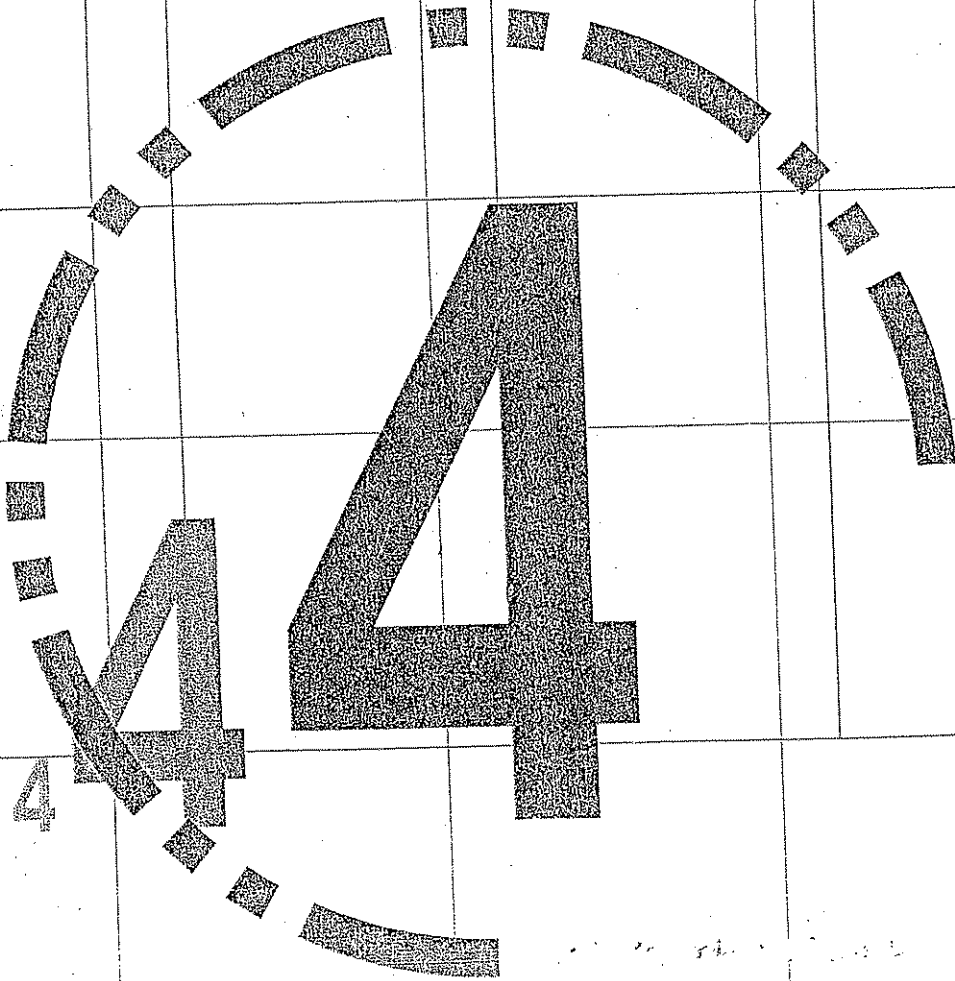


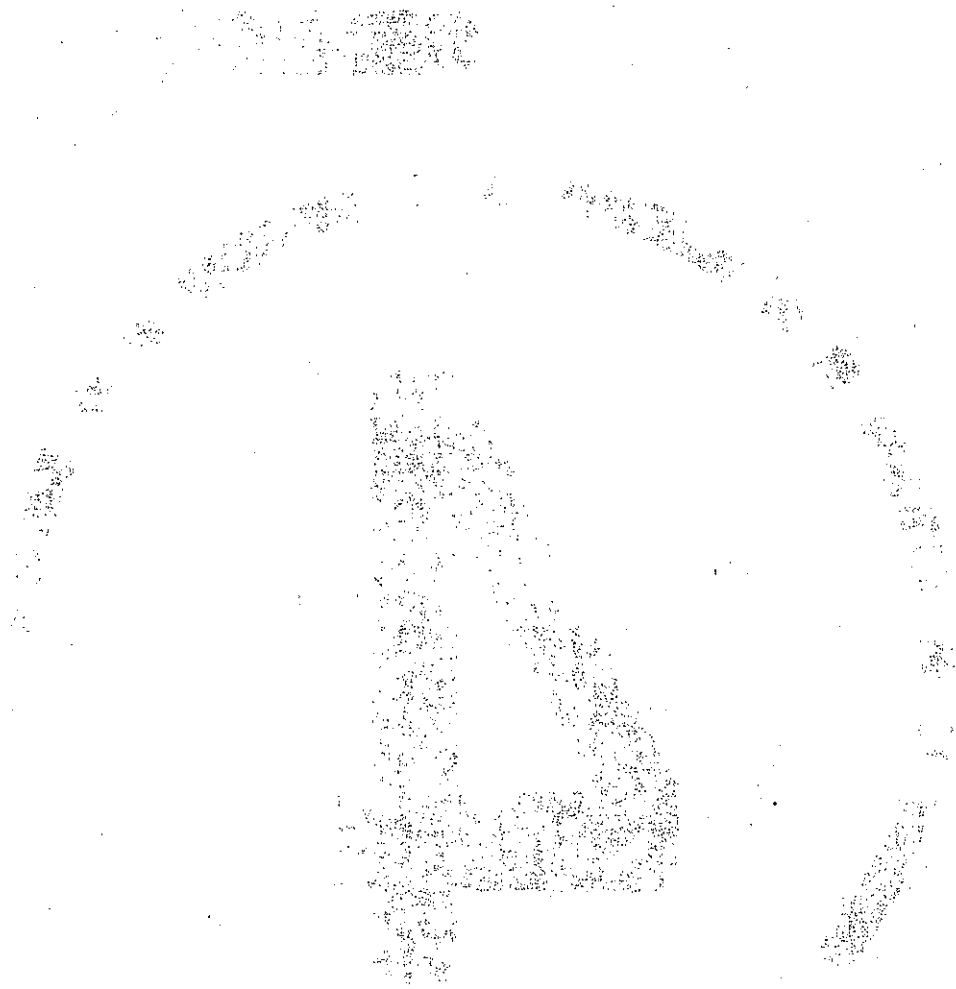
escuela secundaria ciclo superior

Cuadernillo de Física



TO THE HONORABLE SENATE OF THE UNITED STATES

REPORT OF THE



marco teórico

Física

SECRET

SECRET

SECRET

SECRET

SECRET

SECRET

SECRET

La energía: formas y propiedades

Todos los temas que estudia la Física están relacionados, directa o indirectamente, con el concepto de energía. En este capítulo, se desarrollan las principales ideas acerca de este importante concepto —que se estudiarán con mayor detalle en los capítulos siguientes—. Además, se hace una reseña de los hitos más importantes en la historia del uso de la energía y de los posibles caminos por los que podría continuar esta historia.

¿Qué es la energía?

La palabra *energía* se usa habitualmente para hacer referencia a cuestiones bastante distintas:

- Existe una Secretaría de Energía, que se dedica a los problemas vinculados con la energía eléctrica y la producción y el procesamiento de los derivados del petróleo, y una Comisión Nacional de Energía Atómica, que lleva adelante la investigación en el ámbito de la energía nuclear.
- Algunos laboratorios medicinales ofrecen productos para "restituir la energía".
- Un entrenador les pide a sus jugadores que pongan "energía en la cancha".
- Se suele decir que el mundo puede afrontar una "crisis energética" en el futuro cercano.
- Algunos embaucadores afirman poseer una "energía mental" que les permite realizar acciones fuera de lo común.
- La Física utiliza el concepto de "energía" para explicar muchos fenómenos naturales.

Se podrían agregar otros ejemplos en los que se utiliza la palabra *energía* con significados diferentes, pero también se puede consultar la definición del diccionario:

energía. (Del griego *energia*, que significa "fuerza en acción"). f. 1. Eficacia, poder, virtud para producir un efecto. // 2. Fuerza de voluntad, entereza y tesón en la actividad. // 3. Física. Capacidad de un cuerpo o sistema para producir trabajo.

También es posible acudir a la definición dada por un físico, por ejemplo, el norteamericano Richard Feynman (1918-1988), que recibió el premio Nobel en 1965. Decía Feynman en uno de sus cursos: "Hay un hecho, o si ustedes prefieren, una ley, que gobierna todos los fenómenos naturales conocidos hasta la fecha. No hay excepción conocida a esta ley: es exacta hasta donde sabemos. Se denomina *ley de conservación de la energía*. Establece que hay cierta magnitud, que llamamos *energía*, que no cambia en los múltiples cambios que sufre la naturaleza. Esta es una idea muy abstracta, porque es un principio matemático; dice que hay una magnitud numérica que no cambia cuando algo sucede. No es la descripción de un mecanismo, o algo concreto; se trata solamente del extraño hecho de que podemos calcular cierto número, y que si lo volvemos a calcular

después de haber estado observando a la naturaleza haciendo sus trucos, este número es el mismo."

De todas maneras, para comprender muchas de las acepciones dadas a la palabra *energía* y, en particular, la que utiliza la Física, habrá que llegar a alguna definición más operativa. Una forma consiste en reconocer y analizar la existencia de la energía en varios casos estudiados por la Física.

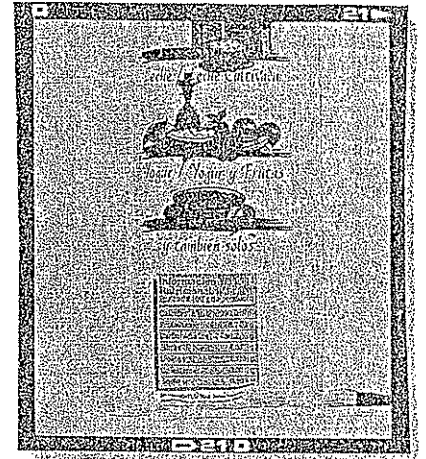
En el Sol. El Sol está relacionado de diversos modos con las temperaturas de nuestro planeta: la exposición a la radiación solar influye en la alternancia de las estaciones, en la variedad de los climas, en los seres vivos y en las cosas; además, provoca el ciclo del agua y calienta el aire produciendo el viento, y posibilita el proceso de la fotosíntesis por el cual las plantas fabrican su alimento. La radiación solar transporta energía; por lo tanto, puede decirse que el Sol tiene energía.

En los alimentos. Habitualmente, se dice que los alimentos proporcionan energía y, de hecho, generalmente, los envases tienen una indicación específica acerca del valor energético de los alimentos que contienen. Las dietas se calculan, entre otras cosas, sobre la base de los requerimientos energéticos de las personas a quienes están dirigidas. La combustión de los alimentos dentro del organismo permite mantener las funciones vitales, mantener la temperatura corporal y realizar movimientos.

En las pilas. Una pila desconectada de un circuito, tal como se la compra, no presenta ninguna particularidad. Sin embargo, al conectarla, puede producir luz en una linterna, alimentar el circuito de una radio, hacer mover el motor de un juguete, hacer funcionar un reloj, una calculadora o un "walkman". Debido a su composición química, cuando las pilas se conectan a un circuito eléctrico tienen la posibilidad de producir procesos como los descritos. Por eso, se dice que las pilas tienen energía.

En los choques. Si se produce un choque entre automóviles, el resultado será tanto más grave cuanto mayores hayan sido las velocidades de los vehículos. Un auto, debido a su velocidad, tiene la posibilidad de deformarse y de deformar el cuerpo con el que chocó. Los cuerpos en movimiento tienen energía.

En un arco que lanza una flecha. La distancia a la que puede llegar una flecha arrojada con un arco depende del ángulo de tiro y de la deformación producida en el arco. Cuanto más se tense la cuerda, más lejos podrá llegar la flecha. El arco con su cuerda tensada tiene energía.



Frecuentemente, la energía que puede suministrar un alimento aparece indicada en los envases.

Cómo se evidencia la energía

¿Qué es lo que tienen en común el Sol, los alimentos, las pilas, los autos en movimiento y los arcos que lanzan flechas para que a todos ellos se los reconozca como poseedores de energía?

- El Sol produce cambios en la Tierra: por ejemplo, transformaciones climáticas en la atmósfera, o químicas en las hojas de los vegetales.
- Los alimentos, una vez ingeridos, reaccionan químicamente, lo que permite la utilización de parte de la energía que contienen.
- Las pilas, antes de ser conectadas, tienen la posibilidad de ser usadas para calentar, iluminar, mover, etc., es decir, producir transformaciones en otros cuerpos, como linternas, radios, juguetes, etcétera.
- Un auto en movimiento tiene la propiedad, en caso de chocar, de poder deformarse o deformar otro cuerpo.
- El arco con su cuerda tensada tiene la posibilidad de cambiar el estado de una flecha, que pasa de estar detenida a tener cierta velocidad.

Todos los sistemas analizados tienen en común el hecho de que pueden transformarse o transformar a otros, y esto permite dar una primera definición de lo que se entiende por energía: la energía es una propiedad de los cuerpos —o los sistemas de cuerpos— por la cual estos pueden transformarse, modificando su estado o situación, así como actuar sobre otros, produciendo transformaciones.

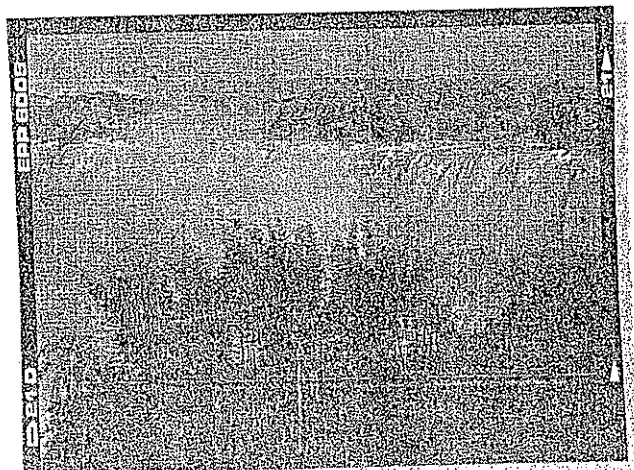
En otras palabras, se dice que un sistema tiene energía cuando puede transformarse a sí mismo o a otros. Por ejemplo, se puede analizar la siguiente secuencia, en la que cada etapa implica cambios o posibilidad de cambios, por transferencias de la energía, en los sistemas que intervienen:

- 1| Una persona se alimenta. La energía de los alimentos permite que mantenga sus funciones vitales, conserve su temperatura corporal y realice esfuerzos y movimientos.
- 2| Esta persona toma un arco y una flecha, y tensa la cuerda del arco para poder arrojar la flecha. Al hacerlo, transfiere energía al arco, que, al tener la cuerda tensa, puede modificar el estado de la flecha.
- 3| Se efectúa el disparo de la flecha, que pasa a tener energía porque se está moviendo.
- 4| La flecha da en el blanco y produce modificaciones en él.

Los alimentos, la persona, el arco y la flecha tienen energía porque —según la definición— cada uno de ellos puede transformarse a sí mismo o producir transformaciones en otros cuerpos.

Esta definición de *energía* —aun siendo provisoria— es la que debe tenerse presente cuando se emplea esta palabra en ciencias o en tecnología.

El agua, al moverse, puede arrastrar un tronco o accionar un molino, es decir, puede producir transformaciones en otros cuerpos. Esto significa que posee energía.



La energía se mide

Hay sistemas que tienen más energía que otros y, en muchos casos, resulta posible medir la energía de un sistema determinado, es decir que se puede indicar, por ejemplo, que un cuerpo tiene tres veces más energía que otro.

Existe una gran variedad de procesos de medición de energía; sin embargo, como sucede con todas las magnitudes, hay que seleccionar una unidad de medida que sirva como referencia cuando se habla de energía. El Sistema Internacional de unidades aceptado por nuestro país con el nombre de Sistema Métrico Legal Argentino (SIMELA) mide la energía en una unidad llamada *joule* (J), en homenaje al físico inglés James Joule (1818-1889).

Se puede tener una idea del valor de esta unidad considerando que, si se deja caer un pan de manteca de 100 gramos desde aproximadamente un metro de altura, llega al piso con una energía de un joule.

Estos son otros ejemplos en los que se utiliza esta unidad de medida:

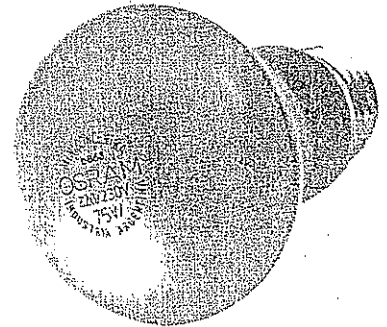
- Una lamparita de 75 watt (W) encendida emite luz y calor por valor de 75 J por segundo.
- Un auto mediano que se desplaza a 40 km/h tiene una energía, debida a su movimiento, de aproximadamente 50.000 J. Este valor no solo está relacionado con la velocidad, sino que depende también del tipo de auto.
- La energía acumulada en un gramo de azúcar es de unos 16.000 J. Esta es la cantidad máxima de energía que puede entregar este alimento al organismo cuando se produce su combustión.

Otras unidades de energía

Desde el punto de vista legal, la energía se debe medir en joules; sin embargo, por costumbre o comodidad, a veces se utilizan otras unidades para expresar la energía, aunque no corresponden al SIMELA:

- La energía entregada por las compañías que proveen energía eléctrica está expresada en kilowatt (kW) por hora. Cada kilowatt por hora equivale a 3.600.000 J. Esta información aparece en las facturas donde se indican los gastos efectuados en el mes o en el bimestre.
- Una unidad que se usa habitualmente para medir fenómenos térmicos es la caloría, que equivale a 4,18 joules.
- También es común el uso de la kilocaloría (kcal), mil veces mayor que la anterior. Esta unidad es la que se suele utilizar en las dietas y, en general, para referirse al valor energético de los alimentos —que, aunque se indiquen en calorías, en realidad están expresados en kilocalorías. Así, por ejemplo, se dice que una bebida dietética tiene “bajas calorías”.

Para efectuar el cálculo de la energía de un sistema, ya sea en joules o en cualquiera de las otras unidades indicadas, hace falta disponer de datos que indiquen cómo se manifiesta esa forma de energía. Por ejemplo, para calcular de cuántos joules es la energía debida al movimiento de un automóvil, habrá que conocer su masa y su velocidad. Para el cálculo de otras formas de la energía, se requerirá saber valores de la temperatura, de la presión, de la intensidad de corriente eléctrica, etcétera.



Una lamparita de 75 W encendida emite luz y calor por valor de 75 J por segundo.

Transferencia de la energía

Si se admite que la energía que tiene un sistema está relacionada con la posibilidad de producir modificaciones en otros cuerpos, entonces también se admite que la energía puede pasar o transferirse de un sistema a otro.

Muchas veces, resulta más evidente la presencia de la energía cuando se transfiere de un sistema a otro que cuando permanece latente en un solo sistema. Por ejemplo, la energía acumulada en forma química en una pila se pone de manifiesto cuando se la transfiere a una lamparita en una linterna o al circuito de una calculadora.

Aunque existen muchas manifestaciones o formas de la energía, el intercambio entre dos o más cuerpos se realiza solo mediante tres formas: calor, trabajo y radiación.

El calor. Al soldar caños, la llama del soplete entrega energía al plomo y lo funde; para cocinar o calentar alimentos, se los puede colocar en un horno caliente en el que parte de la energía proveniente de la combustión del gas pasa a dichos alimentos; una plancha caliente eleva la temperatura de la ropa al transferirle energía.

En los ejemplos anteriores, se da la situación de que sistemas que se encuentran a mayor temperatura —la llama del soplete, el horno o la plancha— entregan energía a cuerpos que se hallan a menor temperatura. La forma de transferencia de la energía, caracterizada por el hecho de que esta pasa espontáneamente desde cuerpos a mayor temperatura a otros de menor temperatura, se llama *calor*.

El trabajo. Existe otra forma de transferencia de energía relacionada con las fuerzas que ejercen los sistemas entre sí. Un imán puede atraer un alfiler cuando se lo acerca a él. Si el alfiler estaba quieto, adquiere energía de movimiento por acción de la fuerza que el imán aplica sobre él para atraerlo. Si, por alguna razón, el alfiler se queda quieto —por ejemplo, porque se lo sostiene con la mano—, la fuerza que ejerce el imán sigue actuando sobre él, aunque no se produce la transferencia de energía.

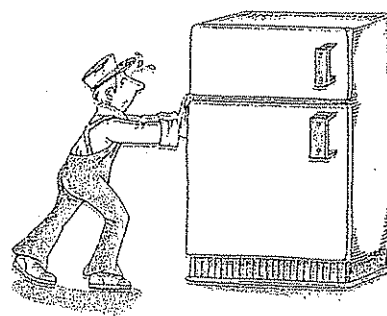
Una persona tiene que mover un mueble y lo empuja. Si logra desplazarlo, le está transfiriendo energía por acción de una fuerza; en cambio, si no logra desplazarlo, por más esfuerzo que haga no le transfiere energía.

La forma de transferir energía desde un sistema a otro mediante la acción de fuerzas se denomina *trabajo*. Para que exista un trabajo no basta con que haya fuerzas entre los sistemas; se debe dar, además, una real transferencia de energía desde uno al otro.

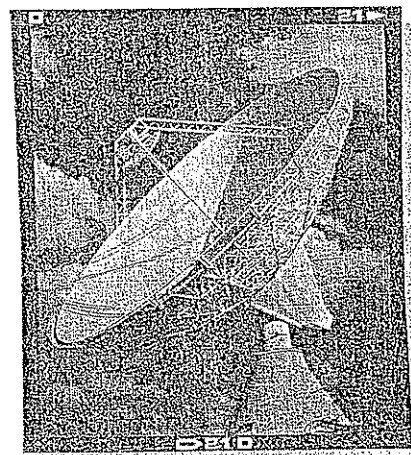
La radiación. El funcionamiento de un teléfono celular depende de dos fuentes de energía: por un lado, las baterías hacen funcionar el circuito electrónico, pero, por otro lado, la comunicación implica que una señal —esto es, energía— llega desde una antena emisora hasta la antena receptora del aparato.

Cuando una persona se saca una radiografía, se produce una fuerte emisión de energía que, después de atravesar el cuerpo del paciente, produce reacciones químicas en la placa. En este proceso, se transfiere energía del tubo de rayos X a la placa.

Esta forma de transferir energía se realiza mediante ondas y recibe el nombre de *radiación*. Por ejemplo, la luz es una forma de radiación por la cual se transmite energía, desde una fuente luminosa o desde un cuerpo iluminado, al ojo.



La persona transfiere energía a la heladera haciendo fuerza sobre ella, es decir, realizando trabajo.



La energía recibida por la antena se transmite como radiación desde el lugar donde fue emitida.

Formas de la energía

La energía se presenta de maneras diversas, que no es sencillo clasificar. En lugar de intentar definir las múltiples formas en que se puede presentar la energía, se abordarán algunos ejemplos para luego hacer una clasificación.

La energía que proviene del Sol

El Sol constituye la fuente de casi toda la energía que se utiliza en la Tierra, por lo que se suele hablar de *energía solar*.

¿Cómo se producen las transformaciones energéticas en el Sol? La energía del Sol, al igual que la de todas las estrellas, es energía nuclear. En las condiciones de presión y temperatura que se dan en una estrella, se produce el fenómeno de fusión nuclear por el que núcleos de hidrógeno se unen para formar helio. Durante este proceso, se genera una gran cantidad de energía que, en parte, es radiada por la estrella hacia el espacio exterior. Así es como una parte de la energía del Sol llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética.

¿Qué ocurre con esta energía cuando llega a la atmósfera?:

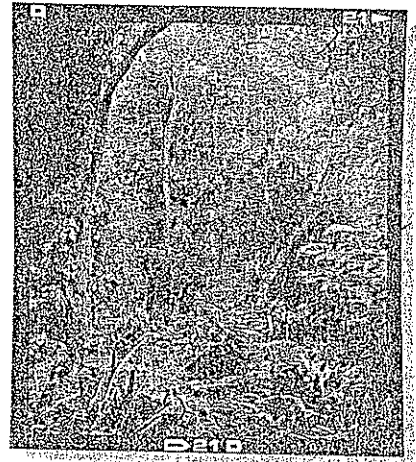
- Una muy pequeña proporción —aproximadamente el 0,03 %— es utilizada en la fotosíntesis. Durante este proceso, la energía transportada por la luz desde el Sol, queda acumulada como energía química o energía interna de las moléculas de glucosa que se forman en los vegetales.

Los animales herbívoros obtienen esta energía de los vegetales que constituyen su alimento y, a lo largo de la cadena alimentaria, se produce un flujo de la energía que provino del Sol. Los restos de los animales, que formaron parte de este proceso millones de años atrás, constituyeron los yacimientos de hidrocarburos. Esto significa que el petróleo y sus derivados contienen energía química que alguna vez fue energía solar.

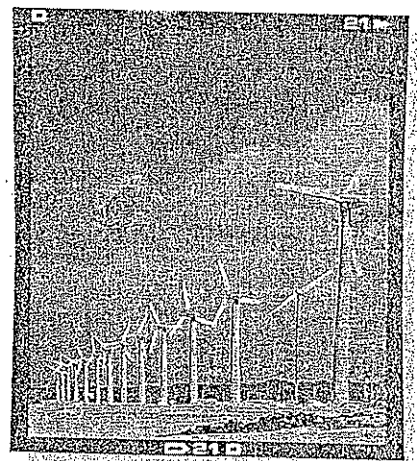
- Parte de la energía proveniente del Sol calienta el aire de la atmósfera, lo que provoca su movimiento, es decir, el viento. El viento también tiene energía. Esta energía, denominada *eólica*, se utiliza con diversos fines: impulsar un barco de vela, bombear agua mediante un molino o hacer funcionar un generador eólico de electricidad. Tanto el viento como los tres sistemas nombrados tienen energía, que se evidencia en el hecho de que todos ellos están en movimiento. El viento, lo mismo que el barco, tiene tanta más energía cuanto mayor es su velocidad, y tanto el molino como el generador funcionan solo cuando giran, es decir, cuando se mueven. Cuando la energía que tiene un sistema se manifiesta a través del movimiento de ese sistema, se habla de energía *cinética*.

Si el generador eólico está conectado a una vivienda, sus habitantes disponen de energía eléctrica y, al conectar a la red los artefactos domésticos, se producen nuevas transformaciones. El televisor, por ejemplo, transforma la energía eléctrica en energía luminosa, en energía sonora y en energía interna del aire y de las partes del aparato que se calientan. El lavarropas transforma la energía eléctrica en energía cinética de sus partes móviles. Al elevar su temperatura, una estufa eléctrica transforma la energía eléctrica en energía interna del aire. Si se conecta un cargador de baterías, la energía eléctrica se transformará en energía interna de la batería.

La energía proveniente del Sol sufre múltiples transformaciones, se presenta de muchas formas diferentes y constituye prácticamente la totalidad de la energía que se utiliza en la Tierra.



Mediante el proceso de fotosíntesis, la energía que llega desde el Sol sustenta todas las cadenas alimentarias.



En los generadores eólicos, la energía cinética del viento se transforma en energía eléctrica.

La energía que no proviene del Sol

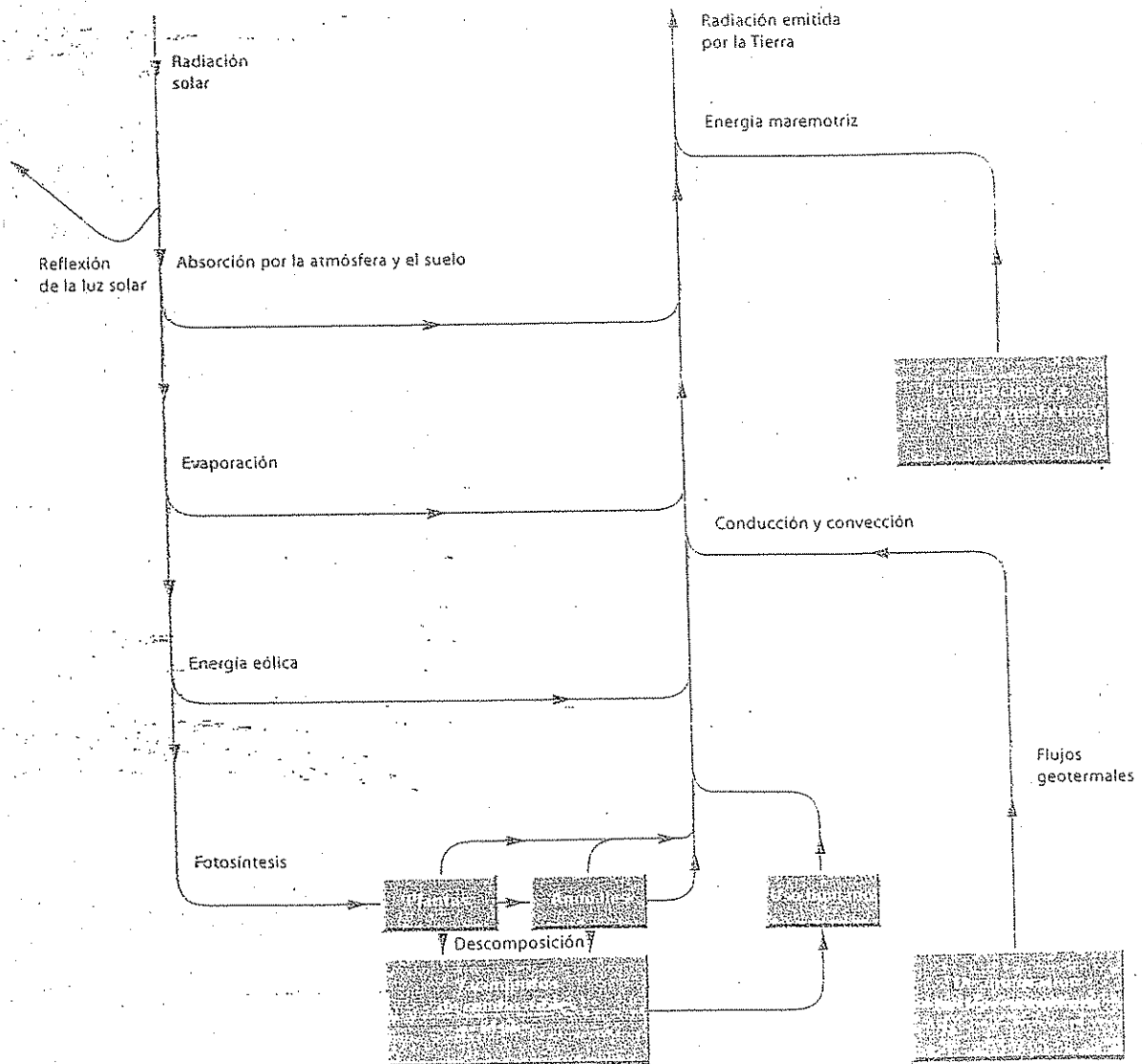
En la Tierra existen dos formas de energía que no son de origen solar: la energía nuclear y la maremotriz.

La energía nuclear. No solo en las estrellas se producen transformaciones nucleares. En las centrales nucleares como las de Atucha y Embalse Río Tercero, se produce energía nuclear mediante un proceso llamado *fi-sión nuclear*, por el cual se parten núcleos de uranio mediante un bombardeo de neutrones.

Otro fenómeno que ocurre en algunos núcleos atómicos es el de radiactividad. Los núcleos radiactivos emiten espontáneamente partículas con cierta energía cinética y radiaciones. Se los utiliza con fines médicos, industriales o de investigación. La radiactividad produce, además, el calentamiento en el interior de la Tierra, que genera, a su vez, los flujos termales.

La energía maremotriz. La Tierra y la Luna se atraen mutuamente debido a la interacción gravitatoria entre ambas. La atracción de la Luna se manifiesta sobre el agua del mar provocando mareas. Estos movimientos de grandes masas de agua implican grandes cantidades de energía, llamada *maremotriz*, que, en algunos casos, se utiliza para accionar generadores de energía eléctrica.

Parte de la energía proveniente del Sol es absorbida por la atmósfera y por el suelo, lo que da lugar a todos los fenómenos climáticos. Al absorber la energía solar en el proceso de fotosíntesis, las plantas permiten que esta se incorpore a los sistemas vivos.



La energía y la Física

De lo visto hasta aquí, se desprende que existen diversos tipos de energía: solar, nuclear, química, interna, eléctrica, eólica, cinética, luminosa, sonora y maremotriz. Sin embargo, no son estas las únicas maneras de referirse a la energía; también se utilizan términos como energía mecánica y energía potencial o, siguiendo otra clasificación, energías convencionales y no convencionales.

