ/kg ; c) 486 kJ/kg ; d) 516 kJ/kg .*
15. Un tanque rígido y aislado cuyo volumen total es de 3.0 m^3 , está dividido en dos compartimentos iguales mediante una pared rígida y aislada. Ambos lados del tanque contienen un gas monoatómico ideal. En un lado la temperatura y presión iniciales son $200 \text{ }^\circ\text{C}$ y 0.50 bar , en tanto que en el otro lado los valores corresponden a $40 \text{ }^\circ\text{C}$ y 1.0 bar . En ese momento se rompe la pared divisoria y los contenidos se mezclan perfectamente. Determinar la temperatura y la presión de equilibrio final. *Sol.: $79.8 \text{ }^\circ\text{C}$ y 0.75 bar .*
16. En el interior de un aparato de cilindro y émbolo se almacena oxígeno, inicialmente a 600 kPa , $200 \text{ }^\circ\text{C}$ y 0.020 m^3 . El gas se expande de acuerdo con la ecuación de proceso $pV^{1.2} = \text{cte.}$, hasta que la temperatura alcanza $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Calcular a) el volumen y la presión final, b) el trabajo y calor total puestos en juego. *Sol.: a) 0.0656 m^3 , 144.3 kPa ; b) 12.45 kJ , 6.03 kJ .*
17. Un aparato de cilindro y émbolo contiene 1 kg de aire, inicialmente a 2 bar y $77 \text{ }^\circ\text{C}$. Ocurren dos procesos: un proceso a volumen constante, seguido de otro a presión constante. Durante el primero, se añaden 57970 J de calor. Durante el segundo, se agrega calor a presión constante, hasta que el volumen llega a ser 0.864 m^3 . Suponiendo procesos cuasiestáticos, calcular el trabajo total y la transferencia total de calor. *Sol.: 89.09 kJ , 370.47 kJ .*

3.2 Sistemas Abiertos

1. La velocidad de flujo del vapor de agua a través de una tobera es de 450 kg/h . Las presiones inicial y final son de 1400 kPa y 14 kPa . Las velocidades inicial y final son de 150 y 1200 m/s . No hay transferencia de calor. Calcular: a) el cambio de entalpía. b) La temperatura de salida si la de entrada es $300 \text{ }^\circ\text{C}$, y la calidad. c) La temperatura de salida considerando c_p tabulado. *Sol.: a) -708.8 kJ/kg ; b) $52.34 \text{ }^\circ\text{C}$ y 88.9% ; c) $78.6 \text{ }^\circ\text{C}$*
2. Una turbina hidráulica está situada en la parte inferior de una presa. El salto del agua entre la entrada y la salida es de 22 m . El agua que entra a la turbina tiene una velocidad de 3.2 m/s , y la que sale tiene una velocidad de 1.6 m/s . El caudal que circula a través de la turbina es de $1.16 \text{ m}^3/\text{s}$. Suponiendo un flujo sin fricción, que no existe variación de temperatura del agua entre la entrada y la salida, y que la densidad del agua 1 kg/l , determinar la potencia de salida de la turbina. *Sol.: 254.6 kW .*

3. Por una turbina fluyen 40 000 kg/h de vapor de agua entrando a 30 bar y 552 °C y saliendo a 1 bar y 200 °C. Las velocidades de entrada y salida son de 30 y 200 m/s, respectivamente. La pérdida de calor al entorno es un total de 300 000 kJ/h. Calcular la potencia de salida. ¿Podría despreciarse la potencia generada correspondiente a la variación de energía cinética? *Sol.: 7454 kW.*
4. Se introduce agua a 10 °C en una caldera donde reina una presión de 20 bar, comunicándole un calor de 2000 kJ/kg. Calcular el estado final del vapor. *Sol.: mezcla húmeda con $x = 0.603$*
5. En un calentador entra metano, CH₄, a 95 kPa y 20 °C con una velocidad de 28 m/s. El metano sale a 90 kPa y con una temperatura de 85 °C. Las áreas de las secciones transversales de entrada y salida del calentador son 0.80 m² y 0.94 m², respectivamente. Determinar la velocidad de salida del metano y la transferencia de calor específico. *Sol.: 30.7 m/s y 146.6 kJ/kg.*
6. Considere una ducha común donde se mezcla agua caliente a 50 °C con agua fría a 12 °C. Si se desea suministrar una corriente permanente de agua a 30 °C, determine la razón de las relaciones de flujo de masa del agua caliente respecto de la fría. Suponga que las pérdidas térmicas son despreciables en todo los tramos de las cañerías y que la mezcla se efectúa a una presión de 1.38 bar. *Sol.: 0.9 kg^{caliente}/kg^{fría}.*
7. Una parte de un sistema de aire acondicionado es el deshumificador. Al deshumificador entran 210 kg/h de aire atmosférico muy caliente que contiene vapor de agua, con una entalpía de 90 kJ/kg. Se elimina el calor del aire conforme éste pasa por un banco de tubos por los que fluye agua fría. La humedad atmosférica que se condensa en los tubos se drena del deshumificador con una entalpía de 34 kJ/kg a una velocidad de 4 kg/h. El aire que sale tiene una entalpía de 23.8 kJ/kg. Las velocidades a través del deshumificador son en extremo bajas. Determinar la velocidad de disipación de calor de la corriente de aire que pasa a través del deshumificador. *Sol.: $\dot{Q} = -3.85$ kW.*
8. Un aerogenerador para la producción de electricidad puede entenderse como una turbina de viento. El rotor del aerogenerador frena el viento de forma que convierte la energía cinética de éste en energía mecánica. Dos anemómetros colocados a ambos lados de un rotor de 44 m de diámetro miden unas velocidades de viento respectivamente de 36 y 24 km/h. Si la diferencia de temperatura del aire a su paso por el aerogenerador es despreciable y suponemos la densidad del aire constante e igual a 1.225 kg/m³, determinar: a) La potencia generada por el rotor; b) El diámetro de la sección del tubo de flujo de aire detrás de las aspas del rotor. *Sol.: a) 517 kW; b) 53.9 m.*
9. En una tubería fluye agua a una velocidad muy baja a 207 kPa, 15 °C y densidad 999.6 kg/m³. Debe extraerse agua de esta línea a un ritmo constante de 114 l/min mediante una bomba, y descargarla a través de una tubería que está 7.6 m más alto, donde la presión es de 414 kPa. El diámetro de la línea de descarga en el interior es de 2.67 cm. Suponiendo despreciables las posibles transferencias de calor y la variación de temperatura del agua a su paso por la bomba, determinar la potencia de la bomba. *Sol.: 543 W.*
10. En la parte trasera de un frigorífico nos encontramos un intercambiador de calor (condensador) donde el refrigerante disipa el calor absorbido en el interior. Sabiendo que el refrigerante es R-134a y que entra en el condensador a 5 °C y sale como líquido saturado a una presión de 1.4 bar, calcular la potencia calorífica disipada considerando un flujo del refrigerante de 20 kg/h. *Sol.: -1232.6 W.*
11. A una turbina de vapor entra agua a 517 °C y 32 bar y sale a 0.1 bar con un título del 95%. Sabiendo que el calor específico disipado es 127.7 kJ/kg, ¿cuál debería ser el flujo másico para producir 100 MW? *Sol.: 400 ton/h.*
12. El radiador de un coche enfría el agua de refrigeración por medio del aire que le atraviesa. Las temperaturas del agua antes y después de su paso por el radiador son 80 °C y 30 °C respectivamente, mientras que el aire entra a 7 °C y 1 atm. Si el vehículo circula a 80 km/h, el flujo de agua del radiador es 1 kg/s y la superficie del radiador es 0.5 m², calcular la temperatura de salida del aire. *Sol.: 23 °C.*

