SECRETARÍA ACADÉMICA

Resumiendo lo expuesto indicamos, en la siguiente tabla, la correspondencia entre temperaturas en diferentes escalas.

PUNTO SVESTE AND	°C	K	°F
Ebullición del agua	100	373	212
Fusión del hielo	don't a con	273	32
Cero absoluto	-273	0	-460

Algunos valores de temperatura absoluta típicos se ofrecen en la siguiente tabla:

PROCESO STREET STREET	TEMP. (K)
Interior del Sol	10 000 000
Superficie del Sol	6 500
Fusión del Plomo	600
Congelación del agua	273
Ebullición del Nitrógeno	Clia sup. 677. (c
Ebullición del Helio	4.2
Temperatura media del Universo	2.7
Más baja pbtenida en laboratorio	10 <sup>-7</sup>

Además de los termómetros ya descritos de vidrio y líquido, existen otros dispositivos que permiten medir temperaturas, como por ejemplo los termopares y termómetros de resistencia eléctrica. Estos dispositivos (que también pueden ser llamados termómetros pues permiten medir la temperatura) tienen algunas ventajas sobre los termómetros de vidrio como que son más pequeños por lo que registran los cambios de temperatura más rápidamente, pueden medir un rango de variación de temperatura mayor que el rango para el mercurio (- 50 °C a 450 °C), su señal de salida es eléctrica lo cual facilita su control y procesamiento electrónico, entre otras.

Los termopares basan su funcionamiento en el hecho que cuando una juntura de unión, entre 2 materiales diferentes, se coloca a diferentes temperaturas, aparece una diferencia de potencial entre sus extremos. Por ello se han construido tablas de calibración, para junturas de materiales específicos, de diferencia de potencial generada para cada valor de temperatura. Así resultan muy utilizados, en la industria, los termopares de platino-rodio (se dan los nombres de los 2 materiales que componen la juntura), que permiten medir muy altas temperaturas, del orden de 2 000 °C, o los de cobre y constantán, caracterizados por su gran exactitud.

Los termómetros de resistencia, también llamados termoresistores, se basan en materiales que cambian marcadamente el valor de sus resistencia a la corriente eléctrica cuando cambia su temperatura.

Observe el hecho que la medición de temperaturas utilizando termómetros se hace teniendo en cuenta el fenómeno del equilibrio térmico, del que ya hablamos anteriormente. Esto se debe al hecho de que cuando queremos conocer la temperatura de un cuerpo, ponemos en contacto con él un termómetro y leemos la temperatura que nos indica el termómetro que asumimos igual a la del cuerpo. La igualdad de estas temperaturas solo se logra cuando el cuerpo y el termómetro están en equilibrio térmico; el equilibrio se alcanza cuando el cuerpo y el termómetro han estado en contacto un tiempo suficientemente largo; por ello en los dispositivos para medir temperaturas es importante el tiempo que demoran en indicar la temperatura del cuerpo con el que están en contacto. Es típico el caso de los termómetros clínicos, usados para medir la temperaturas del cuerpo humano, que producto de que están fabricados de forma que mantengan la indicación de la temperatura un tiempo largo (para ello en el capilar, a la salida del bulbo tienen un estrechamiento), se demoran en adquirir la temperatura del cuerpo, por lo cual los médicos nos indican que esperemos un tiempo entre 1 y 3 minutos para realizar la lecturas y garantizar que ésta sea correcta. Por otra parte es importante que exista un buen contacto entre el cuerpo y el termómetro, para que puedan alcanzar el equilibrio térmico. Es común el caso, que cuando queremos medir la temperatura de un sólido con un termómetro de vidrio, sólo una pequeña parte del bulbo está en contacto con el sólido y la mayor parte del bulbo está en contacto con el aire, por lo que la temperatura que indica el termómetro no es exactamente igual a la del sólido y deben introducirse factores de corrección.

## DILATACIÓN (EXPANSIÓN) TÉRMICA.

Como ya se mencionó anteriormente, la mayoría de los cuerpos aumentan su tamaño cuando sufren un aumento de su temperatura. Por el contrario al disminuir la temperatura la mayoría de los cuerpos se contraen o disminuyen sus dimensiones.