Cada una de estas denominaciones tiene su utilidad y significado en determinadas circunstancias, y resultan útiles para comunicar procesos energéticos.

Sin embargo, el empleo de estos nombres implica la posibilidad de que se usen calificativos distintos para referirse a una misma energía; por ejemplo, las energías eólica y maremotriz son formas de la energía cinética, porque tanto el aire como el agua tienen energía debido a su movimiento.

Por esta razón, en Física se opta por simplificar la nomenclatura y se utilizan solo algunas de las categorías mencionadas.

Energía cinética. Es la energía que tienen los cuerpos debido a su movimiento.

La energía cinética depende de la velocidad del cuerpo: cuanto mayor sea la velocidad, mayor será la energía cinética. Además de la velocidad, en este tipo de energía interviene la masa del cuerpo. A igual velocidad, un camión grande tiene más energía cinética que un automóvil pequeño.

Energía potencial gravitatoria. Esta energía está relacionada con la posibilidad que tienen los cuerpos de modificarse o de modificar a otros debido a su posición en el campo gravitatorio.

En las cercanías de la Tierra, los cuerpos son atraídos hacia abajo y caen si no son sostenidos. Un cuerpo tiene más energía potencial gravitatoria cuanto mayor sea su altura, ya que su posibilidad de modificarse o modificar a otro al caer aumenta al estar más alto.

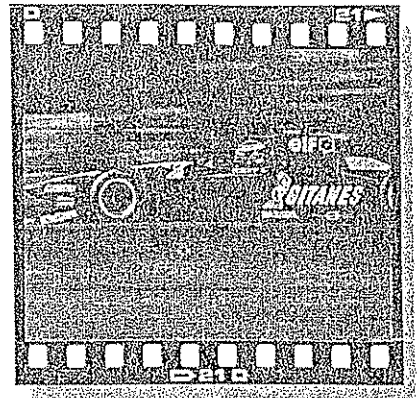
Como en el caso de la cinética, la energía potencial gravitatoria también depende de la masa. Si dos cuerpos están colocados a la misma altura, tiene más energía potencial el de mayor masa.

Energía interna. Si bien en algunos casos se podría reconocer como energías cinética y potencial, se utiliza el concepto de energía interna para referirse a la energía debida tanto al movimiento de las partículas que forman un cuerpo como a la energía que genera la posición relativa de esas partículas.

En un gas, la energía cinética total de las moléculas es la energía interna. En el caso de una molécula de glucosa, se dice que su energía interna es la que puede entregar en su combustión. En este caso, también se habla de *energía química*.

Energía eléctrica. Al cerrar un circuito, se produce el pasaje de una corriente eléctrica. Durante este proceso, pasa energía de una parte del circuito a otra. Por ejemplo, al cerrar el circuito de una linterna, la energía interna de la pila permite encender la lamparita, en la que se emite energía en forma de luz y se calienta el filamento. La energía de la corriente eléctrica que permite esta transferencia se llama *energía eléctrica*.

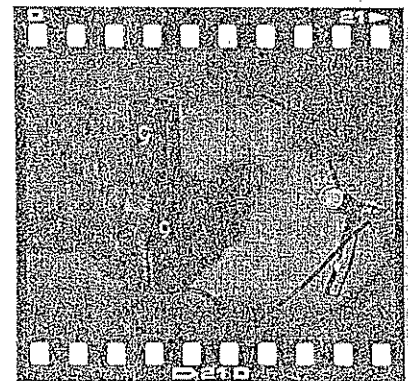
Energía nuclear. En aquellos casos en los cuales las partículas adquieren energía cinética debido a procesos en los que intervienen modificaciones del núcleo atómico, se dice que la energía es de origen nuclear. Ejemplos de esta situación son los casos de fusión y fisión nuclear.



La energía cinética de un cuerpo aumenta al aumentar su velocidad. La enorme energía cinética que adquiere un auto de competición hace potencialmente peligrosa esta actividad.



Antes de efectuar el salto desde el trampolín, la deportista tiene energía potencial gravitatoria debido a la altura a la que se encuentra.



Al cerrar el circuito, la energía química de la pila se transforma en energía eléctrica.

La conservación de la energía

Una de las propiedades más importantes de la energía es su conservación, aunque a veces resulte muy complicado medirla. Esta es una herramienta poderosa para resolver situaciones científicas y técnicas muy variadas.

Esta propiedad consiste en que si solo dos cuerpos intercambian energía, la energía cedida por uno de ellos es necesariamente igual a la ganada por el otro. En cualquier circunstancia, si se evalúan todas las entradas y salidas de energía de un sistema, se puede constatar que la energía ganada o perdida por ese sistema resulta igual a la variación experimentada por su energía interna.

Es decir que, si en un sistema ingresan 100 J de alguna forma de energía y, mediante algún mecanismo, el sistema cede 30 J, se puede afirmar que, al final, la energía interna del sistema aumentó en 70 joules.

La degradación de la energía

Otra propiedad importante de la energía es que se degrada. Si se considera nuevamente el ejemplo en el que la energía interna del combustible del auto se transformó en energía interna de las cubiertas o del pavimento, resulta evidente que esta última ya no es útil para impulsar al auto nuevamente.

Este proceso de degradación también se puede observar en el calentamiento de la soga que eleva el sillón o en los productos de la combustión del gas y en el calentamiento del aire cerca de la llama del encendedor.

En todos los procesos naturales, la energía, además de conservarse, pasa de formas más ordenadas a otras más desordenadas. Este hecho se expresa diciendo que la energía "se degrada", es decir que se convierte en energía menos útil.

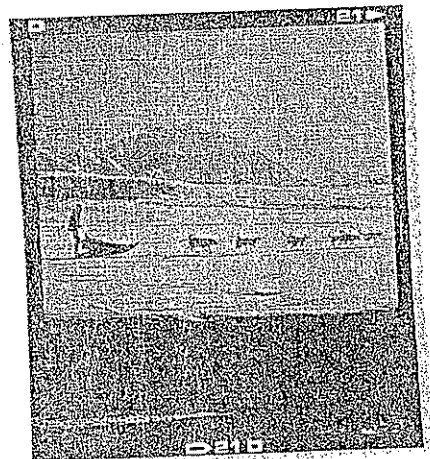
Alcances del concepto de energía

Como resumen, se puede decir que las principales propiedades de la energía son las siguientes:

- Se presenta en distintas formas y, aun en un mismo sistema, puede pasar de una a otra.
- La energía se puede transferir de un sistema a otro.
- La energía se puede medir o calcular.
- En todas las transformaciones realizadas en un sistema aislado, la energía se mantiene constante.
- En todas las transformaciones naturales, por lo menos una parte de la energía involucrada sufre una degradación.

La energía no solo es un concepto relacionado con todas las ramas de la Física, sino que está presente en la totalidad de los estudios de la Química, y permite la comprensión de una enorme cantidad de conceptos de la Biología, la Geología y la Astronomía. Además, está presente en la explicación sobre el funcionamiento de todos los sistemas tecnológicos.

En otras palabras, la energía es un concepto clave para comprender el mundo natural y tecnológico y, por lo tanto, para poder opinar y tomar decisiones fundamentales sobre muchos problemas de la vida cotidiana.



El aumento de la energía del trineo es la diferencia entre la energía que le entregan los perros y la que pierde por fricción contra la nieve.

Historia del uso de la energía: del fuego al reactor nuclear

En África, se han hallado restos pertenecientes a los antepasados de la actual especie humana que datarían de, aproximadamente, unos cuatro millones de años. Los científicos que estudian la evolución de la especie humana los denominaron *Homo habilis* porque, entre esos restos, encontraron vestigios de herramientas de piedra muy rudimentarias.

El uso de una piedra para golpear otra como si fuera un martillo, o el acto de arrojar una piedra o una lanza para cazar un animal implican la utilización de la energía cinética, pues, al estar en movimiento, el arma o la herramienta resultan más efectivas.

Avanzando en el tiempo, hace unos treinta mil años, el hombre comenzó a dominar el fuego, lo que representó un uso revolucionario de la energía. La posibilidad de encender y mantener el fuego permitió no solo la calefacción, sino el comienzo de la cocción de los alimentos y, posteriormente, marcó los inicios de la metalurgia.

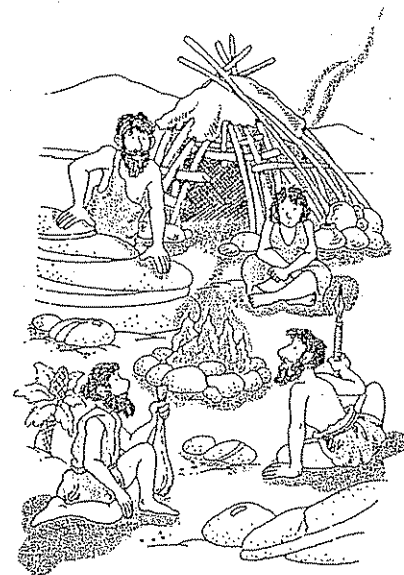
Aun cuando ya utilizaba el fuego, la mayor parte de la energía requerida por el hombre primitivo estaba ligada a su alimentación: necesitaba la energía de los alimentos y gastaba gran parte de su energía en buscarlos. Esta situación se mantuvo hasta que, hace menos de diez mil años, con la aparición de la agricultura y la ganadería, el hombre comenzó a gastar menos energía en la búsqueda de los alimentos y mantuvo fuentes de energía disponibles como son los rebaños y las plantaciones.

Unos cinco mil años más tarde, empezaron a usarse animales para la tracción de arados. Progresivamente, la utilización de la energía aportada por animales fue extendiéndose al transporte, la molienda de granos, o las bombas para impulsar agua, y alcanzó su apogeo hacia fines del siglo XVIII. Pese a su decaimiento, esta forma de utilización de la energía sigue vigente.

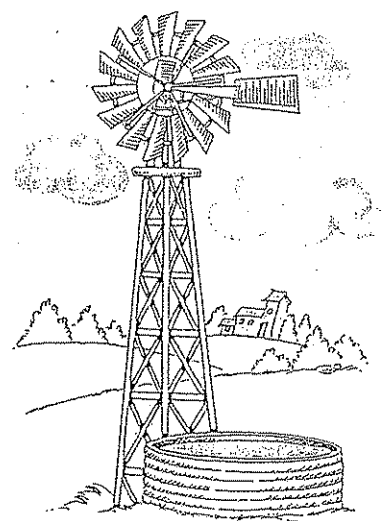
Los molinos

Otra etapa en el aprovechamiento de la energía está representada por el desarrollo de los molinos. Desde hace 2000 años, diferentes civilizaciones comenzaron a utilizar los molinos: primero, movidos por corrientes o caídas de agua y, luego, impulsados por el viento. Estos primitivos sistemas hidráulicos y eólicos utilizaban la energía cinética del agua o del aire para moler cereales y minerales, o para propulsar las bombas de agua.

La energía cinética del aire también se utilizó en la navegación para reemplazar a los remeros que impulsaban los barcos. Mediante las velas, los barcos convertían la energía cinética del aire en energía cinética de la nave. No existen datos acerca de la época en que se utilizó por primera vez la vela para impulsar un barco, pero las referencias más antiguas sobre la navegación de los egipcios o de los fenicios ya incluyen la navegación de vela.



El dominio del fuego fue el primer avance revolucionario del hombre en la conversión de la energía.



Desde hace por lo menos veinte siglos, los molinos permiten el uso de la energía de las caídas de agua o del viento.

Las máquinas de vapor

La existencia de regímenes esclavistas, en la mayor parte de las civilizaciones de la antigüedad, fue posiblemente una de las causas por la que, durante muchos años, no se produjeron adelantos importantes en la utilización de sistemas que mejoraran el uso de la energía.

Aunque los sistemas existentes se fueron perfeccionando gradualmente, fue recién en el siglo XVIII que se produjo otro hecho revolucionario en el uso de la energía: el desarrollo de las máquinas de vapor.

Desde comienzos del siglo XVII, se utilizaba como combustible el carbón mineral, que había permitido, entre otras cosas, el mejoramiento de los hornos para lo que hoy llamaríamos siderurgia. Las minas de las que se extraía el carbón se inundaban frecuentemente y el agua era extraída mediante bombas accionadas por caballos. En 1712, se utilizó por primera vez una bomba impulsada por un motor de vapor, diseñado por el mecánico inglés Thomas Newcomen (1663-1729).

La invención de Newcomen no era muy eficiente; el mecánico escocés James Watt (1736-1819) introdujo, hacia 1769, importantes modificaciones que hicieron de la máquina de vapor un sistema con mayor rendimiento. Las mejoras introducidas y las modificaciones que se hicieron para aplicar la máquina al movimiento de telares tuvieron gran influencia en la Revolución Industrial, que comenzó en Inglaterra en la segunda mitad del siglo XVIII.

Un hecho curioso es que el desarrollo de las máquinas de vapor generó una de las primeras disputas por el uso de patentes, es decir, el derecho que tiene un inventor para comercializar su invento en forma exclusiva: la máquina de Watt se utilizó hasta 1784 para desagotar minas, ya que la patente no autorizaba otro uso.

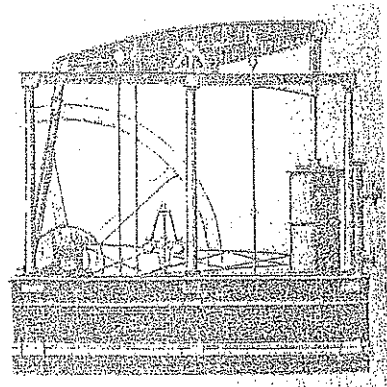
A medida que las máquinas de vapor eran más seguras y eficientes, comenzaron a ser usadas para el transporte. En 1803, el ingeniero norteamericano Robert Fulton (1765-1815) realizó, en París, pruebas exitosas con un pequeño barco impulsado por una máquina de vapor e instaló, en los Estados Unidos, en 1807, la primera línea de barcos de este tipo. En 1823, comenzó a circular en Inglaterra el primer ferrocarril con una locomotora de vapor.

Las pesadas máquinas de vapor no resultaron útiles para la propulsión de los automóviles, aunque hubo muchos ensayos en ese sentido.

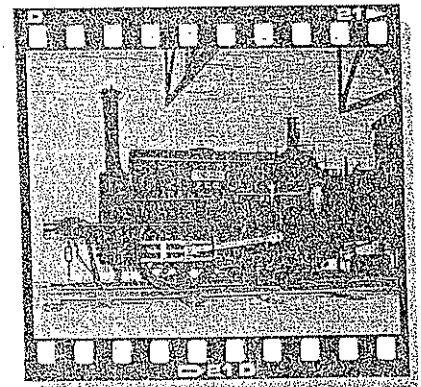
Los motores de combustión interna

El desarrollo de los motores que utilizan la energía interna del petróleo tuvo varias etapas. El primer antecedente corresponde a los ingenieros italianos Felice Matteucci y Luigi de Cristoforis quienes, en 1856, hicieron funcionar un motor alimentado con gas de alumbrado. En 1885, Nicolas Otto desarrolló, en Alemania, el primer modelo de motor que permitió la fabricación de automóviles en forma industrial.

Los motores livianos no solo revolucionaron los transportes terrestres, sino que permitieron los primeros ensayos de navegación aérea. Así fue como los globos aerostáticos —que desde 1783 ascendían con pasajeros—, con una adaptación en su forma para hacerlos más aerodinámicos y el agregado de motores, se convirtieron en dirigibles. En 1903, el mecánico norteamericano Orville Wright (1871-1948) realizó el primer vuelo en un avión impulsado por un motor. El desarrollo y la enorme difusión del uso de los motores de combustión interna comenzó a generar una gran dependencia energética respecto del petróleo.



Las máquinas impulsadas por vapor produjeron grandes cambios en la industria y en los transportes.



El 29 de agosto de 1857 un tren hizo su viaje inaugural en nuestro país. Como registran las crónicas de la época, el tren era impulsado por la "locomotiva" La Porteña; entre los pasajeros, se encontraban Bartolomé Mitre y Domingo Faustino Sarmiento.

Los motores eléctricos

En 1799, el científico italiano Alessandro Volta (1745-1827) inventó la pila. A partir de este hecho, que implicaba la posibilidad de disponer de un sistema que transforma energía química en energía eléctrica, se produce un gran avance en la comprensión de la energía eléctrica y, posteriormente, en el estudio de sus aplicaciones.

Hacia 1840, se crearon los primeros motores eléctricos, es decir, sistemas que podían transformar energía eléctrica en cinética, como los que hoy impulsan los juguetes alimentados con pilas. Más adelante, se desarrollaron los llamados motores de corriente alterna que hoy utilizan los artefactos domésticos;

Entre 1867 y 1869, varios investigadores —Paccinotti, en Italia; Siemens, en Alemania, y Gramme, en Francia— realizaron grandes avances en la invención de la dinamo, un sistema que transforma energía mecánica en eléctrica: si una máquina de vapor accionaba estos sistemas, se podía disponer de energía eléctrica, por ejemplo, para iluminar.

Otros sistemas eléctricos

Para lograr la lamparita, que transforma energía eléctrica en luminosa, también fueron necesarios varios ensayos, hasta que, en 1878, el norteamericano Thomas Edison (1847-1931) logró industrializarla. Gracias a este invento, hacia 1880 comenzó a expandirse la iluminación eléctrica.

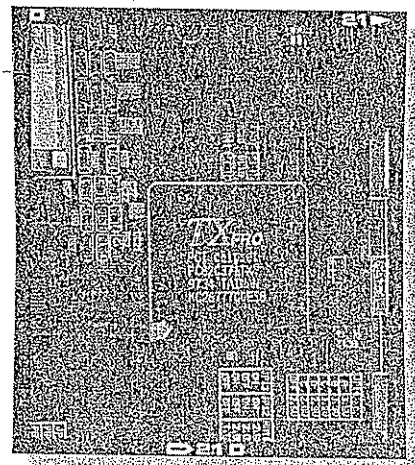
La generalización en el uso de la energía eléctrica posibilitó la transmisión a distancia de la información. El primer telégrafo, instalado en 1844, enviaba los mensajes a través de cables mediante pulsos eléctricos. En 1901, el ingeniero italiano Guglielmo Marconi (1874-1937) envió señales electromagnéticas a través del océano Atlántico, con lo que logró la primera emisión de radio de este alcance. En la actualidad, todos los sistemas de comunicaciones —teléfonos, radio, televisión, microondas, etc.— se basan en intercambios de energía entre el emisor y el receptor.

La eficiencia en el uso de la energía eléctrica no solo implica gastar menos para producir iguales efectos, sino que consiste en producir mejoras para hacer sistemas más rápidos y más chicos. Un buen ejemplo de esto lo constituye la invención, en 1948, del transistor, un sistema que reemplazaba a las grandes válvulas electrónicas que se utilizaban en esa época. En 1958, se desarrolló el circuito integrado, que permite la colocación de miles de componentes de un circuito en un espacio extremadamente pequeño.

La energía nuclear: los reactores

En 1942, el físico italiano Enrico Fermi (1901-1954) puso en funcionamiento el primer reactor nuclear, en los Estados Unidos. A partir de este hecho, se abrieron dos vías para la utilización de la energía nuclear: una, bélica, y otra, de aplicaciones a la producción de energía eléctrica. Desde 1954 hasta la fecha, se han instalado en todo el mundo cientos de centrales nucleares, que complementan la generación de la energía eléctrica producida mediante otras transformaciones.

Desde el uso del fuego hasta la utilización actual de la tecnología, se produjo un enorme avance en los sistemas de transformación energética, que posibilitaron grandes cambios en la calidad de vida. La contrapartida de estos importantes avances tecnológicos está dada no solo por la desigualdad de oportunidades para que todos accedan a ellos, sino también por el impacto ambiental que producen algunos y por la dependencia que generan.



El desarrollo de los circuitos integrados permite la fabricación de sistemas electrónicos de alto rendimiento y pequeño tamaño.

La historia de los valores energéticos

Los requerimientos de energía por parte de las personas —es decir, la energía que utilizan para alimentarse, para los usos domésticos, para el transporte y para la industria— varían según el tipo de sociedad, en distintos momentos de la historia y, en una misma época, entre sociedades con diferentes grados de desarrollo tecnológico.

Por lo general, los valores que se estiman para los requerimientos energéticos de una persona, en el marco de una determinada sociedad, son valores promedio diarios y se suelen expresar en kilocalorías por día. (Hay que recordar que una kilocaloría equivale a 4180 joules.)

El hombre primitivo requería energía solo para su alimentación, e incluso en la época en que ya se usaba el fuego, los valores de sus requerimientos energéticos no eran altos: se estiman en unas 2000 kcal por día.

Las primitivas tribus cazadoras y recolectoras formaban grupos de unas cincuenta personas y, por lo general, eran nómades. Se desplazaban, fabricaban herramientas y armas con piedras o huesos de animales y algún tipo de vivienda, por lo que se calcula que sus requerimientos energéticos aumentaron aproximadamente a 5000 kcal por día.

Con respecto a las sociedades agrícolas que se formaron hace unos diez mil años, se sabe que con los cultivos y el uso de animales domésticos se incrementaron las posibilidades alimenticias y el hombre comenzó a realizar tareas especiales tales como arar, sembrar, deforestar, buscar tierras más fértiles cercanas a las fuentes de agua. Se formaron comunidades mayores y

tuvieron lugar las primeras guerras por la posesión de la tierra. El requerimiento de energía por persona ascendió, en estas sociedades, hasta 20.000 kcal por día.

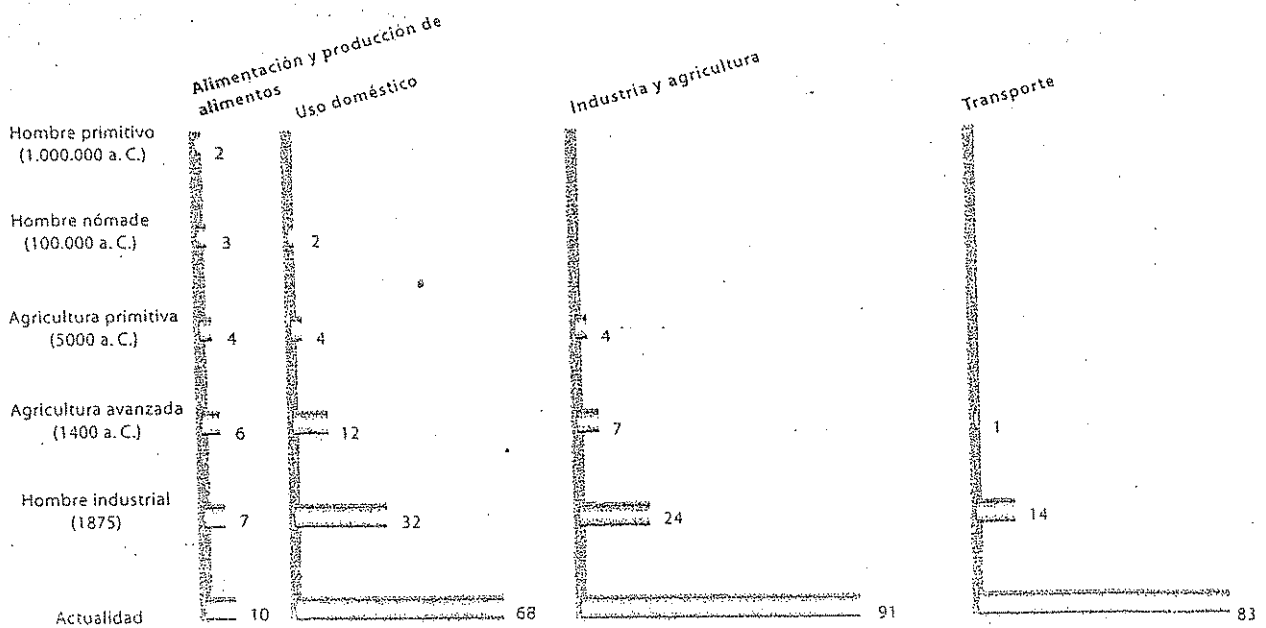
Las primeras sociedades industriales formadas en Europa a fines del siglo XVIII implicaron un aumento en la población urbana y el comienzo de la utilización de combustibles, en particular el carbón. Un hombre de esa sociedad requería unas 60.000 kilocalorías por día.

El uso de artefactos tecnológicos, la aparición de vehículos con motor, el uso de la energía eléctrica, la proliferación de plantas industriales y las grandes concentraciones urbanas constituyen condiciones que elevan los requerimientos energéticos, que fluctúan entre 125.000 y 230.000 kcal por día, según el grado de desarrollo tecnológico de la sociedad.

La predicción de lo que ocurrirá con estos valores en el futuro es bastante compleja porque depende de muchas variables, por ejemplo:

- El avance tecnológico de los países puede producir que, por un lado, se acentúen las brechas actuales, y, por otro, que la mayoría de los países equiparen sus requerimientos energéticos por habitante.
- El aumento de la población también es un dato para tener en cuenta. Las tasas de crecimiento de la población de distintos países son muy diferentes entre sí.
- Los requerimientos energéticos podrían llegar a superar los recursos disponibles si no se producen nuevos desarrollos y si no se encuentran formas alternativas de obtención de la energía.

El gráfico muestra la cantidad de energía utilizada por persona y por día (en miles de kcal), y su distribución en distintos momentos de la historia.



El futuro de la energía

El incremento en la demanda de diversas formas de energía, en particular la energía eléctrica, presenta un gran desafío científico, tecnológico y político. El aumento de la población mundial y el acceso de mayor porcentaje de personas al uso de modernas tecnologías implica la necesidad de disponer de más energía.

La ciencia y la tecnología deberán seguir buscando sistemas de conversión energética más eficientes, menos contaminantes y que tiendan a la utilización de recursos renovables. Las políticas nacionales deberían apoyar estas búsquedas y propender hacia el uso racional de los recursos energéticos.

Existen diversas formas de transformación de la energía, generalmente llamadas *no convencionales*, que se utilizan actualmente en forma limitada frente a las formas más tradicionales, pero que deberán incrementar su participación en el futuro. Estos sistemas se siguen perfeccionando y, en algunos casos, el desarrollo logrado en los últimos años ha sido realmente importante.

Dentro del grupo de las energías no convencionales se incluyen las siguientes:

Energía geotérmica. En el interior de la Tierra existen grandes reservas térmicas que se ponen de manifiesto no solo con las erupciones volcánicas, sino por las salidas de vapor en los géiseres o en las fuentes de aguas termales.

El uso de aguas termales para fines medicinales o para calefacción se remonta por lo menos a 2000 años atrás, en Roma.

La utilización de esta energía para generar electricidad tiene su antecedente más antiguo en Larderello, Italia, donde, en 1904, se colocó la primera central geotérmica para la producción de electricidad.

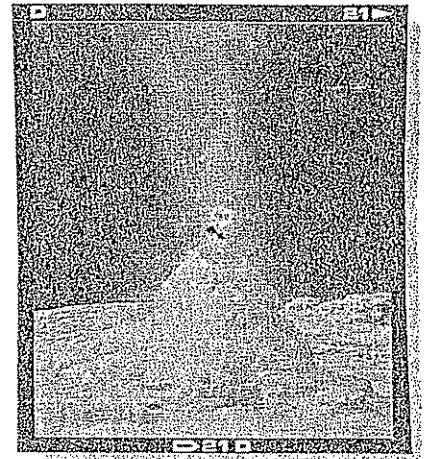
Las grandes reservas de agua a altas temperaturas y de vapor, dentro de la Tierra, hacen que este recurso pueda ser utilizado en el futuro para generar electricidad.

Energía solar. El uso directo de la energía solar se da en dos formas: el calentamiento y el empleo de paneles fotovoltaicos.

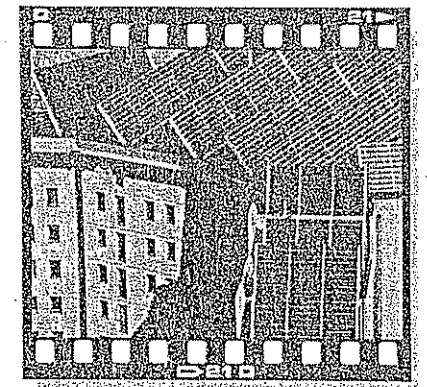
La transformación directa de la energía solar es bastante antigua. Así como mediante una lupa es posible calentar un papel con la radiación solar hasta hacerlo arder, se puede usar espejos adecuados para focalizar la radiación solar en recipientes con agua y calentarla. También es posible calentar agua mediante sistemas llamados *colectores*, es decir, grandes depósitos de agua que se calientan por radiación solar. El calor del agua se puede utilizar para uso doméstico directo, para calefacción o para la generación de energía eléctrica.

Los paneles fotovoltaicos son sistemas que transforman directamente la radiación solar en energía eléctrica. Estos sistemas, además de sus actuales aplicaciones, son los que se prevé utilizar en los vehículos impulsados por energía solar.

Las casas solares están diseñadas de tal manera que permiten un alto rendimiento en el uso de la energía. Además de la orientación geográfica, los sistemas de aislamiento térmico y acústico, y de los sistemas de ventilación, se las provee de sistemas de transformación directa de la energía solar. En algunos lugares, las casas solares pagan menos impuestos; a través de esta medida, se intenta promover la construcción de este tipo de viviendas.



Las aguas termales, las erupciones volcánicas y los géiseres son manifestaciones de la enorme reserva de energía geotérmica de nuestro planeta.



Los paneles fotovoltaicos transforman la energía solar en eléctrica.

Energía eólica. El mejoramiento en el rendimiento de los generadores eólicos permite prever un importante aumento en el uso de esta fuente de energía. Desde los inicios de esta tecnología, cuando un molino de viento impulsaba un generador individual para una tarea específica como la de bombear agua, su evolución permitió la instalación de grandes cantidades de generadores eólicos que complementan la provisión de energía a poblaciones bastante numerosas. La instalación de estos sistemas está en constante aumento.

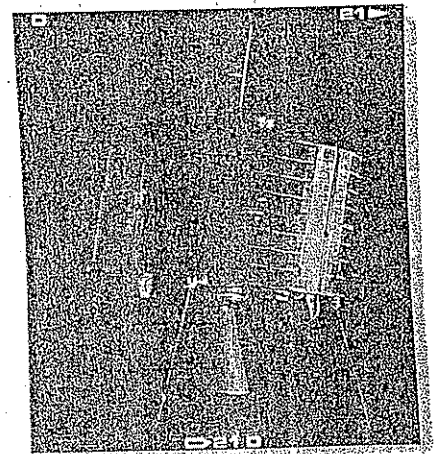
Energía proveniente de la biomasa. Las sustancias orgánicas, al quemarse o al fermentar, pueden constituir una interesante fuente de energía. La utilización de la biomasa, que comienza históricamente con el uso de la leña, tiene hoy dos variantes importantes:

- La producción de alcoholes que reemplazan como combustible a los hidrocarburos, que son recursos no renovables. Por ejemplo, en el Brasil, muchos de los combustibles que se utilizan para el transporte contienen distintas proporciones de alcohol.
- La producción de biogás. Los desechos orgánicos producen gas combustible que se está utilizando desde hace años. En muchas regiones rurales de la India y la China, el biogás abastece las necesidades de combustible doméstico para la población.

Las actuales investigaciones permiten suponer que se desarrollarán nuevas alternativas para la transformación de la energía. Muchas de estas investigaciones están orientadas a la utilización del mar como fuente de energía. Entre las posibilidades futuras, se pueden contar las siguientes:

- La producción de energía eléctrica por fusión nuclear permitiría la utilización de materiales provenientes del agua de mar, un recurso prácticamente ilimitado y limpio, es decir, no contaminante.
- Las diferencias entre la temperatura del agua superficial y la del agua profunda de los mares permite prever el diseño de sistemas que funcionen entre dos profundidades adecuadas para convertir la energía interna oceánica.
- Las corrientes marinas son otra de las alternativas analizadas. Existen importantes corrientes marinas que han sido estudiadas y cuyas características ya se conocen. Se está analizando la posibilidad de colocar un gran número de pequeños generadores unidos a boyas, que serían accionados por estas corrientes.
- Una alternativa no ligada al mar es la recepción de energía desde el espacio exterior. Como los satélites artificiales de comunicaciones son geostacionarios, es decir, giran junto con la Tierra, podrían llevar grandes paneles fotovoltaicos de algunas decenas de kilómetros cuadrados de superficie. La energía eléctrica producida en esos paneles se puede transmitir a la Tierra en forma de microondas.

La cultura tecnológica, en la que vive gran parte de la humanidad, requiere de estos nuevos desarrollos en el campo de la conversión de la energía para el mejoramiento de la calidad de vida.



En el futuro, la energía solar, captada y transformada en satélites artificiales, podría ser enviada a la Tierra mediante microondas.

