



Conceptos previos

Calorimetría y cambios de fase:

Calorimetría significa “medición del calor. Hemos hablado de la transferencia de energía (calor) durante los cambios de temperatura. el calor interviene también en los cambios de fase, como la fusión del hielo o la ebullición del agua. Una vez que entendamos otras relaciones de calor, podremos analizar diversos problemas sobre cantidades de calor.

Cambio de fase:

Usamos el término fase para describir un estado específico de la materia, como sólido, líquido o gas. El compuesto H_2O existe en la fase sólida como hielo, en la fase líquida como agua y en la fase gaseosa como vapor de agua.. Una transición de una fase a otra es un cambio de fase. Para una presión dada, los cambios de fase ocurren a una temperatura definida, usualmente acompañada por absorción o emisión de calor y un cambio de volumen y de densidad.

Un ejemplo conocido de cambio de fase es la fusión del hielo. Si agregamos calor al hielo a 0°C y presión atmosférica normal, la temperatura del hielo no aumenta, si no que parte de él se funde para formar agua líquida. Si agregamos el calor lentamente, manteniendo el sistema cerca del equilibrio térmico, la temperatura seguirá en 0°C hasta que todo el hielo se haya fundido. El efecto al agregar calor a este sistema no es elevar su temperatura sino cambiar su fase de sólido a líquido.

Para convertir 1kg de hielo a 0°C en un kg de agua líquida a 0°C y presión atmosférica normal necesitamos $3,34 \times 10^5$ J/kg de calor. El calor requerido por unidad de masa es el calor de fusión (o calor latente de fusión) , denotado por L_f .Para el agua a presión atmosférica normal , el calor de fusión es :

$$L_f = 3,34 \times 10^5 \text{ J/kg} = 79,6 \text{ cal/gr} = 143 \text{ Btu/lb}$$

En términos más generales, para fundir una masa “m” de material con calor de fusión L_f se requiere una cantidad de calor dada por:

$$Q = mL_f$$

Este proceso es reversible. Para congelar agua líquida a 0°C tenemos que quitar calor, la magnitud es la misma, pero ahora Q es negativo porque se quita calor en lugar de agregarse. A fin de cubrir ambas posibilidades e incluir otros tipos de cambios de fase, escribimos:

$$Q = \pm mH_f \text{ (Transferencia de calor de un cambio de fase)}$$

Usamos el signo más (entra calor) cuando el material se funde, el signo menos (sale calor) cuando se congela. El calor de fusión es diferente para diferentes materiales y también varía un poco con la presión.

Para un material dado a una presión dada, la temperatura de congelación es la misma que la de fusión. A esta temperatura única las fases líquida y sólida (agua líquida y hielo, por ejemplo) pueden coexistir en una condición llamada "equilibrio de fases"

Podemos repetir la historia para la ebullición o vaporación, una transición de fase entre líquido y gas. El calor correspondiente (por unidad de masa) se llama calor de vaporización L_v . A presión atmosférica normal, el calor de vaporización del agua es :

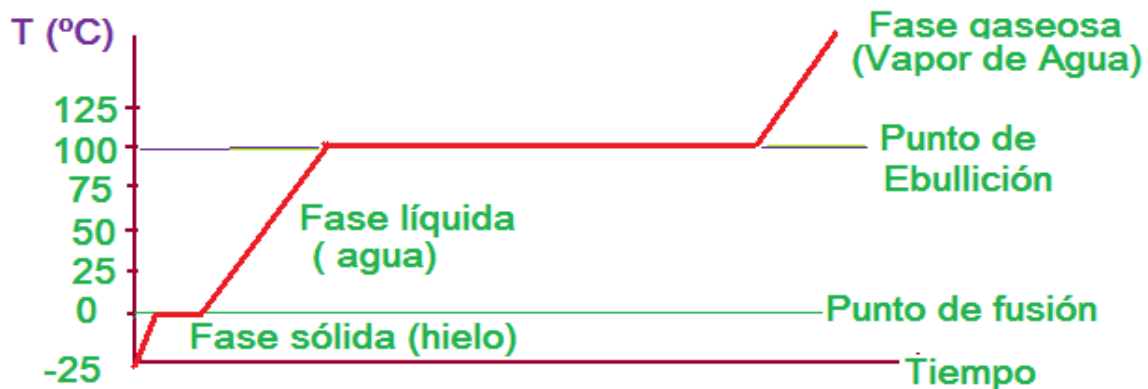
$$L_v = 2,256 \times 10^6 \text{ J/Kg} = 539 \frac{\text{cal}}{\text{gr}} = 970 \text{ Btu/lb}$$

Es decir necesitamos $L_v = 2,256 \times 10^6$ para convertir un kg de agua a 100°C en 1kg de vapor a 100°C. En contraste para elevar la temperatura de 1kg de agua a 0°C a 100°C se requieren $Q = mc\Delta T = 1\text{kg} \times 4190\text{J/kg} \times 100^\circ\text{C} = 419000 \text{ J}$, menos de 1/5 del necesario para la vaporización a 100°C. Esto concuerda con nuestras experiencias en la cocina; una olla con agua puede alcanzar la temperatura de ebullición en unos minutos, pero tardea mucho más en evaporarse por completo.

Al igual que la fusión, la ebullición es una transición reversible. si quitamos calor a un gas a la temperatura de ebullición, el gas vuelve a la fase líquida, o se condensa, cediendo a su entorno la misma cantidad de calor (calor de vaporización) que se necesita para vaporizarlo. A una presión dada, las temperaturas de ebullición y condensación siempre son iguales; en ellas, las fases líquida y gaseosa pueden coexistir en equilibrio de fases.

Tanto L_v como la temperatura de ebullición de un material depende de la presión. El agua hierve a menor temperatura (cerca de 90°C) en Calama que en viña del mar, porque Calama esta a mayor altura y la presión atmosférica media es menos. El calor de vaporización es un poco mas alto a esta presión reducida, cerca de $2,27 \times 10^6 \text{ J/kg}$.

A veces una sustancia puede cambiar directamente de fase sólida a gaseosa. Este proceso se llama sublimación, L_s . El dióxido de carbono líquido no pueden existir a una presión menor que 5 atmósferas, y el hielo seco (CO_2 sólido) se sublima a la presión atmosférica. La sublimación de agua de alimentos congelado causa las quemaduras del congelador. El proceso inverso, un cambio de fase de gas a sólido, ocurre cuando se forman escarchas sobre cuerpos fríos como las espiras de enfriamiento de un refrigerador.



Gràfica temperatura vs. tiempo para una muestra de agua que inicialmente está en la fase sólida (hielo). Se agrega calor a razón constante. La temperatura no cambia durante los cambios de fase si la presión se mantiene constante.

El agua muy pura puede enfriarse varios grados por debajo del punto de congelación sin congelarse; el estado inestable que resulta se describe como sobre enfriado. Si se introduce un cristal de hielo o se agita el agua, se cristalizará en un segundo o menos. El vapor de agua sobreenfriado se condensa en neblina si se introduce una alteración, como partículas de polvo o radiación ionizante. Se usa este principio para “sembrar” nubes que a menudo contiene vapor sobreenfriado, y causar condensación y lluvia.

A veces es posible sobrecalentar un líquido por encima de su temperatura de ebullición normal. También, una pequeña alteración como una agitación o el paso de una partícula cargada por el material causa ebullición local con formación de burbujas.

Los sistemas de calefacción por vapor de agua usan un proceso de ebullición—condensación para transferir calor de la caldera a los radiadores. Cada Kg. de agua convertido en vapor en la caldera absorbe más de 2×10^6 J (el calor de vaporización L_V del agua) de la caldera y lo cede al condensarse en los radiadores. También se usan procesos de ebullición—condensación en los refrigeradores, acondicionadores de aire y bombas de calor.

