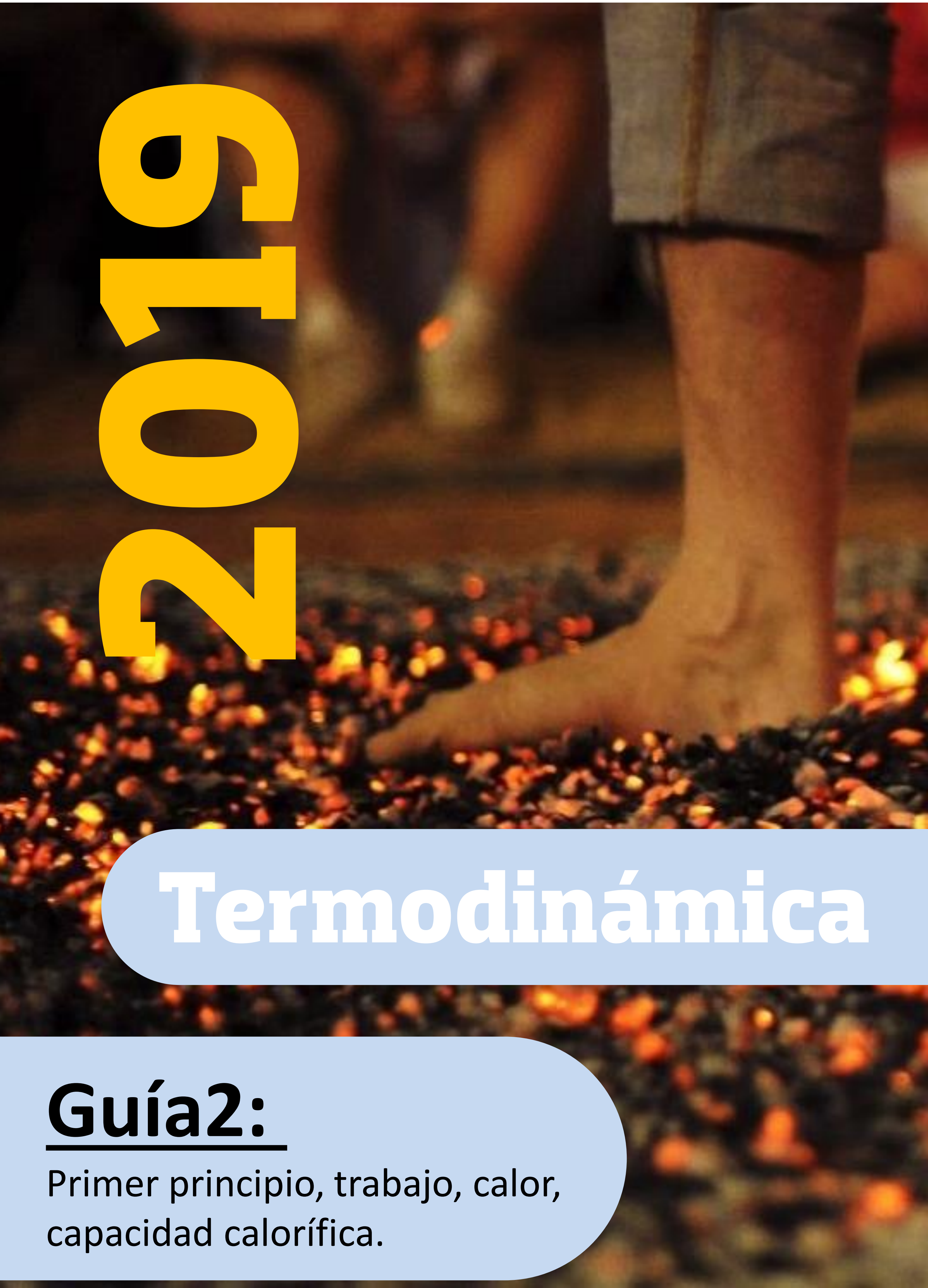

2019

Termodinámica

Guía2:

Primer principio, trabajo, calor, capacidad calorífica.

