

6.- La Energía

La energía es uno de los conceptos físicos más importantes y el término “energía” es uno de los más utilizados en nuestro lenguaje cotidiano. Sin embargo, el concepto era desconocido para Isaac Newton, y su existencia aún era tema de debate alrededor de 1850; en cambio hoy lo encontramos tanto en todas las ciencias como en casi todos los aspectos de la sociedad. Así, a pesar de que resulta difícil definirla, estamos acostumbrados a usar la palabra, por ejemplo: el Sol nos da energía en forma de luz, una persona es capaz de levantar un cuerpo debido a la energía que le proporcionan los alimentos que ingiere, los seres vivos necesitan energía para poder moverse, las rocas ruedan cuesta abajo porque tienen energía gravitacional, etc.; pero sólo es posible observar la energía cuando se *transfiere* de un lugar a otro o cuando se *transforma* de una forma a otra.

De esta manera, se mide la energía por sus efectos sobre la materia, y esto significa cambios tangibles en la condición o estado de un cuerpo material - temperatura, posición, velocidad, masa, etc. -.

A principios del siglo XIX aparece la noción nacida de la Revolución industrial, siendo sus dos principales manifestaciones, la **energía cinética**, originada por una masa en movimiento, y la **energía potencial**, que es la energía que se almacena al moverse en contra de una fuerza.

En relación con lo anterior, la energía, sin la cual no puede haber cambios está conectada de alguna forma a la fuerza, por ello en física se dice que *“la energía representa la capacidad de realizar trabajo”*, así es posible afirmar que un cuerpo posee energía cuando es capaz de realizar **trabajo**. Por ejemplo, una persona es capaz de realizar el trabajo de levantar un cuerpo debido a la *energía* que le proporcionan los alimentos que ingiere; el vapor de agua de una caldera posee *energía*, ya que es capaz de efectuar el trabajo de mover las turbinas de una planta de generación eléctrica. Por lo tanto, la energía se puede *presentar* en diversas formas, química, mecánica, térmica, eléctrica, atómica, etc. De los ejemplos anteriores, los alimentos liberan energía química en el organismo humano; el vapor de la caldera posee energía térmica y al mover las turbinas se genera energía mecánica.

A modo de síntesis se presenta una definición descriptiva que favorece la comprensión de las características que hacen de la energía una de las propiedades más importantes de la materia:

La energía es la propiedad de todo cuerpo o sistema material, en virtud de la cual éste puede transformarse, modificando su estado o situación, así como interactuar con otros originando en ellos procesos de transformación.

Para dar una idea integrada que destaque la importancia de la energía en la realización de procesos se plantea un esquema que contiene los

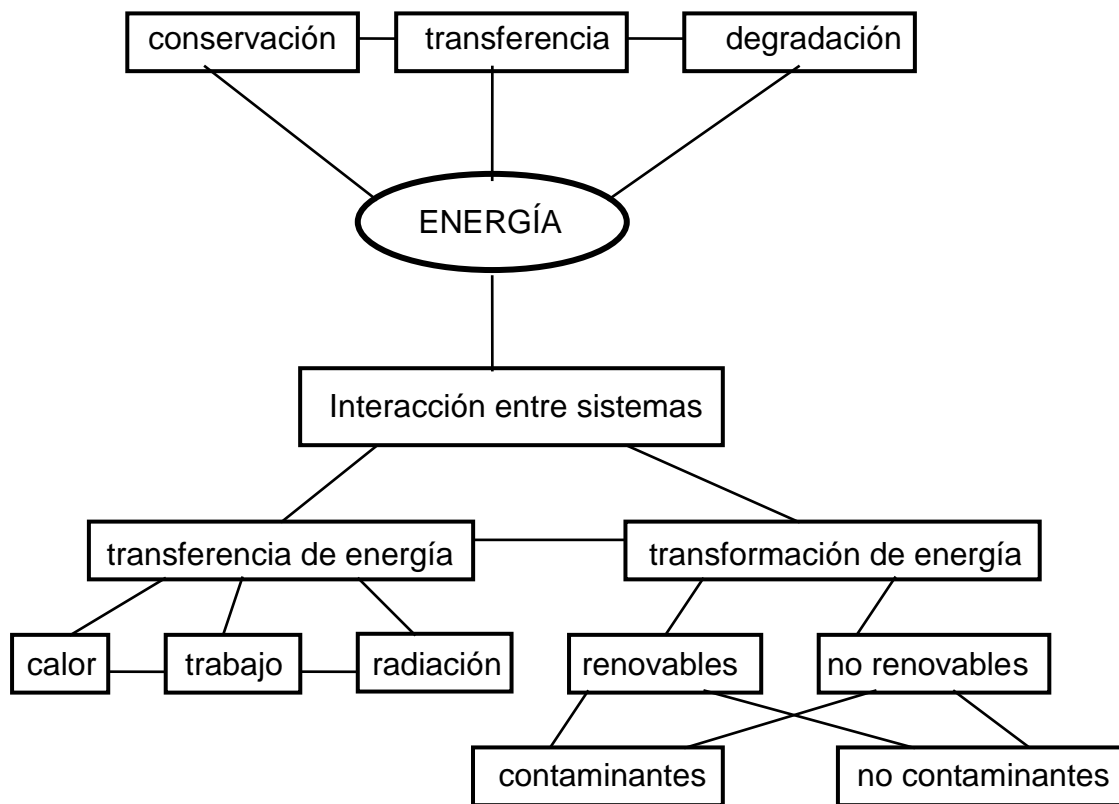
TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 2

aspectos más relevantes a tener en cuenta para su estudio y a continuación se desarrollan algunos de ellos:



- *Todos los cuerpos tienen energía*

Es posible interpretar que todos los cuerpos tienen energía a partir de considerar la estructura interna de la materia, que está constituida por moléculas en permanente movimiento (vibración) e interactúan entre ellas a través de fuerzas de atracción y repulsión; dichas fuerzas son las que dan consistencia a los sólidos y fluidez a los líquidos y gases.

La interacción entre moléculas evidencia la **energía potencial** en ellas (la energía potencial, también llamada de posición, depende del peso del cuerpo y de su posición respecto de un sistema de referencia).

El movimiento de las moléculas manifiesta la **energía cinética** de las mismas (la energía cinética, también llamada de movimiento, depende de la masa del cuerpo y de su velocidad).

La suma de la energía cinética y potencial de todas las moléculas constituye la **energía interna** del sistema.

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 3

Un ejemplo cotidiano

◇ Después de lo visto es correcto decir “los cereales tienen energía” ya que ésta se obtiene por la ruptura de los enlaces químicos. Lo que mantiene unidos a los átomos de carbono e hidrógeno en los cereales se debe a que dichos átomos no poseen la suficiente energía interna como para escapar de su atracción mutua; sin embargo, los enlaces se rompen a causa del proceso de respiración del organismo, formándose dióxido de carbono y agua por combinación con el oxígeno. Estas moléculas tienen menor energía que los enlaces de carbono e hidrógeno de los cereales, así que el sobrante se libera en el organismo en forma de **calor**, movimiento muscular, etc.

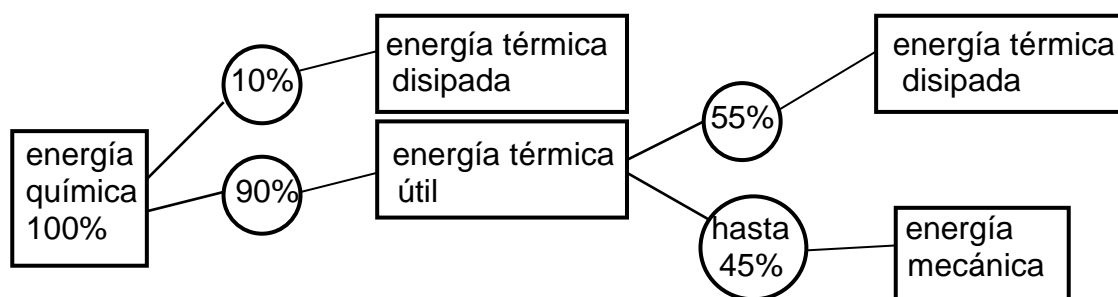
• *La energía se transforma*

Más importante que poder decir qué es la energía es entender cómo se comporta, es decir, como se transforma. Así resulta más sencillo comprender los procesos o cambios que ocurren en la naturaleza - la caída de una hoja, el proceso de nutrición, etc. - analizando la transformación de la energía de una forma en otra. Cabe señalar además que, la mayoría de las transformaciones energéticas útiles para el ser humano están asociadas a dispositivos y procesos tecnológicos: engranajes, turbinas, calderas, etc.

Ejemplos convencionales

◇ El proceso de combustión - oxidación rápida y alta temperatura - que se produce en, por ejemplo, hornos y calderas, permite ejemplificar la transformación de **energía química en energía térmica**. Pero no toda es aprovechable.

El rendimiento de la operación de aprovechamiento de la energía térmica en una caldera puede ser de hasta el 90%. Esto significa que hasta el 90% de la energía térmica contribuye a la producción de vapor y el 10% restante se utiliza en calentar los conductos y la misma caldera, o se disipa al medio ambiente.



TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 4

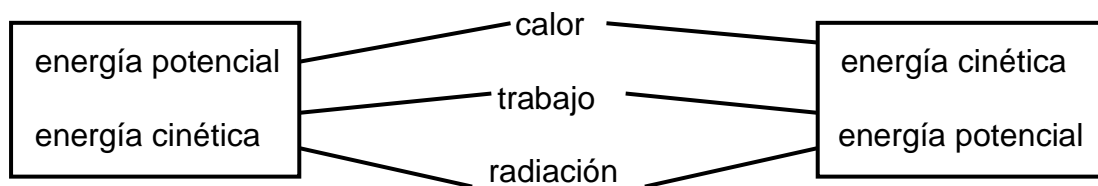
- ◇ Los convertidores fotoeléctricos que permiten la transformación de **energía luminosa en energía eléctrica** reciben el nombre de células o celdas solares. Su superficie es de silicio o germanio y son capaces de generar una corriente eléctrica cuando se los expone a la radiación. Así pueden funcionar relojes, calculadoras, alarmas, etc..

En ellos rendimiento es de aproximadamente 10%, valor que varía según el material que se utilice para su fabricación. A pesar de ser tan poco rendimiento se cuenta con la energía que proviene del Sol, que es gratis.

- *La energía se transfiere*

En esencia hay dos tipos de energía, la energía potencial, que se almacena como lo haría un resorte y la energía cinética, propia de los cuerpos en movimiento. Por lo tanto en cualquier suceso la energía se transfiere en estos estados, así, por ejemplo, el niño que da cuerda a su juguete está transfiriendo energía al resorte, la cual se almacena como energía potencial.

Los mecanismos de transferencia energética de acuerdo al suceso se llaman: **calor, trabajo o radiación.**



Ejemplos cotidianos

- ◇ El reconocer que “el calor es energía que se transfiere entre dos sistemas que se encuentran a distinta temperatura”, permite explicar porqué los ríos no se hielan hasta el fondo. Las capas superiores del agua se van enfriando, aumentan su densidad, bajan y son reemplazadas por las inferiores a mayor temperatura. Esto continúa hasta que, en el intervalo de 4°C a 0°C, la menor densidad del agua interrumpe esta transmisión, mientras las capas superiores siguen enfriándose y se congelan en la superficie.
- ◇ Considerando que “la energía puede transmitirse por medio del trabajo y aceptando que no es correcto decir que se transforma en trabajo o que el trabajo se transforma en energía”, se comprende que se está realizando trabajo cuando se levanta un cuerpo de cierto peso contra la fuerza gravitatoria; además, cuanto más pesado sea el cuerpo, o cuanto más alto se levante, mayor será el trabajo realizado.

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 5

◇ Un hecho interesante resulta como “la energía solar que se transfiere en forma de radiación se relaciona con las estaciones”. No todas las radiaciones que llegan al planeta, provenientes del Sol, son absorbidas por la superficie terrestre. Un porcentaje es absorbido por la atmósfera en los días claros, otros por las nubes y la niebla. Los casquetes polares absorben aproximadamente de un 30% a un 40% reflejando al espacio una cantidad similar. Así al estar el eje terrestre inclinado respecto de los rayos del Sol, éstos en el hemisferio Norte (verano), durante seis meses, se distribuyen sobre una superficie mucho mayor que sobre el hemisferio Sur (invierno). Seis meses después sucede a la inversa.