13. Una parte de un sistema de refrigeración es un compresor que toma refrigerante 12 como vapor saturado a 12 °C y lo descarga a 1.6 bar y 43 °C. Si la potencia consumida por el compresor es de 240 W y las pérdidas de calor son despreciables, determinar el flujo másico. *Sol.: 24.6 kg/h.*
14. El aire a la salida de una turbina de avión es acelerado por medio de una tobera para proporcionar el empuje necesario. El aire entra a la tobera a 747 °C y 2.73 bar y con una velocidad despreciable. A la salida, el aire está a 397 °C y 0.34 bar. Calcular la velocidad de salida del aire suponiendo despreciables las pérdidas térmicas en la tobera. *Sol.: 3170 km/h.*
15. Se desea producir un chorro circular de agua de 1.50 cm de diámetro a presión atmosférica con una velocidad de 40 m/s. Esto se consigue haciendo que el agua de una tubería, donde su velocidad es muy baja, fluya a través de una tobera para formar el chorro. Si la expansión se modela como un proceso de cuasiequilibrio isoterma, ¿cuál debe ser la presión en la tubería? Nota: Suponer al agua incompresible y con una densidad a temperatura ambiente de 1000 kg/m³. *Sol.: 800 kPa superior a la presión atmosférica.*
16. En una turbina entran 41200 kg/h de vapor de agua a 300 °C y 14 bar. Tras su expansión, el agua sale a 40 °C y 0.07 bar. Las velocidades de entrada y salida son respectivamente de 150 m/s y 60 m/s y la turbina desarrolla 6 MW de potencia. Calcular las pérdidas térmicas de la turbina. *Sol.: -560 kW.*
17. A la bomba de circulación de una central térmica entra agua líquida saturada a 20 °C proveniente del condensador. Si se desprecian las pérdidas térmicas y las variaciones de temperatura, calcular el trabajo necesario que debe proporcionar la bomba para elevar la presión del agua hasta los 30 bar de operación en la caldera. *Sol.: -3 kJ/kg.*
18. Por una turbina fluyen 40000 kg/h de agua que entran a 600 °C y 30 bar y salen a 0.1 bar y con un caudal del 95%. A mitad de la turbina se extrae el 40% del flujo a 7 bar y 375 °C para procesos de calefacción. Calcular la potencia desarrollada por la turbina. ¿En cuánto se reduce la potencia respecto a otra sin extracción intermedia? *Sol.: 10.2 MW; 3.3 MW.*
19. La caldera de una central térmica opera a 20 bar. Recibe un caudal de agua de 14 l/s a 50 °C. Si se desea que salga a una temperatura de 535 °C, ¿cuál es la potencia calorífica que se debe suministrar?. *Sol.: 46139 kW.*
20. Entra refrigerante 12 al tubo capilar de un refrigerador como líquido saturado a 0.8 MPa y se estrangula a una presión de 0.12 MPa. Calcular la calidad del refrigerante a la salida y la reducción de temperatura durante el proceso. *Sol.: 0.334; -58.48 °C.*
21. El sistema de calefacción eléctrico de unas viviendas consiste de tuberías con resistencias eléctricas en su interior que consumen una potencia de 15 kW. El aire de la calle entra en las tuberías a 100 kPa y 17 °C con un caudal de 150 m³/min. Si las pérdidas térmicas del aire a su paso por el sistema calefactor son de 200 W, calcular la temperatura de salida del aire a las habitaciones. *Sol.: 21.9 °C.*
22. Un intercambiador de calor de una fábrica, dotado de bombas de circulación, transfiere energía térmica entre tres fluidos que no entran en contacto físico durante el proceso. El intercambiador opera en régimen estacionario. Los tres fluidos son aire, agua y aceite, que entran a los sistemas de bombas/compresores al nivel del suelo y a velocidad despreciable, pasan a través del intercambiador de calor, y salen de él a diversas alturas sobre el nivel del suelo. En el equipo hay una pérdida de calor a la atmósfera de 19 kJ/s. En la tabla se aportan más datos. Utilizando la información aportada, calcular la temperatura de salida del aceite. (Para el aceite, tomar $c_p = 0.75$ kJ/(kg K); para el agua, $c_p = 4.18$ kJ/(kg K); suponer el aire gas perfecto biatómico). *Sol.: 62.34 °C.*