Las fuerzas y la energía

En general, la energía puede considerarse como una propiedad por la cual los cuerpos o los sistemas de cuerpos pueden transformarse modificando su estado o situación, y actuar sobre otros produciendo en ellos determinados procesos de cambio. En particular, para la Mecánica, los estados que involucran transformaciones energéticas son el de reposo y el de movimiento.

La energía de los procesos mecánicos

Hasta fines del siglo XVII, no se había elaborado el concepto de energía y muchos fenómenos energéticos eran explicados como fenómenos producidos por la acción de diferentes tipos de fuerzas.

El concepto de energía se empleó por primera vez a mediados del siglo XIX, en un trabajo de física elaborado por William Rankine (1820-1872), quien sustituyó el término *fuerza* por el de *energía*, reservando la palabra fuerza solo para hacer referencia a las acciones mecánicas, es decir, acciones asociadas al estado de movimiento o de reposo de los cuerpos (son las fuerzas a las que se refieren las leyes de Newton). No obstante esa distinción, subsisten algunos términos como *fuerza motriz*, por ejemplo, que, en realidad, se refieren a nociones energéticas.

La introducción del concepto de energía permitió caracterizar la interacción entre los cuerpos y explicar, desde el punto de vista mecánico, la acción de las fuerzas que intervienen en esas interacciones. Cabe señalar que la energía es una propiedad exclusiva de un sistema de cuerpos, ya que ningún cuerpo aislado puede experimentar ni provocar cambios.

A mediados del siglo XIX, el físico Julius von Mayer (1814-1878) explicaba una transformación mecánica, sin apelar al concepto de energía, mediante el siguiente ejemplo concreto: "Para que un cuerpo caiga, primero es necesario levantarlo. La causa que eleva el cuerpo es una fuerza, y su efecto (el cuerpo levantado) representa también otra fuerza. La fuerza de caída y el movimiento de caída son fuerzas que se transforman una en la otra y pueden interpretarse como dos formas distintas de una misma fuerza".

Aunque Mayer no empleaba el término *energía* para explicar esas transformaciones, es posible reformular su ejemplo afirmando que antes de caer, el cuerpo ya posee energía porque la Tierra y él se atraen, y que esa energía (que se denomina *energía potencial gravitatoria*) no pertenece solo al cuerpo, sino al sistema Tierra-cuerpo. De la misma manera, al caer, la energía del cuerpo está definida por su movimiento respecto de la Tierra (en este caso, se habla de *energía cinética*).

Se dice, por lo tanto, que la energía mecánica es una propiedad exclusiva de un sistema de cuerpos.



Julius von Mayer.

Energía y trabajo

Las transformaciones que estudia la Mecánica se producen por la acción de fuerzas entre, por lo menos, dos sistemas materiales; por ejemplo, la atracción entre la Tierra y una manzana; la repulsión entre dos imanes; el levantamiento de una pesa por parte de una persona, o de un objeto cualquiera mediante una grúa.

Esas transformaciones implican desplazamientos de los cuerpos debido a la acción de fuerzas. Cada vez que estos desplazamientos ocurren, se considera que se ha realizado un trabajo (L). A su vez, la realización de un trabajo modifica la energía del sistema, porque el trabajo es un proceso de transferencia de energía. Así, el cambio de posición de un objeto que es levantado implica la realización de un trabajo y, además, ese cambio de posición supone un cambio en la energía interna del objeto.

En otras palabras, la energía de un sistema varía cuando realiza un trabajo. Llamando ΔE a la variación de la energía, puede escribirse que:

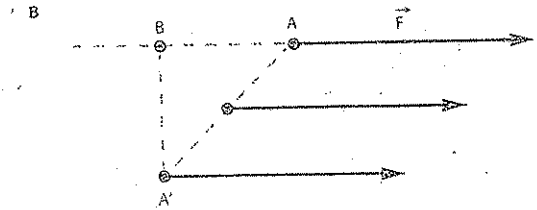
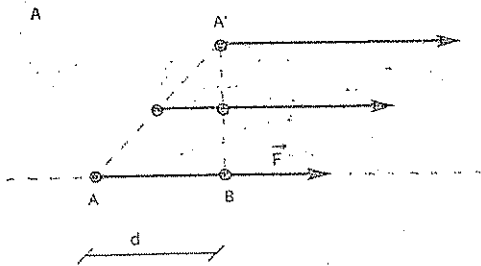
$$L = \Delta E \quad (1)$$

El trabajo de una fuerza \vec{F} está asociado con el desplazamiento \vec{d} que produce; por tal motivo, es posible introducir operativamente una nueva magnitud que permita medir ese cambio. Tal magnitud se denomina L y resulta:

$$L = \vec{F} \cdot \vec{d} \quad (2)$$

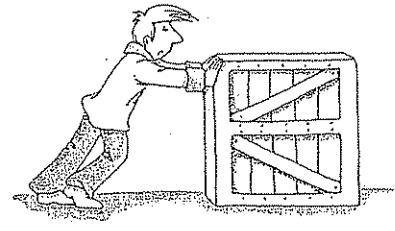
Según esta expresión, la transformación será mayor cuanto mayor sea la fuerza \vec{F} aplicada, o bien cuanto mayor sea el desplazamiento \vec{d} .

En la vida diaria puede corroborarse que no es lo mismo mover un cuerpo sobre un plano horizontal bien pulido que levantarlo en sentido vertical. De la misma forma, no es lo mismo levantar un objeto a una altura de un metro que a una de dos, o a una de quince. Se dice, entonces, que, según la actividad, se hace más o menos trabajo. En Mecánica, esta impresión cotidiana se caracteriza mediante la magnitud L .



En la primera parte del esquema se representa una fuerza \vec{F} cuyo punto de aplicación A se desplaza según la recta AA' . Durante ese desplazamiento, \vec{F} se mantiene constante, tanto en intensidad como en dirección y sentido.

La proyección de AA' sobre la dirección de \vec{F} es el segmento $AB = d$, que se considerará positivo cuando tenga el mismo sentido que la fuerza, y negativo cuando tenga el sentido contrario. Dada tal configuración, el trabajo de \vec{F} puede definirse como $L_F = F \cdot d$, o bien, $L_F = -F \cdot d$, respectivamente.



Arrastrar un cuerpo algunos metros sobre el piso demanda cierto esfuerzo físico. Con los elementos que proporciona la Mecánica, se puede medir el trabajo que implica dicho esfuerzo.

A. El punto de aplicación de la fuerza \vec{F} se desplaza una distancia d , en el mismo sentido que la fuerza.

B. El desplazamiento es en sentido inverso al sentido de la fuerza \vec{F} .

Manifestaciones de la energía mecánica

La palabra *energía* suele aparecer acompañada de diferentes calificativos; así, se habla de energía nuclear, eólica, hidráulica, química, calorífica, eléctrica. Sin embargo, en todos los casos y más allá de los calificativos, una de las formas de entender la energía es interpretarla como la capacidad de producir cierto trabajo L .

Se denomina *energía mecánica* (E_m) a aquella que está asociada a dos estados básicos de los cuerpos: el de reposo y el de movimiento, ambos estudiados por la Mecánica. La energía mecánica puede, por lo tanto, diferenciarse en dos tipos de manifestaciones:

- Una energía asociada al movimiento, llamada *energía cinética* (E_c). Por ejemplo, la de una corriente de agua (hidráulica) o la producida por las mareas (maremotriz).
- Una energía asociada al estado de reposo (o equilibrio) de un cuerpo. Se trata de una energía almacenada, es decir, en potencia, que se denomina *energía potencial* (E_p). Por ejemplo, la que caracteriza acciones gravitatorias, eléctricas y magnéticas.

Cabe señalar que la energía mecánica puede expresarse como una combinación de la cinética y la potencial:

$$E_m = E_p + E_c \quad (3)$$

Para comprender esta expresión, se puede considerar el ejemplo de la derecha. Como en la situación descrita la energía se debe exclusivamente a la posición del cuerpo, se dice, entonces, que su energía mecánica es totalmente potencial; es decir que, como el cuerpo está inmóvil, no posee energía cinética. En símbolos:

$$E_m = E_p(h) \quad \Leftrightarrow \quad E_c(h) = 0$$

Si luego se deja caer libremente ese cuerpo (en este ejemplo, se considerará que se lo hace en el vacío), sucederá que, en cada posición que a t se encuentre el cuerpo durante su caída, su energía potencial tomará valores diferentes, ya que disminuye continuamente el valor de su altura respecto del piso (h_1, h_2, h_3, \dots); esos nuevos valores, por lo tanto, serán menores al que tenía en su máxima altura $E_p(h)$, valor máximo que puede alcanzar.

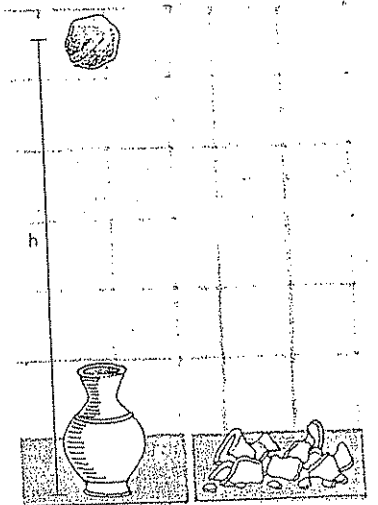
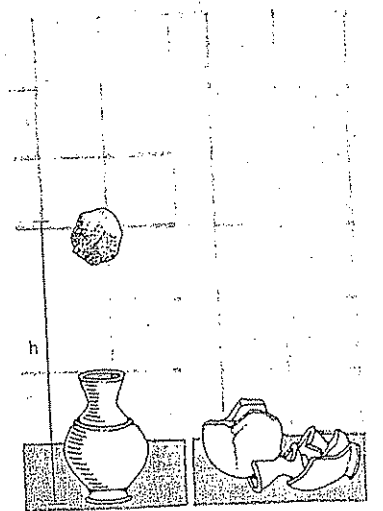
Simultáneamente, desde el instante en que se inicia el movimiento, se pueden registrar valores crecientes de su energía cinética.

Ahora bien, en cada instante de la caída, el incremento de la energía cinética resulta igual a la disminución de la energía potencial, de modo que se mantiene constante el valor de la energía mecánica. Considerando una altura cualquiera h' y observando la fórmula (3), puede escribirse:

$$E_m(h') = E_p(h') + E_c(h')$$

Finalmente, cuando el cuerpo llega al suelo ($h = 0$), su energía potencial es 0 y su energía cinética alcanza el valor máximo. Esto es:

$$h = 0 \quad \Leftrightarrow \quad E_p(h) = 0 \quad \Rightarrow \quad E_m = E_c$$



Un cuerpo se coloca a la altura h sobre el nivel del suelo. Cuanto mayor sea h , más grandes serán los daños que ese cuerpo causará si se lo deja caer sobre otro, ubicado en el piso. En Mecánica, esta situación se expresa diciendo que cuanto mayor es la altura a la que se encuentra un cuerpo, mayor es su energía mecánica. En otras palabras, a esa altura, el cuerpo puede producir cierto trabajo.

La energía potencial

La energía potencial es una de las manifestaciones de la energía mecánica: aquella que se relaciona con el estado de reposo de los cuerpos.

En general, cualquier cuerpo que se halle a determinada distancia de la superficie terrestre, es potencialmente capaz de producir cierto trabajo, porque será atraído gravitatoriamente. Si una persona levanta un cuerpo desde la superficie de la Tierra hasta colocarlo a cierta altura, puede decirse que realiza un trabajo L_p cuya medida es el producto de la intensidad del peso P del cuerpo levantado, multiplicado por la distancia entre la posición anterior a esa acción (que mueve al cuerpo) y la posición final, es decir, la altura h entre el suelo y el punto donde se lo coloca nuevamente en reposo. Simbólicamente, L_p se representa

$$L_p = P \cdot h$$

En Mecánica, se considera que ese cuerpo puede reintegrar el trabajo realizado, pues si luego de levantarlo, la persona lo deja caer, el peso del cuerpo, cuando vuelva a recorrer la distancia h , producirá un trabajo L_p semejante al que produjo para elevarlo.

En otras palabras, el trabajo que producirá un cuerpo alejado de la superficie de la Tierra depende de su posición relativa con respecto al planeta. En función de lo expresado, se da la siguiente definición: *Se denomina energía potencial gravitatoria (E_p) de un cuerpo al trabajo que este es capaz de producir en virtud de su cambio de posición relativa con la Tierra.* (A la E_p también se la denomina *energía de la posición.*)

Se puede probar, para cualquier cuerpo, que esa dependencia es tal que la energía potencial gravitatoria resulta directamente proporcional a la distancia a la que se halle el cuerpo con respecto a la superficie terrestre.

Expresión de la energía potencial gravitatoria

La energía potencial se halla multiplicando la intensidad del peso de un cuerpo por la altura a la que es elevado respecto del nivel de la superficie terrestre. Así, un cuerpo de peso P , colocado a una altura h , posee una energía potencial gravitatoria

$$E_p = \vec{P} \cdot h \quad (5)$$

o bien, como $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$, la expresión (5) puede escribirse

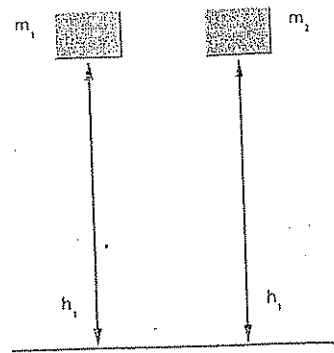
$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad (6)$$

donde m es la masa del cuerpo y g , el valor de la aceleración de la gravedad.

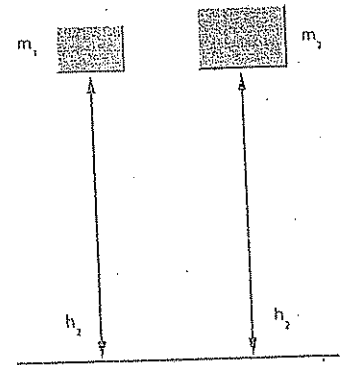
Cómo se mide la energía potencial gravitatoria

Si la energía potencial gravitatoria varía con la altura, cabe preguntarse cuál es el nivel adoptado para medirla. Para responder a esta cuestión, resulta interesante detenerse en el análisis de las siguientes situaciones:

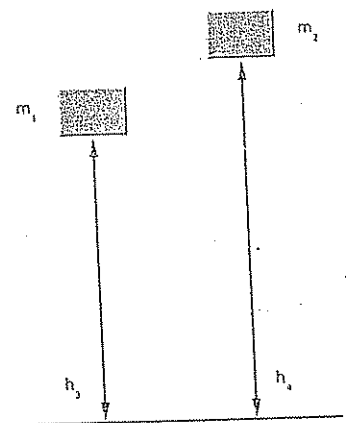
- Si, en cierto lugar, se dejan caer dos cuerpos de diferente masa desde la misma altura, el más liviano realizará menor trabajo que el más pesado. Dado que el valor de g y de h es el mismo para ambos, la diferencia



2



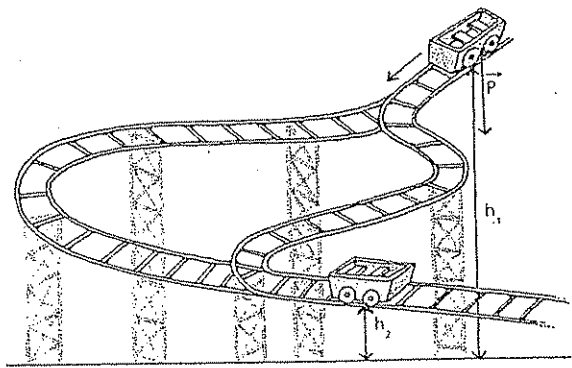
3



Dados dos cuerpos de igual masa ($m_1 = m_2$), en 1, ambos tienen la misma energía potencial ($E_{p1} = E_{p2}$), dado que se hallan a la misma altura (h_1). En cambio, en 3, la energía potencial del primero es menor que la del segundo ($E_{p1} < E_{p2}$), ya que m_2 se halla a una mayor altura que m_1 (es decir, $h_3 < h_4$). En 2, aunque los cuerpos se hallan a la misma altura (h_2), se cumple que $E_{p1} < E_{p2}$ ya que la masa m_2 es mayor que la m_1 .

de energía potencial entre esos cuerpos a esa altura (que se denominará ΔE_p), se debe solo a los distintos valores de sus masas.

• Si, en un cierto lugar, se deja caer el mismo cuerpo desde alturas diferentes ($h_1 > h_2$), se halla que al caer desde mayor altura (h_1) producirá mayor trabajo que al caer de una altura menor (h_2). Se vuelve a evidenciar, entonces, que la energía potencial de un cuerpo depende de su posición.



La única fuerza que actúa sobre el carrito es la de su peso P . Esta fuerza realiza un trabajo $L_p = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2)$, que es igual a la variación de la energía potencial ΔE_p . Cualquiera que sea la trayectoria del carrito entre las posiciones (1) y (2) la ΔE_p tiene la misma magnitud. En este ejemplo no se tuvieron en cuenta las fuerzas de roce entre el carrito y las vías de la montaña rusa, por lo que su energía mecánica no cambia de valor durante el cambio de posición del carrito, condición que puede expresarse como $\Delta E_m = 0$.

Teniendo en cuenta que $E_p = P \cdot h$ (5), si se deja caer un cuerpo desde cierta altura hasta el fondo de un pozo profundo, es evidente que el trabajo producido será mayor que el que haría al caer hasta la superficie de la Tierra.

Dada la expresión de la energía potencial $E_p = m \cdot g \cdot h$ (6), se comprende que su valor depende del nivel del plano al cual se le asigna energía potencial cero (por ejemplo, el nivel del suelo):

$$h = 0 \quad \Rightarrow \quad E_p = 0$$

De esta manera, todos los cuerpos situados en la superficie de la Tierra se consideran con energía potencial nula, ya que no existen diferencias de nivel entre ellos (para todos se da que $h = 0$).

Por otra parte, en el caso del cuerpo que cayó en un pozo, puede decirse que llega más abajo que el nivel cero; entonces, ya en el fondo, el cuerpo tendrá energía potencial negativa. Es decir que la energía potencial adquiere un signo, el cual indica que, si se desea que el cuerpo regrese al nivel cero, deberá hacerse cierto trabajo, que consistirá en elevarlo desde el fondo del pozo hasta la superficie.

La adjudicación de un signo positivo o negativo a la energía potencial proviene de que solo pueden medirse diferencias de energía potencial (ΔE_p). Por ello, si se busca determinar la energía potencial en forma absoluta, se debe fijar una cierta altura como posición final (que bien puede ser la superficie terrestre, $h = 0$), nivel al cual corresponderá la $E_p = 0$.

Por lo tanto, es conveniente referirse a variaciones de la energía potencial, que pueden expresarse de la siguiente manera:

$$\Delta E_p = m \cdot g \cdot \Delta h$$

donde Δh es cierta diferencia de nivel.

Es decir, si el cuerpo se mueve sobre un plano horizontal, su energía potencial permanece constante; en cambio, si modifica su posición, solo interesa si lo hace produciendo una diferencia de nivel Δh entre sus posiciones inicial y final.

Energía potencial elástica

En la vida cotidiana, pueden hallarse numerosos ejemplos de energía potencial. Entre ellos, se destaca el fenómeno que se produce cuando se levantan las pesas de un reloj de pared. Entonces, se efectúa trabajo contra la atracción gravitatoria que hay entre la Tierra y esas pesas. Se dice que las pesas levantadas poseen energía potencial, por cuya transformación el reloj se mantiene en funcionamiento mientras las pesas caen, entregando el trabajo necesario para vencer el rozamiento entre las diferentes piezas del reloj, superando la resistencia del aire que se opone al movimiento de las pesas y produciendo el sonido característico (tictac).

En el caso de un cuerpo levantado, no se puede encontrar nada que una al cuerpo con la Tierra y que se estire (como en el caso de la goma) al levantar el peso para que tienda a volver a su estado primitivo, lo cual explicaría la causa de la energía potencial del peso levantado.

En los ejemplos de las pesas, se describió la energía potencial como una magnitud que depende de la posición relativa de un cuerpo con respecto a la Tierra. En Mecánica, esta situación también se expresa diciendo que la energía potencial depende de la configuración del sistema constituido por la Tierra y el cuerpo.

De igual modo, en el caso del resorte del reloj, puede hablarse de un sistema que se halla potencialmente en condiciones de devolver cierta cantidad de trabajo si se produce un cambio en su configuración. Puede argumentarse que el trabajo realizado para enrollar el muelle quedó almacenado en él ("en potencia") y luego, al descomprimirse, devuelve ese trabajo haciendo funcionar el reloj. Algo semejante ocurre con el neumático.

Esta modalidad de la energía potencial no depende del peso de los cuerpos, sino de su elasticidad, razón por la cual se la llama *energía potencial elástica*.

De todos modos, tanto para la energía elástica como para la gravitatoria, valen las consideraciones anteriores, las cuales pueden resumirse de la siguiente manera: *Se denomina energía potencial de un sistema al trabajo que este es capaz de producir en virtud de los cambios de configuración entre su estado final y su estado inicial.*

Se puede comparar esta definición con la que aparece en la página 160.

Unidades de la energía potencial

La expresión de la energía potencial de un cuerpo, considerando $h = 0$ como nivel de referencia, es:

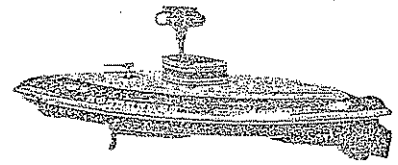
$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

Si se toma 1 kg como la unidad de masa, 1 m/s^2 como la de la aceleración y 1 m como la de la longitud (para expresar la altura h), las unidades de E_p resultan:

$$E_p = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2 \cdot 1 \text{ m}$$

Pero $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ son las magnitudes que definen la unidad de fuerza llamada newton (N); por lo tanto, puede escribirse que

$$E_p = \text{N} \cdot \text{m}$$



Una cinta metálica enrollada, un resorte o incluso una banda de goma pueden comprimirse y, de esa manera, son capaces de almacenar energía potencial elástica. Esa energía se debe a las deformaciones a las que se sometieron los materiales. Al "darle cuerda" a un reloj u otro tipo de aparato que funcione con ese mecanismo, se efectúa trabajo para enrollar el muelle (el resorte interno), de modo que aumenta la energía potencial de este, que a su vez produce trabajo a medida que se desenrolla. En el caso del resorte, como al estirar una goma, la materia está en tensión debido a la energía potencial que posee el cuerpo.

una combinación de unidades que recibió el nombre de *joule* (J), es decir:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$$

Debe destacarse que se puede arribar a las mismas unidades halladas para la energía potencial, analizando las propias del trabajo de una fuerza. Esto es, por la expresión (2), las unidades del trabajo resultan:

$$L_F = F \cdot d \quad \Rightarrow \quad L_F = F \cdot d$$

y si se mide F en newtons (N) y la distancia d en metros (m), resulta:

$$L_F = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad L_F = \text{J}$$

es decir, joule; idéntica a las de energía potencial.

A continuación, se analizan algunos ejemplos:

- Un cuerpo A de 20 kg de masa se coloca en una plataforma elevada 15 m sobre el nivel del suelo. El valor de su energía potencial se halla por la expresión:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

Reemplazando por los valores correspondientes, resulta:

$$E_p = 20 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 15 \text{ m} = 2940 \text{ kgm/s}^2$$

$$E_{p_A} = 2940 \text{ J}$$

- Si en la misma plataforma se ubica un cuerpo B, cuya masa es 10 veces superior a la del cuerpo A (es decir, $m_B = 200 \text{ kg}$), su energía potencial alcanza el valor:

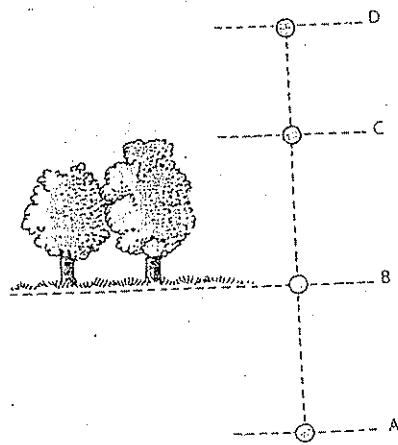
$$E_{p_B} = 29.400 \text{ J}$$

lo que evidencia que el valor de la energía potencial de dos cuerpos colocados a la misma altura depende de la masa de los mismos.

- Si se eleva el cuerpo A hasta una distancia diez veces superior a la de la plataforma (es decir, 150 m) respecto del mismo nivel tomado anteriormente, se halla que su energía potencial es:

$$E_{p_A} = 29.400 \text{ J}$$

Es decir, A adquiere la misma energía potencial que el cuerpo B, ubicado diez veces más cerca de la Tierra. En otras palabras, el cuerpo A de masa diez veces menor que el cuerpo B, colocado a una altura diez veces superior a la que se encuentra este último, equipara su capacidad para producir trabajo.



Para la estimación de la energía potencial gravitatoria E_p de un cuerpo, es fundamental definir previamente el nivel de referencia respecto al cual se mide la posición de ese cuerpo. En la figura, una esfera ubicada a la altura del nivel C tiene un valor menor que el que tendría a la altura del nivel D ($E_{p_C} < E_{p_D}$). Sobre el nivel de la superficie de la Tierra (B), resulta $E_{p_B} = 0$. Sin embargo, si se toma el nivel A (cierta distancia hacia el interior del planeta) la energía potencial E_{p_B} ya no es nula.

La energía cinética

La energía permite calcular la capacidad de producir trabajo y supone la interacción entre cuerpos. De esto, se deduce que un cuerpo por sí solo no posee energía cinética; a lo sumo, esta pertenece a dos cuerpos, uno de los cuales se mueve de alguna manera respecto del otro. Esta situación hace posible que, por ejemplo, al chocar dos cuerpos se produzca una transformación.

Los fenómenos en los que intervienen cuerpos móviles muestran que parte de su capacidad de producir trabajo, es decir, de producir una transformación, deriva de su estado de movimiento.

Para observar cómo se pone en evidencia la energía cinética, se pueden considerar los siguientes ejemplos:

- Al lanzar una piedra verticalmente hasta cierta altura, en su movimiento produce un trabajo igual al que se emplea para elevar esa piedra hasta dicha altura.

- Si un cuerpo se mueve en un plano horizontal, es necesario oponerle una fuerza para detenerlo; esa fuerza produce un trabajo que se emplea en detener el cuerpo.

En estos casos, el trabajo se relaciona con una manifestación de la energía mecánica que se denomina *cinética* (E_c) y se define del siguiente modo: *La energía cinética de un cuerpo o de un sistema es el trabajo que puede producir en virtud de su estado de movimiento.*

Un par de ejemplos de choque entre diferentes cuerpos permiten distinguir algunas propiedades de la E_c :

- Un camión acaba su movimiento chocando contra una pared. Es obvio suponer que, cuanto mayor haya sido su velocidad final, mayor será la rotura que ocasione a la pared y la destrucción de la carrocería. En otras palabras: *cuanto mayor sea la velocidad del móvil, mayor será el trabajo que entregue.*

- Un automóvil y una bicicleta, que se desplazan a la misma velocidad, chocan contra la misma pared. Evidentemente, el automóvil provocará un destrozo mayor que la bicicleta. Esto se debe a que la masa del automóvil es superior a la masa de la bicicleta. En otras palabras: *cuanto mayor sea la masa del móvil, mayor será el trabajo que entregue.*

De estos ejemplos, se concluye que pueden generalizarse a todos los fenómenos en que participan móviles o sistemas de cuerpos en movimiento, que todo sucede como si la energía cinética dependiera básicamente de la velocidad y de la masa.

Los choques entre cuerpos o partículas pueden clasificarse en *elásticos* e *inelásticos*, en función de las transferencias de energía que ocurren en ellos. La diferencia entre los choques depende de que el mecanismo de interacción sea conservativo o disipativo. En un choque inelástico, parte de la energía cinética que tenían los cuerpos se transforma total o parcialmente en deformaciones y calentamientos de los cuerpos. En el choque elástico, en cambio, no hay deformación ni calentamiento; en otras palabras, la energía cinética que tienen los cuerpos no se pierde, sino que se intercambia parcialmente entre ellos.

Expresión de la energía cinética

La definición propuesta en la página anterior permite afirmar que, dado un cuerpo animado de cierta velocidad \vec{V} , el trabajo necesario para detenerlo es equivalente al valor de la energía cinética asociada.

De este modo, para medir la E_c de un móvil de masa m y velocidad \vec{V} , se procede aplicando una fuerza \vec{F} , de intensidad constante, en sentido contrario a su velocidad. La fuerza \vec{F} , luego de que el móvil recorre cierta distancia X , terminará por detenerlo por completo: se habrá producido, entonces, una transformación, ya que el móvil deja de tener una velocidad inicial de intensidad V_i para alcanzar el reposo ($V_f = 0$), y el trabajo L_F de la fuerza \vec{F} es:

$$L_F = -F \cdot X \Rightarrow L_F = \Delta E_c$$

Como se indica, el L_F será igual a la variación de energía cinética que experimenta el cuerpo. El signo negativo surge porque el sentido del movimiento es opuesto al de \vec{F} ; de esta manera, el movimiento se convierte en desacelerado (o retardado), ya que su aceleración resulta negativa (el cuerpo se frena).

Entonces, dado que se trata de un M.R.U.V., la expresión de la distancia recorrida X es, por la expresión (14):

$$X = \frac{-V^2}{2 \cdot a}$$

Luego, el trabajo L_F puede escribirse:

$$L_F = -F \cdot X \Rightarrow L_F = -F \cdot \frac{-V^2}{2 \cdot a}$$

Por otra parte, por la Segunda Ley de Newton, el módulo de \vec{F} es $F = m \cdot a$, donde a es la aceleración que adquiere el móvil por acción de la fuerza \vec{F} . Reemplazando, en la expresión anterior, se obtiene:

$$L_F = m \cdot a \cdot \frac{V^2}{2 \cdot a}$$

Simplificando y considerando que $L_F = \Delta E_c$, resulta:

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$$

Como $\Delta E_c = E_{c_f} - E_{c_i}$, y la energía cinética final vale cero ya que el cuerpo se detiene, queda:

$$0 - E_{c_i} = -\frac{1}{2} \cdot m \cdot V_i^2$$

Por lo que la energía cinética que tenía el móvil cuando se le aplicó la fuerza vale:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$$

que es la expresión usual de la energía cinética de un sistema.

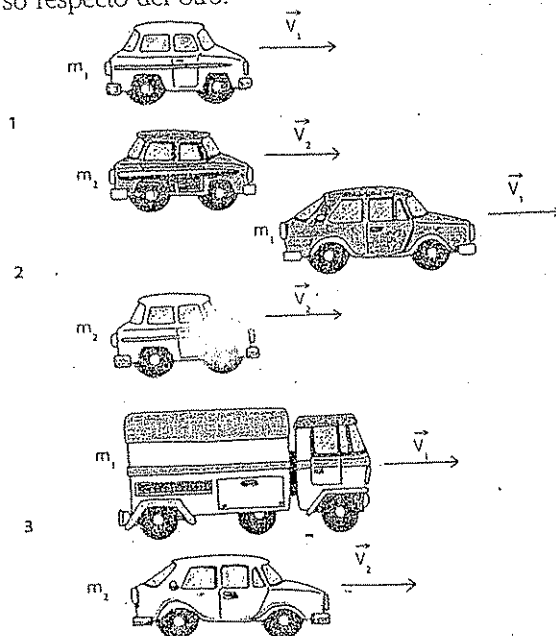
Las variaciones de la energía cinética serán:

$$\Delta E_m = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_f^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_i^2$$

donde V_f es la velocidad final y V_i , la velocidad inicial, es decir, después y antes de la transformación.

La expresión $\frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$ representa la variación

de energía de un sistema cuando el cuerpo de masa m pasa de la velocidad relativa $V \neq 0$ a la velocidad $V = 0$, respecto de otros cuerpos del sistema. O bien, la variación de energía que puede experimentar ese sistema cuando el cuerpo de masa m pasa del reposo ($V = 0$) a cierto estado de movimiento ($V \neq 0$), respecto de los otros cuerpos; en otras palabras, es la energía que se puede ceder en un choque, si el cuerpo que colisiona queda en reposo respecto del otro.



1. Dos móviles de igual masa ($m_1 = m_2$) se mueven con idéntica velocidad ($\vec{V}_1 = \vec{V}_2$). Ambos tienen la misma energía cinética ($E_{c_1} = E_{c_2}$).

2. En esta situación, $\vec{V}_1 > \vec{V}_2$, es decir, la energía cinética del cuerpo más veloz (m_1) es mayor que la del cuerpo más lento (m_2); entonces, $E_{c_1} > E_{c_2}$.

