Cuando un cuerpo a diferente temperatura que la del agua se sumerge en ella y se cierra el calorímetro, se produce una cesión de calor entre ambos hasta que se alcanza el equilibrio térmico. El termómetro permite leer las temperaturas inicial y final del agua y con un ligero movimiento del agitador se consigue una temperatura uniforme. Conociendo el calor específico y la masa del agua utilizada, mediante la ecuación calorimétrica se puede determinar la cantidad de calor cedida o absorbida por el agua.

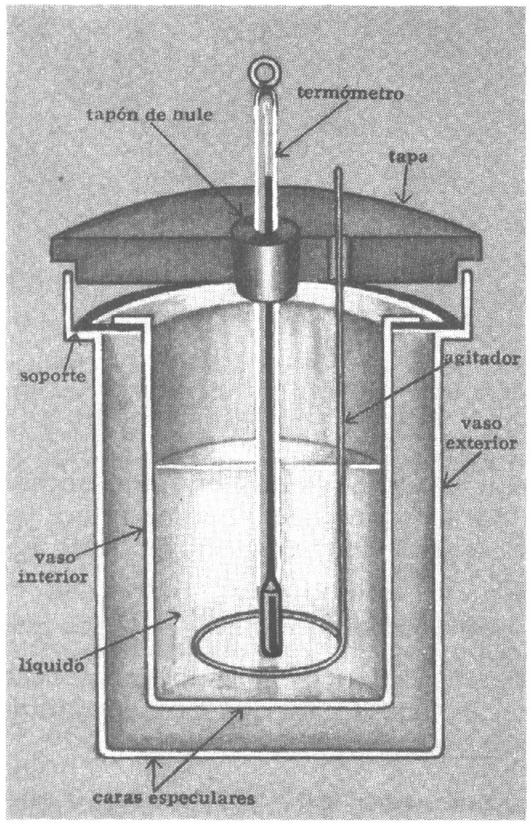


Fig. Calorímetro

Cambios de estado, calor latente:

Al entregar calor al agua hirviendo para que prosiga el proceso de ebullición, su temperatura permanece constante, lo que significa que la energía cinética media de sus moléculas no cambia. El vapor desprendido, como está a la misma temperatura que el agua hirviendo, tiene la misma energía cinética de sus moléculas. La pregunta es entonces, ¿adonde se ha ido la energía suministrada por el calentamiento?.
Como las moléculas de vapor están unas 11 o 12 veces más alejadas entre sí que las del agua (ya que $1[kg]$ de vapor a 100 [ºC] y a 1 [atm], ocupa un volumen 1600 veces mayor que el agua a la misma temperatura), su energía potencial es mayor: en este aumento de energía se gastó la

energía dada como calor; es decir, la energía suministrada se gastó en alejar entre sí las moléculas venciendo las fuerzas de cohesión que, por otra parte, son despreciables a la distancia que hay entre las moléculas de vapor. De esta forma, si Q es el calor suministrado a una masa m para cambiarla de estado, la cantidad:

$$L = \frac{Q}{m}, \tag{7.11}$$

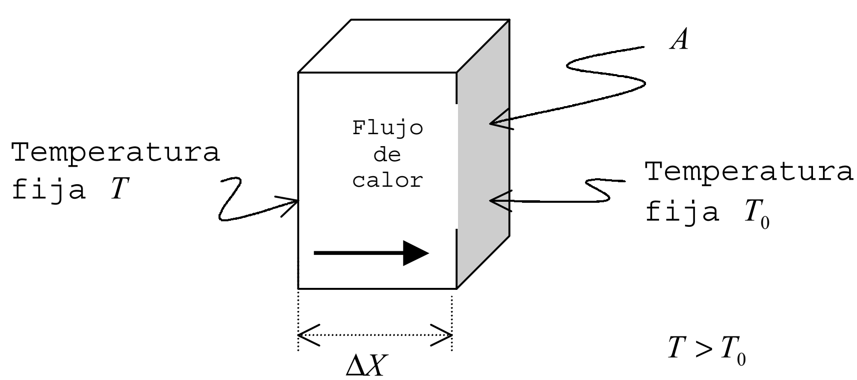
es denominada el calor latente. Esta representa el calor que debe suministrarse a una unidad de masa de una sustancia a la temperatura de transformación, para cambiar su estado. El calor latente puede ser de fusión, de evaporación, etc. . Habitualmente la unidad del calor latente es la $[cal/gr]$. Por ejemplo: El calor latente de vaporización del agua a 1 [atm] de presión es $540[cal/gr]$, lo que significa que a $1[gr]$ de agua a $100[^{o}C]$ se le deben suministrar 540 [cal] para trasformarla en vapor.