Fluido	Entrada	Salida	Altura	Potencia de las bombas	Velocidad de salida	Flujo másico
Aire	Gas a 15 °C	Gas a 40 °C	5 m	22 kW	120 m/s	1.6 kg/s
Agua	Líquido a 20 °C	Líquido a 45 °C	12 m	41 kW	Pequeña	3.2 kg/s
Aceite	Líquido a 200 °C	Líquido a ¿?	10 m	64 kW	pequeña	2.7 kg/s

23. Las condiciones en la entrada y la salida de una pequeña turbina de vapor son 500 kPa, 300 °C y 7.4 kPa, 94 % de título respectivamente. En un punto intermedio de la turbina en el que la presión es de 100 kPa y la entalpía 2750 kJ/kg, se extrae un 7.5 % del vapor circulante, a velocidad despreciable, para calentamiento. La sección de la turbina a la salida es de 0.83 m². a) Teniendo en cuenta que el término de energía cinética a la salida de la turbina es significativo pero muy pequeño comparado con los demás términos, indicar cómo se podría obtener una potencia en la turbina de 5 MW. Calcular el caudal de vapor en una primera aproximación. b) Para el caudal calculado en (a), determinar la velocidad de salida del vapor de la turbina. *Sol.: a) 8.18 kg/s; b) 167.6 m/s (supone un 2 % de la potencia total desarrollada).*
24. El piso superior de una fábrica de caramelos Sugus se encuentra 40 m por encima de la planta baja. Se requiere bombear caramelo líquido a 70 °C y con un flujo másico de 0.7 kg/s, desde la planta baja hasta la planta superior. El caramelo líquido se almacena en la planta baja en depósitos mantenidos a una temperatura de 40 °C. Se debe instalar además un equipo de bomba e intercambiador de calor en la planta baja, que se alimenta del caramelo líquido de los depósitos. A dicho equipo se conecta una tubería de conducción hasta el piso superior. El intercambiador de calor se alimenta con agua líquida presurizada que entra a 125 °C y sale a 84 °C. Por experimentos previos se sabe que la bomba de caramelo consume una potencia de 800 W, y que el caramelo pierde 3400 W de energía térmica en la tubería vertical de alimentación hacia el piso superior. Realizar un esquema de la instalación. Determinar el flujo másico necesario de agua líquida presurizada. (Suponer para el caramelo líquido $c_p = 1.82$ kJ/(kg K), y para el agua líquida $c_p = 4.18$ kJ/(kg K).) *Sol.: 0.24 kg/s.*
25. Se calienta agua líquida a 300 kPa y 20 °C en una cámara mezclándola con vapor sobrecalentado a 300 kPa y 300 °C. Entra agua fría a la cámara a razón de 1.8 kg/s. Si la mezcla sale de la cámara a 60 °C, calcular el flujo másico requerido del vapor sobrecalentado. *Sol.: 0.107 kg/s.*

