2019

Termodinámica

Guía3:

Máquinas térmicas,
ciclos termodinámicos

Problema 3.1

Un ciclo de Carnot consta de los siguientes procesos:
1- Una expansión isotérmica a temperatura T_H.
2- Una expansión adiabática desde T_H a T_L, con $T_L < T_H$.
3- Una compresión isotérmica a temperatura T_L.
4- Una compresión adiabática para regresar nuevamente al estado inicial.

a- Realice un esquema del ciclo de Carnot en un diagrama p-V.
b- Calcule el cambio de energía interna del sistema en el ciclo.
c- Calcule el trabajo realizado.
d- Calcule la eficiencia η definida como el cociente entre el trabajo total realizado $|W_T|$ y el calor absorbido Q_{in}.
e- Muestre que la eficiencia siempre es menor que 1, dicho resultado es válido para cualquier ciclo cuasistático.

Problema 3.2

Describa un ciclo de Carnot para un sistema de gas ideal y obtenga una expresión para su eficiencia.

Problema 3.3

Describa el funcionamiento de un motor de Stirling.

a- Describa el ciclo termodinámico de dicho motor.
b- Represente en un diagrama p-V.
c- Calcule la eficiencia de un motor de Stirling, utilizando un gas ideal.
d- ¿Qué aplicaciones tiene en la vida real este tipo de motores?

Problema 3.4

Si realizamos un ciclo en sentido inverso al propuesto en el problema anterior, ¿Qué tipo de máquina térmica tendríamos?

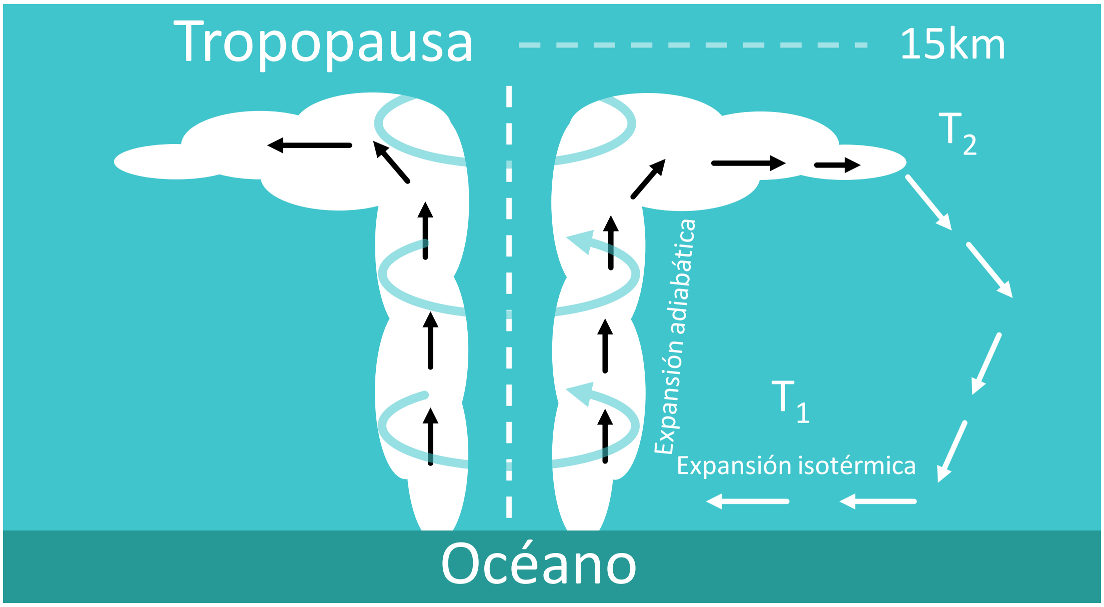
Problema 3.5

Los motores de combustión interna se dividen en motores de gasolina y motores diesel.

a- Realice un esquema del ciclo de un motor de gasolina conocido como ciclo Otto, calcule su eficiencia.
b- Realice un estudio similar para un ciclo Diesel.
c- Compare la eficiencia teórica de ambos motores, compare con los valores reales.