Este fenómeno debe ser tenido en cuenta en múltiples instalaciones de la industria y la técnica en general, pues puede ocasionar efectos no deseables. Así, por ejemplo, las estructuras como puentes o líneas de ferrocarril deben construirse de tal forma que al aumentar o disminuir la temperatura ambiente, no se deformen por los efectos de la expansión térmica. Se puede observar como los cables telefónicos o los de energía eléctrica son colocados en los postes con cierta holgura, pues de lo contrario si se ponen al largo justo, al disminuir la temperatura del aire se contraen y pueden romperse.

El fenómeno de dilatación térmica se observa tanto en sólidos como en gases y líquidos. Ya se señaló el hecho de que la dilatación de los líquidos es utilizada ampliamente para medir la temperatura. A nivel microscópico se puede explicar este fenómeno, a partir de que a mayores temperaturas las partículas (átomos y moléculas) que componen los cuerpos realizan un movimiento con mayor amplitud, por lo que la distancia promedio entre ellas aumenta.

Ejemplo No. 1

SECRETARÍA ACADÉMICA

Una regla de aluminio fue graduada a una temperatura de 300 K (27°C), con una escala en mm. ¿Cuál será la longitud de 1 milímetros de la escala si la temperatura de la regla es de 400 K (127°C)?

Datos:  

$$\underline{L}_0 = 1 \text{ mm}$$
  
 $T = T - T_0 = 400 \text{ K} - 300 \text{ K} = 100 \text{ K}$   
 $\alpha = 24 \times 10^{-6} \text{ 1/K} \text{ (de la tabla)}$   
Solución:  
 $\underline{L} = \underline{L}_0 \text{ (1 + } \alpha \Delta T \text{)}$ 

 $L = L_0 (1 + \alpha \Delta T)$   $L = 1 \text{ mm} (1 + 24 \times 10^6 \text{ 1/K } 100 \text{ K})$   $L = 1 \text{ mm} (1 + 24 \times 10^4)$  L = 1 mm (1.0024) L = 1.0024 mm

Como se ve esto puede ser una causa de error en la medición de longitudes con reglas.

Una vez analizada la dilatación lineal que sufren los cuerpos podemos comprender que si el sólido tiene una forma determinada, por ejemplo un cubo, y su temperatura varía, todas sus dimensiones cambiarán en una misma fracción, ya que cada dimensión sufre una dilatación lineal igual (\*). Si el cubo tiene las aristas de largo  $L_0$ , al aumentarle la temperatura un intervalo  $\Delta T$ , cada arista aumentará su longitud en un valor  $\Delta L$ , igual para todas ya que el material es el mismo. El volumen del cuerpo cambiará en una valor  $\Delta V$  que puede plantearse será proporcional al volumen inicial  $V_0$  y al intervalo de temperatura  $\Delta T$ , o sea:

 $\Delta V = \beta V_0 \Delta T$ 

donde  $\beta$  es el coeficiente de dilatación volumétrica y para los sólidos comunes (ver nota) se considera igual a  $3\alpha$ .

$$\beta = 3c$$

	ρ οω
MATERIAL	COEFICIENTE $\alpha$ (1/k)
Plomo	30 x 10 <sup>-6</sup>
Aluminio	24 x 10 <sup>-6</sup>
Cobre	17 x 10 <sup>-6</sup>
Acero	12 x 10 <sup>-6</sup>
Vidrio (ordinario)	9 x 10 <sup>-6</sup>
Vidrio (Pyrex)	3 x 10 <sup>-6</sup>
Cuarzo	5 x 10 <sup>-6</sup>

LIQUIDOCOEFICIENTE  $\beta$ <br/>(1/K)Etanol $1100 \times 10^{-6}$ Gasolina $1080 \times 10^{-6}$ Agua (por encima de  $4 \, ^{\circ}$ C) $210 \times 10^{-6}$ Mercurio $180 \times 10^{-6}$ 

Puesto que los fluidos no tienen forma definida el coeficiente más importante es el de dilatación volumétrica y para algunos líquidos se muestran sus valores en la tabla:

De los valores dados puede verse que la dilatación en los líquidos es alrededor de 10 veces más grande que la de los sólidos. Este hecho es el que hace posible el funcionamiento de los

(\*) NOTA: Existen sólidos que tienen propiedades diferentes en diferentes direcciones. Para estos sólidos la dilatación no será igual en cada dirección, por lo que el valor del coeficiente de dilatación lineal es diferente en cada dirección. Estos sólidos se denominan anisótropos