3. Finalmente, aunque ambos cuerpos se mueven con igual velocidad, también se cumple que $E_{c_1} > E_{c_2}$ dado que $m_1 > m_2$.

Las unidades de la energía cinética

Midiendo la masa en kg y la velocidad en m/s, la unidad de la E_c resulta:

$$\text{unidad de energía cinética} = 1 \text{ kg} \cdot (1 \text{ m/s})^2 = \text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$$

Las unidades halladas pueden reagruparse de la siguiente manera:

$$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m/s}^2 = (\text{kg} \cdot \text{m/s}^2) \cdot \text{m}$$

El segundo miembro de la igualdad anterior representa a la unidad de fuerza (newton, N) multiplicada por la unidad de distancia (m), es decir, la unidad de trabajo (joule, J). De este modo, se llega a:

$$\text{unidad de energía cinética} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$$

que coincide con la unidad de energía potencial ya presentada. Se concluye, entonces, que la energía mecánica se expresa siempre en joules, se trate de energía potencial o de energía cinética.

Consideremos los siguientes ejemplos:

- El cuerpo A, de 10 kg de masa, se desplaza a una velocidad de 10 m/s. Según la expresión de la energía cinética:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

el valor de la energía es:

$$E_{c_A} = \frac{1}{2} \cdot 10 \text{ kg} \cdot (10 \text{ m/s})^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 100 \text{ kg(m/s)}^2$$

$$E_{c_A} = 500 \text{ J}$$

- El cuerpo B se mueve también a 10 m/s, pero su masa es diez veces superior que la del cuerpo A. Por lo tanto, su energía cinética es:

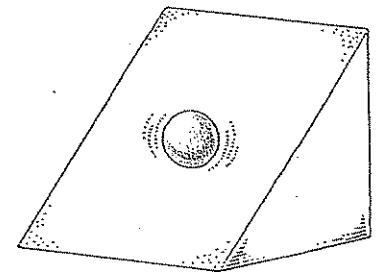
$$m_B = 100 \text{ kg} \Rightarrow E_{c_B} = \frac{1}{2} \cdot 100 \text{ kg} \cdot (10 \text{ m/s})^2 \Rightarrow E_{c_B} = 5000 \text{ J}$$

- Si se acelera el cuerpo A hasta que alcance la velocidad de 31,63 m/s, su energía cinética será:

$$E_{c_A} = \frac{1}{2} \cdot 10 \text{ kg} \cdot (31,63 \text{ m/s})^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 1000 \text{ kg(m/s)}^2$$

$$\therefore E_{c_A} = 5000 \text{ J}$$

Es decir que bastó que el cuerpo A aumentara algo más que un tercio su velocidad para obtener una energía cinética similar a la de un cuerpo diez veces más masivo, que se mueve a una velocidad tres veces menor.



Cualquiera sea el tipo de movimiento, la energía cinética puede calcularse a partir de su velocidad.

Transformaciones de la energía mecánica

Ya se mencionó que la energía mecánica de un cuerpo puede cambiar de potencial a cinética, o viceversa.

Por ejemplo, si se tiene un objeto de masa m colocado a cierta altura h sobre el nivel del suelo, su E_p es igual al trabajo producido para levantarlo. La fuerza con que la Tierra lo atrae (su peso \vec{P}) es igual al producto de su masa por la aceleración de la gravedad g , es decir, $P = m \cdot g$, y el trabajo producido al levantarlo, en contra de esa fuerza, será $L_p = m \cdot g \cdot h$, que no es otra cosa que una medida de la variación de su energía potencial (ΔE_p).

Si se deja caer el objeto libremente, disminuye gradualmente su E_p , al mismo tiempo que adquiere velocidad v , por lo tanto, energía cinética.

Después de haber descendido una cierta distancia X , su velocidad es $V^2 = 2 \cdot g \cdot X$ y su energía cinética vale

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$$

es decir,

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (2 \cdot g \cdot X) = m \cdot g \cdot X$$

Simultáneamente; la energía potencial del objeto es

$$E_p = m \cdot g \cdot (h - X)$$

ya que $(h - X)$ es, entonces, su altura con respecto al suelo. En ese preciso instante, la energía mecánica resulta

$$E_m = E_c + E_p$$

por lo tanto,

$$E_m = m \cdot g \cdot X + m \cdot g \cdot (h - X)$$

cuyo valor es igual a $E_m = m \cdot g \cdot h$, es decir:

$$m \cdot g \cdot X + m \cdot g \cdot (h - X) = m \cdot g \cdot h$$

que es numéricamente igual a la energía potencial original.

Cuando el objeto llega al suelo, su E_p es cero (ya que $h = 0$). Pero puesto que la velocidad adquirida es

$V^2 = 2 \cdot g \cdot h$, substituyendo este valor en la expresión de $E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$, se encuentra que

$E_c = m \cdot g \cdot h$, o sea, el valor de la E_p al iniciarse la caída del objeto.

Se ve, entonces, que en la caída hay un cambio gradual de energía potencial a cinética, tal que permanece constante su suma (o energía mecánica del sistema).

Del mismo modo, si se lanza el objeto verticalmente hacia arriba con velocidad V , el valor inicial de energía cinética será $E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$; este valor disminuye

gradualmente a medida que el objeto se eleva y pierde velocidad, pero sucede que, simultáneamente, gana E_p . Cuando llega al extremo de su ascensión, el objeto queda un instante en reposo ($V = 0$), siendo nula su energía cinética ($E_c = 0$); es en ese instante cuando adquiere una E_p exactamente igual a su energía cinética primitiva.

Tanto en la caída libre del cuerpo como al lanzarlo al aire, se corrobora que la forma de la energía puede transformarse, es decir, se puede manifestar tanto como energía potencial o como energía cinética o en ambas formas simultáneamente; pero la energía mecánica, suma de ambas, es la misma.

Por ejemplo, si un cuerpo de masa 10 kg cae desde 20 m de altura, la energía potencial, después de caer 5 metros, es $E_p = m \cdot g \cdot h$, cuyo valor es $E_p = 490$ J. La energía cinética a esa misma altura (15 m) puede calcularse restándole, a la energía potencial que posee a los 20 m (que será su energía mecánica total), la energía potencial que tiene a los 15 metros:

$$E_c(15 \text{ m}) = E_m - E_p(15 \text{ m})$$

es decir,

$$E_c(15 \text{ m}) = E_p(20 \text{ m}) - E_p(15 \text{ m}) = 1960 \text{ J} - 490 \text{ J}$$

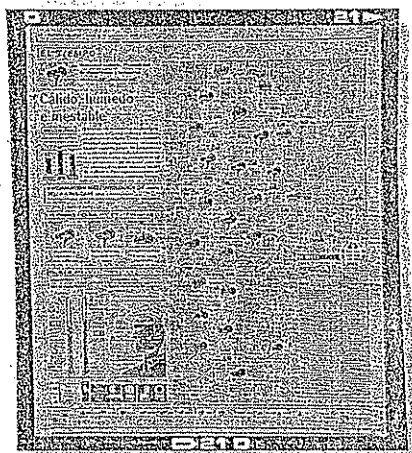
Por lo tanto,

$$E_c(15 \text{ m}) = 1470 \text{ J}$$

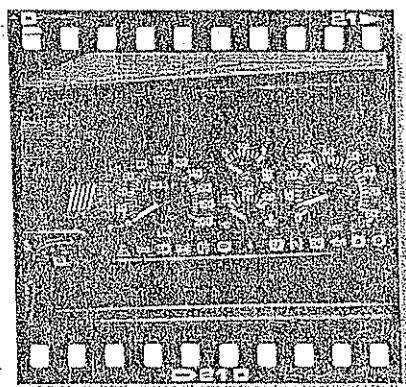
La temperatura

La medición de la temperatura es una actividad que se realiza con múltiples fines y se lleva a cabo de diferentes maneras, que siempre involucran la determinación de una escala y el empleo de un termómetro. Por otra parte, algunos de los cambios que se producen en los cuerpos están asociados a cambios de su temperatura.

Para qué y cómo se mide la temperatura



En los partes meteorológicos de los diarios, y en los noticiosos de radio y televisión, se suministra información acerca de la temperatura del aire.



Entre los datos que se pueden leer en el instrumental del tablero de un automóvil, generalmente se encuentra la temperatura del agua que refrigera el motor.

Las personas miden la temperatura cotidianamente, con diferentes propósitos y en diversas situaciones:

- La temperatura del aire es parte del informe meteorológico.
- La temperatura corporal es uno de los datos que se tiene en cuenta para realizar diagnósticos médicos.
- La temperatura del agua que refrigera el motor de un auto indica al conductor la presencia de posibles desperfectos.
- La permanente medición de la temperatura durante el transporte y el almacenado de algunos alimentos es imprescindible para asegurar su conservación.
- En el ámbito científico, se usan termostatos que permiten mantener la temperatura controlada durante el desarrollo de algunos experimentos.

La temperatura resulta un dato importante —y, muchas veces, imprescindible— para caracterizar el estado o las variaciones experimentadas por un cuerpo.

La medición de la temperatura también es indispensable para la descripción de una gran cantidad de fenómenos físicos: la densidad de los materiales; su resistencia eléctrica, algunas de las características magnéticas —entre otras propiedades— dependen de la temperatura. Además, el registro de las variaciones de temperatura experimentadas por un cuerpo permite calcular, en algunos casos, la cantidad de energía que ha intercambiado con el medio.

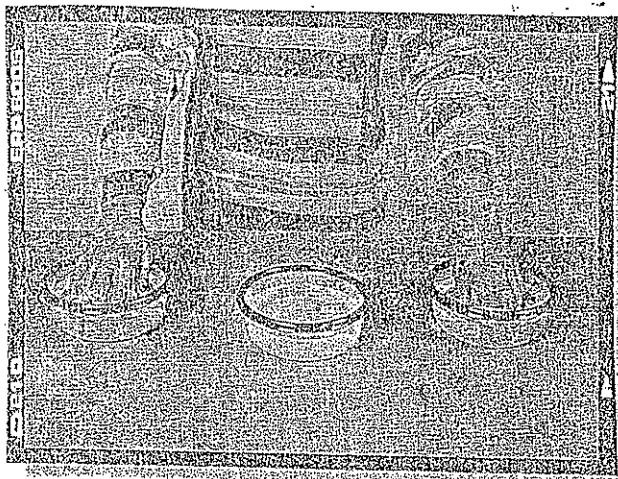
Aunque en muchas situaciones es necesario expresar con exactitud la medición de la temperatura, en el lenguaje cotidiano se usan palabras que los físicos consideran imprecisas para referirse a los estados térmicos. Se dice, por ejemplo, que el café está *caliente*, o que la gaseosa está *muy fría*. También se usan términos de este tipo para mencionar el estado térmico del aire, por ejemplo, *hace calor* o *hace frío*. Pero ¿por qué son imprecisas estas expresiones?

Desde el punto de vista de la ciencia, estas expresiones cotidianas son poco precisas porque, aunque se entiendan, suministran una información personal y subjetiva. Una bebida gaseosa, por ejemplo, puede parecerle poco fría a una persona y razonablemente fría a otra.

Las discrepancias acerca del empleo de palabras como *caliente* o *frío* no dependen solo de las opiniones de distintas personas, pues incluso una misma persona podría opinar de manera diferente según las circunstancias.

Esto ocurre porque el sentido del tacto —que es el detector térmico del ser humano— permite registrar información relacionada con las sensaciones térmicas, pero lo hace de un modo poco preciso. Esta imprecisión tiene distintos motivos:

- En cada situación, el sentido del tacto —al igual que el resto de los sentidos— queda influido por sensaciones anteriores. Por ejemplo, si se coloca una mano en agua caliente y la otra, en agua fría, y luego se ponen simultáneamente en agua tibia, cada mano percibe una sensación de temperatura distinta.



- En los casos en que el contacto con un cuerpo produce sensación de dolor, no solo no se puede estimar la temperatura de ese cuerpo, sino que ni siquiera se puede saber si está muy caliente o muy frío.

- El tipo de superficie de contacto también engaña al tacto. Si se toca un trozo de lana y un cuerpo de metal, que se encuentren a igual temperatura, la lana parece cálida y el metal, frío.

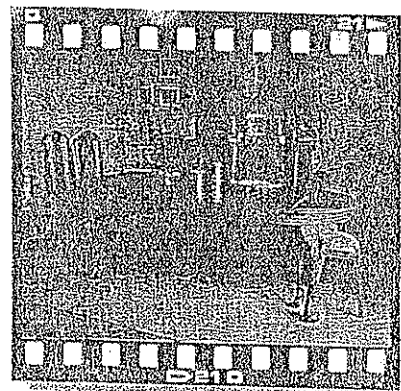
Entonces, resulta evidente que si se desea tener una buena información acerca del estado térmico de los cuerpos, habrá que usar termómetros.

En realidad, la preocupación por medir la temperatura a través de instrumentos y escalas es muy antigua. El precursor del actual termómetro fue fabricado por un ingeniero llamado Filón —en la colonia griega de Alejandría, situada en Egipto—, en el siglo III a.C. A partir de ese momento, se fabricaron instrumentos cada vez más precisos y cómodos, se inventaron escalas para medir la temperatura y se desarrollaron teorías acerca del significado de esta magnitud.

La medición de la temperatura mediante el uso de un termómetro permite:

- Comparar con precisión los estados térmicos de dos o más cuerpos para saber si están igualmente fríos o calientes.
- Ordenar un conjunto de cuerpos según sus estados térmicos.
- Definir una escala que le asigne a cada estado térmico un número característico, de manera que no haya dudas sobre el hecho de que, por ejemplo, un cuerpo que se encuentra a 22 °C está “más caliente” que otro que se encuentra a 21,99 °C.

El sentido del tacto es poco preciso para la determinación de temperaturas, porque, entre otros motivos, queda influido por sensaciones anteriores, tal como se observa en la experiencia. Se coloca la mano izquierda en agua caliente y la derecha, en agua bien fría. Al sacar ambas manos de los recipientes e introducirlas simultáneamente en agua tibia, con la mano izquierda se sentirá que el agua está fría y con la mano derecha, caliente.



Si los objetos que se observan han estado suficiente tiempo en esta habitación, tendrán todos la misma temperatura. Nuestro tacto puede hacernos suponer que no es así.

Las variables termométricas

! Cuando un cuerpo se calienta o se enfría, en él ocurren ciertos cambios que, a veces, son muy notorios y otras, apenas detectables; pero siempre ocurren. Por ejemplo, si se coloca un globo inflado con aire cerca de una estufa, se puede observar cómo aumenta su volumen; en cambio, si se lo coloca dentro de una heladera, su volumen disminuye.

! El aumento del volumen de un cuerpo al aumentar su temperatura se denomina *dilatación*. Se trata de un fenómeno que ocurre —con diferentes particularidades— en todos los cuerpos, aunque en algunos casos no se observa a simple vista.

! El encendido de una lamparita eléctrica suministra dos ejemplos de variaciones producidas por el aumento de la temperatura. El filamento de una lamparita apagada es de color plateado; al conectarla, este se calienta y toma una coloración amarilla brillante. Como en el ejemplo, el color de algunos cuerpos se modifica al cambiar su temperatura.

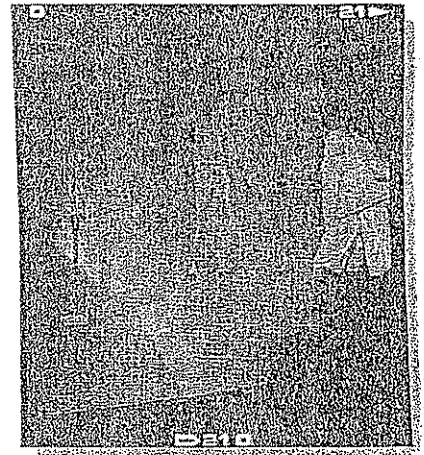
! Las lamparitas se queman cuando se corta su filamento, justo en el momento de encenderlas. Esto se debe a que su resistencia eléctrica se incrementa al aumentar la temperatura. En efecto, cuando se enciende la lamparita el filamento está frío, su resistencia es relativamente baja, por lo tanto, al pasar una corriente eléctrica alta, puede quemarse. Al calentarse el filamento, se eleva la resistencia y la corriente eléctrica que pasa es menor. La resistencia eléctrica es otra de las propiedades que se modifica al variar la temperatura.

! Cuando un auto está en movimiento, la temperatura de las cubiertas aumenta debido al rozamiento con el piso y, por lo tanto, también aumenta la presión del aire en su interior. En muchos casos, la presión de un gas se modifica al variar su temperatura.

! En los ejemplos anteriores, se observa que algunas propiedades de los cuerpos se modifican cuando varía su temperatura. Algunas de estas propiedades —como el volumen, la resistencia eléctrica o la presión— se pueden medir si se dispone de instrumentos adecuados. Estas magnitudes, cuyos valores cambian al modificarse la temperatura, se denominan *variables termométricas*.

Las variables termométricas se pueden usar como indicadores de la variación de la temperatura. Por ejemplo, se sabe que, en general, un líquido se dilata al aumentar la temperatura y se contrae cuando esta disminuye. A partir de esta relación, la medición de los cambios de volumen de un líquido permitiría obtener información acerca de lo que ocurre con su temperatura.

La modificación de los valores de las variables de un cuerpo indica que la temperatura de este está cambiando. Esto se comprueba con la siguiente experiencia: se coloca líquido en un tubo hasta la marca indicada con la letra a (como muestra la figura). Si, después de un tiempo, se observa que llega hasta la marca b, se podrá decir que probablemente la temperatura del líquido aumentó y, por eso, se ha dilatado. Por el contrario, si el nivel del líquido desciende hasta la marca c, posiblemente habrá disminuido su temperatura.



El acero, que a temperatura ambiente es plateado, se pone al rojo, o incluso blanco brillante, cuando aumenta su temperatura.



Cambios de temperatura y equilibrio térmico

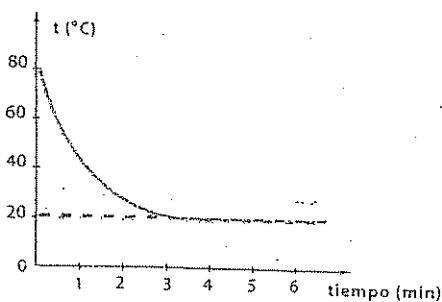
La temperatura de un cuerpo puede cambiar debido a diversas causas:

- Cuando se pone en contacto con otro cuerpo que se encuentra a distinta temperatura. Por ejemplo, si se coloca un cubito de hielo dentro de un vaso de vidrio con agua, al cabo de unos minutos la temperatura de las paredes del vaso habrá disminuido.
- Cuando se comprime o se expande, como ocurre con los gases de combustión en un motor Diesel.
- Cuando se hace pasar una corriente eléctrica a través de él, como sucede en el filamento de una lamparita.
- Cuando se lo expone a radiación, como ocurre con un cuerpo expuesto al sol.

En todos estos casos en los que varía la temperatura de un cuerpo, es posible reconocer que se ha producido un intercambio de energía con otros cuerpos. (Sin embargo, en otros casos, un cuerpo puede intercambiar energía con otro sin que se modifique su temperatura.)

Cuando se ponen en contacto dos o más cuerpos que se encuentran a diferentes temperaturas, se produce el pasaje de calor de uno a otro; y, en general, este pasaje implica cambios en sus temperaturas. El proceso de transferencia de calor de un cuerpo a otro continúa hasta que ambos alcanzan la misma temperatura. En ese momento, se dice que se encuentran en *equilibrio térmico*.

Por ejemplo, si se dejan sobre una mesa un recipiente con agua caliente y un vaso con agua y hielo durante suficiente tiempo, ambos sistemas llegarán a la temperatura ambiente. El agua caliente se irá enfriando al ceder calor al aire (este proceso se detiene cuando ambas temperaturas son iguales). El agua con hielo re-

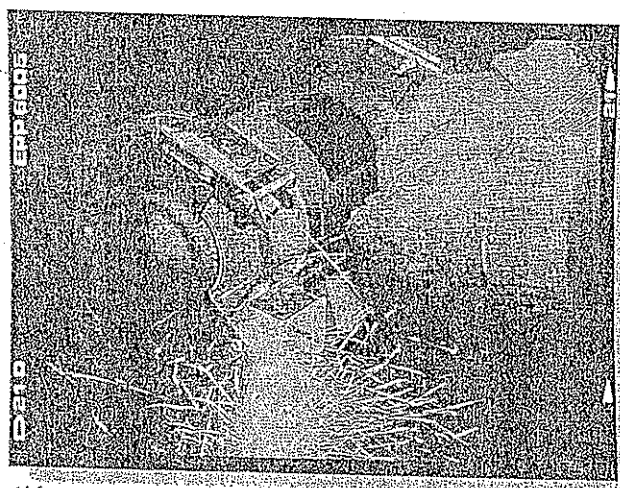


Inicialmente, el agua se encontraba a 80 °C y el aire, a 20 °C. A medida que pasa el tiempo, se produce una transferencia de calor hasta que el agua alcanza la temperatura del aire.

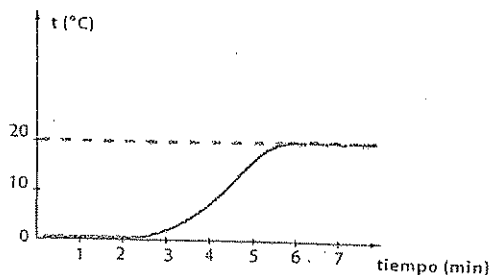
cibe calor del aire, lo que provoca, primero, la fusión del hielo y, luego, el calentamiento del agua hasta que alcanza la temperatura exterior.

Ciertos cuerpos disponen de sistemas internos que producen transformaciones energéticas que les permiten mantener la temperatura aunque estén transmitiendo calor. En estos casos, no se produce el equilibrio térmico; esto sucede con muchos seres vivos que disponen de mecanismos de regulación térmica mediante los cuales mantienen la temperatura corporal constante, aunque la temperatura exterior sea diferente. Por ejemplo, el organismo humano conserva su temperatura corporal en aproximadamente 37 °C aunque el ambiente se encuentre a 10 °C.

La existencia de equilibrio térmico entre dos cuerpos se puede reconocer si, al ponerlos en contacto, sus variables termométricas no se modifican. En términos más simples, se puede decir que ambos cuerpos están a la *misma temperatura*.



Al frotar el metal con la piedra, se eleva la temperatura de ambos cuerpos. Los trozos que se desprenden están a temperaturas tan elevadas que emiten luz.



El aire a 20 °C entrega calor al sistema agua-hielo. Primero, se funde el hielo y, luego, se eleva la temperatura del agua hasta alcanzar los 20 °C.

Cómo fabricar un termómetro

En el proceso de fabricación de un termómetro se siguen los siguientes pasos:

1 | Elección del sistema que va a actuar como termómetro sin dejar de considerar una variable termométrica.

Se selecciona un sistema que resulte cómodo y que tenga alguna variable termométrica que se pueda medir con precisión. Por ejemplo, se elige un tubo angosto, cerrado en ambos extremos y con mercurio en su interior. En la parte inferior hay un ensanchamiento que actúa como un pequeño depósito.

Debido a su tamaño, su forma y su masa, este sistema alcanza rápidamente el equilibrio térmico con el medio que lo rodea. Por ejemplo, si se lo coloca dentro de un recipiente con agua, en poco tiempo tendrá la misma temperatura que el agua. Además, por sus propiedades, este sistema no modifica apreciablemente la temperatura del agua (hay que tener en cuenta que el termómetro, como todo instrumento de medición, debe diseñarse de manera que influya lo menos posible en lo que se va a medir).

Se elige mercurio porque es un metal que, en condiciones normales de presión, se encuentra en estado líquido entre las temperaturas que habitualmente se pretende medir con un termómetro, y porque se dilata lo suficiente como para detectar fácilmente el ascenso de la columna en el tubo.

El instrumento que se diseña siguiendo estos pasos es un termoscopio, es decir, un sistema que al colocarlo en contacto con otro permite detectar si la temperatura de este último varía. Para convertir el termoscopio en termómetro, hay que graduarlo.

2 | Elección de los puntos fijos, es decir, las temperaturas de referencia.

Se eligen sistemas cuyas temperaturas se puedan considerar fijas y, además, fácilmente reproducibles; estas temperaturas que se toman como referencia se denominan *puntos fijos*.

Durante los cambios de estado a presión constante, la temperatura de los cuerpos también se mantiene constante. Por ello, se han tomado como puntos de referencia las temperaturas en que se producen estos cambios de estado. Teniendo en cuenta esto, se elige como uno de los puntos fijos la temperatura del hielo en el punto de fusión a presión atmosférica normal (1013 hectopascales). Para ello, se coloca el tubo en contacto con una masa de hielo en esas condiciones y se espera hasta que la columna de mercurio se estabilice. En el momento en que esto sucede, se puede decir que el hielo y el termoscopio están en equilibrio térmico, es decir, a la misma temperatura. Se marca en el tubo la altura de la columna de mercurio. De igual manera, se coloca el termoscopio en contacto con vapor de agua en ebullición a presión normal. Cuando se logra el equilibrio térmico, se realiza sobre el tubo la marca correspondiente.

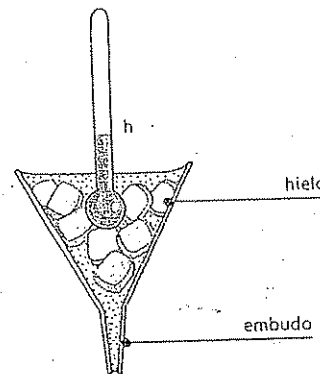
3 | Asignación de valores numéricos a estos estados térmicos.

En esta escala se ha elegido el valor $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ para la temperatura del hielo en las condiciones indicadas, y $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ para la temperatura del vapor de agua. Estos dos números son totalmente arbitrarios, es decir que se podrían haber elegido otros, y de hecho eso ocurre en otras escalas.

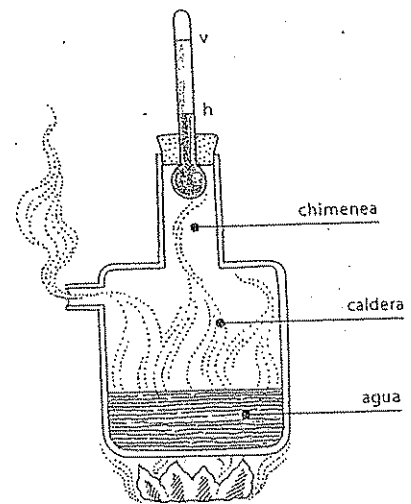
El símbolo $^{\circ}\text{C}$ corresponde al nombre *grados Celsius*, en homenaje al astrónomo sueco Anders Celsius (1701-1744), quien propuso, en 1742, una



Se ha elegido un tubo de vidrio con mercurio en su interior. El tamaño del sistema debe ser adecuado para lo que se pretende medir. Si el termómetro tuviera mucha masa, seguramente modificaría la temperatura que se quiere medir.



La marca *h* indica la altura del mercurio cuando el termómetro está en equilibrio térmico con el hielo, en su punto de fusión a presión normal.



La marca *v* indica la altura del mercurio cuando el termómetro está en equilibrio térmico con vapor de agua en ebullición a presión normal.

escala que adoptó estos puntos fijos, y que es la que se utiliza comúnmente en nuestro país y en casi todo el mundo.

4| Definición de una función para asignarle valores a las temperaturas de otros estados térmicos.

El último paso es la calibración del termómetro para poder medir otras temperaturas. Esta calibración deberá cumplir dos condiciones:

a| A cada estado térmico le corresponde un número que es su temperatura en esa escala.

b| Los grados deben ser todos iguales, de modo que un aumento de temperatura de 5 grados es el mismo tanto si la temperatura pasa de 5 a 10 grados como si pasa de 80 a 85 grados. De hecho, se podría construir un termómetro haciendo en el tubo cien marcas que no sean todas iguales; en este caso, no tendría sentido decir "la temperatura aumentó 5 grados", porque en una escala de grados desiguales un aumento de 5 a 10 grados seguramente será distinto a uno de 80 a 85 grados.

Para cumplir con esas condiciones, se propone una relación lineal entre la temperatura y el largo de la columna de mercurio. Si se traza la recta determinada por los puntos que indican $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, se obtiene una calibración del termómetro que cumple con las condiciones mencionadas. De esta manera, y si el termómetro lo permite, también es posible medir temperaturas superiores a los $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ o inferiores a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Distintos tipos de termómetros

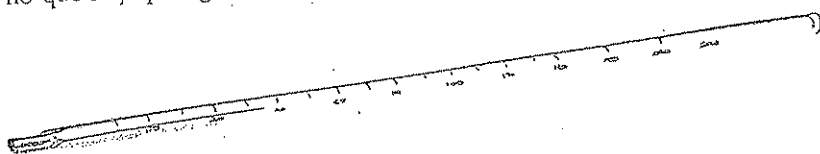
Las limitaciones de este termómetro están dadas por su largo, por los puntos de fusión y solidificación del mercurio o por la fusión del vidrio que lo contiene. Esas limitaciones han impulsado la construcción de diversos tipos de termómetros para funciones específicas.

Muchos termómetros que miden la temperatura del aire utilizan alcohol coloreado, que, además de ser más barato que el mercurio, puede medir temperaturas inferiores a los $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la que el mercurio se solidifica.

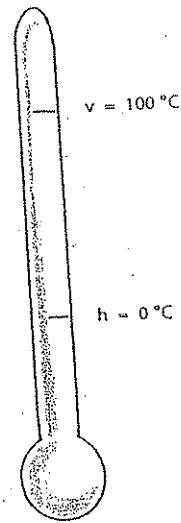
Los termómetros eléctricos utilizan variables termométricas tales como la resistencia eléctrica o la fuerza electromotriz de un par bimetálico, ya que ambas magnitudes cambian al variar la temperatura.

Los termómetros que miden la temperatura de un cuerpo a partir de la radiación que reciben de él, sin tocarlo, se pueden utilizar, por ejemplo, para medir la temperatura de una pieza dentro de un horno industrial.

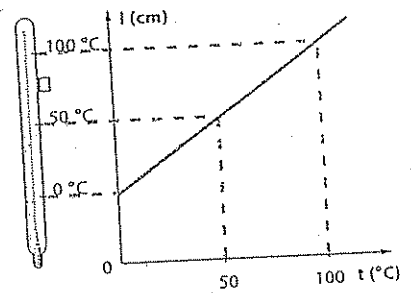
En cuanto a los termómetros que miden la temperatura corporal de las personas, existen modelos eléctricos digitales y otros que modifican su coloración según la variación de la temperatura. Los más comunes son los termómetros de mercurio, que están calibrados generalmente entre $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ y tienen la particularidad de ser termómetros de máxima; esto significa que, una vez alcanzada una temperatura, el mercurio no desciende por sí solo, sino que hay que agitarlo para que lo haga.



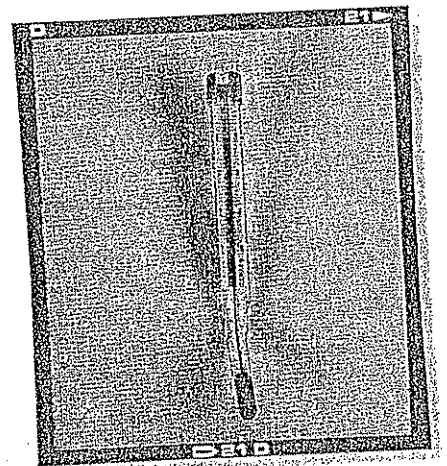
En la parte inferior del termómetro clínico hay un estrangulamiento que impide que el mercurio descienda por sí solo.



Se le asigna el valor $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ al punto v y $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ al punto h .



Al proponer una relación lineal entre la longitud de la columna de mercurio y las temperaturas, el instrumento queda calibrado.



Los termómetros de alcohol coloreado son muy usados para medir la temperatura del aire.

Las escalas termométricas

Para calibrar el termómetro de mercurio se ha postulado, arbitrariamente, solo porque pareció más sencillo, una relación lineal entre el largo de la columna de mercurio y la temperatura. Si el tubo contuviera alcohol en lugar de mercurio, la relación, ¿sería la misma? O, en otras palabras, ¿se dilatan de la misma manera el mercurio y el alcohol?

En realidad, si se calibraran todos los termómetros como se propuso con el de mercurio, sus temperaturas solo coincidirían en $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y en $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. En otras temperaturas, los valores serían ligeramente diferentes. Estas diferencias podrían, según la situación, no tener una gran importancia práctica, pero constituyen un obstáculo insalvable para una definición teórica de una escala termométrica. La temperatura de un cuerpo no debería depender del termómetro utilizado para medirla.