- *La energía se conserva*

La energía se conserva en todos los procesos. Existe la misma cantidad de energía antes y después de un suceso. Algunos hechos no pueden ocurrir si la energía total posterior a su ocurrencia no se mantiene constante, por ejemplo, un carro de montaña rusa no puede subir a un punto más alto del que empezó. Por lo tanto, la energía define los límites de las posibilidades y por ello es más apropiado decir que la energía es necesaria para levantar un cuerpo o ponerlo en movimiento que decir “la energía es el motor o la fuerza que tienen las cosas”.

En relación a lo anterior, si en un proceso cierta cantidad de una forma de energía desaparece, se produce el surgimiento de otra forma de energía en cantidad equivalente a la desaparecida; es decir, nunca se observa la destrucción de energía, sino únicamente la transformación de cierto tipo de energía en otra.

El estudio de diversas manifestaciones y transferencias energéticas condujo a una de las mayores generalizaciones de la física, el **Principio de conservación de la energía**: “La energía se puede transformar de una forma a otra, pero no puede ser creada ni destruida, por lo cual la energía total es constante”.

Ejemplos cotidianos

◇ Un niño se divierte en una hamaca colgada de un árbol. La energía se transforma de potencial a cinética y de cinética en potencial.

◇ Las intensas fuerzas gravitacionales que prevalecen en el interior del Sol provocan un proceso conocido como fusión termonuclear, por el cual se desprende energía radiante y parte de ella llega a la Tierra. Una porción de esta energía es absorbida por las plantas y luego la energía de las plantas se almacena en el carbón. Otra porción de la energía solar mantiene la cadena alimentaria de los océanos que comienza con las plantas, y una fracción de esta energía se convierte después en petróleo. Otra porción de la energía del Sol evapora el agua de los océanos y parte de esta energía

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 6

vuelve a la Tierra en forma de lluvia, que puede quedar almacenada en una presa.

- *La energía se degrada*

Los medios de comunicación masiva transmiten mensajes tales como “ es necesario controlar el consumo energético”, “producción energética”, “la energía se agota”, “aumento del gasto energético”, etc.. Esta aparente contradicción entre el lenguaje cotidiano y el científico, respecto del principio de conservación de la energía, crea la necesidad de introducir la noción de **degradación de la energía**. Así al decir consumo energético se hace referencia a la transformación de un tipo de energía a otra de menor calidad, lo contrario sería hablar de producción energética.

Que la energía se difunde o se degrada representa la base del **Segundo Principio de la Termodinámica**, la cual introduce la noción de **Entropía**, que es la medida de como la energía se difunde. Este principio considera el hecho de que en todos los procesos conocidos nunca disminuye la entropía total y generalmente aumenta, es así que el universo se va desordenando. Por ejemplo, los combustibles almacenan energía que la transfieren espontáneamente cuando se inflaman; hay exactamente la misma cantidad de energía antes y después de la quema, pero ya no está localizada. Se extiende en todas direcciones y es menos útil porque es muy difícil reunirlos.

Ejemplos cotidianos

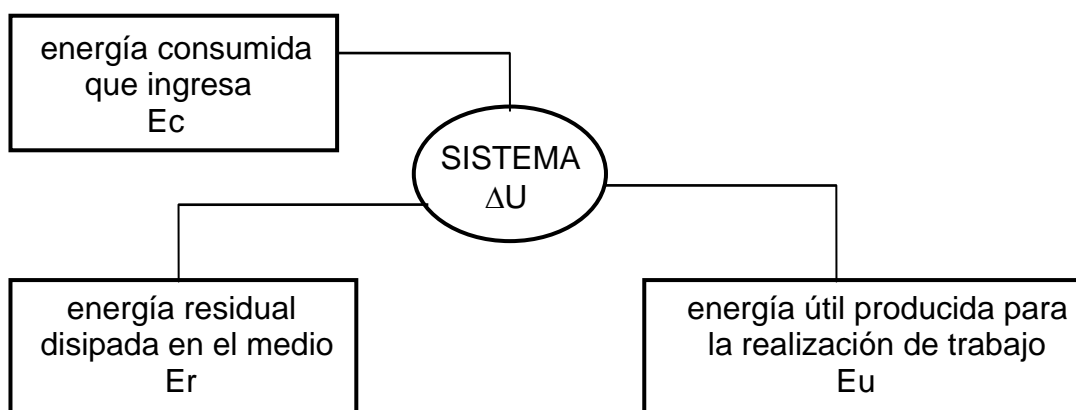
- ◇ El motor de un auto transforma la energía química almacenada en el combustible en energía mecánica. Una parte de la energía obtenida se usa para impulsar el motor (aproximadamente el 35%) y otra se disipa en forma de calor. Parte de la energía disipada va al sistema de refrigeración y pasa del radiador al aire, otra parte sale por el escape y casi la mitad se usa para vencer la fricción de las partes móviles del motor. Luego, la energía no se destruye. Simplemente se degrada.
- ◇ Cuando la energía se transforma de cargas eléctricas a luz en el filamento de tungsteno de una lamparita, sólo el 2% de la energía eléctrica de entrada llega a convertirse en luz, el otro 98% se emplea en calentar el ambiente; es así que una parte importante de la energía se ha dispersado y es menos útil.

Los procesos analizados hasta el momento han permitido reconocer sucesivas transformaciones energéticas y los sistemas que actúan como transformadores. A continuación se presenta un esquema para mostrar el balance energético, las cantidades de energía que recibe y cede un sistema cualquiera:

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 7



Por ejemplo, si el esquema corresponde al funcionamiento de una central termoeléctrica, E_c representa la energía aportada en forma de combustible, E_u la energía eléctrica producida, E_r la energía perdida a través de los humos de las turbinas, etc. y ΔU la variación de la energía interna del mismo sistema que puede variar durante el proceso. La energía residual puede ser, no solo no aprovechable sino incluso perjudicial (por ejemplo la contaminación térmica de ríos y lagos) y costosa su disipación.

Hoy más del 90% del consumo energético mundial proviene de los combustibles fósiles, sin tomar conciencia que es un recurso a punto de agotarse, ni considerar que dicho consumo contamina altamente el aire que respiramos y el agua que bebemos.

Si bien la mayor parte de la energía que hoy consumimos se obtienen de fuentes no renovables como el petróleo, gas, uranio y en menor escala el carbón; hay otras fuentes de energía como el Sol, el viento, el agua, etc., que son renovables.

Estas fuentes presentan, en general, algunas características entre sí:

- ◇ son inagotables, ya que se restablecen rápidamente.
- ◇ no son contaminantes.
- ◇ el hombre no las puede regular.
- ◇ por lo general, no son almacenables ni transportables.

Su aprovechamiento se realiza en forma local, por lo general, se hallan en forma dispersa. Por ejemplo, para usar productivamente la energía solar, se necesita una gran superficie de utilización para satisfacer las necesidades de una población.

Por lo tanto, si la intención del ser humano es favorecer el desarrollo de la industria y la tecnología en pos de construir un medio ambiente que contemple una mejor calidad de vida, habrá que utilizar energías alternativas que sean renovables y no contaminantes.

Ejemplos para reflexionar

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 8

◇ *Energía solar*

Si bien, la mayoría de las fuentes de energía están vinculadas al Sol (eólica, mareomotriz, entre otras), recibe este nombre la que llega al planeta en forma de radiación electromagnética. Esta radiación es la que regula la temperatura de la Tierra y posibilita la existencia de los seres vivos.

Aunque no es una fuente de intensidad constante, en la actualidad se utiliza en colectores solares, donde su diseño depende de su función, por ejemplo, generar electricidad, sistemas de calefacción, sistemas de refrigeración, etc.

◇ *Energía mareomotriz*

Se obtiene de las mareas, las olas y las diferencias térmicas entre las profundidades. Las de las mareas utiliza el desnivel que alcanza el agua entre pleamar y bajamar. Las diferencias térmicas son principalmente aprovechadas en las zonas de climas cálidos, donde dicha diferencia entre la superficie y las profundidades es más importante (mareas tropicales).

◇ *Energía de la biomasa*

Es la transformación química de productos orgánicos (vegetales, desechos urbanos) en combustibles, por ejemplo, las plantas biogasificadoras. Existe biomasa contaminante (residuos ganaderos e industriales, desperdicios humanos) y no contaminante (aceites vegetales, residuos forestales y agrícolas).

TRANSFERENCIA DE ENERGÍA

Definiciones de calor

La idea del calor como una sustancia se debe descartar. No se trata de algo que el objeto *posea*, sino de algo que él mismo *cede* o *absorbe*. El calor es simplemente otra forma de energía que puede medirse únicamente en términos del efecto que produce. La unidad de energía del Sistema Internacional (SI), el *joule*, es también la unidad preferida para medir el calor, puesto que éste es una forma de energía. Sin embargo, hay tres antiguas unidades que aún se conservan, y de ellas se hablará también en este texto. Estas primeras unidades se basaron en la energía térmica requerida para producir un cambio patrón. Son la caloría, la kilocaloría y la unidad térmica británica o Btu.

Una caloría (cal) es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua en un grado Celsius.

Una kilocaloría (kcal) es la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de un kilogramo de agua en un grado Celsius (1 kcal = 1000 cal).

Una unidad térmica británica (Btu) es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una libra patrón (lb) de agua en un grado Fahrenheit.

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 9

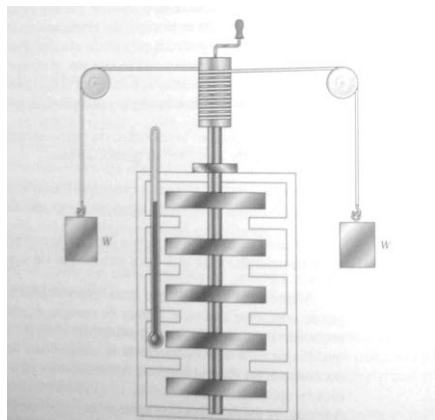
Además del hecho de que estas viejas unidades implican que la energía térmica no se puede relacionar con otras formas de energía, existen otros problemas con su uso. El calor requerido para cambiar la temperatura del agua de 92 a 93° C no es exactamente el mismo que el que se necesita para elevar la temperatura de ese líquido de 8 a 9° C. Por tanto, es necesario especificar el intervalo de temperatura para las calorías y para la unidad térmica británica en aplicaciones de precisión. Los intervalos elegidos fueron 14,5 a 15,5° C y 63 a 64° F. Además, la unidad libra que aparece en la definición del Btu debe ser reconocida como la *masa de la libra patrón*. Esto representa el abandono de las unidades del SUEU (Sistema Usual en Estados Unidos), ya que en ese sistema la libra quedó reservada para expresar el peso. Por tanto, cuando se menciona 1 lb de agua, nos estaremos refiriendo a la cantidad de agua equivalente a 0,456 kg de masa. Esta distinción es necesaria debido a que la libra de agua debe representar una cantidad constante de materia, independientemente del lugar geográfico. Por definición, la libra masa se relaciona con el gramo y el kilogramo en la siguiente forma:

$$1\text{ lb} = 454\text{ g} = 0,454\text{ kg}.$$

La diferencia entre estas antiguas unidades para el calor resulta de la diferencia que existe entre las masas y de la diferencia entre las escalas de temperatura.

$$1\text{ Btu} = 252\text{ cal} = 0,252\text{ kcal}$$

La primera relación cuantitativa entre estas unidades antiguas y las unidades tradicionales para la energía mecánica fue establecida por Joule en 1843. Aunque Joule diseñó gran número de experimentos para demostrar la equivalencia de las unidades del calor y las unidades de energía, el aparato que se recuerda con más frecuencia es el que aparece en la figura. La energía mecánica se obtenía al hacer descender pesos, las cuales hacían girar un juego de aspas dentro de un recipiente con agua. La cantidad de calor absorbido por el agua se medía partiendo de la masa conocida y de la medición del incremento de temperatura del agua.



Experimento de Joule para determinar el equivalente mecánico del calor. Al descender las pesas realizan trabajo al agitar el agua y elevar su temperatura

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 10

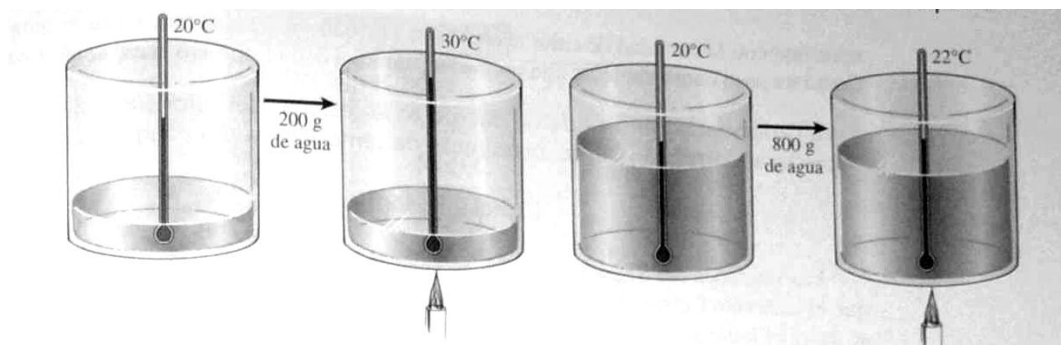
En la actualidad, el *equivalente mecánico del calor* ya se ha establecido con un alto grado de precisión mediante varias técnicas. Los resultados aceptados son

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$$

$$1 \text{ Btu} = 252 \text{ cal} = 1054,9 \text{ J}$$

Por tanto, son necesario 4,186 J de calor para elevar la temperatura de un gramo de agua de 14,5 a 15,5° C. Por el hecho de que cada una de las unidades anteriores se sigue usando, con frecuencia es necesario comparar unidades o hacer conversiones de una unidad a otra.