Los mecanismos de control de temperatura de muchos animales de sangre caliente aprovechan el calor de vaporización; eliminan calor del cuerpo evaporando agua de la lengua (jadeo), o de la piel (sudor). El enfriamiento evaporativo permite a la personas mantener su temperatura corporal normal en climas desérticos donde la temperatura del aire puede alcanzar los 55°C. La temperatura de la piel puede ser hasta 30°C menor que la del aire circundante. En estas condiciones una persona puede sudar varios litros al día. Si no se repone esta agua, el resultado será la deshidratación, fiebre térmica y la muerte. Las ratas del desierto experimentadas (como uno de los autores) aseguran que en el desierto una cantimplora de menos de un galón es sólo un juguete.

También se usa el enfriamiento evaporativo para enfriar edificios en climas calientes y secos, y para condensar y recircular vapor de agua “usado” en plantas generadoras nucleares o que queman carbón. Eso es lo que sucede en las grandes torres de hormigón ahusadas que vemos en tales plantas.

Las reacciones químicas, como la combustión, son análogas a los cambios de fase en cuanto a que implican cantidades definidas de calor. La combustión completa de un gramo de gasolina produce unos 46 000 J (11 000 cal.), así que el **calor de combustión** L_C de la gasolina es:

$$L_C = 46\,000 \text{ J/g} = 4.6 \times 10^7 \text{ J/Kg.}$$

Los valores energéticos de los alimentos se definen en forma similar; la unidad de energía alimentaría, aunque llamada caloría, es una *Kilocaloría* (1000 cal = 4186 J). Al decir que un gramos de mantequilla de maní “contiene 6 calorías”, queremos decir que se liberan 6 Kcal. De calor (6000 cal. ó 25 000 J) cuando los átomos de carbono e hidrógeno de la mantequilla reaccionan con oxígeno (con ayuda de las enzimas) y se convierten por completo en CO₂ y H₂O. No toda esta energía puede convertirse directamente en trabajo mecánico.

Aplicaciones de cálculos de calor.

Veamos algunos ejemplos de cálculos de calorimétricos (cálculos con calor). El principio básico es sencillo: si fluye calor entre dos cuerpos aislados de su entorno, el calor perdido por un cuerpo debe ser igual al ganado por el otro. El calor es energía en tránsito, así que este principio es realmente conservación de la energía. Tomamos el calor agregado a un cuerpo como positivo, y el perdido, como negativo. Si interactúan varios cuerpos, la suma algebraica de las cantidades de calor transferidas a todos los cuerpos debe ser 0. La calorimetría, que sólo se ocupa de una cantidad conservada, es en varios sentidos la más sencilla de todas las teorías físicas.

Problemas de calorimetría

Estrategias para resolver problemas

1. Para evitar confusión con los signos al calcular cantidades de calor, use las Ecs. (15-13) y (15-20) coherentemente para cada cuerpo, recordando que Q es positiva si entra en un cuerpo y negativa si sale. La suma algebraica de todas las Q debe ser cero.
2. Muchas veces habrá que calcular una temperatura desconocida. Representéla con el símbolo T . Así, si un cuerpo tiene una temperatura inicial de 20°C y una temperatura final T desconocida, el cambio de temperatura será $\Delta T_{\text{final}} = T_{\text{inicial}} - T = 20^\circ\text{C} - T$
3. En problemas en los que hay cambios de fase, como hielo que se derrite, tal vez no se sepa anticipadamente si todo el material cambia de fase o sólo una parte. Siempre puede suponerse una cosa o la otra y si se obtiene un resultado absurdo (como una temperatura final más alta o más baja que todas las temperaturas iniciales), sabrá que el supuesto inicial era erróneo. ¡Inténtelo otra vez!

Ejemplo 1

Cambio de temperatura sin cambio de fase Una geóloga en el campo bebe su café matutino en una taza de aluminio. La taza tiene una masa de 0.120Kg e inicialmente está a 20°C . Cuando se vierte en ella 0.300Kg de café inicialmente a 70°C . ¿Qué temperatura alcanzan la taza y el café en equilibrio térmico? (Suponga que la capacidad calorífica del café es la del agua y que no hay intercambio de calor con el entorno)

Solución No ocurre cambio de fase en esta situación, así que solo necesitamos la aplicación de la ecuación de cambio de fase. Sea la temperatura final T .

Usando la tabla de calor latente, el calor (negativo) ganado por el café es:

$$Q_{\text{café}} = m_{\text{café}} C_{\text{agua}} \Delta T_{\text{café}}$$

$$= (0.300 \text{ Kg.})(4190 \text{ j/kg K}) (T - 70.0^\circ\text{C})$$

El calor (positivo) ganado por la taza de aluminio es:

$$Q_{\text{aluminio}} = m_{\text{aluminio}} C_{\text{aluminio}} \Delta T_{\text{aluminio}}$$

$$= (0.120\text{Kg})(910\text{J/Kg K})(T-20.0^\circ\text{C})$$

Igualamos a 0 la suma de estas dos cantidades de calor, obteniendo una ecuación algebraica para T:

$$Q_{\text{café}} + Q_{\text{aluminio}} = 0, \quad \text{o sea}$$

$$(0.300 \text{ Kg}) (4190\text{j/Kg K}) (T - 70.0^\circ\text{C})$$

$$+ (0.120\text{Kg}) (910 \text{ J/kgK}) (T-20.0^\circ\text{C}) = 0$$

La resolución de esta ecuación da $T = 66.0^\circ\text{C}$. La temperatura final es más cercana a la temperatura inicial del café que a la de la taza; el agua tiene una capacidad calorífica mucho mayor que el aluminio, y tenemos más del doble de masa de agua. También podemos calcular las cantidades de calor sustituyendo este valor de T en las ecuaciones originales. Vemos que $Q_{\text{café}} = -5.0 \cdot 10^3 \text{ J}$ y $Q_{\text{aluminio}} = +5.0 \cdot 10^3 \text{ J}$.

$Q_{\text{café}}$ es negativo, lo que implica que el café pierde calor.

Ejemplo 2

Cambios de temperatura y fase: Una estudiante desea enfriar 0.25 Kg de Omni-Cola diet (casi sólo agua) que está a 25°C agregándole hielo que está a -20°C ¿Cuánto hielo debe agregar para que la temperatura final sea 0°C con todo el hielo derretido, si puede ignorarse la capacidad calorífica del recipiente?

Solución La Omni-Cola pierde calor, así que el calor que se le entrega es negativo.

$$Q_{\text{omni}} = m_{\text{omni}} C_{\text{omni}} \Delta T_{\text{omni}}$$

$$= (0.25\text{Kg}) (4190\text{J/Kg K})(0^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})$$

$$= -26,000 \text{ J}$$

De la tabla de calor latente, la capacidad calorífica del hielo (distinta de la del agua líquida) es $2.0 \cdot 10^3 \text{ J/Kg K}$. Sea la masa del hielo m_{hielo} el calor Q_1 necesario para calentarla de -20 a 0°C es

$$\begin{aligned} Q_1 &= m_{\text{hielo}} C_{\text{hielo}} \Delta T_{\text{hielo}} \\ &= m_{\text{hielo}} (2.0 \cdot 10^3 \text{ J/KgK})(0^\circ\text{C} - (-20^\circ\text{C})) \\ &= m_{\text{hielo}} (4.0 \cdot 10^4 \text{ J/Kg}) \end{aligned}$$

Aplicando la ecuación del cambio de fase, el calor adicional Q_2 necesario para fundir esta masa de hielo es la masa multiplicada por el calor de fusión.

Usando la tabla de calores de fusión y cambios de fase, obtenemos

$$\begin{aligned} Q_2 &= m_{\text{hielo}} L_f \\ &= m_{\text{hielo}} (3.34 \cdot 10^5 \text{ J/Kg}) \end{aligned}$$

La suma de estas tres cantidades debe ser 0:

$$\begin{aligned} Q_{\text{omni}} + Q_1 + Q_2 &= -26,000 \text{ J} + m_{\text{hielo}} (40,000 \text{ J/Kg}) \\ &+ m_{\text{hielo}} (334,000 \text{ J/Kg}) = 0 \end{aligned}$$

Despejando m_{hielo} obtenemos $m_{\text{hielo}} = 0.070 \text{ Kg} = 70 \text{ g}$ (3 o 4 cubitos de tamaño mediano)

Ejemplo 3

¿Qué cocinas? Una olla gruesa de cobre de 2.0 Kg (incluida su etapa) está a 150°C Ud. Vierte en ella 0.10 Kg de agua a 25°C y rápidamente tapa la olla para que no se pueda escapar el vapor. Calcule la temperatura final de la olla y de su contenido y determine la fase (líquido o gas) del agua. Suponga que no se pierde calor al entorno.