Propagación del calor:

Si tomamos una cuchara metálica por un extremo y se calienta por el otro extremo en una llama, pronto habrá que soltarla, pues no tardará en quemar la piel. Si el mismo experimento se hace con un trozo de madera, el extremo que esta en la llama llega a carbonizarse, sin que la mano llegue a sentir el calor: el metal es buen conductor del calor y la madera no lo es.
Cuando se apoya la mano sobre un metal a la temperatura ambiente, se percibe una sensación de frío porque el metal, siendo buen conductor, se lleva rápidamente calor de la mano. En cambio si ésta se apoya sobre un pedazo de madera, también a la temperatura ambiente, no se siente sensación de frío por ser aisladora o mala conductora del calor.
Si se coloca sólo un lado de una vasija grande de agua sobre una llama, se formar corrientes y el agua termina por calentarse toda, no sólo la porción colocada directamente sobre el fuego: se dice que el calor se transmite en el agua por convección.
Finalmente, si salimos al sol, percibimos una sensación de calor, transmitido a través de 150 millones de kilómetros en el vacío: hemos recibido calor por radiación.
En resumen, el calor puede transmitirse de tres modos:

- Por conducción en los sólidos.
- Por convección en los fluidos (líquidos y gases).
- Por radiación a través del espacio vacío.

Conducción del calor:



La conducción del calor por los sólidos es diferente para todos, siendo mejor en los metales y por lo general difícil en los cuerpos no metálicos. Precisamente al paso de energía calórica proveniente de la diferencia de temperatura entre partes adyacentes de una sustancia se le llama conducción del calor.

Considérese una placa de material, de área de la sección transversal A y espesor ΔX, cuyas paredes se encuentran a diferentes temperaturas. Si se mide la cantidad de calor ΔQ que fluye perpendicularmente a las caras durante un tiempo Δt, el experimento muestra que dicha cantidad de calor es proporcional al intervalo de tiempo Δt y a la sección transversal A para una diferencia dada de temperaturas ΔT, y que ΔQ es proporcional a $\Delta T / \Delta X$ para unos valores dados de Δt y A, tal que tanto ΔT como ΔX sean pequeños. De esta forma

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta X}, \qquad (7.12)$$

donde k es la constante de proporcionalidad, llamada conductividad térmica. La cantidad $\Delta Q / \Delta t$ es la rapidez con que se propaga el calor a través de la placa y $\Delta T / \Delta X$ se llama gradiente de temperatura. La dirección del flujo de calor es tal que se escoge en la dirección en que X aumenta. Puesto que el calor fluye en la dirección de la temperatura decreciente, en (7.12) se introduce un signo menos para tener $\Delta Q / \Delta t$ positiva.

En general, un cuerpo con gran conductividad térmica es un buen conductor del calor; un cuerpo con pequeña conductividad térmica es mal conductor del calor y por lo tanto un buen aislador de éste.

Ejemplos:

1. La temperatura de la superficie del Sol es de unos $6000[^\circ C]$. Exprésese esa temperatura en la escala Fahrenheit. b) Exprese la temperatura normal del cuerpo humano 98,6 [ºF], en la escala Celcius. c) exprese la temperatura de pasteurización, 165 [ºF], en la escala Celcius. d) Expreso el punto normal de ebullición del Oxígeno –183 [ºC], en la escala Fahrenheit.

Solución:

a. Como de (7.1) $T_C = \frac{5}{9}(T_F - 32)$ y de (7.2), $T_C = T_K - 273{,}15$, igualando ambas expresiones, encontramos para la temperatura Fahrenheit:

$$T_F = \frac{9}{5} \cdot (T_K - 255{,}37) = 10340{,}33[^\circ F].$$

b. $T_C = \frac{5}{9}(T_F - 32) = 37[^\circ C]$

c. $T_C = \frac{5}{9}(T_F - 32) = 73{,}89[^\circ C]$

d. $T_F = \frac{9}{5} \cdot T_C + 32 = -297,4[^\circ C]$

2. Una barra de acero, $\alpha_{ACERO} = 11 \cdot 10^{-6}[1/^\circ C]$, tiene un diámetro de 3 [cm] a la temperatura de 25 [ºC]. Un anillo de bronce, $\alpha_{BRONCE} = 17 \cdot 10^{-6}[1/^\circ C]$, tiene un diámetro interior de 2,992 [cm] a la misma temperatura. ¿A qué temperatura común entrará justamente el anillo en la varilla?.