Temas 4 y 5: Segundo Principio de la Termodinámica y Entropía

1. Una máquina bitérmica que trabaja según un ciclo de Carnot tiene una eficiencia del 40%. De una fuente de calor absorbe 6000 kJ/h, mientras expulsa calor a una fuente de calor que se encuentra a 15 °C. Hallar la potencia neta desarrollada y la temperatura de la fuente que cede calor. *Sol.: 0.667 kW y 207 °C.*
2. Una máquina de Carnot invertido se utiliza para producir hielo a 0 °C. La temperatura de expulsión de calor es 30 °C, y la entalpía de congelación del agua es 335 kJ/kg. ¿Cuántos kilogramos de hielo se pueden formar por hora por cada kW de potencia? *Sol.: 97.8 kg/h.*
3. Dos máquinas térmicas que funcionan según el ciclo de Carnot se disponen en serie. La primera máquina, A, recibe calor a 927 °C y expulsa calor a un depósito a la temperatura T. La segunda máquina, B, recibe el calor que expulsa la primera, y a su vez expulsa calor a un depósito a 27 °C. Calcular la temperatura T si a) el trabajo de las dos máquinas son iguales y b) las eficiencias de las dos máquinas son iguales. *Sol.: a) 477 °C; b) 327 °C*
4. Una bomba de calor reversible se emplea para suministrar 120000 kJ/h a un edificio. El ambiente exterior se encuentra a -6 °C mientras que el aire interior del edificio está a 26 °C. Hallar a) el calor absorbido del exterior, b) la potencia necesaria para ello y, c) el costo de la operación por día, si el kWh cuesta 7.5 céntimos y la bomba trabaja 12 horas al día. *Sol.: a) 107157 kJ/h; b) 3.57 kW; c) 3.21 /día.*
5. Una planta eléctrica de vapor con una salida de potencia de 150 MW consume carbón a una relación de 60 ton/h. Si el poder calorífico del carbón es 30000 kJ/kg, ¿cuál es el rendimiento térmico de la central? *Sol.: 30 %*
6. Un frigorífico doméstico de 450 W de potencia y un COP de 2.5 va a enfriar a 8 °C cinco sandías cada una de 10 kg. Si las sandías están a 20 °C, calcular cuánto tiempo tardará el frigorífico en enfriarlas. Las sandías pueden tratarse como agua cuyo calor específico es 4.2 kJ/kgK. *Sol.: 37.3min.*
7. Se emplea una bomba de calor para mantener una casa a una temperatura constante de 23 °C. La casa libera calor hacia el exterior a través de las ventanas y paredes a razón de 60 MJ/h, mientras la energía generada dentro de la casa por la gente, luces y aparatos asciende a 4 MJ/h. Para un COP de 2.5, calcular la potencia necesaria de la bomba. Si se supone que la bomba es reversible, ¿cuál será la temperatura del aire exterior? *Sol.: 6.22 kW y -95.4 °C*
8. Una bomba de calor de Carnot se utiliza para calentar y mantener una construcción residencial a 22 °C. Un análisis de energía de la casa revela que pierde calor a un ritmo de 2500 kJ/h por cada °C de diferencia de temperatura entre el interior y el exterior. Para una temperatura exterior de 4 °C, determinar el coeficiente operación y la entrada de potencia requerida por la bomba. *Sol.: a) 16.4; b) 0.762 kW.*
9. Considere dos motores de Carnot que operan en serie. La primera máquina recibe calor de un depósito a 1200 K y cede calor a otro depósito a temperatura T. La segunda máquina recibe la energía térmica desechada por la primera, convierte una parte de ella en trabajo y entrega el resto a una fuente de calor a 300 K. Si las eficiencias térmicas de ambos motores son iguales, hallar la temperatura T. *Sol.: 600 K.*
10. Se transfieren 1000 kJ de calor desde un depósito térmico a 850 K hacia un segundo depósito a 330 K. Calcular: a) El cambio de entropía de cada depósito, b) La suma de los cambios de entropía ¿está de acuerdo con la segunda ley? c) Para la misma cantidad de calor, la temperatura del segundo depósito se reduce a 280 K. Hallar el cambio total de entropía en esta nueva condición. d) Si un motor termodinámico pudiese operar entre ambos focos de calor, determinar la variación del trabajo obtenido al disminuir la temperatura del segundo depósito de 330 K a 280 K. ¿Qué consecuencia se deriva de ello? *Sol.: a) -1.176 kJ/K, 3.030 kJ/K; b) 1.854 kJ/K, sí; c) 2.40 kJ/K; d) 59 kJ.*

11. Un difusor bien aislado recibe CO₂ a 110 kPa, 300 K y 300 m/s. Se afirma que este difusor entregará el gas a 240 kPa y 52 m/s. Determinar: a) la temperatura de salida, b) el cambio de entropía específica del gas, y c) si el proceso es reversible, irreversible o imposible. *Sol.: a) 351.6 K; b) 12.5 J/kgK; c) imposible.*