Problema 2.1

Entre 1840 y 1845, J. Joule realizó una series de experimentos para establecer la relación entre el trabajo mecánico aplicado a un sistema termodinámico y su equivalencia en forma de calor. El resultado se conoce como el equivalente mecánico del calor.

a- Describa el experimento realizado por Joule.
b- ¿Cuál es el valor actualmente aceptado del equivalente mecánico del calor, compare con el valor obtenido por Joule.

Problema 2.2

En este momento mientras lee esta guía puede realizar un experimento muy sencillo. Toque con su mano la mesa , y toque después el piso. ¿Cuál le parece que tiene mayor temperatura? Le sorprenderá saber que ambos están a igual temperatura, entonces, ¿cómo explica la sensación de que el piso está a menor temperatura?

Problema 2.3

¿Qué es una caloría?

Problema 2.4

En la portada de la guía se muestra a una persona caminando sobre un sendero de brasas, ¿es termodinámicamente posible?

Problema 2.5

¿Puede el calor específico tener un valor negativo?

Problema 2.6

Describa el calor específico de un sólido cristalino bajo el modelo de Einstein y de Debye. Compare con el resultado clásico.

Problema 2.7

Considere una expansión adiabática de un gas ideal, demuestre que:

a- $TV^{\gamma-1} = cte$
b- $T^{\gamma}p^{1-\gamma} = cte$

donde γ es independiente de la temperatura.

Problema 2.8

Considere una expansión adiabática de un gas ideal desde una presión inicial p_1y un cambio de volumen desde V_1hasta V_2. Asumiendo que γes constante:

a- Calcule la presión en el estado final.
b- Muestre que el trabajo realizado es:

$$w = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1}\left(\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} - 1\right)$$

Problema 2.9

Describa el método de Rüchardt para medir el exponente adiabático γ.

Problema 2.10

A una atmósfera, el calor específico del agua a presión constante se describe a través de la ecuación:

$$\frac{c_p(\theta)}{c} = 0{,}996185 + 0{,}0002874\left(1 + \frac{\theta}{100}\right)^{5{,}26} + 0{,}011160e^{-0{,}08290\theta}$$

donde $c = 4185{,}5 J K^{-1} kg^{-1}$

calcule el calor necesario para calentar 50grs. de agua desde 0 a 100C.

Problema 2.11

Un resorte de longitud L, obedece la ley de Hooke $f = k(L - L_0)$ donde $f$es la tensión, L_0es la longitud inicial del resorte y k la constante elástica. Calcule el trabajo realizado para variar su longitud desde L_1 a L_2.

Problema 2.12

Conidere un sólido elástico ideal, que obedece a la ecuación:

$$f = KT\left(\frac{L}{L_0} - \frac{{L_0}^2}{L^2}\right)$$

donde Kes una constante y L_0 es solo fucnión de la temperatura.

a- Muestre el que el módulo de Young isotérmico E resulta:

$$E = \frac{KT}{A}\left(1 + 2\frac{{L_o}^3}{L^3}\right)$$

20 kilotones de TNT

En la madrugada del 16 de Junio de 1945 tuvo lugar en el desierto de Alamogordo (Nuevo México) la primera explosión nuclear de la historia. Mientras sus colegas del puesto de observación contemplaban el espectáculo, el físico Enrico Fermi dejó caer en el aire unos papelillos para medir su desplazamiento al llegar la onda expansiva, «20 kilotones de TNT» exclamó luego. Si, Fermi había calculado la energía de la bomba utilizando solo unos papelitos que lanzó al aire. ¿Cómo lo hizo?, la respuesta: con un poco de termodinámica.