Solución:

Puesto que los diámetros son cantidades lineales, éstas se dilatarán con la temperatura de acuerdo a la ecuación (7.3). Como la temperatura inicial es de 25 [ºC] y la final T donde los diámetros deben coincidir, se tiene:

$$d_A = d_{0A} \cdot [1 + \alpha_{ACERO} \cdot (T - 25)] = d_B = d_{0B} \cdot (1 + \alpha_{BRONCE} \cdot (T - 25)).$$

Despejando T, encontramos:

$$T = \frac{d_{0A} \cdot (1 - \alpha_{ACERO} \cdot 25) + d_{0B} \cdot (\alpha_{BRONCE} \cdot 25 - 1)}{(d_{0B} \cdot \alpha_{BRONCE} - d_{0A} \cdot \alpha_{ACERO})} = 472,83[^\circ C]$$

3. Un vaso precipitado de vidrio de $75[cm^3]$ se llena completamente de mercurio a la temperatura ambiente de 25 [ºC]. A la temperatura de 20 [ºC], ¿Cuál será el volumen de mercurio derramado?. $\alpha_{MERCURIIO} = 6,07 \cdot 10^{-5}[1/^\circ C]$, $\alpha_{VIDRIO} = 9,6 \cdot 10^{-6}[1/^\circ C]$.

Solución:

El volumen derramado (V_D) corresponde a la diferencia entre el volumen de mercurio (V_M) menos el volumen del vaso precipitado (V_V), es decir:

$$V_D = V_{MERCURIO} - V_{VIDRIO} = V_0 \cdot (1 + \gamma_{MERCURIO} \cdot \Delta T) - V_0 \cdot (1 + \gamma_{VIDRIO} \cdot \Delta T),$$

$$V_D = V_0 \cdot \Delta T \cdot (\gamma_{MERCUIO} - \gamma_{VIDRIO}) = 0,71[cm^3]$$

4. Calcule el calor específico de un metal con los siguientes datos. Un recipiente (“calorímetro”) echo de metal cuya masa es de 3,64 [kg] contiene 13,6 [kg] de agua. Un pedazo de metal de 1,82 [kg] de masa, del mismo material del recipiente y con temperatura de 176,7 [ºC] se echa en el agua. El agua y el recipiente tienen inicialmente una temperatura de 15,5 [ºC] y la temperatura final de todo el sistema llega a ser de 18,33 [ºC].

Solución:

Debido a que se trata de un problema de intercambio de calor, el calor entregado por el metal = calor recibido por el (agua y recipiente). Llamando Q_1 al calor liberado por el metal, Q_2, Q_3 a los recibidos por el agua y recipiente respectivamente:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0.$$

Considerando que el metal y recipiente tienen un calor específico c_m, reemplazando en la expresión anterior:

$$m_{metal} c_m \cdot (T_{final} - T_{metal}) + m_{agua} c_{aga} \cdot (T_{final} - T_{agua}) + m_{recipiente} c_m \cdot (T_{final} - T_{recipiente}) = 0,$$

es decir:

$$c_m = \frac{-m_{agua} c_{agua} (T_{final} - T_{agua})}{m_{metal}(T_{final} - T_{metal}) + m_{recipiente}(T_{final} - T_{recipiente})} = 1{,}38 \cdot 10^{-2} \left[\frac{cal}{gr^{o}C}\right].$$

5. Un trozo de hielo de 10 [gr] y temperatura –10 [ºC] se introducen en 1,5 [Kg] de agua a 75 [ºC]. Determine la temperatura final de la mezcla. $c_{hielo} = 0{,}45[cal/gr^{o}C], L_{fusión,hielo} = 80[cal/gr]$.