Huracanes

Un huracán es esencialmente un motor térmico, cuyo ciclo se muestra en la figura.
La máxima intensidad del huracán, es decir la velocidad máxima de sus vientos se obtiene de calcular la eficiencia de un motor tipo Carnot.



El motor opera entre una fuente caliente T_1,la superficie del mar, aprox. 300K y una fuente fría T_2 en la troposfera, ubicada a unos 15km sobre el nivel del mar (unos 200K).
En un tiempo dt, si dQ_1es el calor absorbido en la superficie del océano y dQ_2 es el calor emitido en la tropósfera, de acuerdo con la primera ley tenemos:

$$\frac{dQ_1}{dt} = \frac{dW}{dt} + \frac{dQ_2}{dt}$$

De acuerdo con el teorema de Carnot:

$$\frac{dW}{dt} \leq \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)\frac{dQ_1}{dt}$$

En un huracán, la energía mecánica del viento es transformada en calor por fricción contra la superficie del océano. Cuando el huracán alcanza un estado estacionario, todo la energía mecánica se convierte en calor en la superficie del océano, la generación de calor por fricción la denominaremos ${}^{dW}/_{dt}$ por lo tanto la razón de calor que ingresa en el ciclo de Carnot, ${}^{dQ_1}/_{dt}$ consiste de dos partes:

$$\frac{dQ_1}{dt} = \frac{dQ_{10}}{dt} + \frac{dW}{dt}$$

donde ${}^{dQ_{10}}/_{dt}$ es la cantidad de calor en ausencia del aporte de calor por fricción.
Combinando las dos ecuaciones anteriores, podemos obtener:

$$\frac{dW}{dt} \leq \left(\frac{T_1 - T_2}{T_2}\right)\frac{dQ_{10}}{dt}$$

Un estudio detallado de la física de un huracán permite establecer que el calor intercambiado en la superficie del océano es igual a $C_D\rho|v|^3$, donde C_D es una constate, ρ es la densidad del aire y v la velocidad del viento. En el estado estacionario podemos obtenerla expresión de la variación del trabajo integrando la expresión anterior sobre un área circular de radio R, centrada en el ojo del huracán, con lo cual obtenemos:

$$\frac{dW}{dt} = 2\pi \int_0^R C_D \rho v^3 r dr$$

El térmico ${}^{dQ_1}/_{dt}$ se puede expresar como:

$$\frac{dQ_{10}}{dt} = 2\pi \int_0^R C_h \rho (h^* - h)|v| dr$$

Combinando las expresiones anteriores obtenemos:

$$\int_0^R C_D \rho |v|^3 r dr \leq \left(\frac{T_1 - T_2}{T_2}\right) \int_0^R C_h \rho (h^* - h)|v| dr$$

Si asumimos que la contribución dominante de la integral ocurre en el valor de la máxima velocidad del huracán, obtenemos:

$$C_D \rho |v_{max}|^3 \leq \left(\frac{T_1 - T_2}{T_2}\right) C_h \rho (h^* - h) |v_{max}|$$

finalmente, obtenemos una expresión para la máxima velocidad teórica de los vientos de un huracán:

$$|v_{max}|^2 \approx \left(\frac{T_1 - T_2}{T_2}\right) \frac{C_h}{C_D} (h^* - h)$$

+info:

Emanuel, K. A. (1999). Thermodynamic control of hurricane intensity. *Nature*, 401(6754), 665.

Emanuel, K. A., 2005: Divine Wind: The history and science of hurricanes. Oxford Univ. Press, New York.

Bister, M., and K.A. Emanuel, 1998: Dissipative heating and hurricane intensity. Meteor. Atm. Phys., 52, 233-240.