Consideremos un cuerpo sólido, en forma de un hilo, cuyas dimensiones transversales sean muy pequeñas en comparación con el largo. Si la longitud inicial, de este hilo, es  $L_0$ , estando a una temperatura  $T_0$ , al cambiarle la temperatura en un intervalo  $\Delta T$  ( $\Delta T = T - T_0$ ), la longitud cambia en un valor  $\Delta L$  ( $\Delta L = L - L_0$ ). Experimentalmente se ha determinado que si T no es muy grande, el cambio de longitud  $\Delta L$  es proporcional al cambio de temperatura  $\Delta T$  y al largo inicial  $L_0$ . O sea puede escribirse:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$

El coeficiente de proporcionalidad  $\alpha$  se conoce con el nombre de coeficiente de dilatación lineal y es característico de cada material. Sus dimensiones son del inverso de temperatura (1/K o 1/°C) y sus valores son generalmente pequeños, lo cual puede verse en la tabla que se muestra para algunos sólidos.

La fórmula para L puede ser escrita en la forma:

$$\dot{L} - L_0 = \alpha L_0 (T - T_0)$$

de donde puede verse que si T es mayor que  $T_0$  ( la temperatura aumentó), L será mayor que  $L_0$  (dado que el coeficiente  $\alpha$  es positivo), o sea ocurrió un aumento de la longitud del cuerpo (dilatación). Esto es válido para la mayoría de las sustancias, aunque hay algunas excepciones. Cuando la temperatura del cuerpo disminuye ( $T < T_0$ ) entonces el paréntesis de la derecha es menor que cero lo cual indica que la longitud final es menor que la inicial ( $L < L_0$ ) o sea el cuerpo se contrae. Está claro que el hilo sufre dilatación en todas las dimensiones, pero debido a que las dimensiones transversales son muy pequeñas y el incremento del largo es proporcional al largo inicial ( $\Delta L$  proporcional a  $L_0$ ) puede despreciarse el alargamiento de las dimensiones transversales.

El sentido físico del coeficiente  $\alpha$  se puede obtener escribiendo la fórmula en la forma:

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha \Delta T$$

de donde vemos que  $\alpha$  representa la fracción que se alarga el cuerpo cuando el cambio de temperatura T es igual a la unidad.

La longitud final del cuerpo se calcula despejando la fórmula inicial de la forma:

$$L = L_0 + \Delta L$$

o también sustituyendo la expresión para ΔL:

$$L = L_0 + \alpha L_0 \Delta T = L_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

termómetros de líquido y vidrio; puede compararse la dilatación del mercurio con la del vidrio ordinario, de acuerdo a los datos de las tablas.

presenta una anomalía en su comportamiento en el rango de 0°C a 4°C. Cuando el agua se calienta de 0°C a 4°C se contrae en lugar de dilatarse y cuando se enfría de 4°C a 0°C se dilata en lugar de contraerse. Este comportamiento anómalo del agua puede explicarse en base a su estructura molecular y es el que provoca, junto al fenómeno de la convección que estudiaremos posteriormente, que los ríos y lagos se congelen sólo en la capa superficial y no en el interior Asimismo el hecho de que el agua se dilate cuando se enfría desde 4 °C a 0 °C provoca que la densidad del agua es máxima a la temperatura de 4 °C, por lo que el hielo tiene menor densidad que el agua y ésta es la causa que el hielo flote en el agua (recordar el principio de Arquímedes).

De manera que para considerar el cálculo de la variación de volumen utilizamos la fórmula

similar a la utilizada para la dilatación lineal.  $V = V_0 (1 + \beta \Delta T)$ 

Ejemplo No. 2

Un automovilista de Monterrey llenó el tanque de su auto con 40 litros de gasolina, en la mañana cuando la temperatura ambiente era de 20 °C. Luego estacionó el auto al Sol y la temperatura de mismo subió a 55 °C. El automovilista notó que se había derramado gasolina del tanque. ¿Cuánta gasolina se derramó del tanque?. (Considere que el tanque, de latón, no se dilata para el mismo cambio de temperatura).

$$\frac{\text{Datos:}}{V_0} = 40 \text{ litros}$$

$$\Delta T = 55 \text{ °C} - 20 \text{ °C} = 35 \text{ °C}$$

$$\beta = 1080 \times 10^{-6} \text{ 1/K (De la tabla)}$$

$$\frac{\text{Solución:}}{\Delta V = \beta V_0 \Delta T}$$

$$\Delta V = 1080 \times 10^{-6} \text{ 1/K (40 litros)} 35 \text{ °C}$$

$$\Delta V = 1512000 \times 10^{-6} \text{ litros}$$

$$\Delta V = 1.512 \text{ litros}$$

Observe el uso de las unidades de volumen en litros y el hecho de que dado que el intervalo de grados Celsius y Kelvin son iguales se puede simplificar las unidades del intervalo de temperatura y del coeficiente de dilatación volumétrica.