Solución

Hay tres posibles situaciones finales

- 1) nada del agua hierve y la temperatura final es menor que 100°C
- 2) Parte del agua hierve, dando 0.10 kg de vapor a 100°C . o más.

El caso más sencillo de calcular es el (1) así que probemos eso primero. Sea T la temperatura final común del agua líquida y la olla. Como suponemos que no hay cambios de fase, la suma de las cantidades de calor añadidas a los dos materiales es:

$$\begin{aligned} Q_{\text{agua}} + Q_{\text{cobre}} &= m_{\text{agua}} C_{\text{agua}} (T - 25^{\circ}\text{C}) + m_{\text{cobre}} C_{\text{cobre}} (T - 150^{\circ}\text{C}) \\ &= (0.10 \text{ kg})(4190 \text{ J/Kg K})(T - 25^{\circ}\text{C}) + (2.0 \text{ kg})(390 \text{ J/Kg K})(T - 150^{\circ}\text{C}) \\ &= 0 \end{aligned}$$

Despejando T, obtenemos $T = 106^{\circ}\text{C}$. Pero esto rebasa el punto de ebullición del agua, contradiciendo nuestro supuesto de que nada de agua hierve. Por tanto, el supuesto no puede ser correcto; al menos un poco de agua cambia de fase.

Si probamos la posibilidad (2) de que la temperatura final es 100°C debemos calcular la fracción de agua X que se evapora.

La cantidad de calor (positiva) necesaria para vaporizar esta agua ($X m_{\text{agua}} L_v$). Si hacemos la temperatura final $T = 100^{\circ}\text{C}$ tenemos

$$\begin{aligned} Q_{\text{agua}} &= m_{\text{agua}} C_{\text{agua}} (100^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}) + x m_{\text{agua}} L_f \\ &= (0.10 \text{ kg})(4190 \text{ J/Kg K})(75\text{K}) + x(0.10 \text{ kg})(2.256 \cdot 10^6 \text{ J/Kg}) \\ &= 3.14 \cdot 10^4 \text{ J} + X(2.256 \cdot 10^5 \text{ J}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{cobre}} &= m_{\text{cobre}} C_{\text{cobre}} (100^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}) \\ &= (2.0 \text{ kg})(390 \text{ J/Kg K})(-50\text{K}) = -3.90 \cdot 10^4 \text{ J} \end{aligned}$$

El requisito de que la suma de todas las cantidades de calor sea de entonces

$$\begin{aligned} Q_{\text{agua}} + Q_{\text{cobre}} &= 3.14 \cdot 10^4 \text{ J} + x(2.256 \cdot 10^5 \text{ J}) - 3.90 \cdot 10^4 \text{ J} = 0 \\ X &= \frac{3.90 \cdot 10^4 \text{ J} - 3.14 \cdot 10^4 \text{ J}}{2.256 \cdot 10^5 \text{ J}} = 0.034 \end{aligned}$$

Esto es razonable y concluimos que la temperatura final del agua y del cobre es 100°C . De los 0.10 Kg de agua original (0.10Kg), $0.034(0.10 \text{ kg}) = 0.0034 \text{ kg} = 3.4 \text{ g}$ se convirtió en vapor a 100°C

Si X hubiera resultado mayor que 1, habríamos tenido otra contradicción (la fracción de agua que se evaporó no puede ser mayor que 1). En este caso la descripción correcta habría sido la tercera probabilidad: toda el agua se habría

evaporado y la temperatura final habría sido mayor que 100°C ¿Puede Ud. Demostrar que esto es lo que habría sucedido si hubiéramos vertido menos de 15 g de agua a 25°C en la olla?

Ejemplo 4

Combustión, cambio de temperatura y cambio de fase En una cierta estufa de gasolina para camping, 30% de la energía liberada al quemar el combustible calienta de la olla en la estufa. Si calentamos 0.25 Kg de ella ¿Cuanta gasolina habremos quemado?

Solución El calor requerido para elevar la temperatura del agua de 20°C a 100° C es :

$$Q_1 = mc\Delta T = (1.00\text{kg})(4190\text{J/kg K})(80\text{K})$$
$$= 3.35 \cdot 10^5 \text{ J}$$

La energía total requerida es la suma $8.99 \cdot 10^5 \text{ J}$. Esto es sólo 0.30 del calor total de combustión, así que la energía es $(8.99 \cdot 10^5 \text{ J}) / 0.30 = 3.00 \cdot 10^6 \text{ J}$. Como dijimos antes, 1 g de gasolina libera 46000 J, así que la masa de gasolina requerida es :

$$\frac{3.00 \cdot 10^6}{46000 \text{ J/g}} = 65 \text{ g}$$

O un volumen de cerca de 0.09 L de gasolina.

MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Hemos hablado de conductores y aislantes, materiales que permiten o impiden la transferencia de calor entre los cuerpos. Veamos ahora más a fondo la razón de transferencia de energía, En la cocina usamos una olla de aluminio para tener buena y transferencia de calor de la estufa a lo que cocinamos, pero el refrigerador está aislado con un material que evita que fluya calor hacia la comida que esta en el interior. ¿Cómo describimos la diferencia entre estos materiales?

Los tres mecanismos de transferencia de calor son conducción, convección y radiación. Ocurre conducción dentro de un cuerpo o entre dos cuerpos en

contacto. La convección depende del movimiento de una masa de una región del espacio a otra.

La radiación es transferencia de calor por radiación electromagnética, como la luz del sol, sin que tenga que haber materia en el espacio entre los cuerpos.

Conducción

Si sujetamos el extremo de una varilla de cobre y colocamos el otro en una llama, el extremo que sostenemos se calienta cada vez más, aunque o está en contacto directo con la llama. El calor llega al extremo más frío por conducción a través del material. A nivel atómico, los átomos de las regiones más calientes tienen en promedio más energía cinética que sus vecinos más fríos, así que los empujan y les dan algo de su energía. Los vecinos empujan a sus vecinos, continuando así a través del material. Los átomos en sí no se mueven de una región del material a otra, pero su energía sí.

La mayor parte de los metales usan otro mecanismo más efectivo para conducir calor. Dentro del metal, algunos electrones pueden abandonar sus átomos padres y vagar por la red cristalina. Estos electrones “libres” pueden llevar energía rápidamente de las regiones más calientes del metal a las más frías; es por ello que los metales generalmente son buenos conductores del calor. Una varilla metálica a 20°C se siente más fría que un trozo de madera a 29°C porque el calor puede fluir más fácilmente de la mano al metal. La presencia de electrones “libres” también hace que los metales en general sean buenos conductores eléctricos. El flujo siempre es de la temperatura más alta a la más baja.

En la figura se muestra una varilla de área transversal A y longitud L . El extremo izquierdo mantiene una temperatura T_h , y el derecho una temperatura menor T_c , así que fluye calor de izquierda a derecha. Los costados de la varilla están cubiertos con un aislante ideal, así que no hay transferencia de calor por los lados.

Si se transfiere una cantidad de calor dQ por la varilla en un tiempo dt , la razón de flujo de calor es dQ/dt y la llamamos corriente de calor, denotada por H . Es decir, $H = dQ/dt$. Se observa experimentalmente que la corriente de calor es proporcional al área transversal A de la varilla L . Introduciendo una constante de proporcionalidad llamada conductividad térmica del material, tenemos

$$H = \frac{dQ}{dt} = kA \frac{T_h - T_c}{L} \quad (\text{corriente de calor en conducción})$$

La cantidad $(T_h - T_c)/L$ es la diferencia de temperatura por unidad de longitud, llamada gradiente de temperatura. El valor numérico de k depende del material. Los

materiales con k grande son buenos conductores de calor; aquellos con k pequeña son malos conductores o aislantes. La ecuación también da la corriente de calor a través de una plancha o a través de cualquier cuerpo homogéneo con área transversal A uniforme y perpendicular a la dirección de flujo; L es la longitud del camino de flujo del calor.