Solución:

El calor cedido por el agua es igual al ganado por el hielo. El hielo gana una porción calor desde la temperatura –10 [ºC] hasta 0 [ºC], otra para cambiar de estado manteniendo la temperatura constante de 0 [ºC] y otra cuando se ha convertido en agua al cambiar la temperatura de 0 [ºC] hasta la temperatura de equilibrio T_e. De este modo:

$$m_{hielo} c_{hielo} (0 - (-10)) + m_{hielo} L_{fusión} + m_{hielo} c_{agua} (T_e - 0) + m_{agua} c_{agua} (T_e - 75) = 0.$$

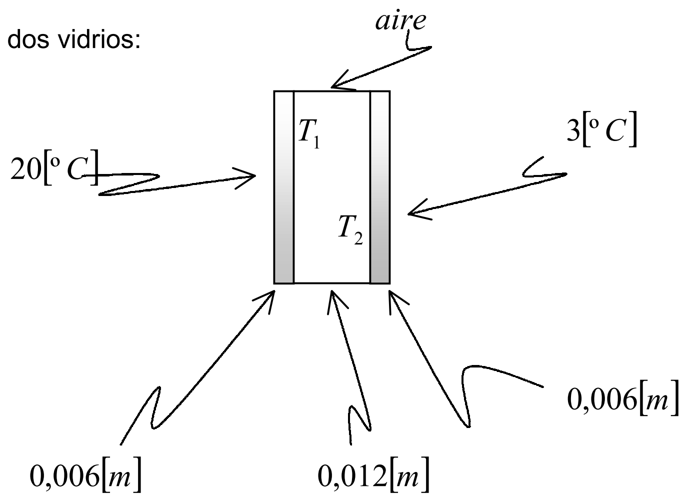
Despejando T_e encontramos:

$$T_e = 73{,}94[^{o}C].$$

6. Una ventana de un metro de alto por 2 de ancho tiene un vidrio cuyo espesor es de 0,006 [m], conduce calor desde el interior a 20 [ºC] al exterior de 3 [ºC]. Encuentre la diferencia porcentual de la conducción del calor, cuando se pone dos vidrios del mismo espesor anterior, dejando una separación de aire entre los vidrios de 0,012 [m]. Considere que:
$k_{VIDRIO} = k_V = 2\cdot 10^{-6}\left[kcal/s\cdot m\cdot^{\circ}C\right]$, $k_{AIRE} = k_A = 6\cdot 10^{-6}\left[kcal/s\cdot m\cdot^{\circ}C\right]$.

Solución:

i. Al poner los dos vidrios:



Sean T_1 y T_2 las temperaturas a la derecha del vidrio izquierdo e izquierda del vidrio derecho, respectivamente. Usando las ecuación (7.12):

$$\frac{\Delta Q_1}{\Delta t} = k_V A\frac{(20-T_1)}{0{,}006}, \quad (1)$$

$$\frac{\Delta Q_2}{\Delta t} = k_A A\frac{(T_1-T_2)}{0{,}012}, \quad (2)$$

$$\frac{\Delta Q_3}{\Delta t} = k_V A\frac{(T_2-3)}{0{,}006}. \quad (3)$$

En el estado de régimen estable, es decir, cuándo la temperatura en cada punto es constante en el transcurso del tiempo, por lo cuál $\Delta Q/\Delta t$ es la misma en todas las secciones transversales:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\Delta Q_1}{\Delta t} = \frac{\Delta Q_2}{\Delta t} = \frac{\Delta Q_3}{\Delta t}.$$

Igualando ecuaciones (1) y (2), encontramos:

$$T_2 = T_1\left(1+\frac{2}{3}\right)-\frac{40}{3}. \tag{4}$$

De la igualación de (2) y (3) tenemos:

$$T_2 = \frac{\frac{3}{2}T_1 + 3}{5/2}. \tag{5}$$

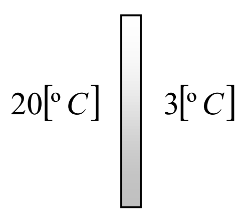
Por otro lado, de la diferencia de las ecuaciones (4) y (5), hallamos:

$$T_1 = 13{,}63\left[{}^{\mathrm{o}}C\right] \text{ y } T_2 = 13{,}63\left[{}^{\mathrm{o}}C\right].$$

Reemplazando en ecuación (1):