12. Por una resistencia eléctrica de $R = 30\Omega$ circula una corriente de $I = 6$ A durante 3 s. Determinar el cambio de entropía de la resistencia y del universo suponiendo: a) que la resistencia permanece a temperatura constante e igual a la de su entorno que se encuentra a 17 °C; b) que la resistencia está aislada. Datos: masa de la resistencia 19 g; capacidad térmica específica de la resistencia 1.10 kJ/kgK. La potencia eléctrica es $R \cdot I^2$. *Sol.: a) 0 J/K y 11.1 J/K; b) 8.95 J/K y 8.95 J/K.*
13. En un cilindro con émbolo hay refrigerante 12 (R-12) inicialmente a 6 bar y 80 °C. Se comprime cuasiestáticamente y a presión constante, mediante un trabajo de 13.63 kJ/kg. Determinar: a) el volumen específico final; b) la entropía específica final; c) Dibujar el proceso en diagramas p-v y T-s; d) la transferencia de calor; e) Si la temperatura de los alrededores es 20 °C, determinar el cambio de entropía para el universo; f) ¿es el proceso reversible, irreversible o imposible? *Datos: los valores de las propiedades del R-12 se pueden obtener de las tablas en algunos de los manuales propuestos. Sol.: a) 14.9 cm³/g; b) 0.451 kJ/kgK; d) 110.5 kJ/kg; e) 0.0146 kJ/kgK.; f) Irreversible.*
14. Refrigerante 12 inicialmente a 6 bar y con una calidad del 50 % fluye a través de uno de los lados de un intercambiador de calor. A su paso por el equipo a presión constante, se convierte en vapor saturado. Por el otro lado, 10 kg/min de aire entran a 1.10 bar y 42 °C y salen a 1.05 bar y 22 °C. Calcular: a) el flujo másico del refrigerante, b) el cambio de entropía específica del refrigerante y del aire, c) la entropía generada en el intercambiador por unidad de tiempo. *Sol.: a) 2.88 kg/min; b) 0.2368 kJ/kgK, -0.0525 kJ/kg·K; c) 0.157 kJ/K·min.*
15. En una turbina entra CO₂ a 800 K y 20.0 MPa con una velocidad de 100 m/s a través de un área de entrada de 10.0 cm². El gas se expande isoentrópicamente hasta 500 K y sale por un área de 30 cm². Hallar: a) el trabajo específico molar y b) el flujo másico molar. *Sol.: a) 12535 kJ/mol ; b) = 0.3 mol/s.*
16. Una turbina de gas funciona con hidrógeno gaseoso que inicialmente se encuentra a 480 K. La relación de presiones p_1/p_2 es 2.27:1. El proceso es adiabático, pero las irreversibilidades reducen el trabajo de salida al 80 % del valor isoentrópico. Despreciando las variaciones de energía cinética y potencial, determinar: a) el trabajo específico isoentrópico, b) el trabajo específico de salida real, c) la temperatura de salida real y, d) la producción de entropía específica. Nota: use tablas de hidrógeno. Búsquelas en la bibliografía. *Sol.: a) $w_s = 1447.7$ kJ/kg; b) $w_r = 1158.2$ kJ/kg; c) $T = 400$ K; d) $\sigma = 0.736$ kJ/kgK.*
17. Se comprime aire isotérmicamente desde 96 kPa y 7 °C hasta 480 kPa. El flujo a través del compresor se mantiene estable en 0.95 kg/s. Las energías cinética y potencial son despreciables. Calcular la rapidez con la que se extrae el calor si no existen efectos disipativos (irreversibilidades). *Sol.: -123 kW.*
18. A una bomba entra agua a 1 bar y 30 °C. Sobre el fluido se realiza un trabajo en eje de 4.5 kJ/kg. Si se desprecian las variaciones de energía potencial y cinética: a) determinar el aumento de presión si el proceso es adiabático y reversible. b) Si la temperatura del fluido aumenta 0.20 °C durante el proceso, determinar el aumento de presión y el rendimiento adiabático. Datos: Densidad del agua: 1000 kg/m³ y calor específico del agua: 4.18 kJ/kgK. *Sol.: a) 45.0 bar; b) 36.6 bar, 0.81.*
19. Un ingeniero industrial proclama que ha desarrollado un dispositivo que sin ningún consumo de trabajo o calor es capaz de producir, en régimen estacionario, dos flujos de aire, uno caliente a 60 °C y 2.7 bar y otro frío a 0 °C y 2.7 bar, a partir de un solo flujo a 20 °C y 3 bar. Suponiendo despreciables las variaciones de energía cinética y potencial, razonar la veracidad de la afirmación. Datos: $c_p = 1.005$ kJ/kgK, $R = 0.287$ kJ/kgK. *Sol.: $\sigma = -0.025$ kJ/kgK.*
20. A una válvula entra vapor de agua a 7 MPa y 450 °C y se estrangula a una presión de 3 MPa durante un proceso de flujo estacionario. Calcular la generación de entropía y verificar si se satisface el principio de incremento de entropía. *Sol.: 0.3592 kJ/kgK*