¿Es válido no considerar la dilatación del tanque? El coeficiente de dilatación lineal del latón es, según la tabla, de 19 x 10<sup>6</sup> 1/K. Para hallar el coeficiente de dilatación volumétrica utilizaríamos la fórmula que relaciona ambos coeficientes:

$$\beta = 3 \alpha$$
  
= 3 (19 x 10<sup>-6</sup> 1/K)  
= 57 x 10<sup>-6</sup> 1/K

La dilatación del tanque sería de:

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta T$$
 $\Delta V = 57 \times 10^{-6} \text{ 1/K (40 litros) } 35 ^{\circ}\text{C}$ 
 $\Delta V = 79 800 \times 10^{-6} \text{ litros}$ 
 $\Delta V = 0.0798 \text{ litros}$ 

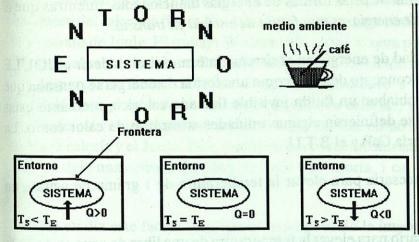
que como se observa es mucho menor que la dilatación de la gasolina y por ello es posible despreciarla. Si se requiere una mayor exactitud del cálculo entonces debe tenerse en cuenta esta dilatación también.

## CALOR

¿Que queremos decir realmente? Cuando expresamos algunas veces al platicar con La mayoría de los líquidos se dilatan al aumentarle su temperatura, sin embargo el agua nuestros compañeros de escuela mensajes como los siguientes: Está haciendo bastante calor, este verano ha sido muy caluroso etc, o que significado físico encierran mensajes que utilizan derivaciones de dicho término como: La ciudad de Monterrey se verá afectada por la llegada de un frente cálido para mañana según el pronostico del tiempo, o Pedro Pérez lleva una dieta baja en calorías. Analicemos las siguientes situaciónes:

> Una humeante taza de café colocada sobre una mesa, al cabo de cierto tiempo "se enfría". Un refresco bien frío, recien sacado de la hielera colocado sobre una mesa, al cabo de un tiempo se calienta, sabemos que estos efectos se producen por la interacción del entorno con el objeto físico, analicemos que es lo que sucede por separado en cada caso.

> Simplifiquemos la observación de este fenómeno físico diciendo que la humeante taza de café será nuestro "sistema" y el medio ambiente que la rodea "el entorno" y que la interacción ocurre entre ellos por "contacto térmico" entre la frontera del sistema y su entorno. Mediante un punto de vista "energético" el sistema cede al entorno alguna forma de energía, en tanto se establece el equilibrio térmico entre ellos. Durante el contacto térmico el flujo de energía se establece en la dirección del sistema de mayor temperatura al sistema de menor temperatura.



La taza de café (sistema bajo estudio) cede calor (energía que se transfiere) al entorno en virtud de la diferencia de temperaturas; en los fenómenos térmicos éste flujo de calor constituve la medida de la interacción entre un sistema y su entorno o entre dos sistemas pues se colocan en contacto térmico.

Calor se define como una forma de energía que se transfiere (fluye) entre un sistema y su entorno, en virtud de una diferencia de temperatura entre ellos.

en el segundo caso bajo estudio, el entorno (de temperatura mayor que el sistema) es quien cede calor al sistema (refresco) durante la aproximación al equilibrio térmico.

El mecanismo de transferencia de calor siempre se establece en la dirección del sistema de mayor temperatura al sistema de menor temperatura.

Para simplificar el análisis energético (ley de la conservación de la energía) concideremos los fenómenos físicos descritos como contacto térmico entre dos sistemas con diferente temperatura, donde solo ocurre intercambio de calor entre ellos, es decir un modelo donde no existen pérdidas, ni ninguna otra forma de intercambio de energía.