Las unidades de coeficiente de calor H son unidades de energía por tiempo, o potencia; la unidad de corriente de calor en SI es un watt ($1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$). Podemos determinar despejándola de la ecuación.

La conductividad del aire “muerto” (inmóvil) es muy baja. Un suéter de lana nos mantiene calientes porque atrapa aire entre las fibras. De hecho muchos materiales aislantes, como la espuma de poliestireno y la fibra de vidrio son en su mayor parte aire muerto.

Si la temperatura varía de manera no uniforme a lo largo de la varilla conductora introducimos una coordenada x a lo largo de la varilla y generalizamos el gradiente de temperatura como dT/dx . La generalización correspondiente a la ecuación es

$$H = \frac{dQ}{dt} = -kA \frac{dT}{dx}$$

El signo negativo indica que el calor siempre fluye en la dirección de temperatura decreciente.

Para el aislamiento térmico de edificios, los ingenieros usan el concepto de resistencia térmica, denotada con R . La resistencia térmica de una plancha de material con área A se define de modo que la corriente de calor H por la placa es

$$H = \frac{A(T_H - T_C)}{R}$$

Donde T_H y T_C son las temperaturas a los dos lados de la placa. Comparando esto con la ecuación vemos que R está dada por

$$R = \frac{L}{k}$$

Donde L es el espesor de la plancha. La unidad de R en el SI es $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$. En las unidades empleadas para materiales aislantes comerciales en EE.UU., H se da en Btu/h , A en ft^2 , y $T_H - T_C$ en $^\circ\text{F}$. ($1 \text{ Btu/h} = 0.293 \text{ W}$) las unidades de R son $\text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \cdot \text{h/Btu}$, aunque los valores de R suelen citarse sin unidades, una capa de 6 in de espesor de fibra de vidrio tiene un valor de R de 19 (ósea, $19 \text{ ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \cdot \text{h/Btu}$), una placa de 2 pulgadas de espuma de poliuretano tiene un valor de 12, etc. Al duplicarse el espesor se duplica el valor de R . En climas nórdicos severos es práctica común en construcciones nuevas especificar valores

de R de cerca de 30 para paredes y techos exteriores. Si el material aislante esta en capas, como en una pared enyesada con aislante de fibra de vidrio y vista exterior de madera, los valores de R son aditivos.

ESTRATEGIAS PARA RESOLVER PROBLEMAS

Conducción del calor

1- Identifique la dirección del flujo de calor (de caliente a frio), L siempre se mide en esta dirección y A siempre es perpendicular a ella. Cuando de una caja u otro recipiente tiene una forma irregular pero de espesor de paredes uniformes, a menudo puede aproximarse como una plancha plana con el mismo espesor y el área total de las paredes.

2-En algunos problemas por dos materiales distintos en sucesión. La temperatura en la interface de los materiales es intermedia entre T_h y T_c ; representada como T. Las diferencias de temperatura para los dos materiales son entonces $(T_h - T)$ Y $(T - T_c)$. En flujo de calor en estado estacionario, el mismo calor debe pasar por ambos materiales en sucesión, así que la corriente de calor H debe ser la misma en ambos; es como un circuito eléctrico en serie.

3- Si hay dos caminos de flujo de calor paralelos, y fluye calor por ambos, H total es la suma de las cantidades H' y H'' Para los dos caminos. Un ejemplo es el flujo de calor que sale de una casa tanto por el cristal de una ventana tanto por su marco. En este caso la diferencia de temperatura es la misma para ambos caminos, pero L, A y k pueden ser diferentes; es como un circuito eléctrico en paralelo.

4- Como siempre es vital usar unidades coherentes. Si usa k en $W/m \cdot K$ ¡No use distancia en cm, calor en calorías, ni T en $^{\circ}F$!

Conducción a través de una nevera

Una caja de espuma de poliuretano para mantener frías las bebidas tiene un área de pared total (incluida la tapa) $0,80m^2$ y un espesor de pared 2.0 cm, y esta llena con hielo, agua y latas de Omni- Cola a $0^{\circ}C$. Calcule la razón flujo de calor hacia el interior si la temperatura exterior es $30^{\circ}C$ ¿Cuanto hielo se derrite en un día?

Solución: Suponemos que el flujo total de calor es el que habría a través de una plancha plana de $0.80 m^2$ de área y $2 cm=0.020 m$ de espesor. Obtenemos k de la tabla

correspondiente, entonces la corriente de calor es:

$$H = kA \frac{T_h - T_c}{L} = \left(0.010 \frac{\text{W}}{\text{m}} \cdot \text{K} \right) (0.80 \text{ m}^2) \frac{30^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}}{0.020 \text{ m}}$$

$$= 12 \text{ W} = 12 \text{ J/S}$$

El flujo total de calor Q en un día (86400s) es

$$Q = Ht = (12 \text{ J/s}) (86,400 \text{ s}) = 1.04 \times 10^6 \text{ J.}$$

El calor de fusión del hielo es $3.34 \times 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$, así que la cantidad de hielo fundida por ese calor es

$$m = \frac{Q}{L_f}$$

$$= \frac{1.04 \times 10^6}{3.34 \times 10^5} \text{ J} / \frac{\text{J}}{\text{KG}} = 3.1 \text{ Kg.}$$

Ejemplo

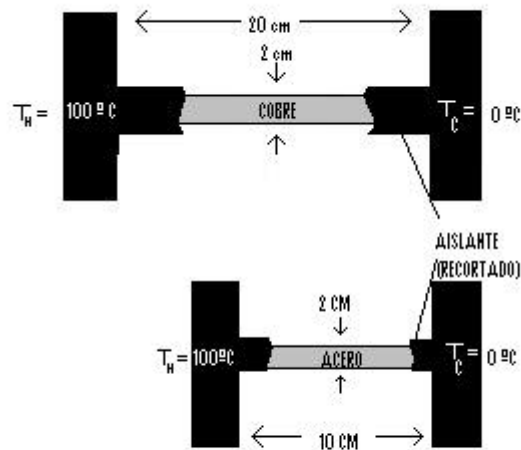
Una barra de acero de 10.0 cm de largo se suelda a un extremo de otra de cobre de 20.0 cm de largo. Ambas están perfectamente aisladas por sus costados. Las barras tienen la misma sección transversal cuadrada de 2.00cm por lado. El extremo libre de la barra de acero se mantiene a 100°C colocándolo en contacto con vapor de agua, y el de la barra de cobre se mantiene a 0°C colocándolo en contacto con hielo.

Calcule la temperatura en la unión de las dos barras y la razón de flujo de calor total.

Solución: Las corrientes de calor en las dos barras deben ser iguales; esta es la clave para la solución. Sea T la temperatura desconocida en la unión; igualamos las dos expresiones:

$$H_{\text{acero}} = \frac{k_{\text{acero}} A (100^\circ\text{C} - T)}{L_{\text{acero}}} = H_{\text{cobre}} = \frac{k_{\text{cobre}} A (T - 0^\circ\text{C})}{L_{\text{cobre}}}$$

En el ejemplo 15-14, suponga que las dos barras se separan. Un extremo de cada una se mantiene a 100°C , y el otro, a 0°C (Fig). Determine la razón total del flujo de calor en las dos barras.



15-17 Flujo de calor a lo largo de dos barras de metal, una de acero y otra de cobre, paralelas y separadas.