21. En una turbina adiabática entra vapor de agua a 6 MPa, 600 °C y 80 m/s y sale a 50 kPa, 100 °C y 140 m/s. Si la potencia de salida de la turbina es 5 MW, calcular a) el flujo másico, b) el rendimiento adiabático de la turbina. *Sol.: a) 5.16 kg/s; b) 83.5 %.*
22. Se comprime aire mediante un compresor adiabático de 95 kPa y 27 °C hasta 600 kPa y 277 °C. Suponiendo calores específicos variables, calcular a) la eficiencia adiabática del compresor, b) la temperatura de salida del aire si el proceso fuera reversible. *Sol.: a) 81.9 %; b) 232.5 °C.*
23. Un recipiente de acero de 0.2 m³ que tiene una masa de 30 kg cuando está vacío se llena de agua líquida. Al principio, tanto el tanque como el agua se encuentran a 50 °C. Después se transfiere calor y todo el sistema se enfría hasta la temperatura de 25 °C del aire circundante. Calcular la variación de entropía total en este proceso. Datos: $c_{acero} = 0.45$ kJ/kgK, $c_{agua} = 4.184$ kJ/kgK. *Sol.: 2.83 kJ/K.*

Tema 6: Ciclos de Potencia de Vapor

1. En un ciclo de Rankine, el vapor ingresa en la turbina a 60 bar y 550 °C. La presión en el condensador es de 0.05 bar. Calcúlese: a) el título de vapor al salir de la turbina; b) el trabajo desarrollado por la turbina; c) el trabajo necesario para el funcionamiento de la bomba; d) el rendimiento térmico del ciclo. *Sol.: a) 0,827; b) 1.398,4 kJ/kg; c) 5,995 kJ/kg; d) 41 %.*
2. Consideremos una central eléctrica de vapor que describe un ciclo ideal de Rankine. El vapor entra a la turbina a 3 MPa y 350 °C y se condensa en el condensador a una presión de 75 kPa. Determine:
 - a) la eficiencia térmica de la central y el título de vapor a la salida de la turbina;
 - b) ídem si la presión en el condensador disminuye a 10 kPa;
 - c) ídem si la presión en el condensador se mantiene a 10 kPa y el vapor se sobrecalienta hasta 600 °C;
 - d) ídem si la presión de la caldera se eleva a 15 MPa y la temperatura de entrada a la turbina y la presión en el condensador se mantienen a 600 °C y 10 kPa, respectivamente.*Sol.: a) $x_4 = 0.886$, $= 0.26$; b) $x_4 = 0.813$, $\eta = 0.335$; c) $x_4 = 0.914$, $\eta = 0.373$; d) $x_4 = 0.804$, $\eta = 0.430$.*
3. Una central eléctrica opera según un ciclo ideal de Rankine con recalentamiento. El vapor entra a la turbina de alta presión a 150 bar y 600 °C y se condensa en el condensador a una presión de 10 kPa. Si el contenido de humedad del vapor a la salida de la turbina de baja presión no excede del 10.4%, determine: a) la presión a la cual el vapor debe recalentarse; b) la eficiencia térmica del ciclo. Suponga que el vapor se recalienta hasta la temperatura de entrada de la turbina de alta presión. *Sol.: a) 40 bar; b) 45 %.*
4. En una instalación de turbina de vapor que utiliza un ciclo de Rankine con recalentamiento, las condiciones a la entrada de la turbina son de 30 bar y 500 °C. Después de expandirse hasta 5 bar, el vapor se recalienta a 500 °C y luego se expande hasta la presión del condensador de 0.1 bar. Calcúlese la eficiencia del ciclo y el estado del vapor a la salida de la turbina. *Sol.: $\eta_t = 37.6\%$, título de vapor a la salida de la turbina: 0.992.*
5. Una central eléctrica funciona según un ciclo ideal de Rankine regenerativo con un regenerador abierto. El vapor entra a la turbina a 150 bar y 600 °C y se condensa en el condensador a una presión de 10 kPa. Sale un poco de vapor de la turbina a una presión de 12 bar y entra al regenerador. Calcular la fracción de vapor extraída de la turbina y la eficiencia térmica del ciclo. *Sol.: 0.227 kg vapor extraído/kg vapor total, $\eta_t = 0.463$.*
6. Un ciclo de trabajo de vapor regenerativo ideal funciona de manera que entra vapor en la turbina de alta 30 bar y 500 °C y sale de la turbina de baja a 0.1 bar. A 10 bar parte del vapor de la turbina se envía al primer regenerador y otra parte se recalienta hasta 500 °C. A continuación el vapor recalientado pasa a la turbina de baja y se realiza otra sangría a 5 bar. Calcúlese la eficiencia térmica del ciclo suponiendo que los dos calentadores de agua de alimentación son abiertos. *Sol.: 39.3 %.*
7. Una turbina de vapor funciona según un ciclo regenerativo con dos extracciones. La presión del calentador es de 80 bar, la del condensador 0.010 bar y la temperatura a la que incide el vapor en la turbina es de 550 °C. Las extracciones de vapor se llevan a cabo a las presiones de 24 bar y 2 bar, para alimentar sendos calentadores de agua de alimentación (CAA) abiertos. Suponiendo que la mezcla de agua de alimentación y vapor calefactor sale de cada CAA abierto en el estado de líquido saturado, que el rendimiento relativo interno de la turbina para cada una de las tres etapas de expansión es de 60, 70 y 80 por 100 respectivamente y que pueden despreciarse los trabajos requerido en el accionamiento de cada una de las bombas, determínese: a) la cantidad de vapor que ha de extraerse en cada sangría; b) el trabajo específico desarrollado por la turbina; c) el rendimiento térmico del ciclo. *Sol.: a) 1ª sangría se extrae el 16 % del vapor y en la segunda el 14 %; b) 1008.51 kJ/kg; c) 39.3 %.*

8. Considere una central eléctrica de vapor que opera en un ciclo ideal Rankine regenerativo con recalentamiento que utiliza un calentador de agua de alimentación (CAA) abierto y un CAA cerrado. El vapor entra a la turbina a 15 MPa y 600 °C y se condensa en el condensador a la presión de 10 kPa. Algo de vapor se extrae de la turbina a 4 MPa para el CAA cerrado y el resto del vapor se recalienta a dicha presión hasta 600 °C. El vapor extraído se condensa por completo en el CAA y se bombea hasta 15 MPa antes de mezclarse con el agua de alimentación. El vapor para el CAA abierto se extrae de la turbina de baja presión a una presión de 0.5 MPa. Determine la fracción de vapor extraído de la turbina en cada sangría y la eficiencia térmica del ciclo. *Sol.: en la primera sangría se extrae el 17.3% del vapor y en la segunda el 13.1%; $\eta = 48.9\%$*

9. Un ciclo regenerativo con recalentamiento intermedio emplea vapor a 140 bar y temperatura de entrada en la turbina de 600 °C. Después de expandirse hasta una cierta presión se extrae el vapor; una fracción del vapor se envía al recalentador de la caldera, donde alcanza una temperatura de 450 °C y la fracción restante se envía a un calentador de agua de alimentación abierto. Si la presión en el condensador es de 0.0264 bar. Calcúlese:

- la presión óptima de extracción del vapor para producir el calentamiento del agua de alimentación;
- la cantidad de vapor extraída para tal calentamiento;
- el trabajo de la bomba principal;
- el rendimiento térmico del ciclo.

Sol.: a) 10 bar; b) 0.244 kg_{extraídos}/kg_{totales}; c) -14.3 kJ/kg; d) 49.3%.

10. La planta de potencia de la central térmica de Gujarricos de Abajo opera según un ciclo de Rankine. Calcular el rendimiento térmico de la planta en las diferentes épocas en las cuales se modificó la misma. Para ello, en cada caso, considerar por un lado bomba y turbinas ideales y por otro reales, con rendimientos adiabáticos del 75% y 85%, respectivamente:

- 1930: En sus comienzos, el agua sale de la caldera como vapor saturado a 30 bar y se condensa a 1 bar.
- 1940: Consiguen sobrecalentar el agua de la caldera y obtener temperaturas de salida de 500 °C, operando a la misma presión que antes. De forma adicional, consiguen refrigerar el condensador con agua del río Guizarro disminuyendo la presión de trabajo del condensador a 0.1 bar.
- 1952: La turbina es cambiada por otra de 2 etapas permitiendo el recalentamiento a una temperatura de 500 °C y una presión de 5 bar.
- 1961: Se añade un segundo módulo (otro ciclo) con caldera y turbina similares a las del año 1940. Sin embargo, se ha añadido un calentador abierto (C.A.) del agua de alimentación, el cual trabaja a 5 bar.
- 1971: Al segundo módulo se le cambia la turbina por otra de dos etapas similar a la del año 1952 y se le añade un calentador de agua cerrado (C.C.) que trabaja a 10 bar. De la turbina de alta presión (TAP) se extrae el vapor hacia el C.C. y de la turbina de baja presión (TBP) se extrae vapor hacia el antiguo C.A. El condensado del C.C. se bombea hasta 30 bar. El recalentamiento se lleva a cabo ahora a 10 bar, manteniendo la temperatura de antaño de 500 °C. (Considere solo el caso ideal).