Esto significa que debe definirse una escala que sirva como referencia para calibrar cualquier termómetro. En la historia de la Física, el establecimiento de esa escala llevó bastante tiempo y, si bien los pasos para su definición son, en cierta medida, similares a los que se siguieron para la calibración del termómetro de mercurio, el instrumento utilizado es bastante más complejo. Para definir esta escala, se utiliza un termómetro de gas que funciona a volumen constante. Con este instrumento, y a partir de consideraciones teóricas acerca de las propiedades de los gases, se definió una escala llamada *Kelvin*, en memoria del famoso físico británico William Thomson, lord Kelvin (1824-1907). Esta escala también se denomina *absoluta*, porque su punto más bajo, el cero absoluto, es el estado térmico más bajo que puede alcanzar la materia.

Los grados de la escala Kelvin representan el mismo intervalo térmico que los grados Celsius, lo que significa que un aumento de temperatura de cinco grados Celsius o de cinco grados Kelvin es lo mismo.

Para cálculos que no requieren la precisión de la centésima de grado, el pasaje de una a otra escala se hace sumando o restando 273:

$$\begin{aligned} 35\text{ }^{\circ}\text{C} &= (35 + 273)\text{ K} & 260\text{ K} &= (260 - 273)\text{ }^{\circ}\text{C} \\ 35\text{ }^{\circ}\text{C} &= 308\text{ K} & 260\text{ K} &= -13\text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

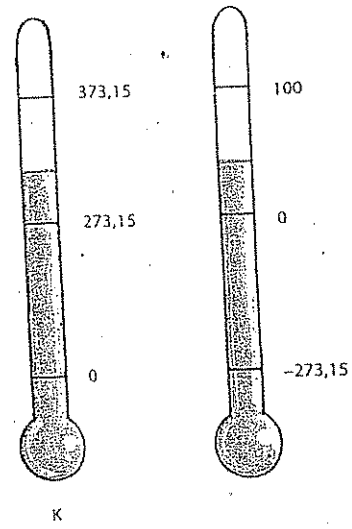
Ambas escalas se relacionan, entonces, mediante el valor constante 273,15, que proviene del hecho de que, aunque sus grados son iguales, toman el cero en estados térmicos distintos.

En algunos países de habla inglesa —en particular, en Gran Bretaña y en los Estados Unidos de América—, persiste el uso de una escala termométrica llamada *Fahrenheit*, en honor al físico alemán Daniel Fahrenheit (1686-1736). En esa escala, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ equivale a $32\text{ }^{\circ}\text{F}$ y $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, a $212\text{ }^{\circ}\text{F}$.

Denominando t_c a la temperatura en grados Celsius y t_f a la misma temperatura en grados Fahrenheit, el pasaje de una a otra escala se hace de la siguiente manera:

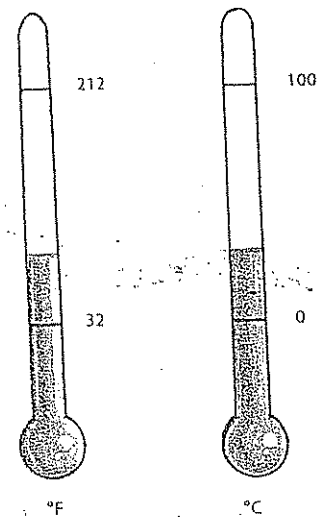
$$t_c = \frac{5}{9} (t_f - 32)$$

$$t_f = 32 + \frac{9}{5} t_c$$



En la escala Celsius, el cero absoluto tiene un valor de $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En la escala Kelvin, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ tiene un valor de $273,15\text{ K}$ y el punto $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ es equivalente a $373,15\text{ K}$.



Comparación de la escala Celsius con la escala Fahrenheit.

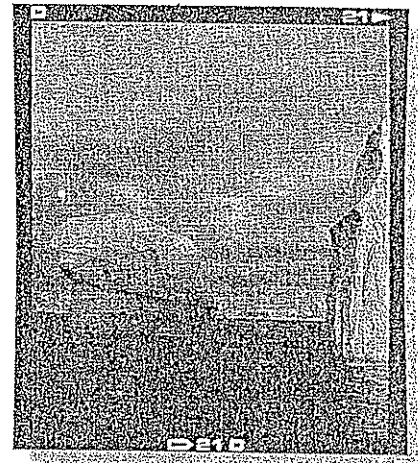
La temperatura y la estructura de la materia

La temperatura está relacionada con la energía cinética de las moléculas. Sin pretender desarrollar un modelo microscópico de la materia, podríamos imaginar a las moléculas que constituyen un gas como pequeños cuerpos puntuales que se desplazan a diversas velocidades. Aunque estas velocidades son seguramente muy diferentes entre sí —ya que las moléculas chocan unas contra otras y con las paredes del recipiente que contiene el gas—, es posible suponer una velocidad media para estas moléculas. Como las moléculas están en movimiento, tienen cierta energía cinética; la temperatura absoluta de un gas es proporcional a la energía cinética media de las moléculas. Se deduce que, en este modelo, una mayor temperatura en un gas implica que sus moléculas se mueven con mayor velocidad.

En los estados líquido y sólido ocurre algo similar, aunque en estos casos las moléculas mantienen vínculos que les impiden trasladarse como lo hacen en el estado gaseoso. Sin embargo, se podría imaginar un modelo en el que las moléculas de un sólido, por ejemplo, vibrarán más rápidamente al recibir energía, lo que indicaría que tienen mayor energía cinética media y se manifestaría como un aumento proporcional en la temperatura absoluta.

La temperatura de un cuerpo no depende de su masa. Un iceberg de miles de toneladas tiene una temperatura muy baja, mientras que una pequeña brasa de carbón puede tener una temperatura muy alta. Como la temperatura es proporcional a la energía cinética media de las moléculas del cuerpo, resulta que las moléculas del hielo del iceberg tienen menor velocidad media que las de la brasa.

En síntesis, en los cuerpos de mayor temperatura, las moléculas se desplazan o vibran con mayor energía cinética media que en los de menor temperatura.



Los icebergs son desprendimientos de los glaciares, que se desplazan por el mar; se encuentran principalmente en las zonas árticas. Suelen ser muy grandes: algunos llegan a sobresalir 150 metros por sobre el nivel del mar. Sin embargo, la mayor parte de la masa de un iceberg está por debajo de la superficie del agua.

El Principio Cero de la Termodinámica

El contacto térmico de un cuerpo con un termómetro permite medir, en una escala determinada, la temperatura de ese cuerpo y, de esa forma, obtener una información acerca de su estado o de su posible evolución. Desde el punto de vista teórico, la medición de la temperatura está basada en un principio que tiene un enunciado muy simple y que recibe el nombre de *Principio Cero de la Termodinámica*. (Este nombre tan extraño tiene la siguiente explicación: el estudio de los intercambios de energía, en términos muy generales, recibe el nombre de *Termodinámica*. La Termodinámica se fundamenta en dos principios o leyes básicas que se llaman, precisamente, *Primero y Segundo Principio de la Termodinámica*. Años después de haberse desarrollado estos principios, se enunció otro más simple, al que se le asignó el número cero.)

Este principio se podría enunciar de la siguiente manera: *Si un cuerpo A está en equilibrio térmico con otro cuerpo B, y el cuerpo B está en equilibrio térmico con el cuerpo C, los cuerpos A y C también están en equilibrio térmico*. Por ejemplo, si el cuerpo A es hielo en estado de fusión a presión normal y el cuerpo B es un termómetro, ambos estarán en equilibrio térmico cuando el instrumento marque 0°C , que es el número asignado a ese estado térmico. Si se coloca el termómetro B en contacto con otro cuerpo C y el instrumento sigue marcando 0°C , según este principio se puede afirmar que el estado térmico del cuerpo C es igual al del hielo.

Temperatura y dilatación

Uno de los efectos de la variación de la temperatura de un cuerpo es un cambio en sus dimensiones. La mayor parte de los cuerpos aumenta su volumen al aumentar su temperatura; a este fenómeno se lo denomina *dilatación*.

Si bien en la mayoría de los casos los efectos de la dilatación son poco notorios, este fenómeno tiene importancia en la explicación de muchas situaciones que se producen en la naturaleza, y es utilizado en diversos sistemas tecnológicos. Por ejemplo:

- La dilatación del aire produce su ascenso y este hecho está relacionado con la velocidad del viento.
- La forma particular en que dilata el agua es fundamental para la vida terrestre.
- La presencia de ranuras en determinados lugares de las vías férreas, los puentes, las rutas y los edificios permite la dilatación de los materiales evitando que las estructuras se rompan o se deformen.
- Los termostatos que cierran los circuitos de las heladeras activando el motor solo cuando hace falta basan su funcionamiento en la dilatación de dos metales.
- Las llaves térmicas que cortan la corriente eléctrica en caso de cortocircuito también funcionan por dilatación.

¿De qué depende que un cuerpo se dilate en mayor o en menor medida que otro? Para responder esta pregunta, sería conveniente proponer tres variables relacionadas con la dilatación de los cuerpos:

1| La dilatación depende de la variación de temperatura. Se puede suponer —y habrá que comprobarlo experimentalmente— que, al aumentar la temperatura de los cuerpos, estos se dilatan, y que, cuanto mayor sea el aumento de la temperatura, mayor será el cambio de volumen del cuerpo.

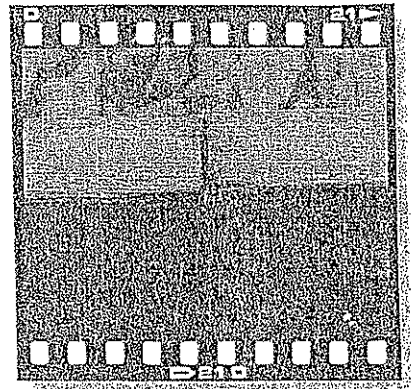
2| La observación de los efectos de la dilatación en diversas situaciones permite pensar que el aumento de volumen o de otras dimensiones depende del volumen del cuerpo antes de dilatarse: Esto significa que, si se aumenta en 10 °C la temperatura de dos piezas de hierro, se producirá mayor dilatación en la pieza de mayor tamaño.

3| También es razonable suponer que la dilatación depende de la composición química del cuerpo. En iguales circunstancias, no se dilatará de la misma manera un trozo de cobre que otro de plástico de igual volumen.

La función que permite calcular la dilatación de un cuerpo, teniendo en cuenta las condiciones expresadas, es la siguiente:

$$\Delta V = V_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad (1)$$

En esta expresión, ΔV es la variación de volumen experimentada por un cuerpo debido a la dilatación; V_0 es el volumen inicial del proceso (es decir, el volumen que tenía el cuerpo antes de aumentar su temperatura); Δt es la variación de la temperatura que provoca la dilatación, y α es un coeficiente cuyo valor depende de cada material (se lo denomina *coeficiente de dilatación cúbica*).



Entre los tramos del riel se deja un espacio para que, al dilatarse el metal por el aumento de la temperatura, no se produzcan deformaciones o rupturas.

El coeficiente de dilatación cúbica

A partir de la expresión (1) se deduce:

$$\alpha = \frac{\Delta V}{\Delta t \cdot V_0}$$

lo que significa que el coeficiente de dilatación cúbica expresa la variación del volumen experimentada por el cuerpo por cada unidad de volumen inicial y por cada grado de temperatura. Por ejemplo, si el coeficiente de dilatación cúbica del querosén es $0,00092 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ significa que un litro de querosén se dilatará $0,00092$ litro por cada grado de aumento de la temperatura.

Cabe aclarar que la expresión (1) es aproximada, ya que el coeficiente de dilatación cúbica de los materiales varía ligeramente con la temperatura; es decir que un cuerpo no se dilata exactamente de la misma manera al pasar de $10 \text{ } ^\circ\text{C}$ a $20 \text{ } ^\circ\text{C}$, que cuando pasa de $90 \text{ } ^\circ\text{C}$ a $100 \text{ } ^\circ\text{C}$, aunque en ambos casos la variación de temperatura haya sido la misma. Con bastante aproximación, se pueden hacer los cálculos con los valores de los coeficientes de dilatación de las sustancias a una temperatura de $18 \text{ } ^\circ\text{C}$.

La tabla siguiente muestra algunos coeficientes de dilatación lineal.

Materiales	Coefficientes de dilatación lineal (β) $^\circ\text{C}^{-1} \cdot 10^{-5}$
Acero	1,1
Cobre	1,65
Oro	1,44
Plomo	2,92
Hormigón	0,90 a 1,35
Madera	0,3 a 0,9

Los coeficientes de dilatación cúbica se obtienen multiplicando estos valores por tres:

$$\alpha = 3 \cdot \beta$$

Aunque los coeficientes de dilatación parecen tener valores muy pequeños, los materiales pueden alcanzar dilataciones realmente importantes. Por ejemplo, si consideramos un barco petrolero que carga 200 millones de litros de petróleo, ¿qué ocurrirá si durante la travesía la temperatura aumenta $4 \text{ } ^\circ\text{C}$? Sabiendo que el coeficiente de dilatación del petróleo es $9 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, el incremento del volumen del petróleo por dilatación será:

$$\Delta V = 2 \cdot 10^8 \text{ l} \cdot 9 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta V = 720.000 \text{ l}$$

Es decir que el barco llegaría con 720.000 litros más de petróleo que con los que salió, debido a un aumento en su temperatura de solo $4 \text{ } ^\circ\text{C}$.

En la práctica, muchas veces se requiere el cálculo de la dilatación en una sola de las dimensiones de un cuerpo. Esto sucede generalmente cuando una dimensión prevalece frente a las demás. Por ejemplo, en la dilatación de un alambre suele ser más importante saber en cuánto varió su longitud que su volumen. En este caso se habla de *dilatación lineal*.

Para el cálculo de la dilatación lineal se pueden hacer las mismas consideraciones que para la dilatación cúbica; la expresión que permite saber cuánto se modificó la longitud de un cuerpo es la siguiente:

$$\Delta l = l_0 \cdot \beta \cdot \Delta t$$

En esta expresión, Δl es la variación de la longitud por efecto de la dilatación; l_0 es la longitud inicial del cuerpo; β es el coeficiente de dilatación lineal del material con el que está constituido el cuerpo en cuestión, y Δt es la variación de temperatura que provoca la dilatación.

Por ejemplo, si se desea calcular cuánto varía la longitud de un tramo de riel de ferrocarril de hierro, de 50 metros de largo, cuando la temperatura aumenta $10 \text{ } ^\circ\text{C}$, se puede proceder de la siguiente manera.

Sabiendo que el coeficiente de dilatación lineal del hierro es:

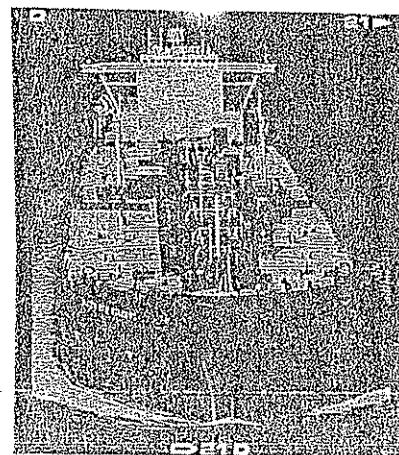
$$\beta_{\text{hierro}} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Entonces,

$$\Delta l = 50 \text{ m} \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \cdot 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta l = 6 \text{ mm}$$

Es decir que la variación de este tramo de vía, en las condiciones indicadas, será de 6 mm.



Al cargar los depósitos de los buques petroleros se debe tener en cuenta el coeficiente de dilatación del petróleo

La dilatación del agua

La vida acuática en las regiones frías de nuestro planeta pudo desarrollarse, entre otros motivos, debido al comportamiento anómalo del agua cuando se dilata.

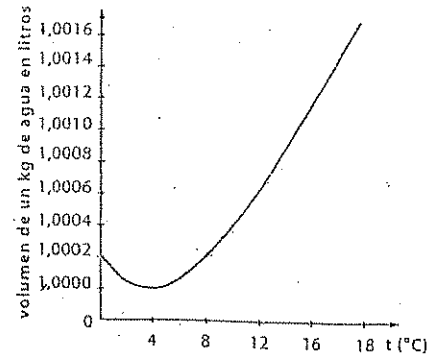
Si se toma un kilogramo de agua a 0°C y se comienza a elevar su temperatura, se observa que hasta los 4°C , en lugar de dilatarse, se contrae; es decir que, a esta temperatura, el kilogramo de agua tiene menos volumen que a los 0°C .

A partir de los 4°C , el agua se dilata como la mayor parte de los cuerpos. Esto significa que el agua alcanza su máxima densidad a los 4°C (este comportamiento está relacionado con la forma particular en que se relacionan entre sí las moléculas de agua).

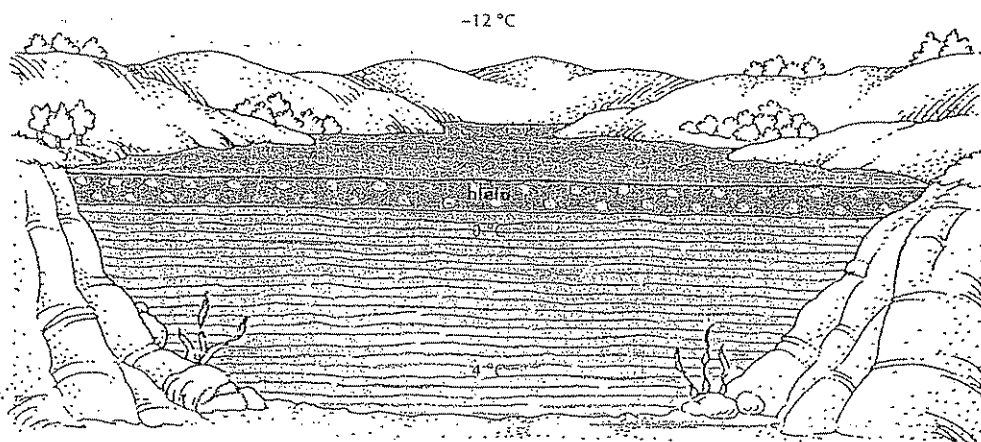
¿Cómo está relacionado este hecho con la vida en los ambientes acuáticos del planeta?

La siguiente secuencia, tomada como ejemplo, ilustra lo que ocurre con el agua de un lago al llegar el invierno:

- 1| En un momento determinado, el agua del lago se encuentra a 14°C .
- 2| El aire comienza a enfriarse y hace que la temperatura del agua de la superficie del lago también disminuya.
- 3| Cuando la temperatura del agua superficial llega a 4°C , esta se hunde porque el agua que está por debajo es menos densa por tener mayor temperatura.
- 4| Este proceso continúa: el agua de la superficie llega a 4°C , desciende y su lugar es ocupado por agua a mayor temperatura; en contacto con el aire esta se enfría hasta 4°C y se hunde, y así sucesivamente hasta que toda el agua alcanza los 4°C .
- 5| Cuando esto ocurre, el agua de la superficie puede bajar su temperatura hasta 0°C , sin hundirse, y se congela. Es decir que, debido a esta anomalía en la dilatación del agua, el lago comienza a congelarse desde la superficie hacia el fondo —y no al revés— ya que el hielo flota en agua líquida.
- 6| La duración de un invierno no alcanza para que toda el agua llegue a una temperatura de 4°C y luego congelarla totalmente. Por esa razón, los lagos presentan congelamiento en su parte superior, de modo que la vida acuática puede continuar en la parte líquida, debajo del hielo.



El volumen de 1 kg de agua es mínimo a los 4°C , por lo que su densidad a esa temperatura es máxima.



El agua en un lago se solidifica desde la parte superior hacia la inferior. De esta manera se preserva la vida acuática.

El calor

En este capítulo se analizan tres cuestiones fundamentales de la Física. En primer lugar, se estudia el calor como una forma de describir transferencias de energía; luego, la relación entre la energía intercambiada entre dos cuerpos y el tiempo empleado para hacerlo, y, por último, el efecto más conocido del intercambio de calor: la variación en la temperatura de los cuerpos que intervienen en ese intercambio.

El intercambio de energía

Existen tres formas básicas de intercambiar energía entre dos o más cuerpos:

1 | Mediante la acción de fuerzas.

Se produce un intercambio de energía mediante la acción de fuerzas, por ejemplo, cuando una persona toma un carrito en un supermercado y lo empuja. Si inicialmente el carrito estaba detenido, al ponerse en movimiento gana cierta cantidad de energía cinética. ¿De dónde la obtiene? Evidentemente, se la suministra la persona que lo empuja al efectuar una fuerza sobre él. Es decir que si el carrito ganó 12 J de energía, es porque la persona que lo empuja le suministró esa cantidad. Se puede decir que esa persona, mediante la acción de una fuerza, ha realizado un trabajo de 12 joules.

La energía que se intercambia mediante la acción de fuerzas se mide con una magnitud llamada *trabajo*.

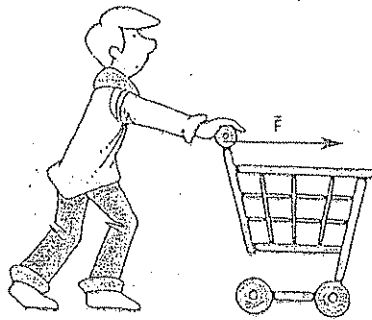
2 | Mediante radiaciones.

Existen muchos ejemplos de esta forma de intercambio energético: la energía química de las pilas de un control remoto, que se transmite por radiación y produce el aumento de volumen de sonido de un televisor; la energía transmitida por un láser, que puede utilizarse para realizar operaciones quirúrgicas con gran precisión, entre otros. La forma más notoria de energía transmitida por radiación es la que nos llega desde el Sol.

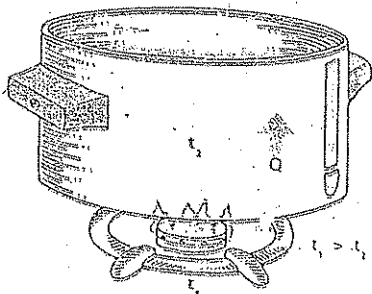
3 | Como calor.

El calor es la energía que se intercambia entre los cuerpos debido a una diferencia de sus temperaturas. El calor permite calcular la energía cedida por un cuerpo de mayor temperatura a otro cuerpo cuya temperatura es menor.

Cuando se coloca un recipiente con agua sobre una hornalla encendida, los gases en combustión están a mayor temperatura que el agua. Si, al calentarse, el agua gana 20.000 J es porque los gases en combustión le han cedido esa cantidad de energía. La cantidad de calor que pasó del gas en combustión al agua fue, entonces, de 20.000 joules.



La variación de la energía cinética del carrito se puede calcular a partir del trabajo realizado sobre él.



La energía de los gases en combustión (a mayor temperatura) pasa al agua (que se encuentra más fría) en forma de calor.

Breve historia del concepto de calor

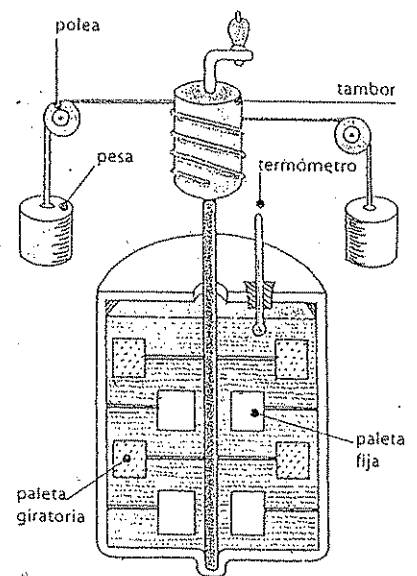
En el lenguaje cotidiano, no resulta particularmente llamativo decir "el calor pasa desde la llama de la hornalla al agua de la pava", o "la estufa da calor", o "el sol da calor". Sin embargo, sonaría extraño si alguien dijera que "el trabajo pasa de una persona al carrito del supermercado".

Esta forma de referirse al calor proviene de una antigua concepción acerca de este tema, conocida como *teoría del calórico*. Esta teoría, que estuvo vigente hasta mediados del siglo XIX, consideraba al calor como una sustancia gaseosa —identificada con el nombre de *calórico*— que pasaba desde los cuerpos de mayor temperatura a los de menor temperatura. Según esta teoría, el enfriamiento de un cuerpo se explicaba por la pérdida de calórico. Si, por el contrario, un objeto se calentaba era porque ganaba calórico. En la actualidad, cuando se habla de "cantidad de calor" o de "dar calor", se emplean expresiones que derivan de la teoría del calórico.

En 1798, Benjamin Thompson (1753-1814) formuló una de las primeras objeciones a la teoría del calórico. Thompson era un científico y aventurero estadounidense que, con el título de conde de Rumford, fue ministro de guerra de Baviera y dirigió fábricas de armamento. En esta función, observó que, cuando se taladraban grandes trozos de metal para fabricar cañones, se desprendía tanto calor que hacía hervir el agua con la que se refrigeraban las piezas. Se le ocurrió, entonces, que, si el calor se desprendía de las piezas metálicas siempre que se las frotaba, no era razonable pensar que fuese una sustancia. Si fuera una sustancia, debería agotarse en algún momento; pero el calor obtenido por frotamiento parecía no agotarse nunca. Propuso, entonces, que el calor debía ser "movimiento" —hoy se lo conceptualiza no como movimiento, sino como energía.

Hacia 1840, la teoría del calórico parecía incompatible con muchos experimentos referidos a la producción de calor mediante reacciones químicas o por el paso de corriente eléctrica. Para esa época, y en forma independiente, dos científicos realizaron investigaciones que les permitieron relacionar definitivamente al calor con la energía. Uno de ellos fue el médico alemán Julius Meyer (1830-1895), quien expuso por primera vez con claridad la relación entre el calor y la energía. El otro fue un científico e industrial inglés llamado James Joule (1818-1889), quien —mediante ingeniosos y precisos experimentos— logró medir la equivalencia entre el calor y otras formas de energía. En 1850, estableció: *La cantidad de calor capaz de hacer que una libra de agua aumente en un grado de la escala Fahrenheit es igual a una fuerza mecánica capaz de levantar 838 libras perpendicularmente con el suelo a una altura de un pie, y puede ser convertida en ella.*

Es decir que Joule mostró que es posible calentar cierta cantidad de agua en un grado, ya sea mediante la entrega de calor o mediante un valor equivalente de trabajo. Teniendo en cuenta que Joule llamaba fuerza mecánica a la energía mecánica, y haciendo las transformaciones de unidades correspondientes, se puede notar que el cálculo realizado por él coincide, con muy poco error, con los que se efectuaron posteriormente y que dan una equivalencia de 0,24 calorías por cada joule.

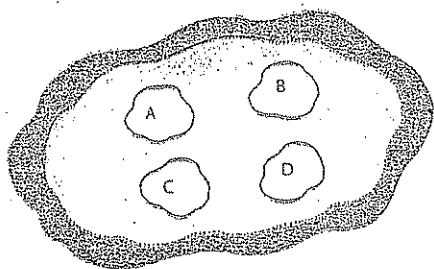


El dispositivo de la figura es un esquema de uno de los calorímetros utilizados por Joule. Al caer, las pesas hacen girar las paletas que calientan el agua. Es posible calcular el trabajo entregado por las pesas al agua.

Cálculos de calor

Una de las propiedades importantes que se debe tener en cuenta para calcular el calor intercambiado entre dos o más cuerpos es el principio de conservación de la energía, según el cual, en un sistema aislado, la energía se mantiene constante.

Para aplicar este principio a los intercambios de energía mediante calor, se puede suponer, por ejemplo, un sistema como el de la figura, constituido por cuatro cuerpos a temperaturas diferentes que solo intercambian calor entre ellos.



La suma entre las cantidades de calor absorbidas y cedidas por los cuerpos que constituyen un sistema cerrado da cero como resultado.

Si en 5 minutos el cuerpo A cedió 10 J, el cuerpo B cedió 25 J y el cuerpo C recibió 15 J, necesariamente, el cuerpo D habrá recibido 20 J, ya que al sistema no puede entrar ni salir energía. (Se indica con la letra Q la energía intercambiada en forma de calor.)

Generalizando, se dice que, en un sistema aislado:

$$\sum Q_i = 0 \quad (1)$$

Para cuatro cuerpos:

$$Q_A + Q_B + Q_C + Q_D = 0$$

Para realizar estas operaciones, se les asignan signos a las cantidades de calor intercambiadas, por ejemplo: positivo para el calor recibido y negativo para el cedido.

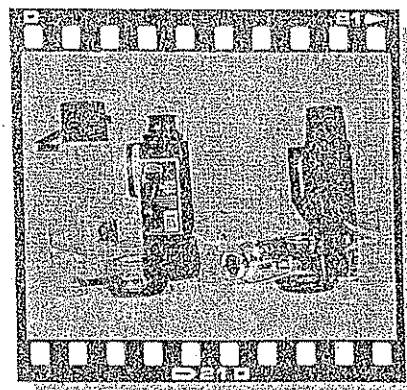
En el ejemplo del sistema de la figura:

$$-10 \text{ J} - 25 \text{ J} + 15 \text{ J} + 20 \text{ J} = 0$$

¿Es posible lograr, en la práctica, que un sistema esté térmicamente aislado?

Desde un punto de vista teórico, un sistema estará térmicamente aislado si se encuentra rodeado por una envoltura que impida totalmente el pasaje de calor (se la denomina *envoltura adiabática*). En condiciones de laboratorio, se pueden lograr sistemas muy aislantes que, para experimentos de corta duración, son prácticamente adiabáticos. Un posible ejemplo de estos sistemas es un buen termo.

Si se coloca un líquido en un buen termo y se lo deja 10 o 15 minutos, la variación de su temperatura será despreciable porque en ese tiempo el intercambio de calor a través de las paredes del termo habrá sido casi igual a cero. Hacer experiencias de unos pocos minutos dentro de un termo es casi como hacerlo dentro de una envoltura adiabática. Otra alternativa son los recipientes de telgopor.



Un termo o un recipiente de telgopor pueden ser utilizados, con suficiente aproximación, como envolturas adiabáticas en experimentos de corta duración.

La caloría

Posiblemente como vestigio de la teoría del calórico, persiste la costumbre de medir el calor, una forma de transferencia de energía, en unidades particulares. Una de ellas es la *caloría* (cal).

Dado que la unidad legal de energía —y, por lo tanto, de calor— es el joule, la caloría tiene su equivalencia con esta unidad:

$$\begin{aligned}1 \text{ cal} &= 4,18 \text{ J} \quad \text{o, recíprocamente;} \\1 \text{ J} &= 0,24 \text{ cal}\end{aligned}$$

La antigua definición de caloría —que se empleaba antes de definirla por su equivalencia con el joule— permite representar una idea más intuitiva de su valor: en efecto, la caloría se definía como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua desde 14,5 °C hasta 15,5 °C.

En muy común el empleo de un múltiplo de la caloría, la *kilocaloría* (kcal), equivalente a 1000 calorías.

Si se coloca un calentador de inmersión para calentar agua dentro de un termo, es posible calcular la cantidad de calor suministrada, según el siguiente razonamiento: la potencia del calentador es de 500 W; si se lo coloca dentro del termo durante cinco minutos, el agua que hay en el interior del termo recibe:

$$\Delta E = 500 \text{ W} \cdot 300 \text{ s}$$

$$\Delta E = 500 \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot 300 \text{ s}$$

$$\Delta E = 150.000 \text{ J}$$

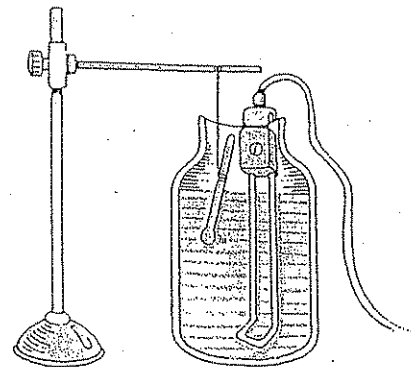
Como cada joule equivale a 0,24 calorías:

$$\Delta E = 150.000 \text{ J} \cdot 0,24 \frac{\text{cal}}{\text{J}}$$

$$\Delta E = 36.000 \text{ cal} \quad \text{o, lo que es lo mismo, } 36 \text{ kcal.}$$

¿Qué le ocurre al agua del termo al recibir las 36 kcal? Aumenta su temperatura e, incluso, podría hervir.

Entre los efectos provocados por el intercambio de calor, la variación de la temperatura de los cuerpos que intervienen en estos intercambios es el más conocido, aunque cabe señalar que no es el único. La medición de las variaciones de la temperatura de diferentes cuerpos —junto con otras variables— permite calcular los intercambios de calor que se producen entre ellos. El capítulo de la Física referido a los cálculos realizados a partir de estos intercambios de calor se llama *calorimetría*.



Si medimos el tiempo de funcionamiento es posible calcular la cantidad de calor suministrada por un calentador de inmersión de potencia conocida.