Solución: En este caso las barras están en paralelas, no en serie. La corriente de calor total ahora es la suma de las corrientes en las dos barras, y para cada una $T_H - T_C = 100^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C} = 100\text{ K}$:

$$\begin{aligned}
 H &= H_{\text{ACERO}} + H_{\text{COBRE}} = \frac{K_{\text{acero}} A (T_H - T_C)}{L_{\text{cobre}}} + \frac{K_{\text{acero}} A (T_H - T_C)}{L_{\text{cobre}}} \\
 &= \frac{\left(50.2 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}\right) (0.0200 \text{ m})^2 (100 \text{ K})}{0.100 \text{ m}} + \frac{\left(385 \frac{\text{W}}{\text{M} \cdot \text{K}}\right) (0.0200 \text{ M})^2 (100 \text{ K})}{0.200 \text{ M}} \\
 &= 20.1 \text{ W} + 77 \text{ W} = 97.1 \text{ W}
 \end{aligned}$$

El flujo de calor en la barra de cobre es mucho mayor que en la de acero, a pesar de ser más larga, porque la conductividad térmica del cobre es mucho mayor. El flujo de calor total es mucho mayor. El flujo de calor total es mucho mayor en el ejemplo 15-14, en parte porque la sección transversal total para el flujo es mayor y en parte porque existe el gradiente completo de 100K a través de cada barra.

Convección:

La convección es transferencia de calor por movimiento de una masa de un fluido, de una región, del espacio a otra. Como ejemplos conocidos están los sistemas de calefacción domésticos de aire caliente y de agua caliente, el sistema de refrigeración de un motor de coche y el flujo de sangre en el cuerpo. Si el fluido circula impulsado por un ventilador o una bomba, el proceso se llama convección forzada; si el flujo se debe a diferencia de densidad causada por expansión térmica, como el ascenso de aire caliente, en proceso se llama convección natural o libre.

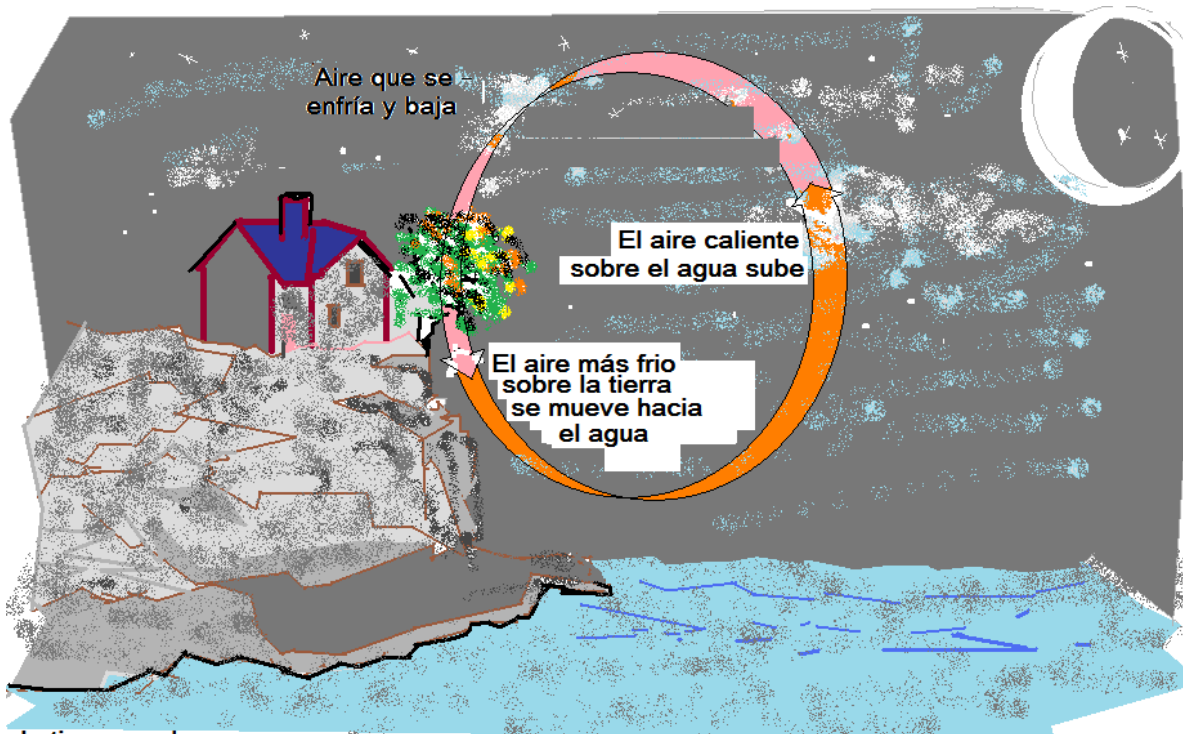
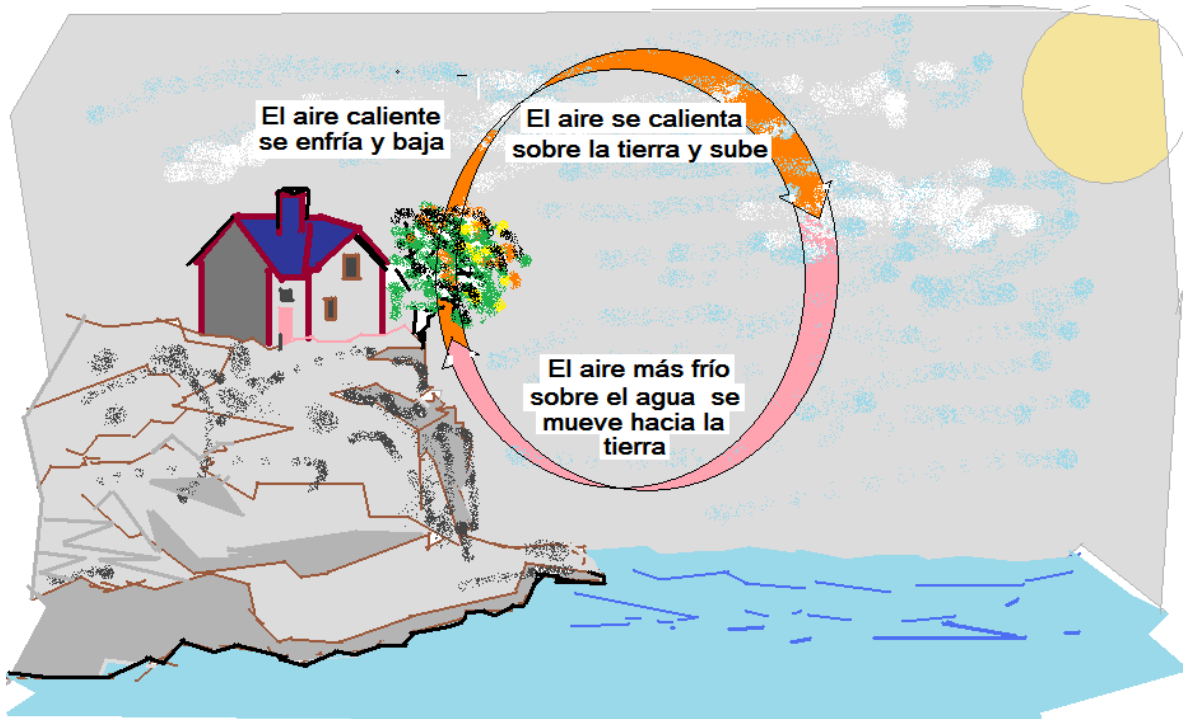
La convección libre en la atmósfera desempeña un papel dominante en el micro clima (15-18), y la convección en los océanos es un importante mecanismo de transferencia de calor global. A una escala menor los halcones que se ciernen y los pilotos de planeadores aprovechan las corrientes térmicas que suben del suelo caliente. A veces estas corrientes son lo bastante fuertes como para formar una tormenta (15-19). El mecanismo de transferencia de calor más importante dentro del cuerpo humano (necesario para mantener una temperatura casi constante en diversos entornos) es la convección forzada de sangre, bombeada por el corazón.