Sol.: 1930) 23.6% y 20.02%; 1940) 35.6% y 30.2%; 1952) 37.6% y 32.6%; 1961) 37.5% y 31.9%; 1971) 39.2%

11. Una planta de cogeneración consta de una turbina a la cual entra vapor a 7 MPa y 500 °C. Se extrae un poco de vapor de la turbina a 500 kPa para calentamiento del proceso. El vapor restante continúa su expansión hasta 5 kPa. Después el vapor se condensa a presión constante y se bombea hasta 7 MPa, la presión de la caldera. En momentos de alta demanda de calor de proceso, una parte del vapor que sale de la caldera se estrangula hasta 500 kPa y se envía al calentador del

proceso. Las fracciones de extracción se ajustan de modo que el vapor sale del calentador del proceso como líquido saturado a 500 kPa. El caudal másico de vapor que entra en la caldera es de 15 kg/s. Descarte toda caída de presión y las pérdidas térmicas en la tubería y suponga que la bomba es isentrópica. Determine:

- a) la relación máxima a la cual puede suministrarse calor de proceso;
- b) la potencia producida y el factor de utilización cuando no se suministra calor de proceso;
- c) el coeficiente de utilización y la relación de suministro de calor de proceso cuando el 10 % el vapor se extrae antes de que entre en la turbina, y el 70 % de vapor se extrae de la turbina a 500 kPa para el calentamiento del proceso.

Sol.: a) 41.55 MW; b) 19.98 MW, 40.8 %; c) 86.3 %, 26.18 MW.

12. Se utiliza agua como fluido de trabajo en un ciclo de cogeneración que genera electricidad y proporciona calor a una urbanización. El vapor entra a la turbina a 2 MPa y 350 °C. A la presión de 0.15 MPa se extrae el 60 % del vapor para la calefacción y el resto se expande hasta la presión del condensador de 0.1 bar. El fluido que retorna de la calefacción (calentador de proceso) es líquido saturado a 0.15 MPa y se lleva al condensador mediante una válvula, donde se junta con el flujo principal de agua de alimentación. La potencia neta desarrollada por el ciclo es de 1600 kW. Calcular:

- a) el caudal másico de vapor que entra a la turbina;
- b) el calor suministrado para calefacción (en kW);
- c) el rendimiento térmico y el coeficiente de utilización de la instalación;
- d) la transferencia de calor en el condensador, en kW.

Sol.: a) 2.29 kg/s; b) 2916.8 kW; c) $\eta = 23.7\%$, $\eta_u = 67\%$; d) 2220 kW.

13. Una instalación funciona según un ciclo combinado gas-vapor. El ciclo superior es un ciclo de turbina de gas que tiene una relación de presión de 8. El aire entra al compresor a 300 K y a la turbina a 1300 K. La eficiencia adiabática del compresor es del 80 % y la de la turbina de gas del 85 %. El ciclo inferior es un ciclo ideal de Rankine simple que opera entre los límites de presión de 7 MPa y 5 kPa. El vapor se calienta en un intercambiador de calor por medio de los gases de escape hasta una temperatura de 500 °C. Los gases de escape salen del intercambiador de calor a 450 K. Determine: a) la relación de los caudales másicos de vapor y los gases de combustión; b) la eficiencia térmica del ciclo combinado. *Sol.: a) 0.131 kg de vapor/ kg de gas; b) 48.7 %.*

Tema 7: Ciclos de Potencia de Gas

1. Considere un ciclo de Otto de aire estándar con una relación de compresión de 8.3 y un suministro de calor de 1213 kJ/kg. Si la presión y la temperatura al comienzo del proceso de compresión son de 0.95 bar y 7 °C, determinar suponiendo calores específicos variables:
 - a) la presión y temperatura máximas del ciclo;
 - b) la producción neta de trabajo;
 - c) la eficiencia térmica;
 - d) la presión eficaz media;
 - e) el rendimiento térmico suponiendo calores específicos constantes ($k = 1.4$);
 - f) el trabajo utilizable de los gases al final de la expansión, tomando como estado muerto el inicial.

Sol.: a) 56.27 bar y 2000 K; b) 630 kJ/kg; c) 51.9%; d) 8.45 bar; e) 57.1%; f) 306 kJ/kg.

2. Un motor de combustión interna funciona según un ciclo Otto con los siguientes parámetros: $p_1 = 1$ bar; $T_1 = 300$ K; relación de compresión $r = 4$; relación de presiones en la combustión = 4. Se supondrá que el fluido de trabajo es aire ($k = 1.4$; $c_v = 0.717$ kJ/(kgK) y $R_a = 286.9$ J/(kgK)). Calcular:
 - a) presión y temperatura del gas en cada uno de los puntos principales del ciclo;
 - b) calor adicionado y calor cedido por el gas;
 - c) trabajo suministrado por el ciclo;
 - d) rendimiento térmico del ciclo;
 - e) presión media indicada.

Sol.: a) $p_2 = 6.964$ bar, $T_2 = 522$ K; $p_3 = 27.856$ bar, $T_3 = 2.089$ K; $p_4 = 4$ bar, $T_4 = 1:200$ K; b) 1123.6 kJ/kg; -645.3 kJ/kg; c) 478.3 kJ/kg; d) 42.57%; e) 7.41 bar

3. Las condiciones de alimentación para un ciclo de Diesel de aire estándar que opera con una relación de compresión de 15:1 son 0.95 bar y 17 °C. Al comienzo de la carrera de compresión el volumen del cilindro es 3.80 litros, y durante el proceso de calentamiento a presión constante se suministra al gas 7.4 kJ de calor.
 - a) Calcular la presión y temperatura al final de cada uno de los procesos del ciclo;
 - b) determinar la eficiencia térmica;
 - c) la presión eficaz media del ciclo;
 - d) el rendimiento del ciclo suponiendo calores específicos constantes ($k = 1.4$).