En milisegundos, una parte (el 50% aproximadamente) del total de 20 kilotones de energía liberada por fisión se deposita por radiación electromagnética en la masa de aire contenida en un volumen V_0 que es un semiesfera de radio 200 m volviéndose incandescente (la famosa bola de fuego, de color rojo). El rapidísimo calentamiento tiene lugar prácticamente a volumen constante y supondremos que de manera uniforme en todo su volumen.
Podemos calcular la presión p_1 y la temperatura T_1 de esta bola de fuego, conocida la presión atmosférica p_0, la temperatura ambiente antes de la explosión T_0, y el volumen de aire implicado V_0.Supondremos que el aire, incluso en estas condiciones extremas se comporta como un gas ideal.
Una vez formada la bola se expande adiabáticamente en menos de un segundo hasta que su presión se iguala a la presión atmosférica, $p_f = 1\ atm$.
Calcularemos empleando esta transformación, el volumen final V_f y la temperatura final T_f .
Calculado V_f determinaremos el radio final r_f de la semiesfera.
Esta rapidísima expansión provoca un desplazamiento del aire situado a distancias mayores que se propaga a la velocidad del sonido v_s.
A partir de este modelo simplificado, se puede calcular el valor de la anchura de la onda expansiva d y por tanto, del desplazamiento de los papelitos en el punto de observación situado a una distancia D del centro de la explosión.
Midiendo esta distancia d, Fermi hizo el cálculo inverso y dedujo la potencia de la explosión con notable aproximación respecto de la obtenida a partir de las mediciones efectuadas por una

compleja red de instrumentos dispuesta en torno al lugar de la explosión.
El resto del fenómeno es bien conocido: por su baja densidad la bola asciende arrastrando una columna de polvo y materiales vaporizados altamente radioactivos mientras se va mezclando turbulentamente con el aire circundante. Al llegar a la tropopausa se ensancha formando el característico hongo.

Datos necesarios para resolver el problema

1 kilotón =4.18·1012 J
Densidad del aire a presión atmosférica y temperatura ambiente 1.0 kg/m^3
Peso molecular del aire 28.9 g/mol
Temperatura ambiente antes de la explosión 17º C
Calor específico a volumen constante de los gases diatómicos cv=5R/2
Constante R de los gases perfectos R=0.082 atm·l/(K·mol)=8.315 J/(K mol)
Velocidad del sonido vs=330 m/s

El 50% de los 20 kilotones es la energía que calienta al aire contenido en la semiesfera de radio $r = 200m$.

$$Q = 0{,}5\ 20\ 4{,}18\ 10^{12} = 4{,}18\ 10^{13} J$$

El volumen de dicha semiesfera es $V_0 = \frac{1}{2}\frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{16}{3}\pi 10^9 l$
La masa de aire contenida en dicha semiesfera $m = \rho_0 V_0 = \frac{16}{3}\pi 10^9 grs.$
En un proceso a volumen constante $Q = mc_v(T_1 - T_0)$
Si la temperatura ambiente antes de la explosión era de $T_0 = 17C = 290K$, después de la explosión es $T_1 = 3758K$
Utilizando la expresión de los gases ideales, obtenemos la presión final, $p_1 V_0 = nRT_1$, es decir $p_1 = 10{,}7atm$
En la segunda etapa consideramos la expansión adiabática.
Utilizamos $\gamma = 7/5$ para un gas diatómico, y obtenemos una volumen final de esta etapa de $V_f = 909 10^{10} l$, o de manera equivalente un radio de la semiesfera de 351,4 mtrs. Aplicamos nuevamente la ecuación de los gases ideales, para obtener una temperatura final de 1911K.
Finalmente, en la última etapa evaluamos la propagación de la onda de choque.
La capa semiesférica $V_f - V_0$se propagará a la velocidad del sonido, A medida que r aumenta la capa será cada vez más estrecha. A una distancia r del centro de la explosión la anchura d de la capa será:

$$V_f - V_i = \frac{1}{2}\frac{4}{3}\pi(r+d)^3 - \frac{1}{2}\frac{4}{3}\pi r^3$$

Midiendo este valor a través de la distancia recorrida por los papelitos, es posible estimar la energía de la bomba.

b- Calcule el trabajo requerido para estirar la sustancia de manera isotérmica desde $L = L_0$ hasta $L = 2L_0$.