Calorimetría

Como ya se indicó, cuando un cuerpo participa en un intercambio de calor, varía su temperatura. Pero ¿qué relación hay entre la cantidad de calor que intercambia un cuerpo y la variación de su temperatura? Un simple experimento con agua puede dar una pista para responder la pregunta.

Para realizar este experimento, debemos tener en cuenta algunas consideraciones:

- Las conclusiones del experimento solo serán válidas para el cuerpo utilizado.
- Se sabe que cuanto más calor se le suministre al cuerpo, mayor será el incremento de su temperatura, por lo que sería esperable una relación de proporcionalidad entre la cantidad de calor intercambiada Q y la variación de la temperatura Δt .
- Se deberá buscar la manera de medir o calcular las cantidades de calor suministradas y de medir las variaciones de temperatura.

Se coloca en un termo medio litro de agua y se dispone en su interior un calentador de inmersión de 500 W, desconectado, y un termómetro que marque inicialmente 15 °C. En el instante en que se conecta el calentador, se pone en marcha un cronómetro para calcular la cantidad de calor suministrada por el calentador; por ejemplo, en 20 segundos esta será:

$$Q = 500 \text{ W} \cdot 20 \text{ s} = 10.000 \text{ J} \quad \text{y} \\ 10.000 \text{ J} = 2400 \text{ cal}$$

Efectuando mediciones cada 20 segundos, se obtiene:

Tiempo (s)	Calor entregado (Q) (cal)	Temperatura (t) (°C)	Variación de la temperatura (°C) $\Delta t = t_f - 15^\circ\text{C}$
20	2400	19,9	4,9
40	4800	24,6	9,6
60	7200	29,5	14,5
80	9600	34,2	19,2

El gráfico de la derecha muestra que, en este caso, la cantidad de calor entregada resulta proporcional a las variaciones de temperaturas producidas.

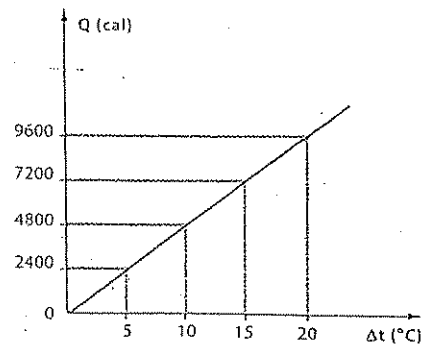
Si se hicieran experiencias similares con otros cuerpos, se comprobaría que este es un comportamiento general, es decir que, para cada cuerpo, la cantidad de calor que se intercambia es directamente proporcional a las variaciones de temperatura producidas. En Matemática, esta relación se expresa:

$$Q = K_1 \cdot \Delta t \quad (2)$$

donde K_1 es una constante, característica de cada cuerpo.

En el caso del medio litro de agua que se usa en el experimento, esta constante es de aproximadamente $500 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}$, lo que significa que ese cuerpo varía su temperatura en un grado cuando intercambia 500 calorías.

¿Qué ocurriría si se le suministrara igual cantidad de calor a diferentes cuerpos?



El gráfico muestra la proporcionalidad directa entre las cantidades de calor intercambiadas por un cuerpo y las variaciones en su temperatura.

Para poder responder adecuadamente a esta pregunta, habría que caracterizar algo que parece obvio: ¿qué tienen de diferente los cuerpos diferentes?

Para establecer la relación entre el calor intercambiado por diferentes cuerpos y sus respectivas variaciones de temperatura, solo hace falta tener en cuenta dos propiedades de los cuerpos: su masa y su composición química.

Por ejemplo, es razonable pensar que diferentes masas de agua modificarán de manera distinta sus temperaturas ante igual intercambio de calor. Si se coloca el mismo calentador de inmersión, durante 20 segundos, primero en 100 gramos de agua y luego en 500 gramos de agua, esperamos que la temperatura en este último caso aumente menos que en el primero.

Tampoco se espera igual aumento de la temperatura cuando se suministra, por ejemplo, 500 calorías a un kilogramo de agua que cuando se entrega la misma cantidad de calor a un kilogramo de plomo.

Para encontrar una relación funcional entre la cantidad de calor intercambiada por diferentes cuerpos y sus masas, se deberían determinar los otros dos factores involucrados, es decir, la composición química y la variación de la temperatura.

Si se intenta nuevamente una respuesta experimental a partir del agua, se podría proponer el siguiente experimento:

En el termo se colocan sucesivamente diferentes masas de agua —de este modo, se mantiene constante la composición química de la muestra.

En todos los casos, el agua colocada tiene inicialmente la temperatura de 15 °C y, mediante el calentador de inmersión, se la eleva hasta 25 °C —de modo que $\Delta t = 10$ °C.

Aplicando la fórmula conocida, el calor suministrado al agua se calculará como producto entre la potencia del calentador (que es de 500 W) y el tiempo que demande elevar la temperatura en 10 °C; por ejemplo, si se demoran 10 segundos, el cálculo será:

$$Q = 500 \text{ W} \cdot 10 \text{ s}$$

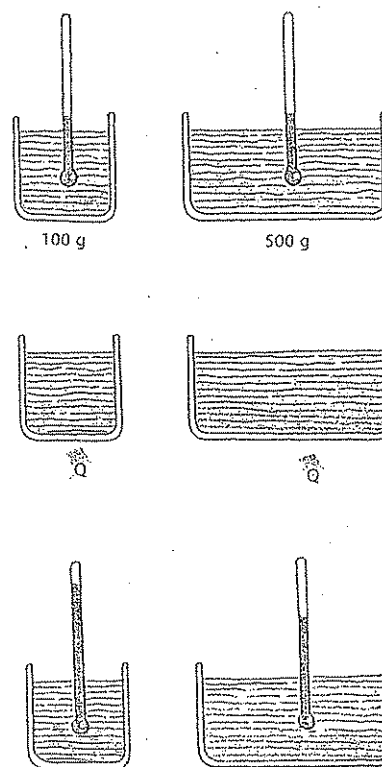
$$Q = 5000 \text{ J}$$

$$Q = 5000 \text{ J} \cdot 0,24 \frac{\text{cal}}{\text{J}} = 1200 \text{ cal}$$

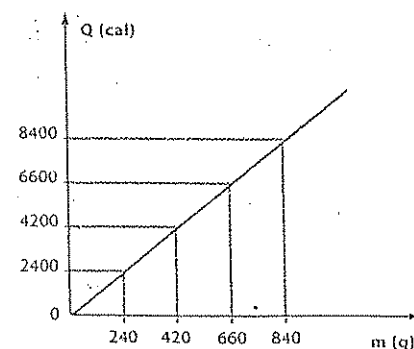
El siguiente cuadro muestra un posible resultado de este experimento:

Masa (g)	Tiempo (s)	Calor intercambiado (cal) $Q = 500 \text{ W} \cdot \text{tiempo} \cdot 0,24 \frac{\text{cal}}{\text{J}}$
240	20	2400
420	35	4200
660	55	6600
840	70	8400

Como se puede observar en el gráfico, en este caso la relación es de proporcionalidad directa.



Si en los dos casos se suministra la misma cantidad de calor, la temperatura de los 100 g de agua aumenta más que la de los 500 g.



El gráfico muestra una relación de proporcionalidad directa entre las cantidades de calor intercambiadas por diferentes cuerpos y sus masas, cuando la sustancia que los compone es la misma y se produce igual variación en la temperatura de todos ellos.

El calor específico

Si se repiten experimentos como el propuesto en la página anterior para otros cuerpos, se comprueba que esta relación es general; es decir que, para la misma sustancia e igual variación de la temperatura, las cantidades de calor intercambiadas por los cuerpos son directamente proporcionales a sus masas:

$$Q = K_2 \cdot m \quad (3)$$

donde K_2 es una constante que depende de la sustancia y de la variación de la temperatura.

Las dos expresiones halladas —(2) y (3)— se pueden condensar en una única expresión que se suele llamar *ecuación fundamental de la calorimetría*:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t \quad (4)$$

En la que c es un valor característico de la sustancia que constituye el cuerpo; ese valor se denomina *calor específico del material*. La expresión (4) incluye a la (2) si m es constante, y a la (3) si Δt es constante.

El calor específico c se expresa, a partir de la ecuación (4):

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}$$

es decir que c representa la cantidad de calor que, intercambiada por una unidad de masa de la sustancia, produce la variación de su temperatura en un grado; por ejemplo, en el experimento que se analizó, hay que suministrar 2400 calorías a 240 gramos de agua para aumentar su temperatura en 10 °C, por lo que el calor específico del agua será:

$$c_{\text{agua}} = \frac{2400 \text{ cal}}{240 \text{ g} \cdot 10 \text{ }^\circ\text{C}}$$

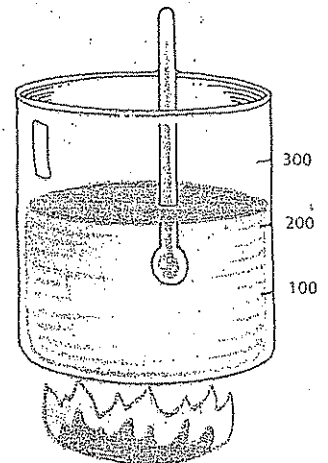
$$c_{\text{agua}} = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$$

Es decir que cada gramo de agua aumenta o disminuye en un grado su temperatura cuando intercambia una caloría con otro cuerpo. El valor "uno" para el agua no es casual, ya que —como se indicó— la caloría fue definida tomando al agua como referencia. Por esa misma razón, el calor específico del agua se puede expresar como:

$$c_{\text{agua}} = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

ya que se requieren 1000 veces más calor (1 kcal) para elevar en un grado una masa 1000 veces mayor que el gramo (1 kg).

Por esa razón, para cualquier sustancia, el calor específico expresado en $\frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$ y en $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ es el mismo número. En cambio, si se expresa el calor específico del agua en unidades del sistema internacional —es decir,



Se debe suministrar 2400 calorías a los 240 gramos de agua para que su temperatura aumente 10 °C.

midiendo la energía en J y la masa en kilogramos— su valor sería:

$$c_{\text{agua}} = 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

En la tabla de la derecha se expresan algunos valores de calores específicos. (Téngase en cuenta que el calor específico de las sustancias varía, por lo general, levemente con la temperatura.)

Con datos como los de la tabla y a partir de la expresión (4), se podría calcular, por ejemplo, la cantidad de calor que debe intercambiar un cuerpo de 100 gramos de aluminio para cambiar su temperatura en 30 °C:

$$Q = 0,226 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \cdot 100 \text{ g} \cdot 30^\circ\text{C}$$

$$Q = 678 \text{ cal}$$

Si 100 gramos de aluminio reciben 678 cal, aumentan su temperatura en 30 °C; en cambio, si ceden 678 cal, disminuyen su temperatura en ese valor.

También es posible calcular el calor específico de una sustancia que no aparece en la tabla. Por ejemplo, un procedimiento para calcular el calor específico del plomo podría ser el siguiente: se coloca dentro de un termo una masa de agua y luego se agrega una masa de plomo. Si se miden con un termómetro todas las temperaturas, será posible calcular el calor específico. Para ello, se debe tener en cuenta que se supone al termo como un sistema aislado en el que se cumple la expresión (1).

Los pasos del procedimiento son los siguientes:

1 | Se coloca una masa de agua, por ejemplo, de 100 g, y se mide su temperatura, por ejemplo, 15 °C.

2 | Se coloca en otro volumen de agua un trozo de plomo de masa conocida, por ejemplo, de 60 g, y se hierve el agua para asegurar que el plomo alcanza una temperatura de 100 °C.

3 | Se introduce rápidamente el plomo en el termo con agua a 15 °C y se espera hasta que el termómetro mantenga constante la temperatura, que —debido al calor entregado por el plomo— asciende hasta 16,4 °C.

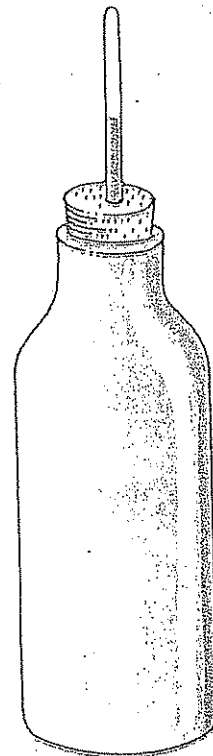
Dentro del termo, el calor entregado por el plomo es igual al recibido por el agua; es decir que, según la expresión (1):

$$Q_{\text{agua}} + Q_{\text{plomo}} = 0$$

Cada uno de estos términos se pueden expresar tal como indica la expresión (4):

$$c_{\text{agua}} \cdot m_{\text{agua}} \cdot \Delta t_{\text{agua}} + c_{\text{plomo}} \cdot m_{\text{plomo}} \cdot \Delta t_{\text{plomo}} = 0$$

Sustancia	Calor específico $\frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$	Calor específico $\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$
Acero	0,114	475,4
Aire	0,237	988,3
Alcohol etílico	0,600	2.502,0
Aluminio	0,226	942,4
Hielo	0,530	2.210,1
Vidrio	0,150	625,5

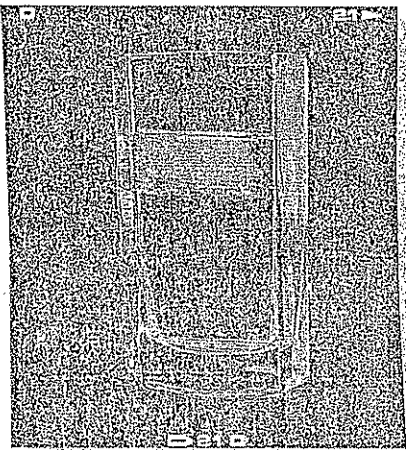


Un sistema aislado —como el termo con un termómetro para medir las temperaturas en su interior— constituye un modelo elemental de calorímetro.

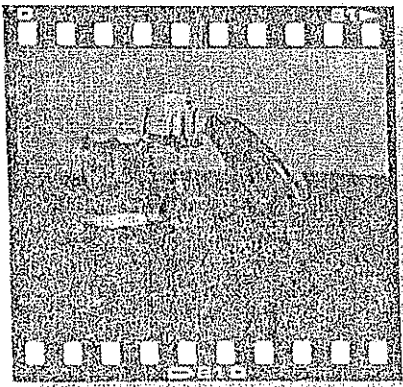
Los cambios de estado

La materia puede presentarse en diferentes estados de agregación, según las condiciones de presión y de temperatura. Cuando cambian esas condiciones en un cuerpo, se producen pasajes de un estado físico a otro, y se llevan a cabo intercambios de energía.

Estados de la materia



El agua se presenta habitualmente en los tres estados: líquido, sólido (como hielo) y gaseoso.



La gota tiene su forma característica debido a la tensión superficial y a la atracción gravitatoria.

La materia puede presentarse en diferentes estados de agregación; por lo general, se la encuentra en estado sólido, líquido o gaseoso. En un nivel de observación macroscópico, se pueden reconocer a simple vista algunas características propias de estos tres estados: la forma de un cuerpo, su volumen y la posibilidad de comprimirlo —es decir, disminuir su volumen mediante un aumento de la presión.

Si se tienen en cuenta las características microscópicas —la estructura atómica y molecular de la materia—, es posible describir algunas otras, que permiten diferenciar a estos tres estados.

Desde este punto de vista, en el estado sólido, las moléculas o los iones que conforman el cuerpo mantienen entre sí fuerzas de origen eléctrico, que impiden que se desplacen. Por lo tanto, solo oscilan, y la energía cinética debida a este movimiento está relacionada con su temperatura.

En el estado líquido, las moléculas que conforman el cuerpo mantienen una interacción que les permite desplazarse; pero no pueden separarse, como ocurre en el estado gaseoso.

En el estado gaseoso, las moléculas se pueden apartar unas de otras y se desplazan con distintas velocidades, según la temperatura. Aunque también se podría decir que la temperatura es una manifestación medible de esas velocidades.

Como toda clasificación, la anterior presenta situaciones que no se ajustan estrictamente a las propiedades descriptas. Por ejemplo, una gota de agua —a pesar de estar en estado líquido— no cumple con la propiedad de adoptar la forma del recipiente que la contiene, pues la gota tiene una forma propia, que es consecuencia de la tensión superficial del agua y la acción de la atracción gravitatoria. (Se denomina *tensión superficial* al fenómeno que se produce en las superficies de separación entre un líquido y un gas, y se detecta por el hecho de que la superficie del líquido se comporta como una especie de membrana.)

Otro ejemplo es el de la atmósfera terrestre, que no ocupa todo el “recipiente” —en este caso, el espacio—, sino que, atraída por la gravedad, queda confinada a los alrededores de la Tierra.

Además de los estados sólido, líquido y gaseoso, existe otro, posiblemente menos conocido, en el que se encuentra la mayor parte de la materia en el universo. En condiciones particulares —por ejemplo, a temperaturas muy altas, como las que se dan en las estrellas— los electrones se desprenden de sus núcleos y configuran un estado de la materia constituido ex-

clusivamente por partículas eléctricamente cargadas, que se denomina *plasma*.

Características	Estado sólido	Estado líquido	Estado gaseoso
Forma	Posee forma propia.	Adopta la forma del recipiente que lo contiene.	Adopta la forma del recipiente que lo contiene.
Volumen	Posee volumen propio.	Posee volumen propio.	Adopta el volumen del recipiente que lo contiene.
Compresibilidad	Casi nula.	Muy baja.	Alta.

Características macroscópicas de sólidos, líquidos y gases.

Además de ser muy común y de tener características bastante particulares, el agua es una de las pocas sustancias que puede verse habitualmente en sus tres estados. No hay que montar un laboratorio ni contar con un equipo muy especial para transformar agua líquida en hielo o en vapor.

¿Soló el agua se presenta en los tres estados? ¿Será posible el cambio de estado en otras sustancias?

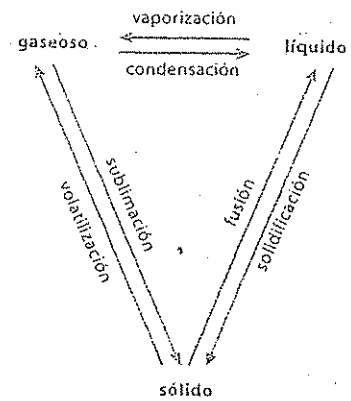
En realidad, todas las sustancias puras —es decir, aquellas constituidas por partículas iguales— pueden presentarse en los tres estados descritos, pero los pasajes o cambios de uno a otro estado requieren condiciones particulares que dependen de cada sustancia. En general, si en condiciones normales de presión se entrega calor a un trozo sólido de alguna sustancia, primero, se elevará su temperatura y, luego, pasará al estado líquido.

⤵ Durante todo este proceso de cambio de estado, aunque recibe calor, el sólido mantiene su temperatura constante. La energía solo se utiliza para cambiar de estado. Cuando toda la sustancia está en estado líquido, nuevamente la absorción de calor produce aumento de temperatura, hasta que comienza la transformación en vapor. Como en el caso anterior, la temperatura permanece constante, pues el calor se utiliza para el pasaje de líquido a vapor. ⤵

Por ejemplo, si se calienta un trozo de plomo a presión normal, cuando su temperatura llegue a 327 °C comenzará a pasar al estado líquido. Cuando todo el plomo haya pasado al estado líquido, será posible seguir elevando la temperatura hasta los 1525 °C, momento en que comenzará a vaporizarse.

Las temperaturas a las que se producen los cambios de estado de cada sustancia se modifican si cambia la presión.

⤵ Cada sustancia posee, según la presión, una temperatura a la que se produce el cambio de estado. Así, para cada sustancia, se habla de *temperatura de ebullición*, *temperatura de fusión*, *temperatura de solidificación*, etc. La temperatura para el cambio entre dos estados de una misma sustancia es la misma en cualquiera de las dos direcciones en que se lo considere. Por ejemplo, la temperatura de fusión del hielo —que a presión normal es de 0 °C— es la misma temperatura de solidificación del agua líquida: un cubito de hielo comienza a fundirse a 0 °C, que es la misma temperatura a la que el agua de una cubetera comienza a solidificarse.



Los seis cambios de estado.

- Sólido a líquido: *fusión*. Por ejemplo, el hielo que se transforma en agua líquida.
- Líquido a sólido: *solidificación*. Por ejemplo, un metal líquido se vuelca en una matriz y, al enfriarse, se solidifica con la forma de esta.
- Líquido a gaseoso: *vaporización*. Se puede dar de dos maneras diferentes: por ebullición, cuando el vapor se forma en todo el volumen de agua, o por evaporación, cuando solo el líquido de la superficie pasa al estado de vapor. Por ejemplo, hay ebullición cuando el agua hierve y evaporación cuando el agua de un charco se seca.
- Gaseoso a líquido: *condensación*. Por ejemplo, las gotas de agua líquida que se forman en los espejos los días húmedos.
- Sólido a gaseoso: *volatilización*. Por ejemplo, la naftalina pasa de su estado sólido al de vapor, lo que puede detectarse directamente por su olor.
- Gaseoso a sólido: *sublimación*. Por ejemplo, los vapores de yodo, que al llegar a una superficie fría se transforman en cristales sólidos.

La energía en los cambios de estado

Se puede designar con la expresión *sistema material* a una porción de materia aislada conceptualmente para su estudio. Según esta definición, cualquier porción de sustancia —por ejemplo, una varilla de plomo o una gota de agua— puede considerarse un sistema material. El pasaje de un estado físico a otro requiere intercambios de energía entre el sistema material y el medio que lo rodea. En algunos casos, el sistema absorbe calor y, en otros, lo cede. Un sistema absorbe calor para fundirse, vaporizarse o volatilizarse y lo cede cuando se solidifica, se condensa o se sublima.

El hielo, a presión normal y a 0 °C, tiene que recibir calor para fundirse; en cambio, el agua líquida a 0 °C debe ceder calor para solidificarse.

Cada sustancia, en cada transformación, tiene que intercambiar una cierta cantidad de calor por unidad de masa para cambiar de estado; esa cantidad de calor se denomina *calor latente* (con la indicación del cambio de estado de que se trata); por ejemplo, se habla del *calor latente de fusión del plomo* o del *calor latente de vaporización del agua*. La forma de abreviarlo es con la letra *l* y el subíndice respectivo; así, el calor latente de fusión del plomo se indica como $l_{(Pb)}$ y el calor latente de vaporización del agua, como $l_{v(agua)}$.

El calor latente indica la cantidad de calor por unidad de masa que se requiere solamente para cambiar de estado sin modificar la temperatura. Si el calor latente de fusión del hielo es de $80 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$, esto significa que cada gramo de hielo a 0 °C debe absorber 80 cal para pasar a ser un gramo de agua líquida, también a 0 °C. Es decir que cada gramo de agua utiliza las 80 calorías solo para cambiar de estado. Inversamente, un gramo de agua a 0 °C deberá ceder 80 cal para pasar a ser un gramo de hielo, también a 0 °C.

Si el calor latente se expresa como una cantidad de calor por unidad de masa,

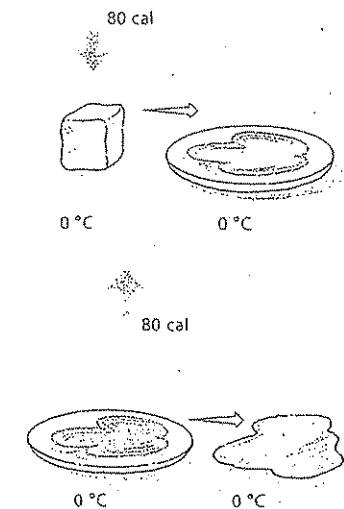
$$l = \frac{Q}{m}$$

es posible calcular la cantidad de calor requerida para un cambio de estado multiplicando el calor latente respectivo por la masa del sistema:

$$Q = l \cdot m \quad (1)$$

El agua tiene un calor latente de fusión de $80 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$ y un calor latente de vaporización de $540 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$.

Sustancia	Temperatura de fusión (°C)	Calor latente de fusión ($\frac{\text{cal}}{\text{g}}$)	Temperatura de ebullición (°C)
Aluminio	660	94	1800
Cobre	1083	41	2300
Hierro	1530	49	3000
Plomo	327	5,5	1750
Oxígeno	-219	3,3	-183



1. Al recibir 80 cal, el gramo de hielo se transforma en agua líquida sin variar su temperatura.

2. Al ceder 80 cal, el gramo de agua líquida se transforma en hielo sin variar su temperatura.

La tabla suministra algunos datos sobre las temperaturas de cambios de estado y los calores latentes.

Cómo se calcula el calor intercambiado en un cambio de estado

Utilizando los valores de la tabla y la ecuación (1), se puede calcular, por ejemplo, la cantidad de calor requerida para fundir 1 kg de plomo que se encuentre a 327 °C.

$$Q = 5,5 \frac{\text{cal}}{\text{g}} \cdot 1000 \text{ g} = 5500 \text{ cal}$$

Es decir que un kilogramo de plomo a 327 °C debe absorber 5500 cal para convertirse en un kilogramo de plomo líquido a esa misma temperatura. De igual manera, un kilogramo de plomo líquido a 327 °C debe ceder 5500 cal para transformarse en un kilogramo de plomo sólido a 327 °C.

Para indicar que en un caso el calor es absorbido por el plomo y, en el otro, cedido, estas dos cantidades de calor, iguales en valor absoluto, se colocan con signos distintos. Por convención, se indican como positivas las cantidades de calor absorbidas y como negativas, las cedidas.

Así, la cantidad de calor intercambiada por el kilogramo de plomo para fundirse se indica $Q = 5500 \text{ cal}$ y la cantidad de calor cedida para solidificarse, $Q = -5500 \text{ calorías}$.

Un ejemplo, que puede dar una idea de lo que ocurre durante un cambio de estado, es la descripción detallada de las transformaciones que ocurren al colocar un cubito de hielo en un recipiente con agua.

Si solo se consideran los intercambios de calor entre el agua y el hielo, ocurre lo siguiente: el agua líquida cede calor al hielo, por lo que disminuye su temperatura. Primero, el hielo eleva su temperatura y, luego, se funde. Por último, el agua líquida formada por la fusión, generalmente aumenta su temperatura.

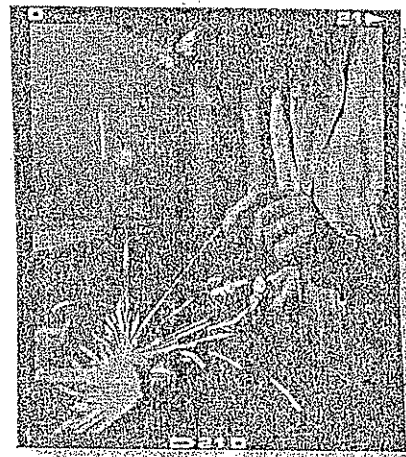
Para analizar con más detalle este proceso, se puede suponer que el recipiente que contiene al agua es un termo. De esa manera, se evita complicar el problema considerando el calor que el sistema intercambia con el medio que lo rodea.

El estado inicial del sistema es el siguiente: medio litro de agua a 20 °C en el termo y un cubito de hielo de 30 g, que ha sido extraído de una heladera y tiene una temperatura de -5 °C. (Como la densidad del agua es de $1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$, y un decímetro cúbico equivale a un litro, el volumen de medio litro de agua tiene una masa de 500 gramos.)

A partir del estado inicial propuesto para el sistema, en las páginas siguientes se considera, en sucesivas etapas, lo que ocurre con el agua y el hielo:

- 1 | El agua líquida cede calor al hielo.
- 2 | Se produce la fusión del hielo.
- 3 | Concluye la fusión del hielo.

Por supuesto, esta división en etapas no pretende ser más que una estrategia para resolver y comprender el problema, ya que el proceso es continuo. Por ejemplo, apenas se forma agua líquida por fusión del hielo, comienza a aumentar su temperatura por el intercambio de energía con el agua más caliente.



Se requieren 5,5 calorías por cada gramo de plomo para fundirlo, una vez que se encuentra a 327 °C.

La fusión del hielo, paso a paso

Primera etapa

Estado inicial: 500 g de agua a 20 °C, en contacto con 30 g de hielo a -5 °C.

En esta primera etapa, el agua líquida cede calor al hielo, que está a menor temperatura, y lo lleva hasta los 0 °C en que comenzará la fusión.

¿Cuánto calor requiere el hielo para pasar desde -5 °C hasta 0 °C?

Para efectuar este cálculo, se necesita saber el calor específico del hielo, que es $0,5 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$. Entonces,

$$Q_1 = m_{\text{hielo}} \cdot C_{\text{hielo}} \cdot \Delta t$$

En este caso:

$$Q_1 = 30 \text{ g} \cdot 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \cdot [0^\circ\text{C} - (-5^\circ\text{C})]$$

$$Q_1 = 75 \text{ cal}$$

Es decir que el hielo absorbe 75 cal para aumentar su temperatura desde -5 °C hasta 0 °C. Como el sistema está aislado, esa energía proviene del agua líquida, que habrá disminuido su temperatura:

$$Q_1 = m_{\text{agua}} \cdot C_{\text{agua}} \cdot \Delta t$$

En este caso:

$$-75 \text{ cal} = 500 \text{ g} \cdot 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \cdot (t_1 - 20^\circ\text{C})$$

siendo la temperatura t_1 aquella a la que queda el agua después de ceder las 75 cal:

$$\frac{-75 \text{ cal}}{500 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}} = (t_1 - 20^\circ\text{C})$$

$$-0,15^\circ\text{C} = (t_1 - 20^\circ\text{C})$$

$$t_1 = 20^\circ\text{C} - 0,15^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 19,85^\circ\text{C}$$

Al finalizar esta primera etapa, el sistema está constituido por el cubito de 30 g de hielo, ahora a 0 °C, y los 500 g de agua líquida a 19,85 °C.

Segunda etapa

A partir del estado detallado anteriormente, la segunda etapa describe la fusión del hielo.

¿Cuánta energía requiere el hielo para fundirse? Según se indicó, para realizar este cálculo se necesita conocer el calor latente de fusión del hielo, que es de $80 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$.

$$Q_2 = l_{(\text{hielo})} \cdot m_{\text{hielo}}$$

$$Q_2 = 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}} \cdot 30 \text{ g}$$

$$Q_2 = 2400 \text{ cal}$$

Es decir que el cubito de hielo necesita 2400 calorías para pasar del estado de hielo a 0 °C, al de agua líquida a 0 °C. Nuevamente, el agua líquida que había en el termo suministró esa energía y, por lo tanto, disminuyó su temperatura.

$$Q_2 = m_{\text{agua}} \cdot C_{\text{agua}} \cdot \Delta t$$

En este caso,

$$-2400 \text{ cal} = 500 \text{ g} \cdot 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \cdot (t_2 - 19,85^\circ\text{C})$$

$$\frac{-2400 \text{ cal}}{500 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}} = (t_2 - 19,85^\circ\text{C})$$

de donde:

$$t_2 = 19,85^\circ\text{C} - 4,8^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 15,05^\circ\text{C}$$

Cuando se termina de fundir el hielo, el sistema está formado por 30 gramos de agua líquida a 0 °C y por 500 g de agua líquida a 15,05 °C.

Tercera etapa

Como ambas masas de agua se encuentran a diferentes temperaturas, se produce intercambio de calor hasta que se llega a un equilibrio térmico. En esta tercera etapa, la energía absorbida por los 30 g de agua más fría es suministrada por los 500 g de agua a mayor temperatura:

$$Q_3 = m_{\text{agua}} \cdot C_{\text{agua}} \cdot \Delta t$$

$$Q_3 = 30 \text{ g} \cdot 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \cdot (t_3 - 0^\circ\text{C})$$

Como esta energía es cedida por la otra masa de agua:

$$Q_3 = 500 \text{ g} \cdot 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \cdot (t_3 - 15,05^\circ\text{C})$$

En el termo, que es un sistema aislado:

$$30 \text{ g} \cdot 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \cdot (t_3 - 0^\circ\text{C}) + 500 \text{ g} \cdot 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \cdot (t_3 - 15,05^\circ\text{C}) = 0$$

Haciendo las operaciones, la expresión se puede reducir a la siguiente:

$$30 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} \cdot t_3 + 500 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} \cdot t_3 - 7525 \text{ cal} = 0$$

$$530 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} \cdot t_3 = 7525 \text{ cal}$$

$$t_3 = \frac{7525 \text{ cal}}{530 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}} = 14,2^\circ\text{C}$$

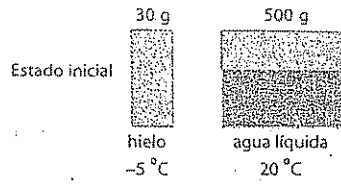
El agua a mayor temperatura cedió calor al agua a 0 °C:

$$Q = 500 \text{ g} \cdot 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \cdot (14,2^\circ\text{C} - 15,05^\circ\text{C})$$

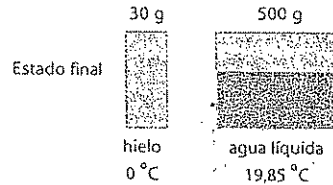
$$Q = -425 \text{ cal}$$

Finalmente, el sistema queda formado por 530 g de agua a 14,2 grados centígrados. La cantidad total de calor cedida por el agua líquida para pasar de 20 °C a 14,2 °C fue:

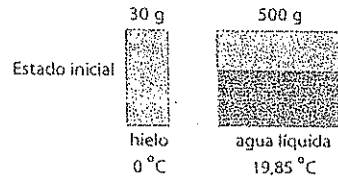
$$Q = -75 \text{ cal} - 2400 \text{ cal} - 425 \text{ cal} = -2900 \text{ cal}$$



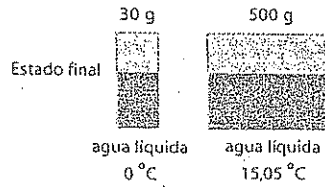
$$Q_1 = 75 \text{ cal}$$



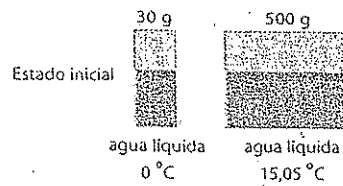
Primera etapa.
El agua cede calor y el hielo aumenta su temperatura.