Ahora que se han definido las unidades para la medición cuantitativa del calor, la diferencia entre cantidad de calor y temperatura debe ser muy clara. Por ejemplo, supongamos vaciar 200 g. de agua en un vaso de precipitado y 800 g. de agua en otro vaso, como muestra la figura. La temperatura inicial del agua en cada vaso es de 20°C. Se coloca una flama bajo cada vaso durante el mismo período, suministrando 8000 J. de energía calorífica al agua de cada vaso. La temperatura de los 800 g. de agua se incrementa un poco más de 2°C, pero la temperatura de los 200g. aumenta casi 10°C. Sin embargo, se suministró la misma cantidad de calor en cada vaso.



La misma cantidad de calor se aplica a diferentes masas de agua. La masa mayor experimenta una menor elevación de temperatura.

Cuestiones energéticas

⇒ Todos los cuerpos están formados por un número determinado de átomos y moléculas que conforman su estructura microscópica. Dichos átomos están en estado continuo de agitación y movimiento y por ello poseen cierta energía asociada al movimiento: energía cinética. Esta energía cinética atómica es la responsable de la **temperatura** del cuerpo. Por lo tanto:

La temperatura de un cuerpo mide el estado de agitación, (de movimiento), de los átomos que componen el cuerpo.

⇒ En apartados anteriores se trató la energía mecánica, la energía de un

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 11

objeto que se comporta como un todo, como la suma entre la energía cinética y la energía potencial. Enfoques contemporáneos denominan a la energía interna de un objeto, (que se asocia con el movimiento aleatorio de sus átomos y moléculas), **energía térmica**.

*La energía térmica en tránsito se define como **calor**, que es la energía del movimiento aleatorio transferida entre dos cuerpos que se encuentran a distinta temperatura.*

⇒ El **calor** es la energía térmica ganada, perdida o transferida por medio del efecto acumulativo de colisiones atómicas individuales. Un cuerpo contiene, almacena energía térmica, no calor; este último es energía térmica que se transfiere al, dentro de, o fuera del cuerpo; una vez transmitida la energía ya no se llama calor.

⇒ Un buen vino tinto seco suministra al cuerpo 75 kcal. ¿Cuál es la equivalencia en joules?

• Cambios de estado

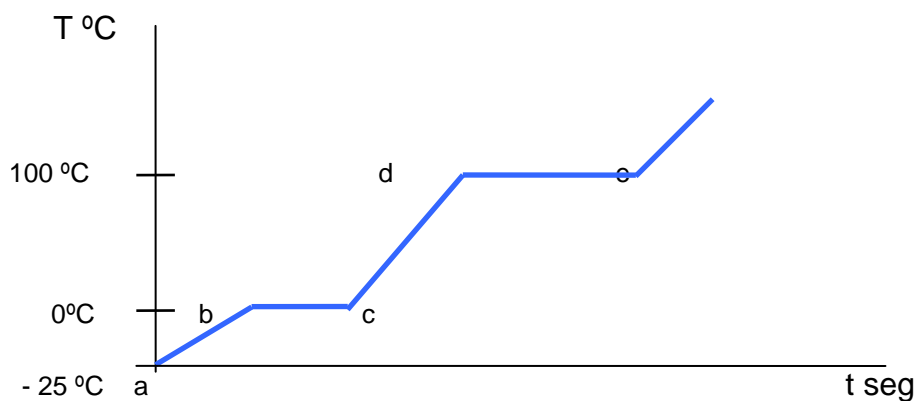
- Cambio de fase. Calor de fusión - Calor de ebullición

El término fase o estado, como lo utilizamos conceptualmente en este tema, se refiere al hecho de que la materia existe como sólido, líquido o gas. Por ejemplo, el agua la podemos encontrar en fase sólida (hielo), líquida o gaseosa (vapor de agua)

Todas las sustancias pueden existir en cualquiera de las tres fases, siempre que no se descompongan a elevadas temperaturas.

Los cambios de fase van acompañados de absorción o desprendimiento de calor.

Supongamos que tomamos un trozo de hielo a -25°C y se lo tritura, lo colocamos en un recipiente e introducimos un termómetro, rodeamos el recipiente con una bobina que le proporciona calor constante, el hielo no recibe calor por otro medio.



Se observa que la temperatura aumenta hasta **b** a 0°C , en ese momento

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 12

aparece agua líquida, el hielo se comienza a fundir.

La fusión es un cambio de fase, de sólido a líquido, y aunque se suministre calor en la misma proporción, la temperatura permanece en 0°C, hasta que se ha fundido todo el hielo. Cuando termina la fusión del hielo, la temperatura comienza a elevarse.

Cuando se alcanzan los 100°C, punto **c** del gráfico, comienzan a escapar burbujas (vapor de agua) o sea, el agua comienza a hervir. La temperatura se mantiene constante hasta que desaparece toda el agua líquida. Se ha producido otro cambio de fase, de líquido a gaseoso.

La cantidad de calor por unidad de masa que es necesario suministrar a una sustancia que se halla en su punto de fusión, para convertirla completamente en líquido a temperatura constante, se llama calor de fusión de la sustancia; para el hielo es de 80 cal/gr.

La cantidad de calor por unidad de masa que se debe suministrar a una sustancia en su punto de ebullición, para convertirla por completo en gas, se llama calor de vaporización, para el agua es 539 cal/gr.

Todas las sustancias tienen distintos puntos de fusión y de ebullición.

Cuando se sustrae calor a un gas, su temperatura desciende, y a una temperatura igual a la de ebullición, vuelve a la fase líquida, o sea se condensa. Devuelve al medio que lo rodea una cantidad de calor igual a la consumida para la vaporización. El calor devuelto por unidad de masa se llama calor de condensación y es igual al calor de vaporización.

Análogamente, un líquido vuelve a la fase sólida si se lo enfría hasta la temperatura de fusión, y cede el calor de solidificación que es igual al calor de fusión.

La expresión calor de transformación se aplica tanto al calor de fusión como al de vaporización y se designa con **L** y representa el calor absorbido o liberado en el cambio de fase de la unidad de masa, el calor **Q** absorbido o liberado en el cambio de fase de una masa **m** es:

$$Q = L \cdot m \left[\frac{\text{cal}}{\text{gr}} \cdot \text{gr} \right]$$

Ejemplos cotidianos

◇ El sistema de calefacción por vapor utiliza un proceso de ebullición - condensación, para transmitir calor desde la caldera a los radiadores.

Cada Kg. de agua que se convierte en vapor en la caldera absorbe 539 Kcal (calor de vaporización), y libera esa misma cantidad de calor cuando se condensa en los radiadores.

En el sistema de calefacción por vapor no es necesario hacer circular tanta agua como en el sistema de calefacción por agua caliente.

Si el agua sale a 60°C y vuelve a 38°C, disminuyendo su temperatura en 22 °C tienen que circular unos 24 Kg. de agua para transportar el mismo calor que 1 Kg. de vapor.

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

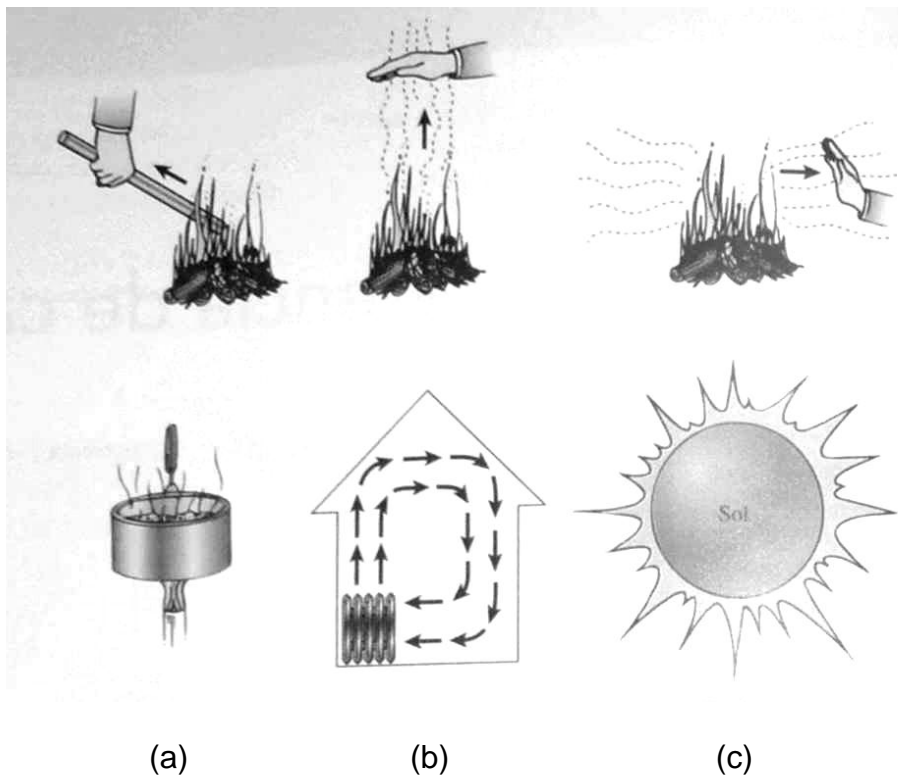
ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 13

- ◇ Un trozo de hielo puede no fundirse con la llama de un sólo fósforo, porque aunque la temperatura de la llama es muy alta, la cantidad de calor cedida no es suficiente para fundir el hielo.
- ◇ Al introducir un trozo de hielo en un recipiente con agua tibia, el hielo se fundirá, pues aunque la temperatura del agua no sea muy elevada, puede ceder una gran cantidad de calor.

Transferencia de calor

Nos hemos referido al calor como una forma de energía en tránsito. Siempre que hay una diferencia de temperatura entre dos cuerpos o entre dos partes de un mismo cuerpo se dice que el calor *fluye* en la dirección de mayor a menor temperatura. Hay tres formas principales por las que ocurre tal intercambio de calor: *conducción*, *convección* y *radiación*. En la figura se muestran ejemplos de los tres.



Las tres formas de transferencia de calor (a) conducción, (b) convección y (c) radiación.

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 14

Formas de transferencia de calor

La mayor parte de nuestra explicación ha supuesto la transferencia de calor por *conducción*: mediante colisiones moleculares entre moléculas vecinas. Por ejemplo, si sostenemos con una mano un extremo de una barra de hierro y metemos el otro en el fuego, al cabo de cierto tiempo el calor llegará hasta nuestra mano a causa de un proceso de conducción. El incremento de la actividad molecular en el extremo calentado va pasando de una a otra molécula hasta que llega a nuestra mano. El proceso continúa mientras haya una diferencia de temperatura a lo largo de la barra.

La conducción es el proceso por el que se transfiere energía térmica mediante colisiones de moléculas adyacentes a lo largo de un medio material. El medio en sí no se mueve.

La aplicación más frecuente del principio de conducción probablemente es la de cocinar: el calor de la llama se conduce a través de la olla.

Por otra parte, si colocamos la mano por encima del fuego podemos sentir la transferencia de calor al elevarse el aire caliente. Este proceso, llamado *convección*, difiere del de conducción porque el medio material sí se mueve. El calor transferido mediante el movimiento de masas, en vez de ir pasando de una a otra molécula vecina.

La convección es el proceso por el que se transfiere calor por medio del movimiento real de la masa de un fluido.

Las corrientes de convección constituyen la base de los sistemas para calentar y enfriar la mayoría de las casas.

Cuando colocamos nuestra mano en la proximidad del fuego, la principal fuente de calor es la radiación térmica. La radiación implica la emisión o absorción de ondas electromagnéticas que se originan en el nivel atómico. Estas ondas viajan a la velocidad de la luz (3×10^8 m/s) y no requieren la presencia de ningún medio material para propagarse.

