

## Física 3B+4A 2018

### Guía 04: Máquinas térmicas

Asorey

03 de Mayo de 2018

#### 29. Carnot, con números

Una máquina térmica opera siguiendo un ciclo de Carnot erogando una potencia de 3 MW con un rendimiento del 75 %. Contiene 100 moles de un gas ideal triatómico, y está instalada cerca de un río a temperatura  $T_C = 280$  K. La puesta en marcha se realiza calentando al gas desde CNPT en forma isocórica hasta alcanzar la temperatura de trabajo.

- Dibuje el ciclo en un diagrama P-V.
- Complete el cuadro de estados y el cuadro de transformaciones.

**R:**  $P_A = 415700$  Pa,  $V_A = 2,24$  m<sup>3</sup>,  $n_A = 100$  mol,  $T_A = 1120$  K;  $P_B = 5665$  Pa,  $V_B = 164,38$  m<sup>3</sup>,  $n_B = 100$  mol,  $T_B = 1120$  K;  $P_C = 22,1$  Pa,  $V_C = 10520,32$  m<sup>3</sup>,  $n_C = 100$  mol,  $T_C = 280$  K;  $P_D = 1623,83$  Pa,  $V_D = 143,36$  m<sup>3</sup>,  $n_D = 100$  mol,  $T_D = 280$  K;  $Q_1 = 4$  MJ,  $\Delta U_1 = 0$ ,  $W_1 = 4$  MJ;  $Q_2 = 0$ ,  $\Delta U_2 = -1,746$  MJ,  $W_2 = 1,746$  MJ;  $Q_3 = -1$  MJ,  $\Delta U_3 = 0$ ,  $W_3 = -1$  MJ;  $Q_4 = 0$ ,  $\Delta U_4 = +1,746$  MJ,  $W_4 = -1,746$  MJ;  $\eta = 3/4 = 0,75 = 75$  %;  $\eta_{\text{Carnot}} = 0,75 = 75$  %.

#### 30. Máquina de Carnot directa y reversa

Suponga una máquina térmica que funciona mediante un ciclo de Carnot entre dos fuentes a temperaturas  $T_A = 700$  K y  $T_C = 300$  K y utiliza como fluido un gas ideal diatómico. Al iniciar el ciclo, el gas se encuentra a la temperatura  $T_A$ , una presión de 10 hPa y ocupa un volumen de 0,007 m<sup>3</sup>. Al finalizar el primer tramo del ciclo la presión del gas desciende a  $P_B = 8$  hPa.

- Dibuje el ciclo en un diagrama P-V.
- Complete el cuadro de estados y el cuadro de transformaciones
- Halle el rendimiento total el ciclo, y compruebe si coincide con el valor esperado para un ciclo de Carnot.
- ¿Dependerá el rendimiento de la atomicidad del gas? ¿y la cantidad total de trabajo obtenida?
- Calcule la potencia entregada por la máquina sabiendo que la misma puede funcionar a 210 ciclos por segundo.
- Invierta el ciclo y calcule el trabajo que es necesario entregar a la máquina térmica para hacerla funcionar en el sentido inverso.

**R:** b)  $P_A = 1000$  Pa,  $V_A = 0,007$  m<sup>3</sup>,  $n_A = 0,001203$  mol,  $T_A = 700$  K;  $P_B = 800$  Pa,  $V_B = 0,00875$  m<sup>3</sup>,  $n_B = 0,001203$  mol,  $T_B = 700$  K;  $P_C = 41,23$  Pa,  $V_C = 0,0728$  m<sup>3</sup>,  $n_C = 0,001203$  mol,

$T_C = 300 \text{ K}$ ;  $P_D = 51,53 \text{ Pa}$ ,  $V_D = 0,0582 \text{ m}^3$ ,  $n_D = 0,001203 \text{ mol}$ ,  $T_D = 300 \text{ K}$ ;  $Q_1 = 1,56 \text{ J}$ ,  $\Delta U_1 = 0$ ,  $W_1 = 1,56 \text{ J}$ ;  $Q_2 = 0$ ,  $\Delta U_2 = -10 \text{ J}$ ,  $W_2 = 10 \text{ J}$ ;  $Q_3 = -0,67 \text{ J}$ ,  $\Delta U_3 = 0$ ,  $W_3 = -0,67 \text{ J}$ ;  $Q_4 = 0$ ,  $\Delta U_4 = 10 \text{ J}$ ,  $W_4 = -10 \text{ J}$ ; c)  $\eta = 3/4 = 0,571 = 57,1 \%$ ;  $\eta_{\text{Carnot}} = 0,571 = 57,1 \%$ . d) trabajo individual. e) Potencia =  $187,4 \text{ W}$ . f) Dado que la máquina de Carnot es reversible: funcionamiento directo,  $W_{\text{neto}} = 0,89 \text{ J}$ ; funcionamiento inverso,  $W_{\text{neto}} = -0,89 \text{ J}$ .