La temperatura de equilibrio térmico, como ya sabes debe ser alguna temperatura intermedia entre los valores de temperaturas iniciales de cada sistema y el flujo de calor se establece en la dirección del sistema de mayor temperatura al sistema de menor temperatura iniciales, Alguna fracción de la energía inicial que posee la humeante taza de cafe se trasfiere en forma de calor al entorno, la cantidad de calor, considerada como una magnitud de la energía transferida representa una medida de la variación de la energía inicial del sistema bajo estudio. Debemos ser cuidadosos con el término cantidad de calor porque pudiera pensarse erroneamente que la humeante taza de café a la que hacemos referencia posee calor, y lo cede al entorno mediante algun mecanismo de transporte y no es así, El calor no es una propiedad intrínseca de un sistema, Desde un punto de vista microestructural (que analizaremos con detenimiento mas adelante en éste capítulo) La energía inicial total del sistema tiene que ver con algunas formas de energías debidas al ininterrumpido movimiento de las partículas, que lo forman (energía cinética de moléculas y átomos, energía potencial debida a la interacción entre ellas, entre otras formas de energía) y la fracción de la energía inicial que es transferida al entorno, es logicamente, alguna de estas formas de energías mencionadas, mientras que el calor es claramente otra forma de energía, es una forma de energía en tránsito.

La unidad de calor es la unidad de energía en el sistema internacional es decir el JOULE (J), previo a la construcción del concepto de calor como una forma de energía se pensaba que los cuerpos o sistemas intercambiaban un fluido invisible llamado calórico, mediante estas concepciones previas del calor se definieron algunas unidades arbitrarias de calor como. La caloría, la kilocaloría (gran caloría Cal) y el B.T.U.

Caloría cantidad de calor nacesaria para elevar la temperatura de 1 gramo de agua a un grado celcius. (cal)

BTU cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de una libra de agua en 1 grado farenheit.

Estas unidades son utilizadas aun en ciertos casos, sin embargo se han redefinido mediante la relación que guardan con el joule

Un cuerpo o sistema puede ser calentado mediante dos formas distintas.

- Mediante un proceso de transporte de calor (los mecanismos de trasferencia de calor: Conducción, Convección y Radiación se estudiarán con detenimiento más adelante en el desarrollo de este capítulo)
- 2) Mediante la realización de un trabajo sobre él, en el siglo XIX, los experimentos llevados a cabo por Benjamín Thomson (Conde Rumford 1753 - 1814) demostraron fehacientemente que el trabajo mecánico podía producir calor, este resultado condujo al desarrollo de la ley de la conservación de la energía.

## **EQUIVALENTE MECÁNICO DEL CALOR**

Benjamín Thompson mientras supervisaba la perforación sobre barriles de cañón en Alemania notó que el agua que se ponía en la perforación del cañón para evitar un sobrecalentamiento durante el barrenado llegaba a hervir y se evaporaba teniendo que reabastecerla periódicamente, concluyó que el trabajo mecánico era responsable de dicho calentamiento, identificando el calor como una forma de energía y poniendo de manifiesto que debiera existir una relación de equivalencia con el trabajo mecánico.

Esta conclución fue probada tiempo después, en 1850 por James Joule en un experimento para determinar el equivalente mecánico del calor. La figura No. 1 muestra un diagrama básico del aparato de Joule. El trabajo W efectuado sobre el agua por las pesas al caer (medida en Joules) producía una elevación de la temperatura mensurable en el agua, equivalente a la absorción por el agua de cierto calor (medido en calorías) y a partir de esta equivalencia determinó una relación empírica entre la caloría y el Joule. Este resultado proporcionó durante casi un siglo una conversión entre el Joule y la caloría, 1 cal  $\approx_F$  4.19 J.

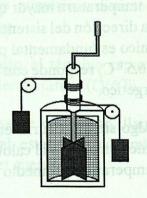


Fig. 1. Aparato de Joule

Hoy en día este factor de conversión ha perdido la importancia que tuvo en el tiempo de Joule, después de la adopción en el año de 1948 del Joule como la unidad del calor en el S.I.

¿Qué ocurre cuando nos frotamos repetidamente las manos?

Este experimento sencillo nos da la clave para entender la definición correcta del calor y lo que ocurre en el experimento de Joule. Cuando frotamos nuestras manos, se realiza un trabajo sobre ellas (debido a la fuerza de friccion que se opone al movimiento relativo de las superficies en contacto) Aumentando por lo tanto la energía inicial total del sistema ya que ahora aumenta la energía cinética de las moléculas, la energía potencial debida a la interacción entre ellas, entre otras formas de energías elevándose la temperaturas de nuestras manos.