La radiación es el proceso por el que el calor se transfiere mediante ondas electromagnéticas.

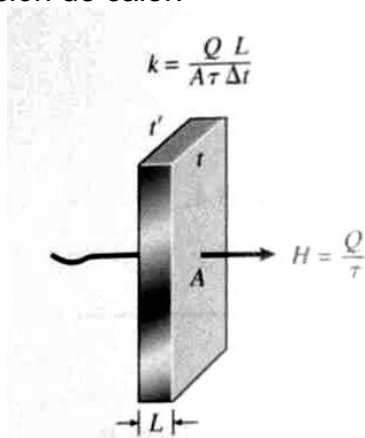
La fuente más evidente de energía radiante es nuestro propio Sol. Ni la conducción ni la convección pueden intervenir en el proceso de transferencia que hace llegar su energía térmica, a través del espacio, hasta la Tierra. La enorme cantidad de energía térmica que recibe nuestro planeta se transfiere por radiación electromagnética. Sin embargo, cuando entra en juego un medio material, la transferencia de calor que se puede atribuir a la radiación generalmente es pequeña, en comparación con la cantidad que se transfiere por conducción y convección.

Por desgracia, hay gran número de factores que afectan la transferencia de energía térmica por las tres formas. La tarea de calcular la cantidad de energía térmica transferida en cierto proceso es complicada. Las relaciones, que se analizarán en las secciones que siguen, se basan en observaciones empíricas y se consideran condiciones ideales. El grado en que sea posible encontrar esas condiciones determina, en general, la exactitud de nuestras predicciones.

Conducción

Cuando dos partes de un material se mantienen a temperaturas diferentes, la energía se transfiere por colisiones moleculares desde la más alta a la más baja temperatura. Este proceso de conducción es favorecido también por el movimiento de electrones libres en el interior de la sustancia, los cuales se han dissociado de sus átomos de origen y tienen la libertad de moverse de uno a otro átomo cuando son estimulados ya sea térmica o eléctricamente. La mayoría de los metales son eficientes conductores del calor porque tienen cierto número de electrones libres que pueden distribuir calor, además del que se propaga por la agitación molecular. En general, un buen conductor de la electricidad también lo es del calor.

La ley fundamental de la conducción térmica es una generalización de resultados experimentales relacionados con el flujo de calor a través de un material en forma de placa. Consideremos la placa de espesor L y área A de la siguiente figura. Una cara se mantiene a una temperatura t y la otra a una temperatura t' . Se mide la cantidad de calor Q que fluye en dirección perpendicular a la cara durante un tiempo τ . Si se repite el experimento para diversos materiales de diferentes espesores y áreas de la cara, estaremos en condiciones de hacer algunas observaciones generales relacionadas con la conducción de calor:



Medición de la conductividad térmica

1. La cantidad de calor transferido por unidad de tiempo es directamente proporcional a la diferencia de temperatura ($\Delta t = t' - t$) entre las dos caras.
2. La cantidad de calor transferido por unidad de tiempo es directamente proporcional al área A de la placa.

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 16

3. La cantidad de calor transferido por unidad de tiempo es inversamente proporcional al espesor L de la placa.

Estos resultados se pueden expresar en forma de ecuación introduciendo la constante de proporcionalidad k. Así pues, escribimos

$$H = \frac{Q}{\tau} = kA \frac{\Delta t}{L}$$

Donde H representa la razón con la que se transfiere el calor. Aún cuando la ecuación se estableció para un material en forma de placa, también se cumple para una barra de sección transversal A y longitud L.

La constante de proporcionalidad k es una propiedad de cada material que se conoce como **conductividad térmica**. A partir de la ecuación anterior, se puede observar que las sustancias con alta conductividad térmica son buenas conductoras del calor, mientras que las sustancias con baja conductividad son conductoras pobres o *aislantes*.

La conductividad térmica de una sustancia es una medida de su capacidad para conducir el calor y se define por medio de la relación:

$$k = \frac{QL}{\tau A \Delta t}$$

El valor numérico de la conductividad térmica depende de las unidades elegidas para calor, espesor, área, tiempo y temperatura. Sustituyendo con las unidades del SI para cada una de estas cantidades obtenemos las unidades aceptadas siguientes:

Unidades del SI : J/s.m.°C o bien W/m.K

Como se recordará, el joule por segundo (J/s) es la potencia en watts (W), y los intervalos de temperatura kelvin y Celsius son iguales.

Por desgracia, hoy en día las unidades SI de la conductividad se usan poco en la industria; la elección de las unidades empleadas se basa más en el criterio de la comodidad de la medición. Por ejemplo, en el SUEU, el calor se mide en Btu, el espesor en pulgadas, el área en pies cuadrados, el tiempo en horas y el intervalo de temperatura en grados Fahrenheit. En consecuencia, las unidades de la conductividad térmica a partir de la ecuación anterior son

$$\text{SUEU: } k = \text{Btu} \cdot \text{in}/\text{ft}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F}$$

En el sistema métrico, en el caso de la transferencia de calor se emplean con más frecuencia las calorías que el joule: por tanto, las unidades siguientes se usan a menudo:

Unidades métricas: k = Kcal/m.s.°C

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 17

Los factores de conversión siguientes son útiles.

$$1 \text{ kcal/s.m.}^\circ\text{C} = 4186 \text{ W/m.K}$$

$$1 \text{ Btu.in/ft}^2\text{.h.}^\circ\text{F} = 3,445 \times 10^{-5} \text{ kcal/m.s.}^\circ\text{C}$$

Las conductividades térmicas de diversos materiales se muestran en la siguiente tabla

Sustancia	Conductividades térmicas, k			Valores R <small>(espesor de 1 pulgada)</small>
	W/m.K	Kcal/m.s. $^\circ$ C	Btu.in/ft ² .h. $^\circ$ F	Ft ² .h. $^\circ$ F/Btu
Aluminio	205	$5,0 \times 10^{-2}$	1451	0,00069
Latón	109	$2,6 \times 10^{-2}$	750	0,0013
Cobre	385	$9,2 \times 10^{-2}$	2660	0,00038
Plata	406	$9,7 \times 10^{-2}$	2870	0,00035
Acero	50,2	$1,2 \times 10^{-2}$	320	0,0031
Ladrillo	0,7	$1,7 \times 10^{-4}$	5,0	0,2
Concreto	0,8	$1,9 \times 10^{-4}$	5,6	0,18
Corcho	0,04	$1,0 \times 10^{-5}$	0,3	3,3
Cartón de yeso	0,16	$3,8 \times 10^{-5}$	1,1	0,9
Fibra de vidrio	0,04	$1,0 \times 10^{-5}$	0,3	3,3
Vidrio	0,8	$1,9 \times 10^{-4}$	5,6	0,18
Poliuretano	0,024	$5,7 \times 10^{-6}$	0,17	5,9
Forro de madera	0,55	$1,3 \times 10^{-5}$	0,38	2,64
Aire	0,024	$5,7 \times 10^{-6}$	0,17	5,9
Agua	0,6	$1,4 \times 10^{-4}$	4,2	0,24

Siempre es conveniente indicar cuáles son las unidades que corresponden a cada cantidad durante la resolución de un problema. Esta práctica evitará muchos errores innecesarios. Por ejemplo, a veces es fácil olvidar que, en las unidades del SUEU, el espesor debe expresarse en pulgadas y el área en pies cuadrados. Si durante la sustitución las unidades de la conductividad térmica se indican junto con su respectivo valor numérico, no se cometerá este tipo de errores.

Cuando se conectan dos materiales de diferente conductividad, la razón a la que se conduce el calor a través de cada uno de ellos debe ser constante. Si no hay fuentes o sumideros de energía térmica dentro de los materiales y los extremos se mantienen a temperaturas constantes, se logrará finalmente un flujo estacionario, ya que el calor no puede “acumularse” ni “acelerarse” en un punto determinado. La conductividad de los materiales no cambia y el espesor es fijo, lo que significa que los intervalos de temperatura de cada material

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 18

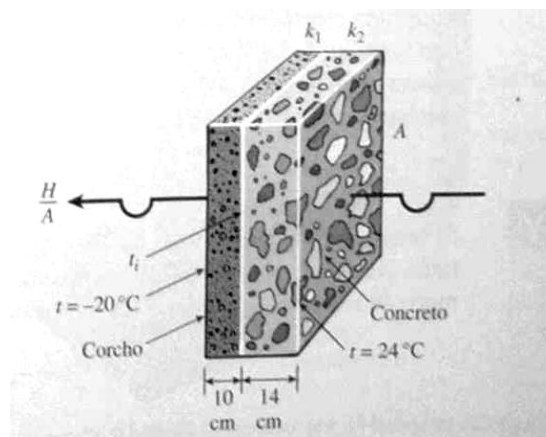
deben ajustarse para producir el flujo estacionario de calor a lo largo de la estructura compuesta.

Ejemplo

La pared compuesta de una planta congeladora está formada por una capa de corcho de 10 cm de espesor en el interior y una pared de concreto sólido de 14 cm de espesor en el exterior fig. 18.3 La temperatura de la superficie interior de corcho es de -20°C , y la superficie exterior de concreto se encuentra a 24°C .

a) Determine la temperatura de la interfaz o zona de contacto entre el corcho y el concreto.

b) Calcule la razón de flujo de calor perdido de calor en watts por metro cuadrado.



Plan: En el caso de un flujo estacionario, la razón de flujo de calor a través de la cubierta de corcho es igual a la razón de flujo de calor a través del concreto. Como las áreas son las mismas, podemos igualar las razones de flujo de calor por unidad de área (H/A) para la pared de corcho y para la pared de concreto. Con base en esta ecuación podemos determinar la temperatura de la zona de contacto y luego usar el resultado para encontrar la razón de flujo de calor por cualquiera de las paredes, ya que las razones son iguales.

Solución a):

Se consulta en la tabla la conductividad del corcho y la del concreto. Usaremos el subíndice 1 para denotar el corcho y el 2 para el concreto. Con t_i se representará la temperatura en la zona de contacto de ambos materiales. Como H/A es igual en los dos, podemos escribir

$$\frac{H_1}{A_1}(\text{corcho}) = \frac{H_2}{A_2}(\text{concreto})$$

$$\frac{k_1 [t_i - (-20^{\circ}\text{C})]}{0,10\text{m}} = \frac{k_2 (24^{\circ}\text{C} - t_i)}{0,14\text{m}}$$

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 19

$$\frac{(0,04W / m.K)[t_i + 20^\circ C]}{0,10m} = \frac{(0,8W / m.K)(24^\circ C - t_i)}{0,14m}$$

Ahora, para simplificar multiplicamos cada término por 14 para obtener

$$5,6(t_i + 20^\circ C) = 80(24^\circ C - t_i)$$
$$t_i = 21,1^\circ C$$

Solución b): El flujo de calor por unidad de área por unidad de tiempo puede encontrarse ahora partiendo de la ecuación inicial, ya sea que se aplique al corcho o al concreto.

Para el concreto tenemos

$$\frac{H_2}{A_2} = \frac{k_2(24^\circ C - t_i)}{0,14m}$$
$$= \frac{(0,8W / m.K)(24^\circ C - 21,1^\circ C)}{0,14m} = \frac{0,8W}{m.K} \cdot \frac{2,9^\circ C}{0,14m}$$
$$= 16,57W / m^2$$

Observe que el intervalo kelvin y el Celsius se cancelan mutuamente, ya que ambos son iguales. La misma razón se calcularía para el corcho. La diferencia de temperatura entre los puntos extremos del corcho es 41,1 °C, mientras que la diferencia de temperatura del concreto es de sólo 2,9 °C. Los intervalos de temperatura diferentes resultan principalmente de la diferencia en la conductividad térmica de las paredes.