### 31. Auto 1: rendimiento

Para alcanzar una velocidad máxima de  $150 \text{ km/h}$  se requiere toda la potencia de un motor de automóvil de  $100 \text{ kW}$ . ¿Cuánta nafta se requiere para recorrer  $100 \text{ km}$  cuando el motor tiene un eficiencia de  $25 \%$ ? Discutir el balance energético total. Equivalente energético de la nafta:  $12 \text{ kWh/kg}$ .

**R:** Se consumen  $22,22 \text{ kg}$  de nafta.

### 32. Energía del mar

Se quiere usar la diferencia de temperatura entre la superficie del agua de mar de  $25^\circ \text{C}$  y de las capas profundas de  $4^\circ \text{C}$  para producir energía eléctrica.

- ¿Cuál es la eficiencia termodinámica máxima que esperarías encontrar con este método de producción de energía?
- ¿Cuántos  $\text{m}^3$  de agua por segundo se necesitaría para erogar una potencia de  $1 \text{ GW}$  de trabajo neto (eléctrico)?

**R:** a)  $\eta = 0,07 = 7 \%$ ; b) se requieren  $162,51 \text{ m}^3/\text{s}$  (caudal del Río Limay =  $700 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

### 33. Horno solar

Un diseño de horno solar permite calentar agua hasta  $90^\circ \text{C}$ . Una persona propone usar esta agua caliente para hacer funcionar una máquina térmica. a) ¿Qué eficiencia se podría alcanzar para esa máquina si la temperatura ambiente es de  $20^\circ \text{C}$ ? b) Si la constante solar es de  $1400 \text{ W m}^{-2}$  y la absorción atmosférica en nuestras latitudes es del  $50 \%$ , ¿cuál es el área que debe tener el colector solar para calentar  $1 \text{ kg}$  de agua desde temperatura ambiente hasta la temperatura máxima en  $1 \text{ minuto}$ ?

**R:** a)  $\eta = 0,193 = 19,3 \%$ ; b) Debe tener un área de  $7 \text{ m}^2$ .

### 34. Máquina térmica

Una máquina térmica tiene una eficiencia del  $30 \%$  y eroga  $3 \text{ GW}$  de potencia mecánica.

- En un segundo, ¿qué cantidad de calor recibe de la fuente caliente? ¿Qué cantidad de calor entrega al medio ambiente?
- Este calor debe ser entregado a un río cuya temperatura no debe subir más de  $2^\circ \text{C}$ . ¿Qué caudal mínimo (en  $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) debe tener ese río?

**R:** a)  $Q_{\text{Abs}} = 10 \text{ GJ}$ ;  $Q_{\text{Ent}} = 7 \text{ GJ}$ ; b) se requieren  $836,12 \text{ m}^3/\text{s}$  (caudal del Río Negro =  $1014 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

### 35. Trigo

El valor nutritivo del trigo que se produce en un metro cuadrado de tierra fértil es de  $2 \text{ kWh}$ . Si en esa región agrícola la irradiancia solar durante el verano es  $\sim 700 \text{ W m}^{-2}$  durante unas  $7 \text{ horas}$  diarias en promedio y que el trigo demora cinco meses en madurar. ¿Cuál es el rendimiento energético del trigo?