La transferencia de calor convectiva es un proceso muy complejo y no puede describirse con una ecuación simple, he aquí algunos hechos experimentales:

1- La corriente de calor causada por convección es directamente proporcional al área superficial. Esto explica las áreas superficiales grandes de los radiadores y las aletas de enfriamiento.

2- La viscosidad de los fluidos frenan la convección natural cerca de una superficie estacionaria, formando una película superficial que sobre una superficie vertical suele tener el mismo valor aislante de 1,3 cm de madera terciada ($R= 0.7$) La convección forzada reduce el espesor de esta película, aumentando la razón de transferencia de calor. Esto explica el “factor de congelación”; nos enfriamos más rápidamente en un viento frío que en un aire tranquilo a la misma temperatura.

3- la corriente de calor causada por convección es aproximadamente proporcional a la potencia $5/4$ de la diferencia de temperatura entre la superficie y el grueso del fluido.



Radiación:

La transferencia de calor por la radiación depende de ondas electromagnéticas como la luz visible, el infrarrojo y la radiación ultravioleta. Todos hemos sentido el calor de la radiación y el intenso calor de un asador o las brasas de una chimenea. El calor de estos cuerpos tan calientes nos llega no por conducción ni convección en el aire intermedio, sino por radiación. Esta transferencia de calor ocurriría aunque sólo hubiera un vacío entre nosotros y la fuente de calor.

Todo cuerpo, aun a temperaturas ordinarias, emite energía en forma de radiación electromagnética. A temperaturas ordinarias, digamos 20°C, casi toda la energía se transporta en ondas de infrarrojo de con longitudes de onda mucho mayores que las de la luz visible. Al aumentar la temperatura, las longitudes de onda se desplazan hacia valores mucho más cortos. A 800°C un cuerpo emite suficiente radiación visible como para verse “al rojo vivo”, aunque aun a esta temperatura de un filamento de bombilla incandescente, la radiación contiene suficiente luz visible para que el cuerpo se vea “incandescente”.

La razón de radiación de energía de una superficie es proporcional a su área A, y aumenta rápidamente con la temperatura, según la 4a. Potencia de la temperatura absoluta (Kelvin). La razón también depende de la naturaleza de la superficie; esta dependencia se describe con una cantidad ϵ llamada **emisividad**: es un número adimensional entre 0 y 1 que representa la relación entre la razón de radiación de una superficie dada y la de un área igual de una superficie radiante ideal a la misma temperatura. La emisividad también depende un poco de la temperatura. Así, la corriente de calor $H = dQ/dt$ debida a la radiación de un área A con emisividad ϵ a la temperatura absoluta T se puede expresar como:

$$H = A\epsilon\sigma T^4 \text{ (corriente de calor en radiación),}$$

Donde σ es una constante física fundamental llamada **constante de Stefan-Boltzmann**. Esta relación se llama **ley de Stefan-Boltzmann** en honor de sus descubridores de fines del siglo XIX. El mejor valor numérico actual de σ es:

$$\sigma = 5.67051 (19) \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

Verifique la coherencia de unidades de la Ec. (15-25). La emisividad ϵ suele ser mayor para superficies oscuras que claras. La emisividad de una superficie de cobre lisa es de 0.3, pero ϵ para una superficie negro paca puede ser cercana a la unidad.

Ejemplo :

Una placa de acero delgada cuadrada, de 10 cm. por lado, se calienta en una forja de herrero a 800°C. Si su emisividad es de 0.60, calcule la razón total de radiación de energía.

SOLUCIÓN El área total, incluidos ambos lados, es de $2(0.10\text{m})^2 = 0.020 \text{ m}^2$. Debemos convertir la temperatura a K; $800^\circ\text{C} = 1073\text{K}$. La Ec (15-25) da

$$\begin{aligned} H &= A\epsilon\sigma T^4 \\ &= (0.020 \text{ m}^2)(0.60)(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4)(1073\text{k})^4 \\ &= 900 \text{ W.} \end{aligned}$$

Si bien un cuerpo a temperatura T está radiando, su entorno a temperatura T_s también lo hace, y el cuerpo *absorbe* parte de esta radiación. Si el cuerpo está en equilibrio térmico con su entorno, $T = T_s$ y la razón de radiación y de absorción deben ser iguales. Para ello, la razón de absorción debe estar dada en general por $H = A\epsilon\sigma T_s^4$. La razón *neta* de radiación de un cuerpo a temperatura T con un entorno a temperatura T^* es entonces

$$H_{\text{neta}} = A\epsilon\sigma T^4 - A\epsilon\sigma T_s^4 = A\epsilon\sigma (T^4 - T_s^4)$$

En esta ecuación una H positiva implica *salida* neta de calor del cuerpo. La Ecuación general Indica que para la radiación, igual que para la conducción y la convección, la corriente de calor depende de la *diferencia* de temperatura entre dos cuerpos.

Ejemplo :

Radiación del cuerpo humano Si el área superficial total del cuerpo humano es de 1.2 m^2 y la temperatura superficial es de $30^\circ\text{C} = 303 \text{ K}$, calcule la razón total de radiación de energía del cuerpo. Si el entorno está a 20°C , calcule la razón de pérdida *neta* de calor del cuerpo por radiación. La emisividad del cuerpo es muy cercana a la unidad, sea cual sea la pigmentación de la piel.

SOLUCIÓN La razón de radiación de energía por unidad de área está dada por la Ec (15-25) Con $\epsilon = 1$, tenemos

$$\begin{aligned} H &= A\epsilon\sigma T^4 \\ &= (1.2 \text{ m}^2) (1)(5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4) (303 \text{ K})^4 \\ &= 574 \text{ W.} \end{aligned}$$

Esta pérdida se compensa en parte por *absorción* de radiación, que depende de la temperatura del entorno. La razón *net*a de transferencia de energía por radiación está dada por la Ec (15-26)

$$\begin{aligned} H &= A\epsilon\sigma (T^4 - T_s^4) \\ &= (1.2 \text{ m}^2) (1) (5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4) [(303 \text{ K})^4 - (293 \text{ K})^4] \\ &= 72 \text{ W.} \end{aligned}$$

Ésta es positiva porque el cuerpo cede calor a un entorno más frío.

La transferencia de calor por radiación es importante en algunos lugares sorprendentes. Un bebé prematuro en una incubadora se puede enfriar peligrosamente por radiación si las paredes de la incubadora están frías, aunque el *aire* de la incubadora esté tibio. Algunas incubadoras regulan la temperatura del aire midiendo la temperatura de la piel del bebé.

Un cuerpo que es buen absorbente debe ser un buen emisor. Un radiador ideal, con emisividad de 1, también es un absorbente ideal, absorbiendo *toda* la radiación que incide sobre él. Tal superficie ideal se denomina cuerpo negro ideal o simplemente **cuerpo negro**. En cambio, un *reflector* ideal, que *no* absorbe radiación, también es un radiador muy poco efectivo.

Éste es el motivo del recubrimiento plateado de las botellas de vacío (“Termos”) inventadas por Sir James Dewar (1842 -1923). Estas botellas tienen pared de vidrio doble, y se extrae el aire del espacio entre las paredes; esto elimina casi toda la transferencia de calor por conducción y convección. El plateado de las paredes refleja casi toda la radiación del contenido de vuelta al recipiente, y la pared en sí es un mal emisor. Así, la botella puede mantener café caliente durante varias horas. El frasco Dewar, empleado para almacenar gases licuados muy fríos, es idéntico en principio.

Circuitos integrados

Estudio de caso sobre transferencia de calor

Los circuitos integrados (IC) y los chips VLSI (integración a muy gran escala) son el corazón de casi todos los dispositivos electrónicos modernos, incluidos computadoras, sistemas estereofónicos y los sistemas de inyección de combustible de los coches. El uso tan extendido de estos dispositivos ha planteado nuevos e interesantes problemas de transferencia de calor. Parte de la energía eléctrica asociada a la corriente en un chip se disipa en el chip como calor; si el chip se calienta mucho, los circuitos pierden fiabilidad o se destruyen. Es crucial mantener fríos los chips en funcionamiento.