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = k_V\, A\,\frac{\left(20-T_1\right)}{0{,}006} = 4{,}25\left[\frac{cal}{s}\right].$$

ii Si la ventana está formada por un solo vidrio:

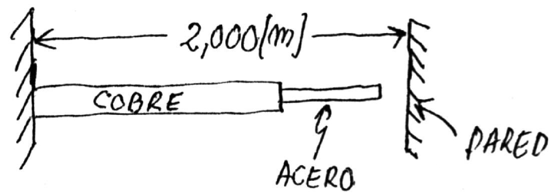


$$\frac{\Delta Q'}{\Delta t} = -k_V\, A\,\frac{\left(3-20\right)}{\Delta X} = 11{,}3\left[\frac{cal}{s}\right],$$

es decir, la diferencia con respecto a $\Delta Q/\Delta t = 7{,}05\left[cal/s\right]$. De este modo hay una diferencia de un 62,4%, con lo cuál, cuándo se coloca aire entre los dos vidrios se pierde un 62,4% menos de energía calórico que cuándo se usa un solo vidrio.

EJERCICIOS

1. El sistema de la figura está compuesto por dos barras de distinto material, una de cobre ($\alpha_{COBRE} = 1{,}7 \cdot 10^{-5}\left[1/^{o}C\right]$) de largo 1,555 [m] y otra de acero ($\alpha_{ACERO} = 2{,}4 \cdot 10^{-5}\left[1/^{o}C\right]$) de longitud 0,444 [m]. ¿A qué temperatura final debe llegar el sistema si inicialmente está a 20 [ºC] para que la barra haga contacto con la pared?.

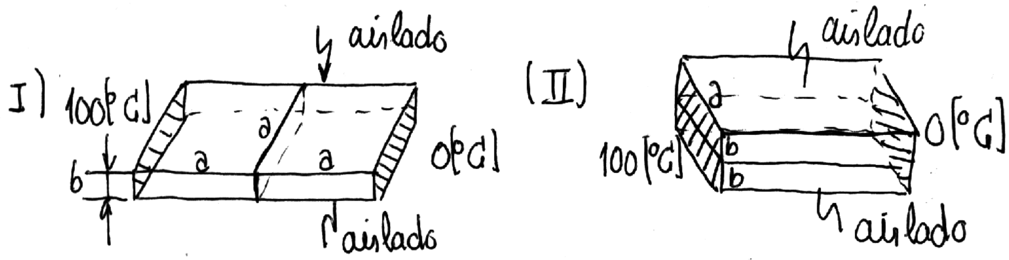


2. Un depósito de latón cuya capacidad es de 5 [lt] se llena con glicerina a la temperatura de 10 [ºC]. Determinar la cantidad de glicerina que se derrama cuando la temperatura sube a 50 [ºC]. $\alpha_{LATON} = 2 \cdot 10^{-5}\left[1/^{o}C\right]$, $\gamma_{GLICERNA} = 4{,}8 \cdot 10^{-4}\left[1/^{o}C\right]$

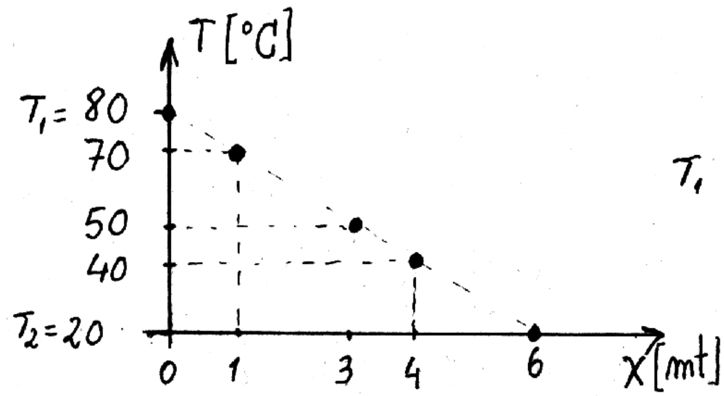
3. En una vasija de vidrio se echa mercurio de manera que en ella queda un volumen V_0 sin llenar. ¿Qué fracción o porcentaje del volumen inicial debe la vasija debe ser V_0 para que al calentar el conjunto, el espacio que queda sin llenar en la vasija no cambie de volumen?.
$\alpha_{VIDRIO} = 8 \cdot 10^{-6}\left[1/^{o}C\right]$, $\gamma_{MERCURIO} = 82 \cdot 10^{-4}\left[1/^{o}C\right]$