**R:** a)  $\eta = 2/735 = 0,00272 = 0,272 \%$ ;

### 36. Auto 2: ciclo Otto

El ciclo Otto opera en los motores de autos que funcionan con nafta (gasolina) como combustible. Es usual hablar del ciclo de cuatro etapas (Admisión, Compresión, Explosión y Escape), aunque en realidad son seis las etapas que experimenta la mezcla de combustible y aire: 1) expansión de la mezcla a presión constante (admisión,  $n$  aumenta); 2) compresión adiabática (compresión); 3) calentamiento isócoro (combustión); 4) expansión adiabática (explosión+expansión); 5) enfriamiento isócoro; 6) compresión isóbara (escape,  $n$  disminuye). Descartando las etapas 1 y 6, donde hay cambio en la cantidad de gas, suponiendo que durante las etapas 2, 3, 4 y 5 la cantidad de mezcla es  $n = 0,02$  mol (valor aproximado para un motor de  $2000 \text{ cm}^3$ ), y utilizando los valores del diagrama PV visto en clase (página 17/30 Clase U02C06), realice los siguientes ejercicios:

- Complete el cuadro de estados A, B, C y D.
- Complete el cuadro de las transformaciones 2, 3, 4 y 5.
- El rendimiento termodinámico del motor. Compárelo con el rendimiento de un ciclo de Carnot equivalente y con el obtenido en el problema 31.
- Si el motor funciona en régimen a 3600 RPM, calcule la cantidad de calor producida por el consumo de combustible, el trabajo neto liberado y la cantidad de calor liberada en la atmósfera cada hora de funcionamiento.

**R:** b)  $P_A = 101325 \text{ Pa}$ ,  $V_A = 0,00048 \text{ m}^3$ ,  $n_A = 0,02 \text{ mol}$ ,  $T_A = 293 \text{ K}$ ;  $P_B = 1874512,5 \text{ Pa}$ ,  $V_B = 0,00006 \text{ m}^3$ ,  $n_B = 0,02 \text{ mol}$ ,  $T_B = 676 \text{ K}$ ;  $P_C = 5015587,5 \text{ Pa}$ ,  $V_C = 0,00006 \text{ m}^3$ ,  $n_C = 0,02 \text{ mol}$ ,  $T_C = 1810 \text{ K}$ ;  $P_D = 253312,5 \text{ Pa}$ ,  $V_D = 0,00048 \text{ m}^3$ ,  $n_D = 0,02 \text{ mol}$ ,  $T_D = 731 \text{ K}$ ;  $Q_2 = 0$ ,  $\Delta U_2 = 159,6 \text{ J}$ ,  $W_2 = -159,6 \text{ J}$ ;  $Q_3 = 471,2 \text{ J}$ ,  $\Delta U_3 = 471,2 \text{ J}$ ,  $W_3 = 0$ ;  $Q_4 = 0$ ,  $\Delta U_4 = -448,4 \text{ J}$ ,  $W_4 = 448,4 \text{ J}$ ;  $Q_5 = -182,4 \text{ J}$ ,  $\Delta U_5 = -182,4 \text{ J}$ ,  $W_5 = 0$ ; c)  $\eta = 288,8/471,2 = 0,613 = 61,3\%$ ;  $\eta_{\text{Carnot}} = 0,838 = 83,3\%$ . d) En una hora de funcionamiento:  $Q_{\text{abs}} = 50,9 \text{ MJ}$ ;  $W_{\text{neto}} = 31,2 \text{ MJ}$ ;  $Q_{\text{ent}} = 19,7 \text{ MJ}$ .

### 37. Ciclo combinado en el océano

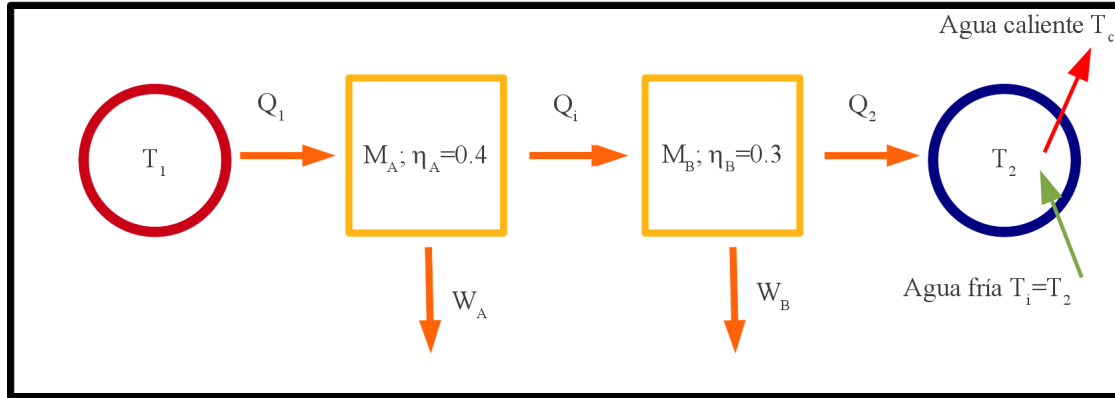
Tres máquinas térmicas idénticas que funcionan con un ciclo de Carnot se conectan en una configuración de ciclo combinado, de forma tal que el calor no aprovechado por una de las máquinas es utilizado por la siguiente máquina del complejo. El rendimiento de cada etapa debe ser  $\eta_i = 0,6$ . La fuente fría de la última de las máquinas es el océano Atlántico, cuya temperatura es  $T_f = 276 \text{ K}$ . Si la última etapa del ciclo eroga  $1 \text{ GW}$  de potencia, haga un esquema de la situación planteada y responda lo siguiente:

- La cantidad total de calor entregada al océano en una hora de funcionamiento.
- La cantidad de calor que cada hora suministra la fuente caliente en la primera etapa.
- El trabajo neto entregado por cada etapa del ciclo y el trabajo neto total, por hora.
- Las dos temperaturas de trabajo de cada una de las máquinas.
- El rendimiento global, y la potencia útil total erogada por el complejo.

**R:** a)  $Q_{\text{ent},3} = 2,4 \text{ TJ}$  por hora; b)  $Q_{\text{abs},1} = 37,5 \text{ TJ}$  por hora; c)  $W_1 = 22,5 \text{ TJ}$ ,  $W_2 = 9 \text{ TJ}$ ,  $W_3 = 3,6 \text{ TJ}$ ;  $W_{\text{tot}} = 35,1 \text{ TJ}$ ; Notar que  $Q_{\text{ent},3} + W_{\text{tot}} = (2,4 + 35,1) \text{ TJ} = 37,5 \text{ TJ} = Q_{\text{abs},1}$ , como consecuencia del primer principio (conservación de la energía); d)  $T_{c,1} = 4312,5 \text{ K}$ ,  $T_{f,1} = 1725 \text{ K}$ ;  $T_{c,2} = 1725 \text{ K}$ ,  $T_{f,2} = 690 \text{ K}$ ;  $T_{c,3} = 690 \text{ K}$ ,  $T_{f,3} = 276 \text{ K}$ ; e)  $\eta = 35,1/37,5 = 0,936 = 93,6\%$ , notar que  $\eta_{\text{Carnot, global}} = 1 - 276/4312,5 = 0,936 = 93,6\%$ ; Potencia  $P = 9,75 \text{ GW}$ .

### 38. Máquinas en cascada

Una instalación de ciclo combinado dispone de dos máquinas térmicas  $M_A$  y  $M_B$  conectadas en cascada, es decir, el calor  $Q_i$  que sale de la máquina  $A$  es usado para generar un trabajo adicional en la máquina  $B$ . La fuente caliente principal es una caldera de vapor operando a una temperatura  $T_1 = 1000$  K, que entrega  $Q_1 = 500$  MJ por segundo en forma de calor. El calor residual  $Q_2$  que sale de la máquina  $B$  se utiliza para calefaccionar las oficinas de la planta, calentando agua a temperatura ambiente  $T_i = T_2 = 293$  K hasta  $T_c = 353$  K.



- Calcule la cantidad de calor  $Q_i$  que pasa de la máquina  $A$  a la  $B$  cada segundo.
- Calcule el trabajo total producido:  $W = W_A + W_B$  por segundo.
- Calcule la cantidad de calor  $Q_2$  que pasa de la máquina  $B$  a la calefacción.
- Calcule el rendimiento total de la instalación de ciclo combinado, y diga cual es la ventaja de estas instalaciones.
- Compare el rendimiento anterior con el rendimiento de una máquina de Carnot operando entre esas temperaturas.
- Calcule cuantos litros de agua por segundo será posible calentar desde  $T_2$  hasta  $T_c$ .

**R:** a)  $Q_i = 300$  MJ; b)  $W_B = 90$  MJ;  $W = 290$  MJ; c)  $Q_2 = 210$  MJ; d)  $\eta = 290/500 = 0,58 = 58\%$ ; e)  $\eta_{\text{Carnot}} = 0,707 = 70,7\%$ ; f) se podrán calentar 836 L/s.