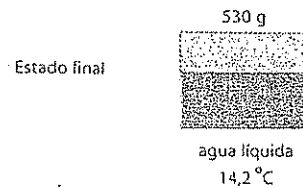
$$Q_2 = 2400 \text{ cal}$$



Segunda etapa.
El hielo se transforma en agua líquida absorbiendo calor de la otra masa de agua.



$$Q_3 = 425 \text{ cal}$$



Tercera etapa.
El estado final del sistema es agua líquida a 14,2 °C.

La presión y los cambios de estado

Las temperaturas a las que se producen los cambios de estado de todas las sustancias se modifican si se cambia la presión a la que están sometidas.

En la mayor parte de las sustancias, se produce un incremento en la temperatura de fusión al aumentar la presión; sin embargo, en el agua ocurre lo contrario: su temperatura de fusión disminuye al aumentar la presión.

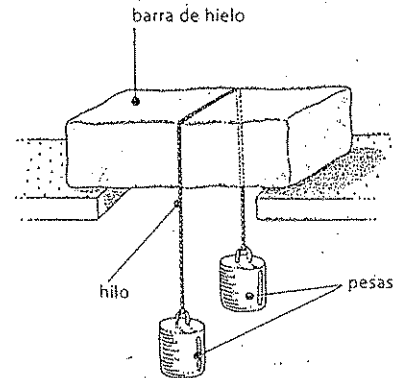
A presión normal —esto es a 1013 hectopascales—, la temperatura de fusión del agua es de 0 °C; es decir que, si el sistema está por debajo de esta temperatura es hielo y, si está por encima, es agua líquida. (La unidad de presión en el S.I. es el pascal (Pa), que se define como la presión ejercida por una fuerza de un newton sobre un metro cuadrado. El hectopascal (hPa) equivale a cien pascales.

Si se aplica una sobrepresión a un trozo de hielo a 0 °C, la temperatura de fusión desciende, por ejemplo, a -0,5 °C. En estas condiciones, a la temperatura de 0 °C —superior a la de fusión—, el sistema debe estar en la fase líquida y, por lo tanto, el hielo se licua.

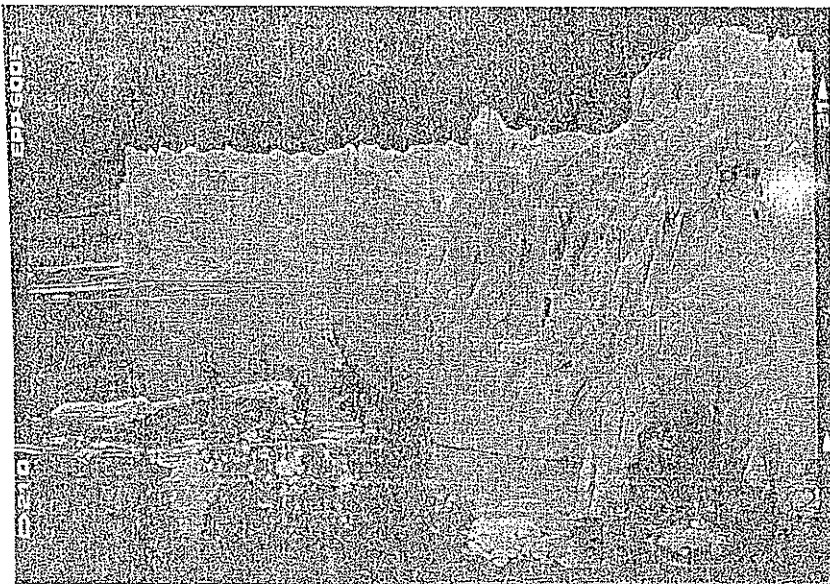
Existen algunas maneras bastante sencillas de corroborar experimentalmente este hecho. Si se toma un cubito de hielo y se coloca encima un cuerpo muy pesado —por ejemplo, una tabla— y sobre él una maceta o una plancha, se observa que la parte inferior del cubito, sometida a mayor presión, se derrite más rápidamente.

Otra experiencia consiste en tomar una barra de hielo y pasar sobre ella un hilo, en cuyos extremos se sujetan dos pesos. El hilo ejerce presión sobre el hielo, este se funde en la zona de contacto y el hilo penetra en el hielo. Al hacerlo, el agua formada queda en la grieta y se solidifica nuevamente debido a la baja temperatura. Al final del proceso, el hilo caerá atravesando la barra de hielo, que quedará entera.

Una de las formas en que avanzan los glaciares es similar a la descrita. La enorme presión del hielo del glaciar sobre las rocas produce un descenso en la temperatura de fusión y se forma agua líquida que se escurre. Debido a la baja temperatura, el agua se solidifica nuevamente y se forma hielo en lugares donde antes no lo había. Así avanza el glaciar Perito Moreno, ubicado en el Parque Nacional Los Glaciares, provincia de Santa Cruz.



El hilo atraviesa el hielo y la barra no se corta.



Una de las formas de avance de los glaciares es la variación de la temperatura de fusión al aumentar la presión.

La temperatura de ebullición también se modifica al variar la presión. Cuando la presión atmosférica es normal, el agua hierve a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$; si se somete el agua a una presión de 12 hPa , comienza a hervir a los $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esto se puede observar colocando un recipiente con agua extraída de la canilla dentro de una campana conectada a una bomba de vacío. Cuando se extrae suficiente aire —es decir, cuando la presión en el interior baja lo necesario— el agua comienza a hervir a la temperatura ambiente.

En regiones altas —y más aún en la alta montaña, donde la presión atmosférica puede estar por debajo de los 900 hPa —, el agua comienza a hervir apenas superados los $90\text{ }^{\circ}\text{C}$; este hecho dificulta cocer alimentos en agua, ya que durante la cocción no se supera esa temperatura.

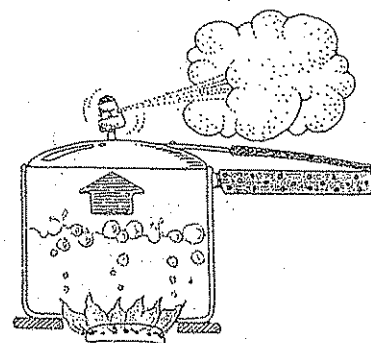
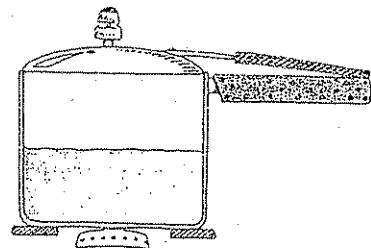
Por el contrario, si la presión aumenta, la temperatura de ebullición del agua también lo hace. Por ejemplo, a una presión de unos 2000 hPa —aproximadamente el doble de la presión atmosférica normal—, el agua hierve a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Este hecho es utilizado frecuentemente en calderas en las que la presión es muy alta y, por lo tanto, el agua líquida puede llegar a altas temperaturas. Por ejemplo, la tapa del radiador de los automóviles tiene un dispositivo de resorte que produce un aumento de la presión en su interior; de esta manera, se eleva la temperatura a la que el agua que refrigera el motor comienza a hervir.

Aunque actualmente son casi una curiosidad, hace unas pocas décadas eran comunes unos recipientes para cocinar alimentos llamados *ollas de presión*. Al colocar el recipiente con agua y los alimentos en contacto con el fuego, los vapores que se desprenden aumentan la presión en el interior del recipiente hermético y el agua aumenta su temperatura hasta unos $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ por lo que cuece más rápido los alimentos. La válvula ubicada en la parte superior permite la salida de vapor cuando se supera cierta presión. La olla de presión constituye una buena solución para cocinar en lugares altos.

Cuando se dice que el agua hierve a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ si la presión es normal, se presupone que el agua es químicamente pura, es decir que es solo agua. Pero debe aclararse que, cuando las sustancias no son puras, se modifica la temperatura de cambio de estado.

Por ejemplo, el hierro tiene una temperatura de fusión de $1530\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que el acero —que tiene entre un 98 y 99% de hierro— funde a unos $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$, y la fundición —aleación con valores de hierro entre el 95 y el 98% , se licua a los $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

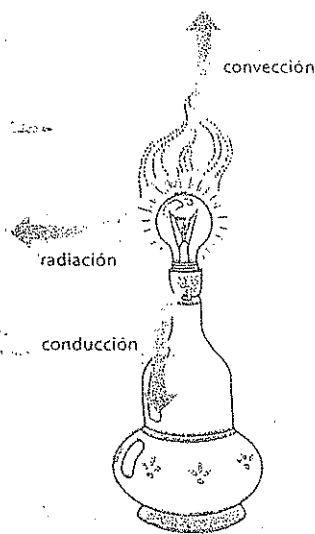
Lo mismo ocurre cuando se trata de soluciones: pequeñas cantidades de soluto producen variaciones en las temperaturas de cambio de estado. El efecto del soluto es bajar la temperatura de fusión del solvente y subir la de ebullición. Por ejemplo, el agua con sal común (cloruro de sodio) hierve a más de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se solidifica a menos de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, si la presión es normal. Los líquidos, llamados *anticongelantes*, que se agregan al agua del sistema de refrigeración de los autos, producen este doble efecto: el agua del sistema se congelará a temperaturas más bajas, lo que evita roturas en el motor por la formación de hielo.



En la olla de presión el agua hierve a unos $120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Si la presión es muy alta, se abre la válvula.

La transmisión del calor

En este capítulo se describen y analizan las tres formas en que se transmite el calor: *conducción, convección y radiación.*



En una lámpara encendida, se pueden observar las tres formas de transmisión del calor.

Formas de transmisión del calor

Entre dos cuerpos que se encuentran a diferentes temperaturas, siempre se produce una transferencia de energía denominada *calor*. Por ejemplo, cuando se coloca un termómetro en contacto con un cuerpo que se encuentra a mayor temperatura que él, se transfiere energía del cuerpo hacia el termómetro. Se dice que pasa calor. El pasaje de calor se lleva a cabo hasta que la temperatura del cuerpo y la del termómetro se igualan.

Se pueden reconocer tres formas de transmisión del calor: *conducción, convección y radiación.*

- **Conducción.** Si se coloca una de las puntas de una varilla de metal en contacto con fuego, después de un tiempo habrá aumentado la temperatura del otro extremo. El calor se ha transmitido desde un extremo al otro de la varilla por *conducción*.

- **Convección.** Al calentar agua en un recipiente sobre el fuego, se producen movimientos en el líquido debido a cambios en su densidad. El agua que se calienta en la parte inferior es menos densa que el agua fría de la parte superior, y la diferencia de densidades produce un ascenso del agua menos densa. Estos movimientos en los fluidos, motivados por las diferencias de densidad provocadas por la variación de la temperatura, son una forma de transmisión de calor por *convección*.

- **Radiación.** Una estufa de cuarzo transfiere energía fundamentalmente por *radiación*, del mismo modo que lo hace el Sol.

Cabe señalar que, cuando se produce transmisión de calor entre dos cuerpos, generalmente coexisten las tres formas descritas, aunque alguna de ellas prevalece sobre las demás. Por ejemplo, si se analiza lo que sucede con una lámpara eléctrica encendida, desde el punto de vista de la transmisión del calor se puede constatar lo siguiente:

- El portalámparas y algunas de las partes que están en contacto con la lámpara se calientan porque se produce una transmisión de calor por *conducción*.

- El aire que rodea la lámpara se calienta y asciende; de esta manera, se produce transmisión por *convección*. (Este hecho explica por qué, en algunas ocasiones, en el cielo raso se forma una mancha negra: al ascender, el aire arrastra polvo que se deposita sobre este.)

- Si se acerca la mano a una lámpara encendida, se nota la emisión de *radiación* a una distancia de 20 centímetros.

Conducción

El proceso de transmisión del calor por conducción consiste en una transferencia de energía desde una zona de mayor temperatura a otra de menor temperatura, sin que haya transporte de materia a través de uno o varios cuerpos.

Por ejemplo, si se coloca dentro de una taza con agua caliente una cuchara metálica con una temperatura inferior a la del agua, después de un tiempo se puede detectar que la parte de la cuchara que está fuera del líquido también se calentó. El calor pasó por conducción de un extremo al otro. Y no fueron las partículas de metal las que se desplazaron, pues en el fenómeno de conducción no se produce transporte de materia, sino de energía.

La conducción del calor se puede explicar según el modelo de partículas, teniendo en cuenta que la temperatura de un cuerpo se relaciona con la energía cinética de las partículas que forman el material.

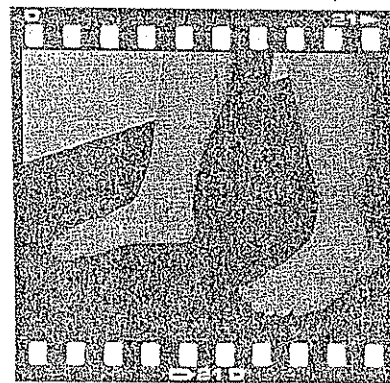
Esto significa que, si un cuerpo recibe calor de otro que se encuentra a mayor temperatura, las partículas del primero comienzan a vibrar con mayor energía cinética. La vibración hace que esas partículas se acerquen y se alejen de otras. La variación en la fuerza eléctrica que se produce en estas interacciones —que depende de la distancia entre las partículas— provoca un aumento en la energía cinética de las partículas más alejadas; estas, a su vez, interactúan con las siguientes y, de esa manera, la energía se conduce a través del cuerpo.

Cada material está formado por un determinado tipo de partículas que se encuentran distribuidas de un modo particular; estas particularidades explican por qué cada sustancia conduce el calor de manera diferente. Algunos materiales, como los metales, conducen muy bien el calor: se los llama *buenos conductores térmicos*. Otros, como el corcho, conducen con dificultad: son llamados *malos conductores térmicos*.

Para que esta clasificación sea más precisa, cada sustancia tiene un coeficiente de conductividad térmica que la caracteriza.

Una de las consecuencias de la conducción del calor es la sensación de "frío" o de "caliente", según la cual se clasifican los objetos cuando una persona los toca. Cuando el objeto que se toca se encuentra a menor temperatura que la piel, se conduce calor desde la piel hacia el objeto, y esto produce la sensación de frío. Si el objeto está aproximadamente a la temperatura de la piel, no se percibe sensación de frío ni de calor, porque la transferencia de calor —si la hay— es muy escasa. Por último, si se toca un objeto que se encuentra a mayor temperatura que la de la piel, pasa calor desde el objeto hacia la piel y se dice que ese objeto está caliente.

Por esa razón, si en una habitación hay un adorno metálico y una alfombra de lana —ambos a la temperatura ambiente—, al tocarlos, el adorno parece más frío que la alfombra. En efecto, al tocar el metal, el calor pasa de la mano a la zona de contacto entre el adorno y la mano, y, como el metal es buen conductor térmico, el calor se transmite al resto del objeto y la zona de contacto sigue prácticamente a la misma temperatura que al comienzo. Pero al tocar la alfombra —que está hecha de lana, un mal conductor térmico—, el calor que pasa de la mano se conduce muy lentamente al objeto, por lo que la temperatura de la zona de contacto aumenta hasta ser igual que la de la mano.



Al tocar la alfombra, el calor entregado por la piel se transmite muy lentamente al objeto y se eleva la temperatura de la zona de contacto. En cambio, al tocar el metal, el calor entregado por la piel se transmite a todo el objeto y la zona de contacto permanece fría.

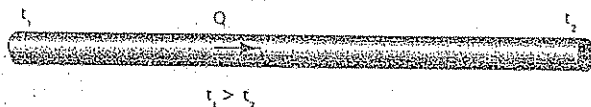
Cálculo de la transferencia de energía

Cuando se eleva la temperatura de alguna zona de un cuerpo, comienza a producirse una transferencia de energía —por conducción— hacia otras zonas de menor temperatura. Calcular cuánto calor se transmite en uno de estos procesos representa un problema bastante complicado; sin embargo, es posible abordar ese cálculo en algunas situaciones en las que los cuerpos que intervienen tienen ciertas particularidades:

1 | Es posible calcular la energía intercambiada por conducción cuando el intercambio se produce totalmente en una sola dirección.

Por ejemplo, si una varilla está aislada en su superficie lateral y se calienta uno de sus extremos, se puede determinar que, después de un tiempo, el calor se propaga según la dirección del eje.

Otra situación para tener en cuenta es la transmisión a través de una pared. Si se mantiene una de las caras de la pared a una temperatura, y la otra a distinta temperatura, después de un tiempo se puede determinar que el calor se transmite perpendicularmente a las caras paralelas de la pared.

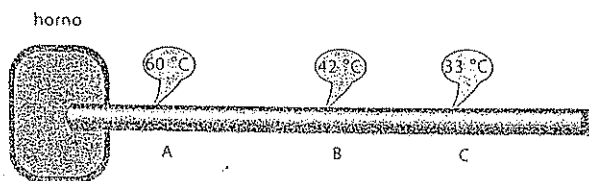


En la varilla aislada, el calor se propaga en la dirección del eje.

2 | La temperatura de cada punto no cambia al transcurrir el tiempo. Esta situación se llama **régimen estacionario**.

Por ejemplo, si se ponen termómetros en dos o tres puntos de una barra y se coloca uno de sus extremos en un horno, al comienzo, los termómetros indicarán aumentos de temperatura progresivos. Transcurrido cierto tiempo, esos valores, diferentes entre sí, se mantienen constantes.

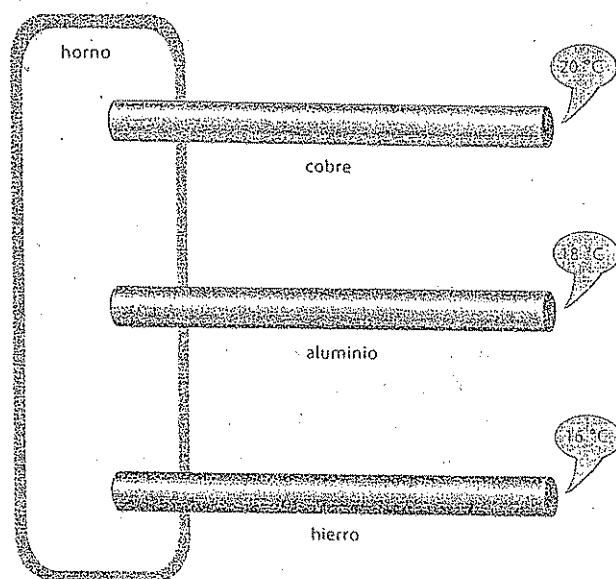
¿De cuáles variables depende la rapidez con que se conduce el calor en una sola dirección y con régimen estacionario?



La temperatura que indican los termómetros colocados en A, B y C aumenta hasta que se estabiliza. Esa situación se denomina **régimen estacionario**.

La rapidez con que se conduce el calor depende del material que constituye el cuerpo, tal como se com-

prueba en el siguiente ejemplo. Se toman tres varillas de idénticas dimensiones: una de cobre, una de aluminio y otra de hierro. Se coloca un termómetro en uno de los extremos de cada varilla y los otros extremos en un horno a 100 °C. El termómetro que se encuentra en el extremo de la varilla de cobre comienza a detectar el cambio de temperatura antes que los otros dos; luego, lo hace el de la varilla de aluminio y, por último, el de la varilla de hierro.



La conducción del calor depende del material. La temperatura que indica un termómetro colocado en la varilla de cobre se modificará primero, porque el cobre es mejor conductor que el aluminio y que el hierro.

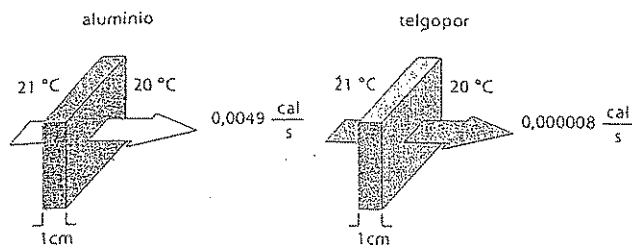
La propiedad de conducir mejor o peor el calor, típica de cada sustancia, se indica mediante el coeficiente de **conductividad térmica** (k). Este coeficiente está registrado en tablas especialmente diseñadas. Si se buscan las conductividades térmicas de dos materiales de comportamiento muy distinto, como el aluminio —un buen conductor— y el telgopor —un aislante térmico—, se obtienen los siguientes valores:

$$k_{Al} = 0,49 \frac{\text{cal}}{\text{s}} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$k_{\text{telg.}} = 8,3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{cal}}{\text{s}} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$$

La conductividad térmica indica la cantidad de calor que se transmite por unidad de tiempo por cada unidad de superficie, cuando la variación de temperatura es de un grado por cada unidad de longitud.

Por ejemplo, en el caso del aluminio, el valor se po-



La conductividad térmica del aluminio es muy diferente de la del telgopor. En la figura se representa una pared de 1 cm de espesor, cuyas caras tienen temperaturas que difieren en 1 °C. Se toma en cuenta una superficie de 1 cm². Considerando los coeficientes de conductividad térmica correspondientes, se concluye que, si la pared fuese de aluminio, por esa superficie se transmitirían 0,0049 cal por segundo; en cambio, si la pared fuese de telgopor, se transmitirían solo 0,000008 cal por segundo.

dría expresar —a partir de la definición que aparece en la página anterior— de la siguiente manera:

$$k_{Al} = \frac{0,0049 \frac{\text{cal}}{\text{s}}}{\text{cm}^2 \cdot \frac{^\circ\text{C}}{\text{cm}}}$$

Es decir que 0,0049 cal pasan por segundo por cada centímetro cuadrado de material, cuando la diferencia de temperatura es de 1 °C, entre puntos separados por 1 centímetro de distancia.

Simplificando los cm en el denominador, es posible expresar este coeficiente en $\frac{\text{cal}}{\text{s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}}$.

Si bien esta es una forma de expresar la conductividad térmica, se suelen utilizar otras unidades: a veces, el calor se mide en kilocalorías, o el tiempo, en horas.

En el Sistema Internacional, el calor se mide en joules y la distancia, en metros, por lo que la forma correcta de expresar este coeficiente sería en $\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$.

Como joule sobre segundo es un watt, la conductividad térmica queda medida en $\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$.

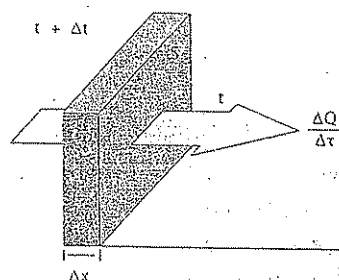
Para expresar la conductividad térmica en términos más generales, es necesario ajustar la convención respecto de los símbolos que se emplearán. Como las palabras *temperatura* y *tiempo* comienzan con la letra *t*, en este capítulo se utilizará la letra *t* para designar la temperatura, y la letra griega τ (tau) para indicar el tiempo.

Según su definición, entonces, la conductividad térmica se puede expresar de la siguiente manera:

$$k = - \frac{\frac{\Delta Q}{\Delta \tau}}{S \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x}} \quad (1)$$

En la expresión anterior, $\frac{\Delta Q}{\Delta \tau}$ indica la cantidad de calor que se conduce por unidad de tiempo; *S* es el área de la superficie a través de la cual se produce la transmisión; Δt es la diferencia de temperaturas entre dos puntos situados a una distancia Δx tomada sobre un segmento perpendicular a la superficie *S*.

Se debe tener en cuenta que Δt es siempre negativo, ya que indica la diferencia entre la temperatura en el extremo final de Δx y la temperatura en su origen. Esta segunda temperatura es siempre mayor que la primera, porque el calor se transmite desde las temperaturas mayores hacia las menores.



El calor se conduce en la dirección del eje *x*.

Sustancia	k $\frac{\text{cal}}{\text{s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}}$	k $\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$
Acero	0,11	46
Agua (líq.)	0,0015	0,60
Aluminio	0,49	205
Aire	0,0006	0,025
Cobre	0,92	384
Hielo	0,0052	2,2
Ladrillo	0,0029	1,2
Telgopor	$8 \cdot 10^{-5}$	0,03
Vidrio	0,0025	1,04

Algunos valores de conductividad térmica.

Calor, tiempo y materiales

La expresión (1) de la página anterior se puede transformar, de manera que permita calcular fácilmente la cantidad de calor que atraviesa una pared en un determinado intervalo de tiempo.

Para ello, al despejar $\frac{\Delta Q}{\Delta \tau}$ se obtiene:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta \tau} = -k \cdot S \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (2)$$

Por ejemplo, si una pared de ladrillos de 10 m^2 de superficie y 20 cm de espesor separa una habitación —que se encuentra a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ — del exterior —que se encuentra a $5 \text{ }^\circ\text{C}$ —, la cantidad de calor que pasa por segundo desde la habitación hacia el exterior se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta \tau} = -1,2 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{ }^\circ\text{C}} \cdot 10 \text{ m}^2 \cdot \frac{(5 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C})}{0,20 \text{ m}}$$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta \tau} = 900 \text{ W}$$

Es decir que se transmiten 900 J por segundo o, lo que es lo mismo, unas 220 calorías por segundo. Si se quisiese mantener constante la temperatura interior, habría que colocar una estufa que compensara esa pérdida.

La expresión (2) permite, además, ratificar numéricamente el hecho de que los materiales conducen de manera muy diversa. Por ejemplo, si la pared fuese de aluminio, el calor conducido por segundo sería:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta \tau} = -205 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{ }^\circ\text{C}} \cdot 10 \text{ m}^2 \cdot \frac{(5 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C})}{0,20 \text{ m}} = 153.750 \text{ W}$$

En cambio, si hubiese sido de telgopor:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta \tau} = -0,03 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{ }^\circ\text{C}} \cdot 10 \text{ m}^2 \cdot \frac{(5 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C})}{0,20 \text{ m}} = 22,5 \text{ W}$$

Conducción y superficie de contacto

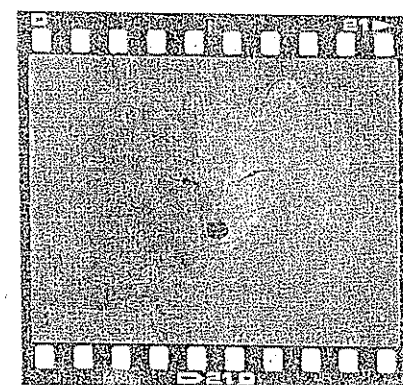
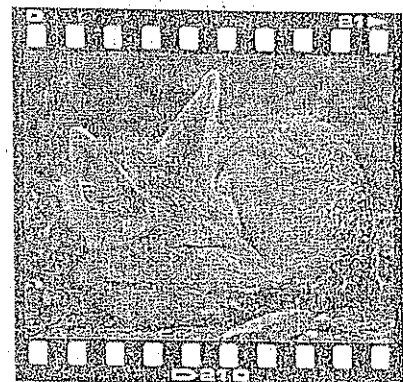
Otro factor que influye en la conducción del calor es el área de la superficie de contacto entre los cuerpos que se encuentran a diferentes temperaturas.

En la práctica, cuando se quiere enfriar algo más rápidamente se suele aumentar la superficie de contacto; esto es lo que ocurre, por ejemplo, cuando extendemos el puré caliente sobre un plato.

En la naturaleza, también encontramos ejemplos de diversas adaptaciones al medio relacionadas con la superficie de disipación térmica. Así, las orejas de los elefantes, por la gran superficie que ofrecen, actúan como disipadores térmicos importantes para la regulación térmica del animal.



El sistema de refrigeración del motor de una moto posee aletas para aumentar la superficie de transmisión del calor.



A veces, una especie presenta características distintas según su hábitat. Por ejemplo, los zorros del desierto, que viven en un clima cálido, tienen orejas grandes que actúan como disipadores; en cambio, los zorros de la región ártica, que viven en un clima muy frío, tienen orejas pequeñas.

Convección

En los fluidos, el calor se transmite fundamentalmente por convección. Este proceso está caracterizado por la producción de corrientes en el fluido, debido a cambios en su densidad.

Es sabido que un corcho o un poco de aceite flotan en el agua por ser menos densos que ella; de manera semejante, un fluido, cuando se calienta, se dilata, por lo que la densidad disminuye y comienza a ascender; es decir, tiende a flotar del mismo modo que lo haría un corcho que se suelta en el fondo de un vaso con agua.

Por ejemplo, al colocar un recipiente metálico con agua sobre la hornalla de una cocina, el fuego transmite calor por conducción al agua que se encuentra abajo, a través del fondo del recipiente.

Cuando esta primera capa de agua eleva su temperatura, comienza a ascender. Al hacerlo, su lugar es ocupado por un volumen equivalente del agua que se encontraba más arriba; esta, a su vez, se calienta y asciende. De este modo, se producen las llamadas *corrientes de convección*. El calentamiento de toda la masa de agua se lleva a cabo por la circulación del fluido.

Como los fluidos son malos conductores del calor, la transmisión de calor se produce generalmente por convección.

La siguiente experiencia permite mostrar los procesos de conducción y de convección en agua.

En un recipiente transparente y suficientemente alto, se vierte agua fría y se coloca un calentador de inmersión en la parte media, tal como se muestra en la figura de la derecha.

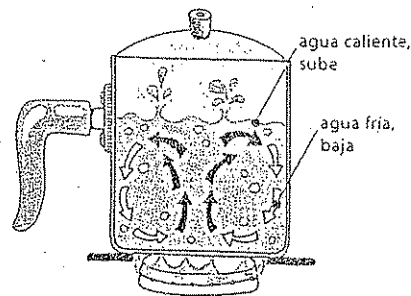
Se coloca un termómetro con el bulbo cerca de la superficie y otro, con el bulbo cerca del fondo. En poco tiempo, se observan las corrientes de convección en la parte superior del recipiente y el ascenso de la temperatura en esa región. El termómetro de la parte inferior no detecta importantes cambios de temperatura, pues el agua conduce muy mal el calor desde el calentador hacia abajo. Sucede, finalmente, que el agua de la parte superior puede hervir, mientras que la inferior sigue manteniéndose fría.

El aire caliente también asciende, lo que se percibe fácilmente si se coloca la mano a una distancia prudencial por arriba de una hornalla encendida. Por este motivo, las estufas se colocan en la parte inferior de los ambientes que se quieren calefaccionar, para favorecer la producción de corrientes convectivas.

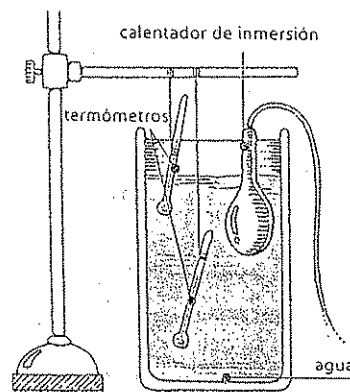
Las corrientes convectivas que se producen en la atmósfera sobre grandes masas de aire son las responsables de muchos fenómenos climáticos, desde la velocidad y dirección de los vientos hasta la formación de nubes. Estas corrientes también son aprovechadas por las aves que planean, como los cóndores, para ascender sin necesidad de mover las alas.

Cuando un cuerpo está a mayor temperatura que el fluido que lo rodea, se enfría produciendo corrientes de convección. El cálculo de la cantidad de energía que pasa, por segundo, desde el cuerpo hacia el fluido es sumamente complejo; depende, entre otras variables, de las temperaturas del cuerpo y del fluido; de la forma del cuerpo, de la viscosidad del fluido; del área de la superficie de contacto y de la existencia de movimientos del fluido (como, por ejemplo, el viento).