Aislamiento: el valor R

Las pérdidas de calor en los hogares e industrias con frecuencia se deben a las propiedades aislantes de sus diversos muros compuestos. A veces se desea saber, por ejemplo, cuáles serían los efectos de remplazar con material aislante de fibra de vidrio los espacios cerrados (sin ventilación) que se encuentran entre los muros. Para resolver esos casos en varias aplicaciones de ingeniería se ha introducido el concepto de **resistencia térmica R**. el valor R de un material de espesor L y de conductividad térmica k se define de este modo:

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

Si reconocemos que el flujo de calor de estado estacionario por un muro compuesto es constante (véase el ejemplo anterior) y aplicamos la ecuación de conductividad térmica a cierto número de espesores de diferentes materiales, se puede demostrar que

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

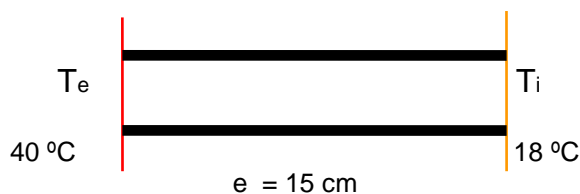
Página 20

$$\frac{Q}{\tau} = \frac{A\Delta t}{\sum_i \left(\frac{L_i}{k_i} \right)} = \frac{A\Delta t}{\sum_i R_i}$$

La cantidad de calor que fluye por unidad de tiempo (Q/τ) a través de cierto número de espesores de diferentes materiales es igual al producto del área A y la diferencia de temperatura Δt dividido entre la suma de los valores R de esos materiales. Los valores R de los materiales de construcción de uso más frecuente se expresan casi siempre en unidades del SUEU, como se muestra en la tabla. Por ejemplo, el aislante de fibra de vidrio para techos, que tiene 6 in. De espesor, tiene un valor R de 18,8 ft². F°.h/Btu. Un ladrillo de 4 pulgadas tiene un valor r de 4 ft². F°.h/Btu. Estos materiales, colocados uno al lado del otro, tendrían un valor R total de 22,8 ft². F°.h/Btu

Ejemplo cotidiano

Supongamos tener una pared de ladrillos de 5 metros de largo por 3,5 metros de alto y 15 centímetros de espesor, la temperatura interior t_i es 18°C y la temperatura exterior es t_e es 40°C. Queremos saber la cantidad de calor por unidad de tiempo que penetra a través de la pared.



$$A = 5 \text{ m} \cdot 3,5 \text{ m} = 17,5 \text{ m}^2. = 175.000 \text{ cm}^2.$$

$$k = 0,0015 \frac{\text{cal}}{\text{seg} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$H = \frac{kA (t_e - t_i)}{L} = 0,0015 \frac{\text{cal}}{\text{seg} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot \frac{175.000 \text{ cm}^2 (40 - 18)^\circ\text{C}}{15 \text{ cm}}$$

$$H = 385 \frac{\text{cal}}{\text{seg}} = 1.611,61 \frac{\text{Joule}}{\text{seg}} = 1611 \text{ Watt}$$

Ejemplo cotidiano

Supongamos que a la pared de ladrillo del ejemplo anterior le colocamos

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

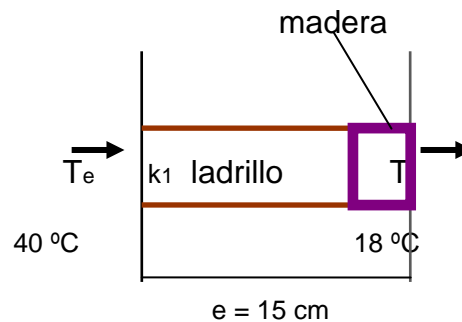
MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 21

1cm. de madera de revestimiento. Veamos si la corriente calorífica que penetra es menor.

$$A = 5\text{m} \cdot 3,5\text{m} = 175.000\text{cm}^2$$
$$k_1 = 0,0015 \text{ cal / seg} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$$
$$k_2 = 0,0003 \text{ cal / seg} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$$



$$H = \frac{A \cdot (t_e - t_i)}{\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2}}$$

reemplazando:

$$H = \frac{175.000 \text{ cm}^2 (40 - 18)^\circ\text{C}}{\frac{15 \text{ cm}}{0,0015 \frac{\text{cal}}{\text{seg} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{1 \text{ cm}}{0,0003 \frac{\text{cal}}{\text{seg} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}}}}$$

simplificando, resulta:

$$H = 288,75 \frac{\text{cal}}{\text{seg}}$$

Cantidad significativamente menor

Convección

La *convección* se ha definido como el proceso por el que el calor es transferido por medio del movimiento real de la masa de un medio material. Una corriente de líquido o de gas que absorbe energía de un lugar y lo lleva a otro, donde lo libera a una porción más fría del fluido recibe el nombre de **corriente de convección**. En la figura se presenta una demostración de laboratorio acerca de una corriente de convección. Una sección rectangular de tubería de vidrio se llena de agua y se calienta en una de las esquinas inferiores. El agua que está cerca de la flama se calienta y se dilata, volviéndose menos densa que el agua más fría que está sobre ella. A medida que el agua caliente se eleva, es remplazada por agua más fría del tubo inferior. Este proceso continúa hasta que una corriente de convección contraria al movimiento de las agujas del reloj circula por la tubería. La existencia de

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 22

dicha corriente se demuestra en forma ostensible dejando caer gotas de tinta por la parte superior abierta. La tinta es transportada por la corriente de convección hasta que finalmente regresa a la parte de arriba, proveniente de la sección derecha de la tubería.



Ejemplo de la convección natural

Corrientes de convección de ambos tipos, natural y forzada, se presentan en el proceso de calentar una casa con un calentador de gas convencional, como el que se muestra en la siguiente figura. Un intercambiador de calor lo transfiere de las flamas del gas al contenedor de metal. El calefactor obliga al aire a pasar por el contenedor caliente y luego por los conductos de la casa. El aire regresa por otro conjunto de tubos y vuelve a entrar en el horno a través de un filtro. Un termostato mide la temperatura de la casa y regula el calefactor y la fuente de combustible para suministrar la cantidad de calor deseada. Los primeros calefactores de gas desperdiciaban cerca de 40% de la energía que se les suministraba; hoy, los más modernos llegan a alcanzar eficiencias de 90% gracias a que se utilizan mecanismos como vapor condensado o cámaras de combustión selladas.

Calcular el calor transferido por convección es una tarea sumamente difícil. Muchas de las propiedades físicas de un fluido dependen de la temperatura y de la presión; por eso en la mayor parte de los casos sólo se puede hacer un cálculo aproximado del proceso. Por ejemplo, considere una placa conductora de material cuya área es A y su temperatura t_s que se sumerge por completo en un fluido más frío, cuya temperatura es t_f , como se ilustra en la figura.



Cuando se coloca una placa caliente en un fluido frío, las corrientes de convección transfieren el calor lejos de la placa con una razón proporcional a la diferencia de temperaturas y al área de la misma placa.

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

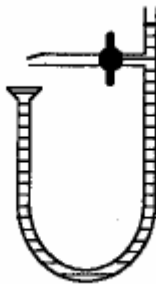
Página 23

El fluido que entra en contacto con la placa se eleva y desplaza al fluido más frío. La observación experimental muestra que la razón H con la que el calor se transfiere por convección es proporcional al área a y a la diferencia de temperatura Δt entre la placa y el fluido.

A diferencia de la conductividad térmica, la convección no es una propiedad del sólido o del fluido, sino que depende de muchos parámetros del sistema. Se sabe que varía según la geometría del sólido y el acabado de su superficie, la velocidad y la densidad del fluido y la conductividad térmica. Las diferencias de presión influyen también en la transferencia de calor por convección. Para entender cómo la convección es afectada por la geometría, sólo hay que considerar las diferencias evidentes que se presentan por un piso cuya cara está hacia arriba o por un cielorraso cuya cara está hacia abajo.

Ejemplos cotidianos

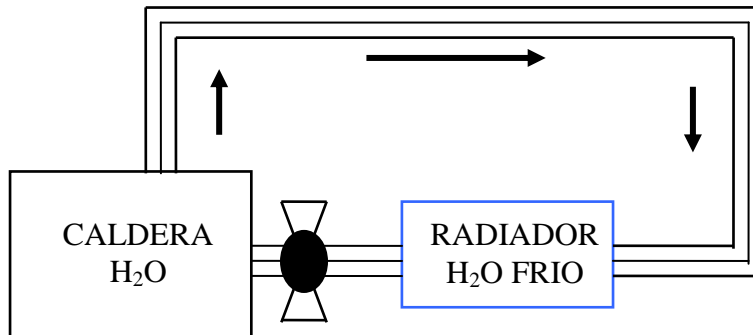
- ◇ Si tenemos una habitación calefaccionada con una estufa, al estar el aire en contacto con la misma aumenta su temperatura, se hace más liviano y entonces sube. Se producen corrientes ascendentes de aire caliente y descendentes de aire frío.
- ◇ Supongamos que tenemos un tubo en **U**, lleno de agua a la misma temperatura en ambas ramas: el nivel en ambas ramas es el mismo.



Si calentamos la rama derecha, el agua se dilata y como la densidad es menor, entonces se necesita mayor columna para equilibrar la presión del agua fría en la rama de la izquierda.

Abriendo la llave, el agua pasa de la parte superior de la columna de agua caliente a la fría; con lo que aumenta la presión en el fondo del lado de la fría y disminuye del lado de la caliente; por lo tanto, el agua pasará del lado frío al caliente y si seguimos suministrando calor al lado derecho, la circulación se mantiene.

Este principio es el que se utiliza en el sistema doméstico de calefacción por agua caliente.



La teoría matemática de la convección del calor es muy complicada y no existe ninguna ecuación sencilla como en la conducción.

Esto se debe a que el calor ganado o perdido por una superficie a una temperatura en contacto con un fluido a otra temperatura distinta depende de:

- a) que la superficie sea curva o plana.
- b) que la superficie esté colocada en forma horizontal o vertical.
- c) que el fluido en contacto con la superficie sea gas o líquido.
- d) de la densidad, de la viscosidad, de la conductividad térmica del fluido.
- e) de la velocidad con que se mueve el fluido o si hay turbulencias.
- f) si existe evaporación o condensación.

Radiación

El término *radiación* se refiere a la emisión continua de energía en forma de ondas electromagnéticas originadas en el nivel atómico. Ejemplos de ondas electromagnéticas son los rayos gamma, los rayos X, las ondas de luz, los rayos infrarrojos, las ondas de radio y las de radar, la única diferencia que hay entre ellas es la longitud de onda. En esta sección estudiaremos la *radiación térmica*.

La radiación térmica se debe a ondas electromagnéticas emitidas o absorbidas por un sólido, un líquido o un gas debido a su temperatura.

Todos los objetos con una temperatura superior al cero absoluto emiten energía radiante. A bajas temperaturas, la razón de emisión es pequeña y la radiación es predominantemente de longitudes de onda grandes. A medida que la temperatura se eleva, esa razón aumenta rápidamente y la radiación predominante corresponde a longitudes de onda más cortas. Si se calienta sin parar una barra de hierro, finalmente emitirá radiación en la región visible; de ese hecho han surgido las expresiones *caliente al rojo vivo* y *caliente al blanco*.

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 25

Las mediciones experimentales han demostrado que la razón a la que es radiada la energía térmica desde una superficie *varía directamente a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo radiante*. Dicho de otro modo, si la temperatura de un objeto se duplica (medida en °K) la razón con la que emite energía térmica se incrementa dieciséis veces.

Un factor adicional que ha de considerarse al calcular la razón de transferencia de calor por radiación es la naturaleza de las superficies expuestas. Los objetos que son emisores eficientes de la radiación térmica son también eficientes para absorberla. Un objeto que absorbe toda la radiación que incide sobre su superficie se llama **absorbedor ideal**. Un objeto de este tipo será también un **radiador ideal**. No existe un absorbedor realmente ideal; pero, en general, cuanto más negra sea una superficie, tanto mejor absorberá la energía térmica. Por ejemplo, una camisa negra absorbe más energía radiante solar que una camisa más clara. Puesto que la camisa negra es también buena emisora, su temperatura externa será más alta que la temperatura de nuestro cuerpo, lo cual hace que nos sintamos incómodos.

A veces un absorbedor ideal o un radiador ideal se conoce como **cuerpo negro** por las razones mencionadas. La radiación emitida por un cuerpo negro se denomina **radiación de cuerpo negro**. Aunque tales cuerpos no existen en realidad, el concepto es útil como un patrón para comparar la **emisividad** de diversas superficies.

La emisividad e es una medida de la capacidad de un cuerpo para absorber a emitir radiación térmica.

La emisividad es una cantidad adimensional que tiene un valor numérico entre 0 y 1, según la naturaleza de la superficie. En el caso de un cuerpo negro, es igual a la unidad. Para una superficie de plata perfectamente pulida el valor de la emisividad se aproxima a cero.

La **razón de radiación R** de un cuerpo se define formalmente como la energía radiante emitida por unidad de área por unidad de tiempo; dicho de otro modo la potencia por unidad de área. En forma simbólica esto se expresa

$$R = \frac{E}{\tau A} = \frac{P}{A}$$

Si la potencia radiante P se expresa en watts y la superficie A en metros cuadrados la razón de radiación estará expresada en watts por metro cuadrado. Como ya lo hemos dicho, esta razón depende de dos factores: la temperatura absoluta T y la emisividad e del cuerpo radiante. El enunciado formal de esta dependencia, conocida como la **Ley de Stefan-Boltzmann**, se puede escribir como

$$R = \frac{P}{A} = e\sigma T^4$$

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 26

La constante de proporcionalidad σ es una constante universal completamente independiente de la naturaleza de la radiación. Si la potencia radiante se expresa en watts y la superficie en metros cuadrados, σ tiene el valor de $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$. La emisividad e tiene valores de 0 a 1, según la naturaleza de la superficie radiante.