Para plantear el problema, pensemos en lo que sucede cuando encendemos una bombilla. Se disipa energía eléctrica como calor en el filamento; la bombilla se calienta hasta la temperatura en la que la razón de transferencia de energía de la bombilla a su entorno (por radiación, por conducción y convección al aire circundante) equilibra la razón de aporte de energía eléctrica. Una bombilla de 60 W común tiene una potencia de entrada de 60 W y un área superficial de unos 120 cm². En equilibrio, su pérdida de potencia al entorno por unidad de área superficial es $(60 \text{ W}) / (120 \text{ cm}^2) = 0.5 \text{ W/cm}^2$. Si tocamos una bombilla que ha estado encendida varios minutos, podríamos quemarnos los dedos porque la pérdida de potencia de la bombilla es hacia nuestra piel.

Consideremos ahora los valores de disipación de potencia *mucho mayores* que ocurren en microelectrónica. Muchos miles de elementos electrónicos están abigarrados en un chip de silicio de unos cuantos milímetros de lado. Las densidades de potencia de los chips VLSI actuales llegan a 40 W/cm². En comparación, las placas de cerámica que protegen el transbordador espacial cuando regresa a la atmósfera normalmente deben disipar 100 W/cm².

Para un chip de IC en un encapsulado plástico, la máxima temperatura segura es de cerca de 100°C. Un chip en un encapsulado cerámico puede operar de forma fiable hasta 120°C. Para ver si la temperatura de un chip en operación está dentro de los límites, usamos el mismo principio que en una bombilla: potencia de entrada = potencia de salida. La potencia de salida H (razón de transferencia de calor desde el chip) es aproximadamente proporcional a la diferencia $T_{ic} - T_{amb}$ entre la temperatura T_{ic} del chip y la temperatura ambiente T_{amb} (temperatura del entorno). Usando una constante de proporcionalidad que depende del tamaño y forma del IC, expresamos la razón de pérdida de calor como:

$$H = \frac{T_{ic} - T_{amb}}{r_{th}}$$

r_{th}

Observe que r_{th} es lo mismo que R/A en la Ec (15-30). Cuando el IC alcanza su temperatura de operación final, la razón de pérdida de calor debe ser igual a la potencia eléctrica P disipada en el dispositivo. Igualando H y P despejando T_{ic}

$$T_{ic} = T_{amb} + r_{th} P$$

Los valores de r_{th} para IC comunes en aire tranquilo varían entre 30 y 70 K/W. Por ejemplo, un watt de potencia eléctrica ($P = 1W$) suministra a un IC de 40 patas en plástico elevará su temperatura unos $62^{\circ}C = 62 K$ por encima de la temperatura del aire circundante. Para esta unidad, $r_{th} = 62 K/W$.

Ejemplo :

Un encapsulado cerámico de 40 patas tiene $r_{th} = 40 K/W$. Si la temperatura máxima segura para el circuito es de $120^{\circ} C$, ¿A qué nivel de potencia máxima puede operar el IC sin peligro a una temperatura ambiente de $75^{\circ}C$?

Solución Usamos la Ec(15-27), sustituyendo H por P

$$P = \frac{T_{ic} - T_{amb}}{r_{th}}$$

r_{th}

$$= \frac{120^{\circ}C - 75^{\circ}C}{40} = 1.1 W$$

40 K/W

Este nivel de potencia es suficiente en muchas aplicaciones de IC típicas, pero los chips empleados en computadoras de alta velocidad a menudo requieren niveles de potencia mucho mayores.

A fin de eliminar calor del chip con mayor eficiencia, podemos forzar el paso de aire por el circuito, mejorando la transferencia de calor por convección. Si soplamos aire por el sistema a unos $120 m^3 / min$. podemos reducir el valor efectivo de r_{th} para el chip y el paquete de 10 a 15 K/W . Esto mejora, pero en muchos casos no es suficiente enfriamiento para un IC de alto rendimiento.

Un método de enfriamiento que se está investigando es la inmersión directa del encapsulado del IC en un fluido fluorocarbonado. Estos fluidos son aislantes eléctricos y químicamente inertes, así que son compatibles con la operación de componentes electrónicos. Sus propiedades de transporte térmico no son muy favorables por su baja conductividad térmica y calor de vaporización. A fin de mejorar la transferencia de calor en estos fluidos, se han probado la convección forzada, la modificación estructural de los encapsulados y la ebullición.

En la convección forzada, se cortan canales microscópicos (50** de ancho y 300 ** de profundidad) en el dorso de la base de silicio del chip. Experimentos con agua (no apropiada para enfriar un IC real) han logrado transferencias de calor hasta 790 W/cm² de área superficial.

La adición de aletas a la forma cilíndrica básica de un encapsulado de IC puede aumentar el área superficial calentada del encapsulado en un factor de 8 a 12. Esto aumenta la transferencia de calor por convección, conducción y radiación reduciendo el r_{th} efectivo hasta en un factor de 20.

Se han obtenido flujos de calor de hasta 45 W/cm² permitiendo que hierva el líquido de enfriamiento, de modo que en la transferencia de calor por convección intervengan líquido y vapor al mismo tiempo. Sin embargo, la caída brusca de temperatura en la superficie del encapsulado al comenzar la ebullición somete al encapsulado a esfuerzos térmicos. Se está tratando de mejorar el diseño de los encapsulados a fin de minimizar este problema.

El encapsulamiento de chips se ha convertido en un arte y una ciencia. La disposición cuidadosa de los componentes electrónicos en el circuito puede minimizar la resistencia térmica global del chip, facilitando la disipación del calor generado. Se está trabajando mucho en el desarrollo de nuevos encapsulamientos, así que en los próximos años habrá cambios rápidos en las limitaciones de calor de la tecnología de IC.

Resumen:

- Un termómetro mide la temperatura. Dos cuerpos en equilibrio térmico deben tener la misma temperatura. Un material conductor entre dos cuerpos permite una interacción que conduce al equilibrio térmico; un material aislante evita o impida esta interacción.
- Las escalas de temperatura Celsius y Fahrenheit se basan en la temperatura de congelación (0°C = 32°F) y de ebullición (100°C = 212°F) del agua, y están relacionadas por

$$T_F = \frac{9}{5} T_C + 32^\circ$$

$$T_C = \frac{5}{9} (T_F - 32^\circ)$$

- La escala Kelvin tiene su 0 en la temperatura extrapolada de presión 0 para un termómetro de gas de volumen constante, que es -273.15°C . Así, $0\text{ K} = -273.15^\circ\text{C}$, y

$$T_K = T_C + 273.15$$

En la escala de un termómetro de gas, el cociente de dos temperaturas es igual por definición al cociente de las dos presiones correspondientes:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2}{P_1}$$

La temperatura del punto triple del agua (0.01°C) se define como 273.16 K

- Ante un cambio de temperatura ΔT , toda dimensión lineal L_0 de un cuerpo sólido cambia de una cantidad ΔL , dada aproximadamente por

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

Donde α es el coeficiente de expansión lineal. Ante un cambio de temperatura ΔT ,

el cambio ΔV en el volumen V_0 de cualquier material líquido o sólido está dado

aproximadamente por

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

Donde β es el coeficiente de expansión de volumen. En sólidos, $\beta = 3\alpha$

- Si un material se enfría sujetándolo de modo que no pueda contraerse, el esfuerzo de tensión F/A está dado por

$$\frac{F}{A} = -Y \alpha \Delta T$$

- El calor es energía en tránsito de un cuerpo a otro a causa de una diferencia de temperatura. La cantidad de calor Q necesaria para elevar la temperatura de una masa m de material en una cantidad pequeña ΔT es

$$Q = mc \Delta T$$

Donde c es la capacidad calorífica del material. Si la cantidad de un material esta dada por el número de moles n , la relación correspondiente es

$$Q = nC \Delta T$$

Donde $C = Mc$ es la capacidad calorífica molar (M es la masa molecular). El numero de moles n y la masa m del material están relacionados por $m = nM$