Sol.: a) Estado 2: 40.2 bar y 819 K, Estado 3: 40.2 bar y 2250 K, Estado 4: 4.4 bar y 1343 K; b) 50.2%; c) 10.3 bar; e) 56.9%.

4. Un ciclo Diesel ideal tiene una relación de compresión de 17.8. Al inicio del proceso de compresión, el aire se encuentra a 100 kPa y 37 °C. Durante el proceso de adición de calor a presión constante se absorben 900 kJ por kilogramo de aire. Calcular:
 - a) temperatura y presión máximas;
 - b) el trabajo neto, el calor cedido y el rendimiento térmico;
 - c) la irreversibilidad para cada proceso y la irreversibilidad del ciclo, suponiendo que el calor se transfiere al ciclo desde una fuente a 2000 K y que el calor se libera hacia los alrededores a 25 °C.

Sol.: a) 52.78 bar; 1680 K; b) 529 kJ/kg; -371.1 kJ/kg; 58.8%; c) $i_{12} = i_{23} = 0$, $i_{23} = 77.51$ kJ/kg, $i_{41} = 159.2$ kJ/kg; $i_{total} = 236.95$ kJ/kg.

5. Las condiciones de entrada de un ciclo mixto con aire que opera con una relación de compresión de 15 son 0.95 bar y 17 °C. La relación de presiones durante el calentamiento a volumen constante es 1.5 y la relación de los volúmenes durante la parte a presión constante del proceso de calentamiento es 1.8. Calcular :

- las temperaturas y presiones del ciclo;
- el calor suministrado y el calor cedido;
- la eficiencia térmica.

Sol.: a) $T_2 = 818.57 \text{ K}$, $p_2 = 40.29 \text{ bar}$; $T_3 = 1230 \text{ K}$, $p_3 = 60.44 \text{ bar}$; $T_4 = 2210.15 \text{ K}$, $p_4 = p_3$; $T_5 = 1149.53 \text{ K}$, $p_5 = 3.76 \text{ bar}$; b) $q_{in} = 1556.24 \text{ kJ/kg}$; $q_{out} = - 681.83 \text{ kJ/kg}$; c) 56.2 %.

6. La relación de presiones de un ciclo de Brayton de aire estándar es de 5.9:1, y las condiciones de entrada son 1.0 bar y 17 °C. La turbina tiene una temperatura límite de 1000 K, y el flujo másico es de 3.5 kg/s. Si el compresor como la turbina operan de forma isoentrópica, determinar:

- el trabajo del compresor y de la turbina;
- el rendimiento térmico;
- la producción neta de potencia;
- el flujo volumétrico a la entrada del compresor;
- si los rendimientos adiabáticos del compresor y de la turbina son 75 % y 85 %, respectivamente, determinar el rendimiento térmico del ciclo.
- si al equipo del apartado anterior se le añade un regenerador con una eficiencia del 70 %, recalculer el rendimiento térmico del ciclo.

Sol.: a) 192.3 kJ/kg y 412 kJ/kg; b) 39 %; c) 769 kW; d) 175 m³/min.; e) 18.8 %; f) 23.7 %

7. En un ciclo de turbina de gas de aire estándar con regeneración, la turbina impulsa directamente el compresor. Los datos de entalpía (kJ/kg) siguientes fueron tomados durante una prueba de la turbina de gas con una relación de presiones 5.41:1

Sistema	Entrada	Salida
Compresor	290.2	505.0
Regenerador	505.0	629.4
Quemador	629.4	1046.0
Turbina	1046.0	713.7
Regenerador	713.7	590.1

Determinar:

- la eficiencia térmica del ciclo real,
- la efectividad del regenerador,
- los rendimientos adiabáticos del compresor y de la turbina.
- Si la compresión y expansión se realizan en dos etapas (añadiendo enfriamiento y recalentamiento intermedio, respectivamente), recalculer el rendimiento térmico del ciclo para obtener la producción máxima de trabajo.

Sol.: a) 28 %; b) 59.4 %; c) 84 % y 86 %; d) 36.3 %; e) 375.6 kJ/kg.

8. Una planta de potencia de turbina de gas emplea compresión y expansión en dos etapas, con enfriamiento intermedio, recalentamiento y regeneración. La temperatura a la salida de la segunda etapa del compresor es 390 K, y la temperatura de entrada al quemador es 750 K. El límite para la temperatura de entrada a la turbina es 1180 K. a) Calcular el valor bruto de la producción máxima de trabajo de la turbina con dos etapas, si la relación de presiones total es 6:1. b) Determinar la efectividad del regenerador. *Sol.: a) 546 kJ/kg; b) 64 %.*

9. Una central eléctrica funciona según un ciclo ideal de Brayton regenerativo con dos etapas de compresión y dos etapas de expansión. La relación de presiones total del ciclo es 9. El aire entra a cada etapa de compresión a 300 K y a cada etapa de expansión a 1200 K. Teniendo en cuenta la variación de los calores específicos con la temperatura, calcular:

- a) la temperatura al final de cada proceso del ciclo;
- b) la eficiencia térmica del ciclo;
- c) el caudal másico de aire necesario para desarrollar una potencia neta de 30 MW;
- d) la eficiencia térmica si el regenerador en vez de ser ideal tiene una eficacia del 75 %.

Sol.: a) $T_2 = T_4 = 410 \text{ K}$; $T_5 = T_7 = T_9 = 912 \text{ K}$; b) 66.5 %; c) 68.02 kg/s; d) 55.4 %.