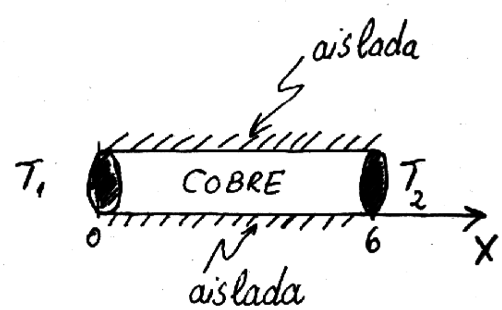
4. Si el sistema de la figura está a $0\left[^{o}C\right]$, determinar la temperatura a la cual las varillas de latón y cobre se juntan. $\alpha_{ALUMINIO} = 23 \cdot 10^{-6}\left[1/^{o}C\right]$.

5. Dos planchas cuadradas cada una de lado a y espesor b de material idéntico se unen perfectamente como se muestra en la figura. Suponiendo que en (I) fluyen $10[cal]$ en 2 [min], ¿cuánto tiempo transcurrirá en fluir las $10[cal]$ si se unen como en (II)?.



6. El gráfico muestra la variación de la temperatura v/s distancia para una barra de cobre homogéneo de radio $30[cm]$. Si en $4[s]$ fluyen $1040[cal]$ a través de la barra, encuentre la conductividad térmica k del cobre.

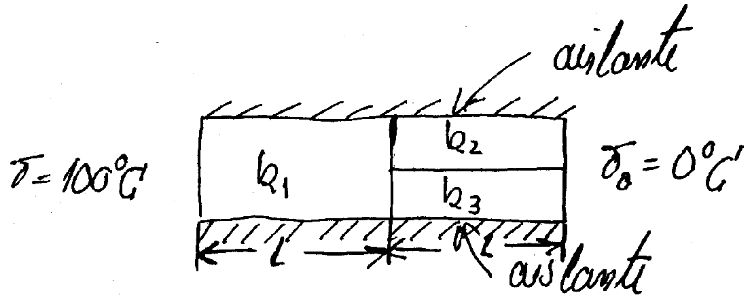




7. Sobre un anafre se coloca un vaso de aluminio que contiene agua. Comenzada la ebullición, el agua se evapora a razón de $0,6[kg/min]$. ¿Cuál es la temperatura de la superficie del vaso en contacto con el anafre?. Considere que el área de la parte inferior del vaso es $100[cm^2]$ y su espesor de $2[mm]$. $k_{ALUMINIO} = 4,9 \cdot 10^{-2}[kcal/s \cdot m \cdot {}^{o}C]$, $L_{VAPORIZACION} = 540[cal/gr]$

8. Un litro de agua a la temperatura de $12[{}^{o}C]$, se mezcla con un trozo de cobre de $200[gr]$, $70[{}^{o}C]$ y con un pedazo de hielo de $30[gr]$ y a la temperatura de $-6[{}^{o}C]$. ¿Cuál es la temperatura de equilibrio?.

9. Tres varillas de distinto metales se unen como se muestra en la figura. Encontrar que porcentaje de energía pasa a través de las varillas 2 y 3.
Considere que: $k_2 = k_1/2$, $k_3 = k_1/4$, $A_2 = A_1/2 = A_3$.



10. Un termo contiene $900[gr]$ de agua en equilibrio térmico con $100[gr]$ de hielo. Si se introducen $100[gr]$ de agua a $36[°C]$, determine la temperatura del estado final de equilibrio térmico. $c_{AGUA} = 1[cal/gr\cdot°C]$, $L_{FUSION} = 80[cal/gr]$.

11. Un pistón de aluminio se mueve en un cilindro de acero de $10{,}160[cm]$ de diámetro a 20 [°C]. La diferencia entre los radios del cilindro y el pistón es de $0{,}0127[cm]$. ¿Qué temperatura debe alcanzar el conjunto para que el juego entre los radios sea cero?.
$\alpha_{ACERO} = 11\cdot10^{-6}[1/°C]$, $\alpha_{ALUMINIO} = 23\cdot10^{-6}[1/°C]$.