- Una masa de tierra cubierta de hielo

La Antártica es un continente cubierto de hielo. En invierno la extensión del hielo aumenta, ya que un área de océano de aproximadamente 15 millones de kilómetros cuadrados se vuelve hielo marítimo. El hielo del mar es un aislador muy eficaz. La pérdida de calor ocasionada por los bolsones de mar abierto puede superar hasta en dos órdenes de magnitud a la pérdida de calor del hielo. Cuando el agua de mar se congela la sal contenida en el océano no se congela junto con el hielo. Así, el agua de mar que está debajo del hielo se vuelve más salada. Esta diferencia en salinidad o concentración de sal genera una importante corriente oceánica. El hielo que está cubierto de nieve refleja mucho más la luz que el océano abierto. Esto reduce en gran medida la cantidad de luz disponible para la fotosíntesis bajo el hielo. En lo que se refiere a la transferencia de calor, el efecto de aislamiento y la producción de corrientes oceánicas, el hielo marítimo que está alrededor de la Antártica es determinante para el clima de nuestro planeta.

Ejemplo

¿Qué potencia será radiada por una superficie esférica de plata de 10 cm. de diámetro si su temperatura es de 527°C ? La emisividad de la superficie es 0,04.

Plan: Las unidades son muy importantes. Debemos convertir 527°C en kelvins y determinar el área de la superficie esférica en metros cuadrados (m^2). La potencia radiada de la superficie puede hallarse entonces resolviendo la ecuación (18.5) para P .

Solución: El radio es la mitad del diámetro, así que $R = 0,05\text{m}$. Luego, el área es

$$A = 4\pi R^2 = 4\pi(0,05\text{m})^2; \quad A = 0,0314\text{m}^2$$

La temperatura absoluta es

$$T = 527 + 273 = 800 \text{ K}$$

Despejando P de la ecuación (18.5) se obtiene

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

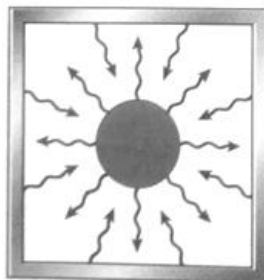
Página 27

$$\begin{aligned} P &= e\sigma AT^4 \\ &= (0,04)(5,67 \times 10^{-8} \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}^4)(0,0314 \text{ m}^2)(800 \text{ K})^4 \\ &= 29,2 \text{ W} \end{aligned}$$

Hemos dicho que todos los objetos emiten radiación sin cesar, independientemente de su temperatura. Si esto es cierto, ¿cómo es que no se les agota su “combustible”? La respuesta es que se les *agotaría* si no se les proporcionara más. El filamento de un foco de luz eléctrica se enfría más rápidamente a la temperatura ambiente cuando se interrumpe el suministro de energía eléctrica. No se sigue enfriando, puesto que al llegar a este punto, el filamento está absorbiendo energía radiante a la misma razón que la está emitiendo. La ley que sirve de fundamento a este fenómeno se conoce como **ley de Prevost del intercambio de calor**:

Un cuerpo que se halla a la misma temperatura que sus alrededores irradia y absorbe calor con la misma razón.

En la figura se muestra un objeto en equilibrio térmico con las paredes del recipiente donde se encuentra.



Cuando un objeto y lo que lo circunda tienen la misma temperatura, la energía radiante emitida es la misma que la absorbida.

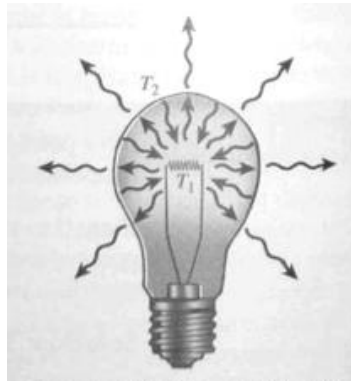
La razón con la que un cuerpo absorbe energía está dada también por la ley de Stefan-Boltzmann. Por tanto, podemos calcular la transferencia neta de energía radiante emitida por un objeto rodeado por paredes a diferentes temperaturas. Considere un delgado filamento de alambre de una lámpara que está cubierto con una envoltura, como aparece en la figura. Denotemos la temperatura del filamento con T_1 y la del recubrimiento con T_2 . La emisividad del filamento es e y sólo consideraremos los procesos radiantes positivos. En este ejemplo se advierte que

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 28



La energía neta emitida por un radiador en un entorno que tiene diferente temperatura.

Razón de radiación neta = razón de emisión de energía – razón de absorción de energía.

$$R = e\sigma T_1^4 - e\sigma T_2^4$$

$$R = e\sigma(T_1^4 - T_2^4)$$

Esta ecuación puede aplicarse a cualquier sistema para calcular la energía neta emitida por un radiador a temperatura T_1 y emisividad e en presencia de los alrededores a temperatura T_2

Cuestiones energéticas

⇒ Justifica: Si se sostiene una barra de hierro de manera que uno de los extremos esté en contacto con un trozo de hielo, el otro extremo pronto se enfría. ¿Significa esto que hay un flujo de frío del hielo hacia tu mano?

⇒ Justifica: Si un buen absorbente de energía radiante fuese un mal emisor. ¿Cómo sería su temperatura respecto a la de su entorno?

⇒ Calcular:

a) el flujo de calor a través del vidrio de una ventana de 1 m^2 de superficie y 12 mm . de espesor, si la temperatura interior es 20°C y la exterior 0°C .

b) Calcular el flujo de calor si la ventana consta de dos vidrios de 6 mm . cada uno, que encierran una caja de aire de 2 cm de espesor.

$$K_v = 2 \times 10^{-4} \frac{\text{Kcal}}{\text{seg m } ^\circ\text{C}} \quad K_a = 5,7 \times 10^{-6} \frac{\text{Kcal}}{\text{seg m } ^\circ\text{C}}$$

⇒ ¿Qué cantidad de calor pierde en un minuto, a través de sus cuatro paredes

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 29

de ladrillo, una habitación cuyo suelo tiene un área de $4 \times 5 \text{ m}^2$ y cuya altura es de 3 m. La temperatura dentro de la habitación es de 15°C y la temperatura exterior es -20°C . El coeficiente de conductividad térmica es de $0,002 \text{ cal/cm s } ^\circ\text{C}$, y el espesor de las paredes es de 50 cm. Despreciar las pérdidas de calor por suelo y el techo. Suponer que hay viento en el exterior y convección forzada en el interior.

⇒ Un tanque cilíndrico para agua caliente tiene un diámetro interno de 0,36 m. y una altura de 1,35 m. Está aislado con una capa de lana de vidrio de 4 cm. cuyo coeficiente de conductividad térmica es de $0,38 \text{ W/m } ^\circ$. Las paredes interior y exterior de metal tienen un coeficiente de conductividad de varios órdenes de magnitud mayor que el de la lana de vidrio. Si la temperatura interior debe mantenerse en 75°C y la exterior es 20°C .

a) ¿A qué velocidad debe suministrarse energía al tanque?

(considerar también la transmisión a través de la tapa y del fondo).

b) Donde es conveniente colocar el calentador eléctrico, en la parte superior o inferior del líquido? ¿ por qué?

⇒ Un tanque de las dimensiones del problema anterior se encuentra a la intemperie y está pintado de negro.

Estimar qué cantidad de calor por segundo pierde por radiación durante la noche si su temperatura es de 27°C y la temperatura del firmamento es 3°K .

⇒ La pared exterior de un termo se encuentra a 50°C , y entre esta y la interior se ha hecho el vacío. Se llena el termo primero con agua a 100°C y después con agua a 0°C .

Hállese la razón del valor inicial de la disminución de la temperatura en el primer caso al valor inicial del incremento de temperatura por unidad de tiempo en el segundo?

¿Mantiene el termo caliente los líquidos calientes lo mismo que frío los líquidos fríos?

Preguntas

1) ¿Por qué se requiere más acondicionamiento de aire para enfriar el interior de un automóvil color azul marino, que un automóvil blanco del mismo tamaño?

2) Si se intenta diseñar una casa que ofrezca la máxima comodidad tanto en verano como en invierno, ¿preferiría usted que tuviera el techo claro u oscuro? Explique su respuesta.

3) ¿El aire caliente que se encuentra sobre el fuego se eleva o es empujado hacia arriba por las llamas?

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 30

4) ¿Es conveniente pintar un radiador de agua caliente o vapor con un emisor eficiente o con uno deficiente? Si se pinta de negro, ¿será más eficiente? ¿Por qué?

5) ¿Qué proceso es más rápido, la conducción o la convección? Dé un ejemplo para justificar su conclusión.

Problemas

1) Un panel de vidrio de una ventana mide 10 in. de ancho, 16 in de largo y 1/8 in. de espesor. La superficie interior está a 60° F y la exterior a 20° F. ¿Cuántos Btu se transfieren al exterior en 2 h?

2) ¿Cuánto calor se pierde en 12 h a través de una pared de ladrillo refractario de 3 in y un área de 10 ft² si uno de los lados está a 330°F y el otro a 78°F? Resp 50400 Btu.

3) Una pared de 6m de longitud y 3 m de altura está formada por 12 cm de concreto unidos a 10 cm de tabla de corcho. La temperatura interior es de 10°C y la exterior de 40°C. Halle la temperatura en la superficie de unión de los dos materiales.

4) Un panel de vidrio de una ventana mide 60 cm. de ancho, 1,8 m. de alto y 3 mm. De espesor. La temperatura interior es de 20°C y la exterior de -10°C. ¿Cuánto calor escapa de la casa a través de esta ventana en 1 h? Resp 31,1 MJ

5) ¿Qué espesor de concreto se requiere para alcanzar el mismo valor de aislamiento que 6 cm. de fibra de vidrio? Resp 1,2 m.

6) La pared de una planta frigorífica consiste en 6m. de concreto y 4 in. de tabla de corcho. La temperatura de la superficie interna del corcho es de -15°F y la de la superficie externa de 70°F. ¿Cuál es la temperatura de la superficie de contacto entre el corcho y el concreto? ¿Cuánto calor es conducido a través de cada pie cuadrado de esa pared en una hora? Resp 63,68°F, 5,9 Btu/ft² h

Ondas

Conocer acerca de la ciencia actual implica, entre otras cosas, entender ciertos fenómenos vinculados al porque y el como se agitan y menean los cuerpos, hasta los átomos se agitan y se menean constantemente. Este tipo de movimientos recibe el nombre de **vibración**, la cual no dura un instante sino que necesita de tiempo para poder trasladarse de un lugar a otro. Este movimiento en el espacio y en el tiempo es una **onda**.

Muchas de nuestras experiencias sensoriales cotidianas dependen de las ondas: ondas de luz para ver, ondas de sonido para oír, ondas de radio para llevar información visual y audible, ondas eléctricas y microondas para transmitir nuestras conversaciones telefónicas. Por ello resulta importante conocer acerca de su comportamiento y propiedades.

Los sonidos y las imágenes llegan hasta nosotros a través de ondas, las cuales transportan energía en forma de luz o de sonido, es decir, *la luz y el sonido son formas de energía que se propagan en el espacio como ondas*. La energía de la luz solar, por ejemplo, ilumina los ambientes, calienta la Tierra y hace crecer las plantas; la de una detonación, por ejemplo, la producida por un avión a reacción al romper la barrera del sonido, puede hacer vibrar edificios y ventanas. Luz y sonido difieren en otros aspectos. La onda sonora sólo se desplaza a través de gases, líquidos y gases, mientras que la onda luminosa también lo puede hacer en el vacío. Otra diferencia notoria es posible comprenderla analizando la descarga de un rayo, éste libera grandes cantidades de energía sonora y luminosa. El trueno y el resplandor de la tempestad puede oírse y verse a gran distancia. El relámpago es visible antes de oírse el trueno porque la luz es casi un millón de veces más veloz que el sonido.

A modo de síntesis:

Una onda es un fenómeno en el que una magnitud física *varía con el espacio y con el tiempo* de manera que es capaz de transmitir energía o información.

- *Movimiento ondulatorio*

La mayor parte de la información que se recibe llega en forma de algún tipo de onda.

Ejemplos cotidianos

⇒ El sonido es energía que llega a nuestros oídos a través de **ondas mecánicas**.

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 32

⇒ La luz, energía que llega a nuestros ojos, como las señales que reciben los aparatos de radio se propagan en forma de **ondas electromagnéticas**.