Problema 2.13

Calcule el trabajo requerido en una expansión adiabática de un mol de gas ideal a 0C, si el volumen cambia desde V_0 hasta $10V_0$.

Problema 2.14

Calcule el cambio de temperatura de un gas ideal que inicialmente se encuentra a 0C, cuando se produce una expansión adiabática sobre el mismo que aumenta en 10 veces su volumen inicial.

Problema 2.15

¿Cuál es la cantidad de calor requerida para elevar desde -20C a 100C a presión constante la temperatura de 1000 grs. de nitrógeno?

a- ¿Cuál es el cambio de energía libre?
b- Calcule el trabajo realizado sobre el sistema.

Problema 2.16

10 litros de un gas a presión atmosférica se comprime de manera isotérmica hasta un volumen de 1 litro. Posteriormente se expande adiabáticamente hasta su volumen original.

a- Grafique en un diagrama $p - V$, el ciclo realizado para un gas monoatómico y un gas diatómico.
b- Calcule el trabajo realizado por el sistema.
c- Compare ambos resultados ¿cómo explica dicha diferencia?

Problema 2.17

La velocidad de propagación de una onda longitudinal en un gas ideal es:

$$C = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$$

donde p es la presión y ρ es la densidad del gas.

a- Calcule la velocidad del sonio para un gas en un proceso isotérmico.
b- Repita el cálculo para un proceso adiabático.

Problema 2.18

Dos sistemas con capacidades caloríficas C_1y C_2 respectivamente interactuan de manera adiabática hasta alcanzar una temepratura común T_f.
Si la teperatura inicial del sistema 1 es T_1, ¿cual es la temperatura inicial del segundo sistema?

Problema 2.19

Calcular el trabajo realizado por un mol de gas durante una expansión adiabática cuasiestática desde un volumen inicial V_I hasta un volumen final V_F si la ecuación de estado es:
a- $p(v-b) = RT$ con $R, b = ctes$.
b- $pv = R\theta\left(1 - \frac{B}{v}\right)$ con $R = cte\ B = f(\theta)$

Problema 2.20

Un volumen de $2x10^{-4}m^3$ de sustancia paramagnética se mantiene a temperatura constante, mientras se aumenta de forma isotérmica y cuasiestática un campo magnético de 0 a 10^6A/m. Suponiendo que se cumple con la ecuación de Curie y que la constante de Curie por unidad de volumen es 0,15.

a- ¿Qué trabajo se realizaría si no hubiera sustancia?
b- Qué trabajo se realiza para variar la imanación del material cuando la temperatura es de 300K, y cuando es de 1K?
c- ¿Qué trabajo realiza en ambas temperaturas el agente externo?

Problema 2.21

Un mol de gas obedece a la ecuación de estado:

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v-b) = R\theta$$

donde v es el volumen molar, y su energía interna viene dada por

$$u = c\theta - \frac{a}{v}$$

Siendo $a, b, c\ y\ R$ constantes. Calcuar la capacidades caloríficas molares c_vy c_p.

Problema 2.22

En 1845 J. Joule realizó un experimento para determinar las propiedades de la energía interna de un gas ideal. La experiencia realizada consistió en colocar dos recipientes conectados por una llave en un calorímetro lleno de agua. En uno de los recipientes colocó una gas comprimido y en el otro se realizó vacío.
Al abrir la llave, el gas se expandió en el recipiente vacío, pero no se observó variación en la temperatura del sistema.

a- ¿Cuál es la cantidad de calor transferida al sistema?
b- ¿Cuál es a cantidad de trabajo realizado sobre el sistema?
c- ¿Es un proceso cuasiestático?
d- ¿Qué significa el resultado obtenido?