- Las capacidades caloríficas de muchos elementos sólidos son aproximadamente $J/mol \cdot K$; esta es la regla de Dulong y Petit.
- Para que una masa m de material cambie de fase a la misma temperatura (como de líquido a vapor o de líquido a sólido) hay que agregarle o quitarle una cantidad de calor Q dada por

$$Q = \pm mL \quad \text{donde } L \text{ es el calor de fusión, vaporización o sublimación.}$$

- Si se agrega calor a un cuerpo, Q es positivo, si se le quita Q es negativo. El principio básico de la calorimetría es la conservación de la energía. En un sistema aislado cuyas partes interactúan intercambiando calor, la suma algebraica de los Q para todas las partes del sistema debe ser 0.
- Los mecanismos de transferencia de calor son conducción, convección y radiación. Conducción es la transferencia de energía del movimiento molecular dentro de un material sin movimiento de volúmenes del material. La convección implica movimiento de masa de una región a otra, y la radiación es la transferencia de energía por radiación electromagnética.
- La corriente de calor H en conducción depende del área A por la que fluye el calor, la longitud L del camino del calor, la diferencia de temperatura ($T_H - T_C$) y la conductividad térmica K del material:

$$H = \frac{dQ}{dt} = kA \frac{T_H - T_C}{L}$$

- La transferencia de calor por convección es un proceso complejo que depende del área superficial, la orientación y la diferencia de temperatura de un cuerpo y su entorno.
- La corriente de calor H causada por radiación esta dada por

$$H = Ae\sigma T^4$$

Donde A es el área superficial, e es la emisividad de la superficie (un número puro entre 0 y 1), T es la temperatura absoluta y σ una constante fundamental llamada constante de Stefan-Boltzman. Si un cuerpo a temperatura T está rodeado por material a temperatura T_s , la corriente de c

$$H_{\text{neto}} = Ae\sigma T^4 - Ae\sigma T_s^4 = Ae\sigma (T^4 - T_s^4)$$

Preguntas para análisis:

- 1.- ¿tiene sentido decir que un cuerpo esta dos veces mas caliente que otro?.Explique
- 2.-Si se coloca un termómetro directamente al sol. ¿Mide la temperatura del aire , del sol o de otra cosa?. Explique
- 3.-¿Qué temperatura tiene el vacio?.Explique
- 4.-Si se calienta un bloque con un agujero. ¿Por qué el material que rodea el agujero no se expande hacia el haciéndolo mas pequeño?
- 5.-Muchos motores de coches tienen cilindros de hierro colado y pistones de aluminio. ¿Qué tipo de problemas pueden ocurrir si el motor se sobrecalienta?
- 6.- los espejos de telescopio deben conservar su forma precisa para producir imágenes enfocadas. Explique por que esto obliga a hacer los espejos de los telescopios grandes no de vidrios sino de materiales similares a el con coeficientes de expansión térmica muy bajos.

Problemas de aplicación.

- 1.- Una bandeja de hielo con masa insignificante contiene 0,450 kg de agua a 22°C . ¿Cuánto calor en Joules debe extraerse para enfriar el agua a 0°C y congelarla?

2.- ¿Cuánto calor en Joules se requiere para convertir 8gr de hielo a -15°C en vapor a 100°C ?

3.- Quemaduras por vapor vs quemaduras por agua.

Diga cuanto calor entra en su piel si recibe el calor liberado por:

3.1.-20gr de vapor de agua inicialmente a 100°C al enfriarse a la temperatura de la piel (34°C)

3.2.-20gr de agua inicialmente a 100°C al enfriarse a 34°C

3.2.-¿Qué le dice esto acerca de la severidad relativa de las quemaduras por vapor y por agua caliente?

4.- Que rapidez inicial debe tener una bala de plomo a 25°C para que el calor desarrollado cuando se detiene sea apenas suficiente para derretirla? Suponga que toda la energía mecánica inicial de la bala se convierte en calor y que no fluye calor de la bala a su entorno. (Un rifle ordinario tiene una rapidez de salida mayor que la rapidez del sonido en el aire, 347 m/s a 25°C)

5.- Un recipiente abierto con masa insignificante contiene 0,550 kg de hielo a -15°C . Se suministra calor al recipiente a razón constante de 800 J/min durante 500min.

5.1.- ¿en cuantos minutos comienza a fundirse el hielo?

5.2.-¿En cuantos minutos después de iniciado el calentamiento la temperatura comienza a elevarse por encima de 0°C

5.3.- Trace una curva indicando horizontalmente el tiempo transcurrido y verticalmente la temperatura.

6.- La capacidad de los acondicionadores de aire comerciales a veces se expresa en “toneladas”, las toneladas de hielo ($1\text{ton}= 2000\text{ lb}$) que la unidad puede congelar a

partir de agua a 0°C en 24 hr. Expresar la capacidad de un acondicionador de 1 ton en watt.

7.- la evaporación de sudor es un mecanismo importante para controlar la temperatura de algunos animales de sangre caliente.

7.1.- ¿Qué masa de agua debe evaporarse de la piel de una mujer de 50kg para enfriar su cuerpo en 1°C , si el calor de vaporización del agua a 37°C es de $2,42 \times 10^6$ J/kg y la capacidad calorífica del cuerpo humano es de 3480 J/kg.K.

7.2.- ¿Qué volumen de agua debe beber la mujer para reponer la que evaporó? (Compare con una lata de refresco de 355 cm³)

8.- el barco del desierto.

Los camellos necesitan poca agua porque pueden tolerar cambios relativamente grandes en su temperatura corporal. Mientras que las personas mantienen su temperatura corporal constante dentro de un intervalo de 1 a 2°C . Un camello deshidratado deja que su temperatura corporal baje a 34°C de noche y suba a 40°C de día. Para ver lo efectivo que es este mecanismo para ahorrar agua, calcule cuántos litros de agua tendría que beber un camello de 500kg si tratara de mantener su temperatura corporal en 34°C evaporando sudor durante el día, en lugar de dejar que suba a 40°C (la capacidad calorífica de un camellón u otro mamífero es la de una persona típica y el calor de vaporización del agua a 34°C es de $2,42 \times 10^6$ j/ kg)

9.- En un experimento una estudiante sumergió 100 centavos (cada uno con masa de 3 gr) en agua hirviendo . Una vez alcanzado el equilibrio térmico, ella los sacó y los puso en 0,240 kg de agua a 20°C en un recipiente aislado con masa insignificante. Calcule la temperatura final de las monedas (hechas con una aleación de zinc con capacidad calorífica de 390 J/kg.K)

10.- Una olla de cobre de 0,500kg contiene 0,170 kg de agua a 20°C. Un bloque de hierro de 0,200kg a 75°C se mete en la olla. Calcule la temperatura final suponiendo que no se cede calor al entorno.

11.- Un técnico pone una muestra de 0,075 kg de un material desconocido, que esta a 100°C, en un calorímetro cuyo recipiente, inicialmente a 19°C, esta hecho con 0,150 Kg de cobre y contiene 0,200 kg de agua. La temperatura final del calorímetro es de 22,1°C. Calcule la capacidad calorífica de la muestra.

12.- Un lingote de plata de 5kg se saca de un horno a 850°C y se coloca sobre un bloque de hielo grande a 0°C. Suponiendo que todo el calor cedido por la plata se usa para fundir el hielo ¿Cuanto hielo se funde?

13.- Calculo del tamaño de las estrellas. La superficie caliente de las estrellas emite energía en forma de radiación electromagnética. Es una buena aproximación suponer que $\epsilon=1$ para estas superficies. Calcule los radios de las siguientes estrellas (suponiéndolas esféricas)

13.1.- Betelgeuse, la estrella roja brillante de la constelación de Orión, que radia energía a razón de $3,90 \times 10^{30}$ W y tiene una temperatura superficial de 3000°K

13.2.- Sirio B (visible solo con un telescopio) que radia energía a razón de $7,28 \times 10^{23}$ W y tiene una temperatura superficial de 10000°K.

13.3.-Compare sus respuestas con el radio de la tierra.