Toda onda proveniente de una fuente vibrante transmite energía pero no materia.

Ejemplos cotidianos

⇒ Al arrojar una piedra en el agua tranquila de un lago se produce una onda que se aleja del centro en círculos que se expanden, así es que la perturbación se mueve y el agua no, ya que ésta permanece allí luego de pasar la onda.

⇒ Cuando una persona conversa con otra que se encuentra en la habitación contigua, la onda de sonido se propaga a través de ésta como una perturbación en el aire. Las moléculas del aire no se mueven con la onda como se moverían con el viento.

⇒ Al agitar uno de los extremos de una cuerda extendida en la dirección horizontal, una perturbación rítmica se desplaza a lo largo de ella. Cada punto de la cuerda se mueve hacia arriba y hacia abajo mientras la perturbación se desplaza horizontalmente, sin que ocurra lo mismo con aquella.

En los ejemplos anteriores, el agua, el aire y la cuerda es el medio a través del cual se propaga la energía de la onda. Como síntesis:

La energía que se transfiere de una fuente vibrante a un receptor es transportada por una *perturbación* en un medio, no por materia dentro del medio.

Una *onda física* es una perturbación, que una vez comenzada, se propaga por sí misma a través de un medio, moviéndose en el espacio y en el tiempo, transportando energía.

- *Características de las ondas*

Un fenómeno de onda se identifica porque existe una magnitud física - el nivel del agua del mar o de una pileta, la presión de un gas, el color de un semáforo,

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 33

la intensidad de un campo eléctrico o magnético, etc. - que varía de manera aproximadamente periódica en el espacio y en el tiempo; a partir de este efecto se puede transmitir energía o información, y es posible propagar pulsos, es decir, perturbaciones que viajan sin cambiar de forma.

Resulta conveniente analizar la propagación de un pulso, para ello se considera una cuerda fija en uno de sus extremos y estirada horizontalmente por una persona. Si ésta mueve su mano hacia arriba e inmediatamente hacia abajo, volviendo a la posición inicial, es posible ver que una *pulsación* o *pulso* se propaga a lo largo de la cuerda a cierta velocidad (figura 1).

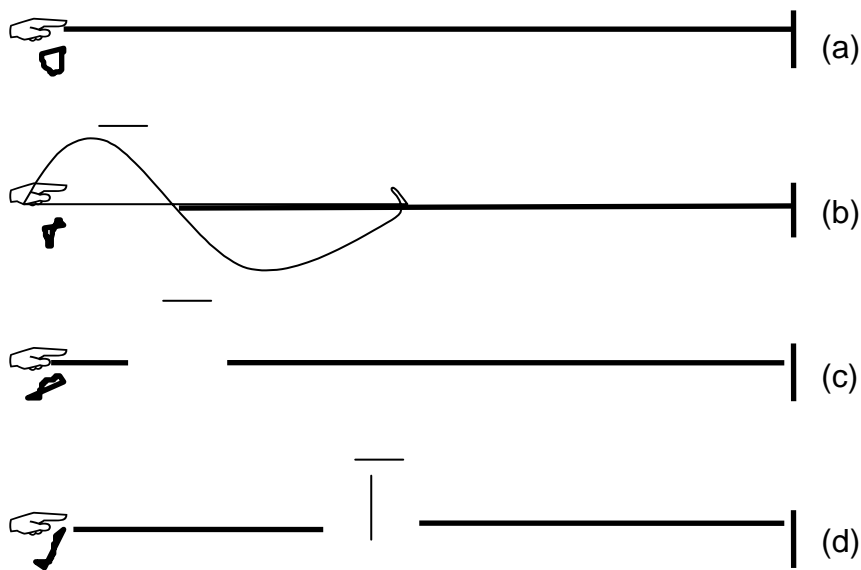


Figura 1: Propagación de un pulso a lo largo de una cuerda estirada.

Al observar un punto cualquiera de la cuerda, se nota que éste se desplaza de arriba hacia abajo reproduciendo el movimiento de la mano, mientras el pulso pasa por él (figura 1 - (d)), es decir, el punto vibra y el pulso se desplaza.

Si el movimiento de la mano es continuo, se tendrá una serie de pulsos producidos alternadamente hacia arriba y hacia abajo, que se propagan a lo largo de la cuerda (figura 2). Esta serie de pulsos constituye una *onda* que se propaga en la cuerda; los puntos más altos se llaman *crestas* y los más bajos *valles*.

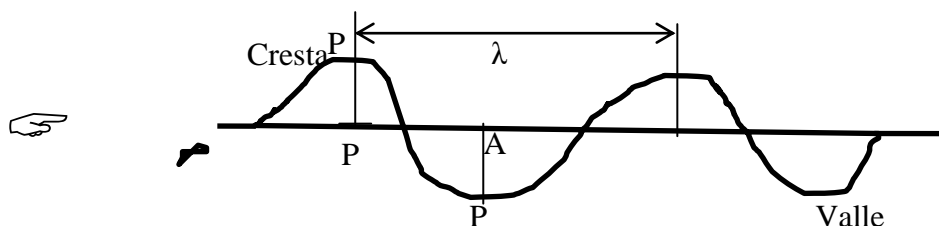


Figura 2: Las ondas están formadas de crestas y valles que se propagan por la cuerda.

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 34

Un punto cualquiera de la cuerda, al ser alcanzado por la ondulación, inicia un movimiento de vibración y oscila mientras pasa por él la onda. Por ejemplo, el punto P (figura 2) vibra dirigiéndose de P a P1, yendo luego hasta P2 y regresando a P, y así sucesivamente, mientras pasan por él las crestas y los valles.

Siendo P la posición de equilibrio, P1 y P2 posiciones extremas:

⇒ Se llama **amplitud** (A) a la distancia entre la posición de equilibrio y una posición extrema ocupada por el punto que oscila.

⇒ El tiempo que el punto P tarda en efectuar una vibración completa (P1 - P2 - P1) se llama **período** (T) del movimiento.

⇒ El número de vibraciones completas que el punto P efectúa por unidad de tiempo se llama **frecuencia** (f) del movimiento. Por ejemplo, si el punto va desde P1 a P2 y luego vuelve a P1, realizando esto 6 veces en un segundo, la frecuencia de este movimiento es:

$$f = 6 \text{ vibraciones / segundo} \quad \text{o} \quad f = 6 \text{ ciclos / segundo} \quad \text{ó} \quad 6 \text{ hertz (Hz)}$$

⇒ La amplitud y la frecuencia de vibración de este punto P definen la amplitud y la frecuencia de la onda. Es así que la amplitud de la onda es PP1 o PP2 y la frecuencia de la onda es el número de vibraciones que realiza el punto P durante 1 segundo.

⇒ Si en una onda los puntos del medio por el cual se propaga vibran con una frecuencia f, su período T está dado por:

$$T = \frac{1}{f}$$

⇒ La distancia entre dos crestas o dos valles sucesivos se denomina **longitud de onda** (λ)

⇒ La longitud de onda se relaciona con la velocidad de propagación y con la frecuencia:

$$v = \lambda \cdot f$$

Cuestiones energéticas (para pensar)

⇒ ¿En qué longitud de onda transmite la estación de radio FM 100?. El nombre de esa radioemisora se debe a que transmite con una frecuencia de aproximadamente 100 megahertz.

(Las ondas de radio y las de la luz son diferentes expresiones de una misma clase de ondas: las electromagnéticas, cuya velocidad de propagación es de unos 300.000 km/s en el vacío y en el aire).

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 35

⇒ Si una onda de agua vibra dos veces por segundo y la distancia entre dos crestas sucesivas es de 1.5 m, ¿cuál es su velocidad de propagación?

⇒ Una cuerda está constituida por dos partes, una más delgada que la otra (medios distintos), explica si la frecuencia de una onda que se propaga por ella se altera o no cuando se transmite de un medio hacia otro.

- *Ondas de energía*

Al arrojar una piedra al agua, se producen ondas que se propagan por la superficie en dirección perpendicular a la vibración, según la vertical, de las moléculas de agua. Este tipo de ondas se llaman *transversales*. Cuando una onda sonora se desplaza por el aire, las moléculas de éste vibran en la misma dirección del sonido. Este tipo de ondas se llaman *longitudinales*.

La magnitud que varía en un fenómeno ondulatorio puede ser escalar - presión, temperatura, densidad, etc. - o vectorial - desplazamiento, velocidad, campo eléctrico - ; en este último caso las ondas se pueden clasificar en transversales o longitudinales.

Ejemplos cotidianos

⇒ Las ondas electromagnéticas como las de radio, TV, la luz y las microondas, son casos de ondas transversales: sus campos eléctricos y magnéticos varían en direcciones perpendiculares a su dirección de avance.

⇒ Las ondas de compresión y descompresión del cordón espiralado del teléfono son longitudinales, ya que las perturbaciones locales tienen la misma dirección que la de propagación.

- *El comportamiento de la onda y sus propiedades*

Las características distintivas de las ondas son su propiedad de superponerse unas con otras (interferencia) de modo que se refuerzan o se debilitan, y la de ser capaces de bordear obstáculos (difracción). Además de acuerdo al medio que se les interponga pueden reflejarse o refractarse.

Luz

La luz es una forma de energía. La energía del Sol alimenta todas las formas de vida de la Tierra. Hay otros tipos de energía que, al igual que la luz, se transmiten en forma de ondas, por ejemplo, las ondas de radio, las microondas, las ondas ultravioletas. Todas ellas son **ondas electromagnéticas** y en conjunto forman el espectro electromagnético. La única parte visible de éste corresponde a los colores del arco iris. Aunque su velocidad es la de la luz, cada grupo posee una longitud de onda diferente y transporta una cantidad

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 36

distinta de energía. Las radiaciones infrarrojas, las microondas y las ondas de radio poseen una longitud de onda mayor a la de la luz visible y transportan menos energía; lo contrario sucede con los rayos X, los ultravioletas y los gama.

La velocidad de la luz es muy alta; al encender una lamparita, su luz ilumina la habitación casi instantáneamente. **La luz se desplaza a unos 300.000 Kilómetros por segundo**, este valor es universal, nada puede desplazarse a una velocidad mayor.

La mayor parte de los objetos que nos rodean son visibles gracias a que reflejan la luz que emiten ciertas fuentes luminosas (Sol, lamparita, etc); algunos materiales como el agua y el vidrio permiten el paso de la luz en línea recta, otros como el papel, dejan pasar la luz pero en direcciones difusas, y en general, los materiales no dejan pasar la luz, salvo que se utilicen en capas muy delgadas. La luz también puede originarse, por ejemplo, en el interior de un vidrio y reflejarse, este fenómeno se conoce como reflexión total interna y representa el concepto que sustenta la tecnología moderna de la óptica de fibras.

Otros fenómenos ópticos interesantes lo son la **interferencia** que se observa, por ejemplo en los torbellinos de color en las burbujas de jabón; la **difracción**, por ejemplo, se observa en la desviación de las ondas de luz en las obstrucciones que dan lugar a la formación de sombras.

- *Naturaleza de la luz*

El estudio de la naturaleza de la luz marcó hitos en la historia de las ciencias. En el siglo V antes de Cristo los filósofos Sócrates y Platón en Grecia sostenían que la luz estaba hecha de tentáculos o filamentos que los ojos emitían y así era posible ver cuando éstos entraban en contacto con los objetos. Apoyaba esta teoría Euclides y aún en el siglo XV, el famoso filósofo y matemático francés, René Descartes escribió un libro con una teoría semejante.

Más tarde los pitagóricos de Grecia creían que la luz viajaba de los objetos luminosos al ojo en forma de diminutas partículas, mientras otros pensadores de la época afirmaban que la luz se propagaba en forma de ondas. Y el tiempo siguió avanzando, Issac Newton (1642 - 1727) defendió una teoría corpuscular (la luz formada por microscópicas partículas) que fue de gran aceptación en el mundo científico, ya que a nivel experimental se comprobaba que en apariencias la luz se movía en línea recta y no se extendía hacia los costados como las ondas. Sin embargo, un contemporáneo de Newton, el científico holandés Christian Huygens (1629 - 1695), afirmaba que la luz era una onda (en ciertas condiciones la luz se extendía hacia los costados - fenómeno de difracción -).

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 37

El físico alemán Max Planck (1858 - 1947) fue el primero en enunciar que la luz no se comporta ni como una onda ni como una partícula, sino que combina propiedades de ambas, una teoría que después desarrolló Albert Einstein. Para explicar la reflexión, la refracción y la difracción de la luz, hay que imaginarla como análoga a una onda sonora, con una frecuencia y una longitud de onda. Pero para explicar la emisión y absorción de la luz por un átomo, hay que imaginarla como un flujo de partículas (fotones), cada una de las cuales transporta una cierta cantidad de energía.

En 1905, Einstein publicó una teoría (efecto fotoeléctrico) que explicaba que la luz está hecha de pequeñas partículas (fotones) que son paquetes de energía electromagnética sin masa. Por esta teoría es que recibió el Premio Nobel y no por la Teoría de la Relatividad.

- *Fuentes luminosas*

Todos los objetos emiten ondas electromagnéticas que suelen ser invisibles porque su frecuencia es menor que la de la luz visible. Pero cuando un objeto se calienta, la frecuencia de la radiación aumenta y se produce luz visible; hacia los 500°C aparece un brillo rojo que se convierte en naranja a los 2.000 °C y que es casi blanco, con emisión de todos los colores del espectro visible, al alcanzar la incandescencia a 5.000°C. Pero no sólo los objetos calientes producen luz, una corriente eléctrica, al pasar a través de un gas, excita los electrones y éstos desprenden su energía adicional en forma de luz; algunas sustancias químicas también desprenden luz.

En todas las fuentes luminosas, se obtiene energía luminosa por transformación de otra clase de energía, por ejemplo, en una lámpara eléctrica de incandescencia, la luz es consecuencia de la energía eléctrica suministrada.

No toda la energía primitiva se transforma en luminosa, parte se transforma en calor (la lámpara se calienta), otra parte es radiante y de ésta última, una parte es en las longitudes de onda entre 350 y 760 nm.

El flujo radiante y el **flujo luminoso** es la energía, radiante o luminosa, emitida por la fuente en una unidad de tiempo. Cabe señalar que el flujo luminoso no se distribuye por igual en todas direcciones del espacio, sino que depende del dispositivo empleado para la iluminación.

La **iluminación** (E) de una superficie es la relación entre el flujo luminoso que recibe y la extensión de la misma. La iluminación media de una superficie S es la relación entre el flujo total recibido ϕ y la extensión de dicha superficie:

$$E_m = \phi / S$$

Se considera interesante mencionar algunas unidades de medida de las magnitudes mencionadas anteriormente en el S.I.:

intensidad luminosa (I) = candela (cd)

flujo luminoso (ϕ) = lumen (lum)

iluminación (E) = Lux (lux)

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

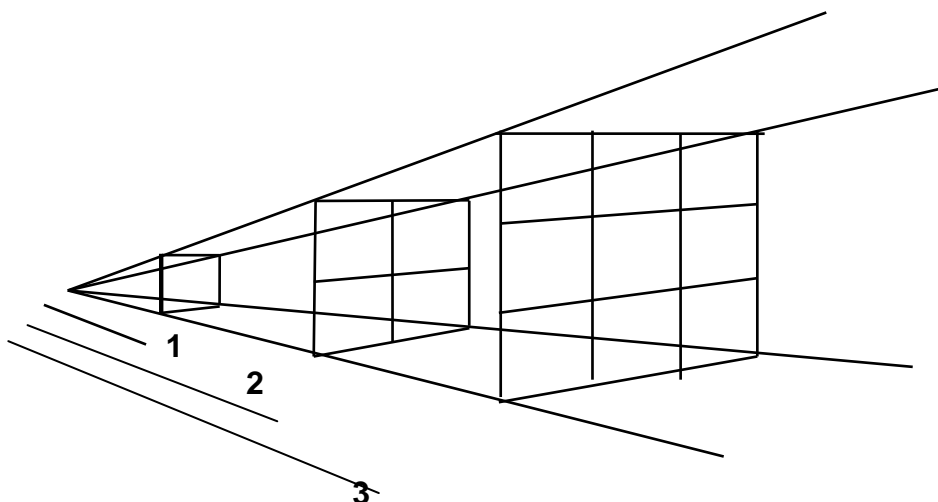
MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 38

Para poder comparar las unidades patrón con magnitudes fotométricas es necesario disponer de algún método de comparación, el más usado es la Ley de los cuadrados:

Si un haz de luz cuyo flujo es de 1 lumen se proyecta sobre una superficie de 1 metro cuadrado producirá una iluminación de 1 lux.



Si se aleja la superficie al doble de distancia, el haz de luz incidirá sobre una superficie de 4 metros cuadrados, lo que significa que la iluminación será de $\frac{1}{4}$ lux. Si se lleva a una distancia triple, la superficie iluminada será de $\frac{1}{9}$ lux, etc..

La **Ley de los cuadrados** se enuncia:

La iluminación de una superficie es directamente proporcional a la intensidad de la fuente luminosa e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

El ojo, debido a su gran capacidad de adaptación a diferentes intensidades no es muy capaz de apreciar el valor absoluto de una iluminación, pero en cambio puede percibir cual de dos superficies está más iluminada.

- *Propiedades de una onda luminosa*

Cuando la luz viaja en el espacio vacío o a través de materiales homogéneos y transparentes, se la puede considerar como un conjunto de rayos que se propagan en línea recta. Pero cuando pasa cerca del borde de un obstáculo o atraviesa un orificio pequeño, la luz se propaga en forma de onda.

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 39

Un pavimento de alquitrán desprende bajo el Sol una considerable cantidad de calor. Al ser oscuro, el alquitrán absorbe la energía de la luz que recibe y su temperatura va aumentando. Las superficies negras absorben la luz, mientras que las blancas las reflejan y se calientan más lentamente por la acción del Sol. Además de ser absorbida o reflejada, la luz también se transmite y atraviesa sustancias transparentes como el vidrio. El aspecto de un objeto tiene que ver con la forma en que absorbe, refleja o transmite luz.

La mayoría de los materiales absorben luz sin reemitirla (cuerpos opacos), impidiendo así su paso, por ejemplo, la madera, las piedras y las personas.

Cuando un objeto opaco se interpone en el camino de la luz, se produce una zona de oscurecimiento (falta de luz) llamada **sombra**; cuando llega sólo parte de luz, se denomina **penumbra**.

Ejemplos cotidianos

- ⇒ **Cristal Fotocromático**: Los cristales fotocromáticos para anteojos se oscurecen al estar expuestos a la luz solar intensa, esto se debe a que la energía luminosa altera la estructura de algunas moléculas del cristal y les hace absorber más luz; en caso contrario, el cristal es casi transparente.
- ⇒ Las **sustancias** de uso cotidiano reaccionan a la luz de diferente manera. Las **transparentes** transmiten casi toda la luz que reciben; las **traslúcidas** también pero se dispersa en su interior debido a la interacción de las partículas que la componen; las **opacas** no transmiten la luz, sino que las reflejan o absorben.
- ⇒ **Fluorescencia**: Algunas sustancias químicas absorben la luz ultravioleta, liberando luego la energía correspondiente en forma de luz visible. Se aplica en la fabricación de ropas, pinturas, maquillajes, etc.; en la fabricación de jabón en polvo se añaden sustancias fluorescentes a los detergentes para que la ropa blanca lo parezca más al sol.
- ⇒ Las **ondas de luz son transversales**, es decir, vibran perpendicularmente a su dirección de propagación. En base a esta propiedad, se fabrican, por ejemplo, cristales **polarizados** para anteojos, autos, etc., que sólo transmiten la luz que vibra verticalmente.
- ⇒ La Tierra se interpone a veces entre el Sol y la Luna, produciéndose así el eclipse de Luna. Cuando esto sucede, la sombra de la Tierra se mueve sobre la superficie lunar; en el centro del eclipse, la Luna queda oculta durante más de una hora.

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

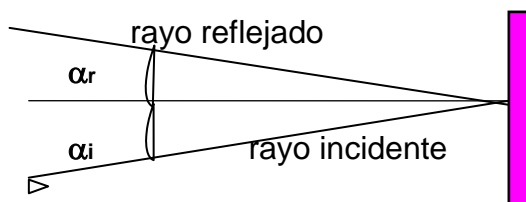
MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 40

- Reflexión - Refracción - Difusión

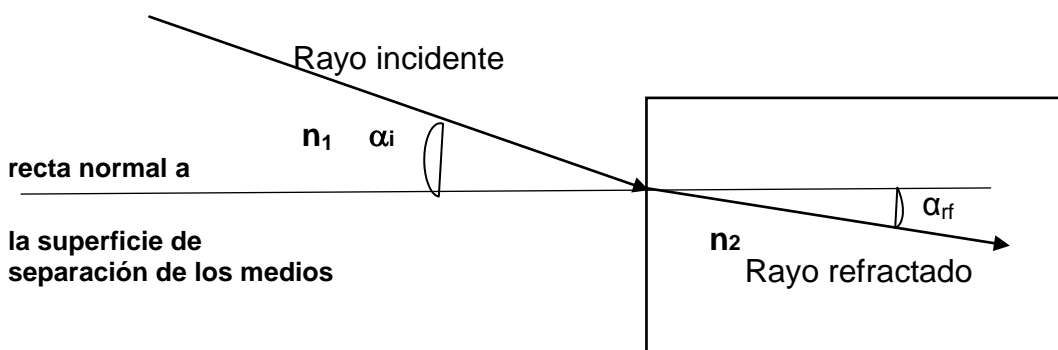
1. Algunos astros como el Sol son visibles porque poseen luz propia, pero los objetos que no emiten luz, la reflejan; por ello, su apariencia depende de la cantidad de luz que reflejan como así también de la textura de su superficie. Cuando un rayo luminoso llega hasta un espejo, se **refleja**, como lo hace una pelota de goma contra una pared:



En este fenómeno, los ángulos de incidencia y de reflexión cumplen la siguiente relación:

$$\alpha_i = \alpha_r \quad \text{Ley de Snell}$$

2. Cuando un rayo de luz incide sobre una superficie que separa dos medios distintos, parte se refleja y parte se **refracta**, es decir, la atraviesa modificando su dirección y éste se debe a que la luz se propaga con distinta velocidad en medios diferentes:



En este fenómeno, los ángulos de incidencia y de refracción cumplen la siguiente relación:

$$n_1 \cdot \text{sen} \alpha_i = n_2 \cdot \text{sen} \alpha_{rf} \quad \text{Ley de Snell}$$

donde n_1 y n_2 son los **índices de refracción** de cada medio (índice de refracción - n - de una sustancia, magnitud que relaciona la velocidad de la luz en el vacío - c - y la velocidad de la luz en dicha sustancia - v - : $n = c/v$)

TALLER VERTICAL 3 DE MATEMÁTICA

MASSUCCO – ARRARAS - MARAÑÓN DI LEO

ELEMENTOS DE FÍSICA

Página 41

3. Cuando la luz incide sobre una superficie irregular, cada porción saliente de la misma refleja la luz en determinada dirección y en consecuencia el haz reflejado no queda bien definido y se observa el esparcimiento o **difusión** de la luz en todas direcciones (reflexión difusa). Así, una persona, una pared, una hoja de papel, son objetos que difunden la luz que reciben esparciéndola en todas direcciones. Cuando esta luz penetra en nuestros ojos percibimos la imagen del objeto, si no difundiera no podríamos verlo; por el mismo motivo, varias personas pueden ver el mismo objeto a pesar de estar situadas en posiciones distintas.

- *Color*

El color de la mayoría de los objetos que nos rodean se debe a la forma en que reflejan la luz que sobre ellos incide. Nuestros ojos perciben las diferentes longitudes de onda de la luz visible o combinaciones de ellas como colores distintos; así, la luz roja corresponde a la mayor longitud de onda que podemos percibir, las más cortas el azul y el violeta, y si se mezclan todas las longitudes de onda de la luz en cantidades iguales, el resultado es la luz blanca. Lo dicho explica, por ejemplo, porque a una hoja la vemos verde al incidir sobre ella luz solar (el Sol es un ejemplo de luz blanca), es que absorbe todos los colores de la luz solar menos el verde, al que refleja.

Cuestiones energéticas (para pensar)

- ⇒ Te podés broncear al Sol en días despejados como en días nublados, pero ¿por qué no te podés broncear si te ponés detrás de un vidrio?
- ⇒ Un rayo de luz incide perpendicularmente sobre un espejo y se refleja, si se gira el espejo 10° ¿en qué ángulo se desviará el rayo reflejado respecto del rayo incidente?.
- ⇒ Un rayo de luz incide desde el aire sobre la superficie de un lago con un ángulo de 45° , ¿qué ángulo forma con la vertical el rayo refractado?.
- ⇒ ¿De qué color se ve un objeto blanco iluminado con dos reflectores, uno que da luz roja y otra que da luz verde?
- ⇒ ¿Por qué se calientan más las hojas que los pétalos de una rosa roja cuando la iluminamos con luz roja?; ¿sucede lo mismo si la iluminamos con luz verde?