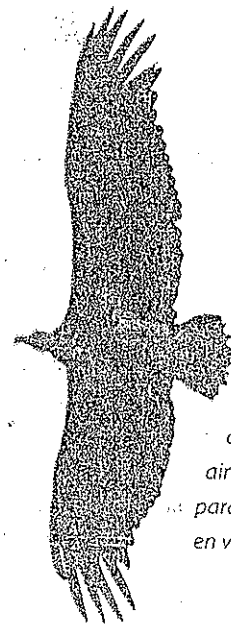
A veces, se favorece el proceso de convección mediante algún sistema, como, por ejemplo, un ventilador. En esos casos, se dice que la convección es *forzada*.



Al calentar desde abajo el agua contenida en un recipiente, se forman corrientes convectivas.



El agua se calienta por convección hacia arriba del calentador, y por conducción hacia abajo.



Los cóndores utilizan las corrientes de aire ascendentes para mantenerse en vuelo.

Radiación

La mayor parte de la energía que se utiliza en la Tierra proviene del Sol. Como el espacio que recorre está prácticamente vacío, resulta evidente que no puede llegar ni por conducción ni por convección. La energía solar llega a la Tierra por radiación, es decir, mediante ondas electromagnéticas.

Las ondas electromagnéticas pueden propagarse tanto en el vacío —es el caso de las que llegan desde el Sol hasta el exterior de la atmósfera terrestre— como en un medio material —como ocurre con las ondas solares cuando llegan a la atmósfera y se propagan en el aire—. Según su origen y características, estas ondas se clasifican en el llamado espectro electromagnético, que incluye radiaciones gamma, rayos X, luz visible, radiación ultravioleta e infrarroja, etcétera.

De todas esas formas de radiación, la que se considera térmica está ubicada básicamente en la zona del infrarrojo; esto significa que, por sus características, tienen cierto parecido con la luz, solo que el hombre no la detecta con la vista.

No solo el Sol emite radiación; en realidad, todos los cuerpos lo hacen. Existen, por ejemplo, películas fotográficas termosensibles que permiten registrar la radiación emitida por un cuerpo; también existen visores nocturnos con los que es posible detectar la radiación emitida por una persona o por un animal.

Cuando un cuerpo recibe radiación, por lo general absorbe una parte, mientras que la otra parte es reflejada. Además, si el espesor del cuerpo lo permite, parte de la radiación puede atravesarlo.

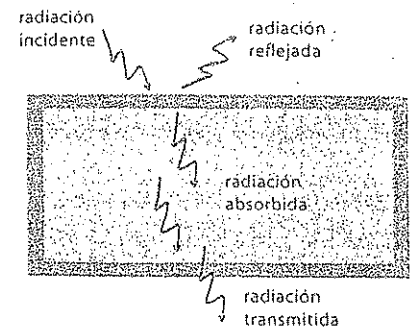
Lo que ocurre con la radiación que incide sobre un cuerpo depende de las características de la superficie de este, por ejemplo, de su color. Para comprobarlo, se colocan dos recipientes idénticos, con igual cantidad de agua a la misma temperatura, expuestos a la radiación solar o a la de una estufa. La superficie de uno de los recipientes es plateada, mientras que la del otro, está pintada de negro; al cabo de un tiempo, se puede constatar, mediante termómetros, que el sistema pintado de negro absorbe más radiación y, por lo tanto, eleva más rápidamente su temperatura. El resultado de esta experiencia se explica porque la superficie plateada refleja gran parte de la radiación que recibe, en tanto que los cuerpos negros absorben un alto porcentaje de la radiación que les llega.

En la teoría de la radiación, se llama *cuerpo negro* a un absorbente perfecto, es decir, a un cuerpo capaz de absorber toda la radiación que le llega.

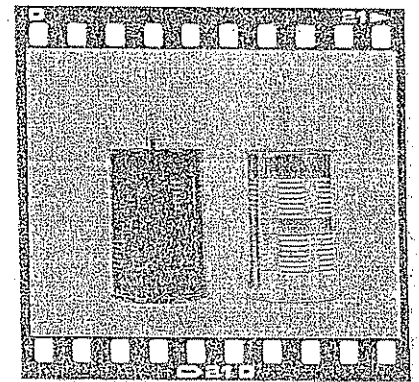
Hacia 1860, estudiando la radiación del cuerpo negro, el físico alemán Gustav Kirchhoff (1824-1887) demostró la ley que hoy lleva su nombre, y que se podría simplificar indicando que todo cuerpo es tan buen absorbente de la radiación como lo es cuando la emite. Entonces, si el cuerpo negro es el absorbente perfecto, también es el mejor emisor de radiación. Por ejemplo, si un cuerpo absorbe, en determinadas circunstancias, el 30 % de lo que absorbería el cuerpo negro en esas mismas condiciones, también emite el 30 % de lo que emitiría el cuerpo negro.

La relación entre lo que efectivamente emite un cuerpo y lo que emitiría el cuerpo negro en iguales circunstancias se expresa mediante un coeficiente de emisión que se designa con la letra *e*:

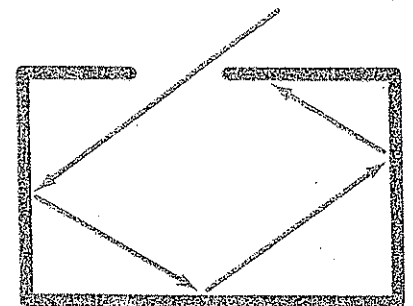
$$e = \frac{\text{radiación emitida por un cuerpo}}{\text{radiación emitida por el cuerpo negro}}$$



Cuando la radiación llega a un cuerpo, por lo general, una parte se refleja, otra parte es absorbida y una tercera, puede transmitirse.



El termómetro indica que el líquido contenido en el recipiente negro absorbió más radiación que el del recipiente plateado.



El agujero realizado en una caja, cuyo interior está totalmente pintado de negro, se comporta aproximadamente como un cuerpo negro. La radiación que ingresa es absorbida casi en su totalidad por el interior de la caja.

Cálculo de la emisión de radiación

De acuerdo con esta relación, el coeficiente de emisión del cuerpo del ejemplo sería 0,3. Para el cuerpo negro, e vale 1, y si un cuerpo tiene un coeficiente $e = 0,5$, emite el 50 % de la radiación que emitiría el cuerpo negro en iguales circunstancias.

¿Cuáles son las circunstancias que hacen que un cuerpo emita más o menos radiación? Además de su superficie, la temperatura es la variable determinante.

La ley de Stefan-Boltzman permite calcular la radiación emitida por un cuerpo; según esta ley, la energía radiada por la unidad de superficie de un cuerpo en una unidad de tiempo es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. La expresión matemática de la ley de Stefan-Boltzman es la siguiente:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta \tau} = \sigma \cdot e \cdot S \cdot T^4$$

El primer miembro de esta expresión es la potencia de la radiación emitida por el cuerpo (es decir, la cantidad de energía que ese cuerpo emite por segundo); σ indica la constante de la ley de Stefan-Boltzman, que vale $5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$; e es el coeficiente de emisión del cuerpo; S es el área de la superficie que emite, y T , la temperatura, que en esta fórmula siempre se expresa en grados Kelvin.

Como todos los cuerpos tienen una temperatura absoluta mayor que cero, todos los cuerpos emiten radiación.

Análisis de un ejemplo

Como ejemplo de la aplicación de las leyes de la radiación, se puede analizar la recomendación de usar ropas claras en verano.

La radiación solar que llega a la parte superior de la atmósfera es del orden de los 1350 W por cada metro cuadrado. La absorción por parte de la atmósfera y de las nubes hace que el valor a nivel del mar sea menor: unos $1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ en un día claro.

La porción de esa radiación que absorbe un cuerpo depende de:

- su coeficiente de emisión,
- su superficie, y
- el ángulo con el que le llega la radiación.

Dado que la ley de Kirchhoff indica que los cuerpos absorben en la misma medida que emiten, para calcular la absorción se puede utilizar el coeficiente de emi-

sión. Se puede suponer, como ejemplo, que sobre una persona cuya superficie es de $1,5 \text{ m}^2$ incide una radiación solar de $700 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$. Si la persona está vestida con ropa muy oscura, por ejemplo, de $e = 0,9$, la absorción será:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta \tau} = 0,9 \cdot 700 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 1,5 \text{ m}^2 = 945 \text{ W}$$

En cambio, si la ropa es clara, con $e = 0,2$, el valor será:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta \tau} = 0,2 \cdot 700 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 1,5 \text{ m}^2 = 210 \text{ W}$$

Se podría argumentar que la ropa clara hará que la persona emita menos radiación que con la ropa oscura. Si se supone que la temperatura de la ropa presenta un valor medio entre la de la piel y la del exterior, por ejemplo, $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (que equivalen a 298 K), las emisiones en cada caso serán:

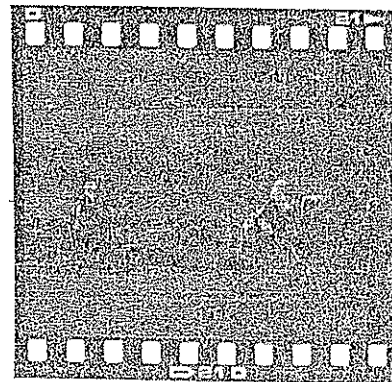
con ropa oscura:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta Q}{\Delta \tau} &= 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 0,9 \cdot 1,5 \text{ m}^2 \cdot (298 \text{ K})^4 = \\ &= 603 \text{ W} \end{aligned}$$

con ropa clara:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta Q}{\Delta \tau} &= 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 0,2 \cdot 1,5 \text{ m}^2 \cdot (298 \text{ K})^4 = \\ &= 134 \text{ W} \end{aligned}$$

Como balance, con ropa clara una persona al sol absorbe $210 \text{ W} - 134 \text{ W} = 76 \text{ W}$; en cambio, con ropa oscura absorbe $945 \text{ W} - 603 \text{ W} = 342 \text{ watt}$.

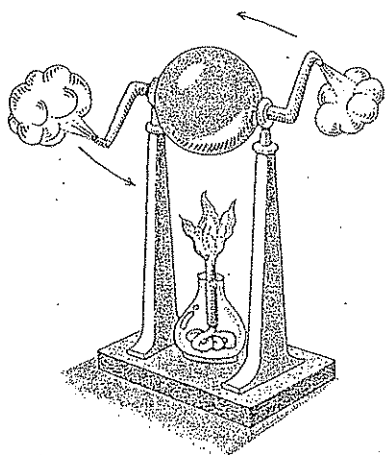


En las regiones muy calurosas, es común que las personas se vistan con ropas de colores claros, que absorben menos calor que las de colores oscuros.

La Termodinámica

La aparición de las primeras máquinas térmicas durante el siglo XVIII impulsó el estudio de las relaciones entre el calor y el trabajo. Estas, al igual que todas las transformaciones energéticas, se incluyen en un importante capítulo de la Física llamado Termodinámica. Las principales propiedades de la energía pueden explicarse a partir de los principios primero y segundo de la Termodinámica.

Qué es la Termodinámica



Máquina de Herón. Se hacía hervir agua en su interior. Los chorros de vapor que salían por los dos caños hacían rotar la esfera.

En su origen, la Termodinámica estudió las relaciones entre el calor y el trabajo con el objeto de hallar la forma de extraer trabajo útil de un sistema al que se le entrega calor. La primera noticia que se tiene de una máquina elaborada con este fin es la que se refiere a la "eolopila", diseñada por Herón, un ingeniero que vivió en Alejandría, aparentemente en el siglo I a.C. Esa máquina constaba de una esfera metálica que podía girar alrededor de un eje, impulsada por el vapor del agua que se hacía hervir en su interior. Sin embargo, en ese momento, la máquina de Herón no pasó de ser una curiosidad.

Durante muchos siglos, la historia de la Termodinámica estuvo asociada a la intención de construir móviles perpetuos, es decir, aparatos que loaran moverse por siempre. Aunque el primer documento acerca de uno de estos aparatos data de 1240, se supone que mucho antes hubo inventores que trataron de construir aparatos que se movieran constantemente sin recibir energía desde el exterior.

Por supuesto, ninguno de esos aparatos funcionó. El motivo del fracaso radicaba en la suposición de que era posible que esos sistemas generaran energía por sí mismos. En algunos casos, se llegó a suponer que esas máquinas, aun sin recibir energía del exterior, podían funcionar y, además, entregar trabajo.

En 1824, se publicó el libro *Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego*, escrito por Nicolas Sadi Carnot (1796-1832), un militar francés de 28 años. Pese a que Carnot pensaba en el calor a partir de la teoría del calórico, logró avanzar en lo que hoy se conoce como *Principios de la Termodinámica*.

La Termodinámica se ocupa de estudiar las relaciones entre el calor, el trabajo y todas las formas de la energía; sus principios no están deducidos de otras leyes físicas, sino que explican cómo se comporta la energía.

El Primer Principio de la Termodinámica expresa, en forma completa, la conservación de la energía. Este principio permite entender por qué no funcionaron algunos de los intentos de móviles perpetuos.

El Segundo Principio de la Termodinámica expresa, como idea principal, que las transformaciones energéticas se dan espontáneamente en determinados sentidos y no, en otros. Por ejemplo, que el calor pasa espontáneamente desde un cuerpo de mayor temperatura a otro más frío, pero no lo hace en sentido inverso —aunque esto último no contradice el principio de conservación de la energía.

La definición de los sistemas

En la descripción de los procesos termodinámicos se emplea frecuentemente el término *sistema*, otorgándole un significado particular. Así, en cada problema termodinámico, se considera sistema a la porción de universo que en ese problema se debe analizar. Es decir que un sistema puede ser un cuerpo o un conjunto de cuerpos que han sido aislados real o imaginariamente para su estudio.

Según esta definición, se consideran sistemas tanto una persona como una botella cerrada llena de agua; la Tierra o un metro cúbico de aire que se encuentra en una habitación. Como puede verse, la delimitación del sistema es arbitraria: depende de lo que se pretende estudiar; pero, por otra parte, esta delimitación debe ser precisa para que un problema tenga sentido.

Una vez que se define el sistema, el resto del universo tiene la posibilidad de intercambiar energía con él; a todo lo que ha quedado fuera del sistema se lo llama *medio exterior*.

Es posible clasificar los sistemas de varias maneras: una de ellas es diferenciarlos en abiertos y cerrados. Un sistema abierto es aquel que puede intercambiar materia con el medio exterior, por ejemplo, una persona o una planta. El agua contenida en un termo podría ser un ejemplo de sistema cerrado, pues no intercambia materia con el medio exterior.

Los sistemas abiertos pueden intercambiar energía con el medio exterior de dos maneras: como calor y como trabajo. El calor intercambiado entre el sistema y el medio exterior se debe a una diferencia de temperaturas y puede realizarse por conducción, convección o radiación. En tanto que los intercambios de energía realizados a través de la acción de fuerzas corresponden al trabajo.

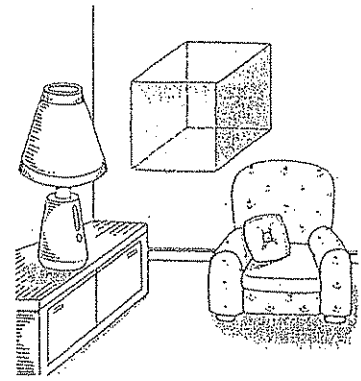
Estado del sistema

Un sistema está formado por uno o más cuerpos constituidos, a su vez, por partículas. Esas partículas pueden ser: moléculas que se mueven libremente, si se trata de un gas; moléculas que vibran en algunos sólidos, o iones que vibran o se trasladan.

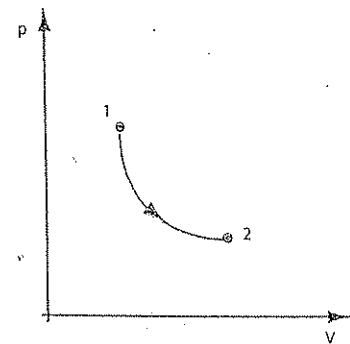
Las características, posiciones y velocidades de las partículas que constituyen un sistema determinan, en cada caso, el estado en que éste se encuentra; pero, como no es posible determinar lo que le ocurre a cada una de esas partículas, el estado de un sistema se caracteriza midiendo magnitudes tales como la masa, la temperatura o la presión. Por ejemplo, el estado de un sistema queda perfectamente determinado si se indica que está constituido por 0,1 kg de hidrógeno a una temperatura de 300 K y a una presión de 100.000 pascuales.

Cuando alguna de las variables que caracterizan a un estado del sistema se modifica, se dice que el sistema está sufriendo una transformación. Durante esa transformación, el sistema va pasando por sucesivos estados que se relacionan con el intercambio de energía con el medio exterior. Si, en el ejemplo citado, se comprime el hidrógeno de tal manera que su temperatura permanezca constante y su presión se duplique, el sistema realizará una transformación pasando por sucesivas presiones desde 100.000 pascuales hasta 200.000 pascuales.

Al referirse a un sistema gaseoso, es común representar sus transformaciones mediante coordenadas cuyos ejes representan la presión y el volumen.



El sistema puede definirse en forma arbitraria según las necesidades del problema que se pretende abordar. Incluso, puede suceder que el sistema elegido carezca de una separación física con el medio exterior, por ejemplo, si se decide estudiar un metro cúbico de aire de una habitación.



Los gráficos de presión/volumen son útiles para describir las transformaciones de los sistemas gaseosos.

La energía interna de un sistema

En todos los casos, las partículas que conforman el sistema poseen cierta energía relacionada con sus posiciones y con sus movimientos. La suma de las energías de esas partículas recibe el nombre de *energía interna del sistema*.

No es posible medir esta energía interna en forma directa—pues se debería hacer un cálculo que tomara en cuenta partícula por partícula—, pero algunas de sus propiedades permiten calcular sus variaciones.

El estado de un sistema está caracterizado por las posiciones y el estado de movimiento de las partículas que lo constituyen. Un litro de agua a 20 °C es el estado de un sistema, caracterizado por su masa y su temperatura. Si varía esa temperatura, el estado será otro; en cambio, si vuelve a los 20 °C originales, el estado será el mismo que al principio.

La energía interna depende del estado del sistema. En el ejemplo del párrafo anterior, cuando varía la temperatura del agua hay variación de energía interna. En cambio, si el sistema retorna a los 20 °C no se habrá producido variación en su energía interna.

Esta propiedad de la energía interna puede expresarse de dos maneras distintas, pero equivalentes:

1 | La variación de la energía interna experimentada por un sistema al pasar de un estado a otro depende solo de ambos estados, no de la transformación que produjo el pasaje desde uno hasta el otro.

2 | Cuando un sistema sufre una transformación desde un estado y luego vuelve a él, la variación de energía interna vale cero.

Esta propiedad se sintetiza diciendo que la energía interna es una función de estado.

Designando con la letra U la energía interna, se puede decir que si U_1 fuese la energía interna de un sistema en un estado 1 y U_2 , la de otro estado 2, la variación de energía interna:

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

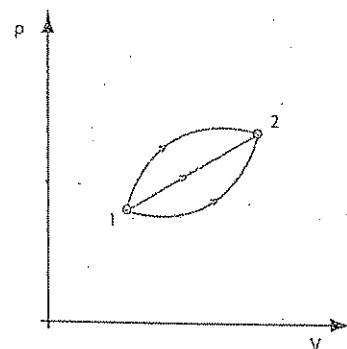
es siempre la misma, independientemente de la transformación que hizo pasar al sistema desde el estado 1 al estado 2.

Cuando el sistema que evoluciona es un gas ideal, se dispone de información adicional para calcular la variación de energía interna.

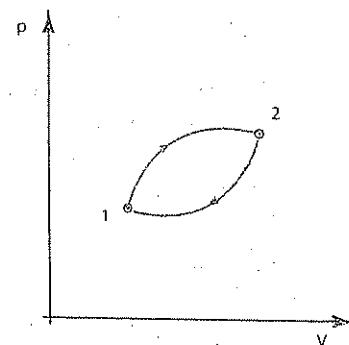
Qué es un gas ideal

A partir de un modelo de partículas, se ha visto que se puede representar al estado gaseoso mediante moléculas que tienen la posibilidad de moverse en todas direcciones. Si se aumentara mucho la presión o se llevara el gas a una temperatura cercana a la de condensación, las moléculas se juntarían y se producirían importantes interacciones entre ellas. Se llama *gas ideal* a aquel en el que estas interacciones son despreciables.

Para que esto ocurra, el sistema se debe encontrar a baja presión y a temperatura lejana a la de condensación. Como la temperatura es una manifestación de la energía cinética media de las moléculas, en los gases ideales, la energía interna depende solo de la temperatura absoluta. Esta afirmación se puede hacer en dos sentidos: si la energía interna de un gas ideal aumenta, también lo hace su temperatura; o, si se detecta un aumento en la temperatura de un gas ideal, se puede afirmar que aumentó su energía interna.



La variación de energía interna del sistema entre los estados 1 y 2 es siempre la misma, independientemente de la transformación seguida para pasar de un estado a otro.



Si un sistema evoluciona de tal manera que el estado final coincide con el inicial, la variación de la energía interna vale cero.

Temperatura y energía interna

En 1738, el físico suizo Daniel Bernoulli (1700-1782) presentó la teoría cinética de los gases. Esa teoría, en su formulación actual, permite explicar el comportamiento de un sistema gaseoso a presiones bajas y a temperaturas alejadas de la de cambio de estado. Para hacerlo, se formulan ciertas hipótesis sobre el comportamiento de las moléculas que constituyen el gas.

En primer lugar, se supone que el gas está compuesto por gran cantidad de moléculas que se mueven al azar. El tamaño de las moléculas es muy pequeño en relación con la distancia que las separa, por lo que no existen fuerzas de interacción apreciables entre ellas. Solo modifican su movimiento al chocar entre sí o contra las paredes del recipiente que las contiene. En todos los choques, se mantiene la energía cinética del sistema. Esto último proviene de suponer que los choques son elásticos —como si se produjeran entre bolas de billar perfectas.

A partir de estas consideraciones, es posible demostrar que la temperatura absoluta de un gas es proporcional a la energía cinética media de las moléculas. Simbólicamente:

$$E_{cm} = KT \quad (1)$$

Donde E_{cm} es la energía cinética media de las moléculas de gas; T , la temperatura absoluta y K , una constante que vale $2,07 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$.

Para comprender mejor el significado de esta relación, se puede suponer una situación en la que fuera posible medir las energías cinéticas moleculares. La cantidad de moléculas que habría en un litro de gas a presión atmosférica normal y unos $27^\circ C$ es un número que tiene veintidós cifras. Además, no es posible medir la energía cinética de cada molécula.

Para la simulación, se puede suponer un volumen de gas encerrado en un recipiente rígido que contiene doce moléculas. En la siguiente tabla, se expresan sus energías cinéticas; todas ellas son del orden de 10^{-21} joules:

Molécula		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Energía cinética	10^{-21} joules	5	4	7	5	4	9	6	9	7	9	4	3

La energía interna de este sistema imaginario sería la suma de las energías de cada molécula

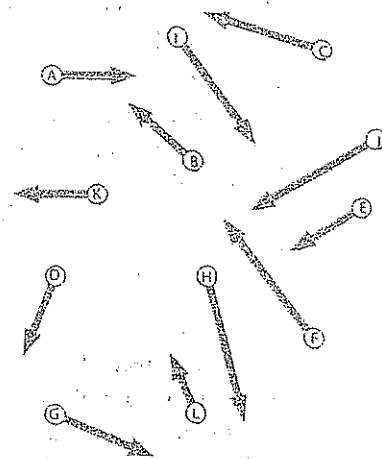
$$U_1 = (5 + 4 + 7 + 5 + 4 + 9 + 6 + 9 + 7 + 9 + 4 + 3) \cdot 10^{-21} J = 72 \cdot 10^{-21} J$$

La energía cinética media de las moléculas sería el promedio de este valor, es decir:

$$E_{cm} = \frac{72 \cdot 10^{-21}}{12} J = 6 \cdot 10^{-21} J$$

Como, según la expresión (1), $E_{cm} = KT$, a este sistema le correspondería una temperatura:

$$T = \frac{6 \cdot 10^{-21}}{2,07 \cdot 10^{-23}} K = 290 K$$



Aunque las velocidades de las moléculas de un gas tienen sentidos variados y azarosos, su energía cinética media es proporcional a la temperatura absoluta del gas.

El Primer Principio de la Termodinámica

El Primer Principio de la Termodinámica es una forma muy general de expresar el principio de conservación de la energía.

Si bien se pueden buscar diferentes maneras de enunciarlo, esencialmente dice que *la energía intercambiada por un sistema es igual a la variación de su energía interna*, lo que se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$Q - L = \Delta U \quad (2)$$

En esta expresión, Q y L constituyen, respectivamente, el calor y el trabajo intercambiado en alguna transformación por el sistema que se estudia, y ΔU es la variación de la energía interna entre los estados final e inicial de la transformación.

Por ejemplo, un sistema muy simple es el que proporciona el gas encerrado en un cilindro que tiene un émbolo en su parte superior.

En el estado A del sistema, ese gas se encuentra a una cierta temperatura T_A y a una presión p_A . Luego, el sistema recibe 50 J de calor del medio exterior y realiza un trabajo de 30 J para levantar el peso. El estado final de la evolución B estará caracterizado por la misma masa de gas, a una temperatura T_B y una presión p_B .

El sistema recibió 50 J y entregó 30 J, es decir que en el estado B tiene 20 J de energía interna más que en el estado A. Esto surge de la aplicación de la expresión (2):

$$50 \text{ J} - 30 \text{ J} = 20 \text{ J}$$

Para estar completo, este primer ejemplo requiere de dos explicaciones complementarias, que son válidas en todos los casos de aplicación del Primer Principio de la Termodinámica.

Para poder operar con la expresión (2), hay que adoptar una convención de signos que permita diferenciar la energía que entra al sistema, de la que sale de él.

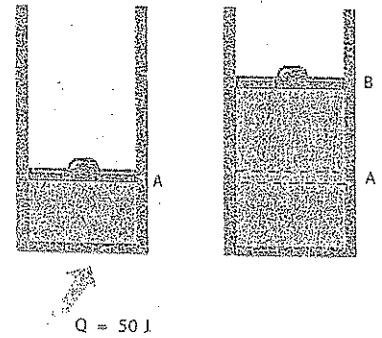
Tal como se observa en la figura, es habitual adoptar la siguiente convención de signos: positivo, para el calor que ingresa al sistema, y negativo, para el cedido al medio.

Según esta convención, el trabajo realizado sobre el sistema se considera negativo, y el realizado por el sistema, positivo.

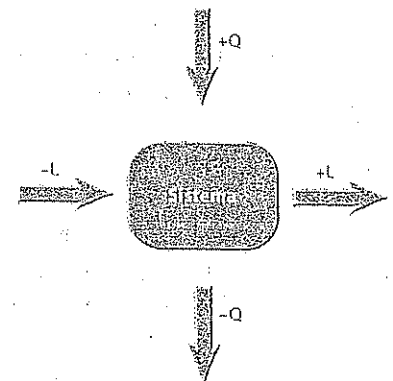
La expresión $Q - L = \Delta U$ (2), del Primer Principio de la Termodinámica, permite calcular la variación de la energía interna entre los estados inicial y final de la evolución, pero no sus valores en cada estado.

Como es una función de estado, cualquiera sea la evolución por la cual un sistema pasa desde un estado inicial a otro final, la variación de energía interna será la misma. Volviendo al ejemplo anterior; si para hacer pasar el sistema desde el estado A hasta el B, se tira del émbolo hacia arriba ejerciendo un trabajo de 60 J sobre el sistema, necesariamente se cede un 40 J de calor al medio exterior, ya que la variación de energía interna debe ser la misma:

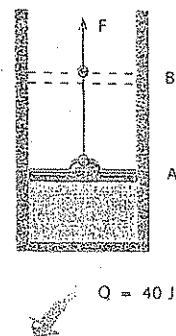
$$-40 \text{ J} - (-60 \text{ J}) = 20 \text{ J}$$



El gas recibe 50 J de calor y realiza un trabajo de 30 J para elevar el émbolo desde A hasta B.



El sistema intercambia calor (Q) y trabajo (L) con el medio exterior. Se adopta una convención con respecto a los signos para caracterizar la energía que ingresa y la que egresa del sistema.



El sistema pasa desde A hasta B por acción de la fuerza F . Durante la transformación, cede calor (Q) al medio exterior.

La variación entre la energía interna entre los estados A y B se puede expresar también como su diferencia:

$$\Delta U_{AB} = U_B - U_A$$

En la figura, se representa un sistema mediante un rectángulo. Durante una transformación, ese sistema recibe del medio exterior una cantidad de calor de 200 J y cede 50 J. Además, recibe trabajo por 20 J y lo realiza por un valor de 130 joules.

Al terminar esta evolución, el sistema habrá intercambiado calor con el medio por un valor de:

$$200 \text{ J} - 50 \text{ J} = 150 \text{ J}$$

es decir que como balance recibió 150 J de calor del medio exterior.

El trabajo neto ha sido, según la convención de signos adoptada:

$$-20 \text{ J} + 130 \text{ J} = 110 \text{ J}$$

El sistema ha entregado al medio exterior 110 J. Según la expresión (2), la variación experimentada por la energía interna del sistema será:

$$150 \text{ J} - 110 \text{ J} = 40 \text{ J}$$

En este proceso, la energía interna del sistema aumentó en 40 joules.

Durante una transformación, el sistema que se representa en la figura absorbe calor por 1400 J y cede 1600 J. Además, recibe energía por valor de 100 J a partir de un trabajo realizado por el medio exterior sobre él.

Al terminar la evolución, el calor intercambiado por el sistema vale:

$$Q = 1400 \text{ J} - 1600 \text{ J} = -200 \text{ J}$$

El balance térmico indica que el sistema termina entregando al medio exterior 200 J de energía en forma de calor.

El trabajo recibido vale:

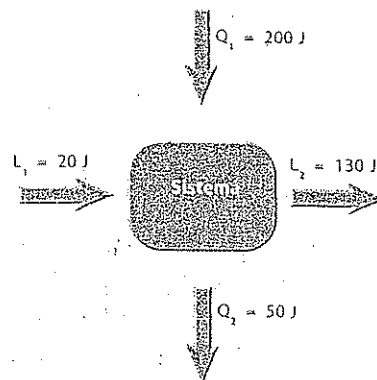
$$L = -100 \text{ J}$$

La expresión del primer principio permitirá calcular la variación de la energía interna experimentada por este sistema al evolucionar:

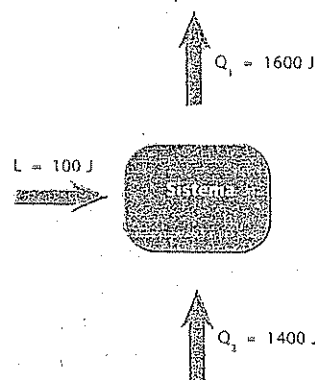
$$-200 \text{ J} - (-100 \text{ J}) = -100 \text{ J}$$

Es decir que la energía interna del sistema disminuye en 100 joules.

Como se puede ver en los ejemplos estudiados, el Primer Principio de la Termodinámica es una forma muy general de expresar la conservación de la energía. Una vez que se ha definido claramente cuál es el sistema con el que se va a trabajar, se calculan el calor y el trabajo que ese sistema intercambia con el medio exterior, lo que permite hacer un balance de la energía intercambiada. Este valor de energía intercambiada es igual a la variación experimentada por la energía interna del sistema.



El sistema intercambia calor (Q) y trabajo (L) con el medio exterior.



Como balance de la transformación, este sistema disminuye su energía interna.

Ejemplos de transformaciones termodinámicas

Ya sea porque alguna variable, como la temperatura, se mantiene constante o porque son útiles para comprender el funcionamiento de máquinas térmicas, algunas transformaciones presentan un interés especial.

1 | Transformación a volumen constante.

Un gas encerrado en un recipiente hermético no puede intercambiar trabajo con el medio exterior. Para que un sistema gaseoso entregue trabajo al medio exterior, debe expandirse, es decir, aumentar su volumen. Por el contrario, si recibe trabajo del medio exterior, se comprime. Decir que un sistema gaseoso evoluciona manteniendo constante su volumen, equivale a decir que el trabajo intercambiado con el medio exterior vale cero:

$$L = 0$$

Por lo que la expresión (2) queda:

$$Q = \Delta U$$

Es decir que todo el calor intercambiado produce modificaciones en la energía interna del sistema.

Si el sistema recibe calor, su energía interna aumenta en el mismo valor que el calor recibido. Lo mismo ocurre si el calor es cedido: su valor es igual al de la disminución de la energía interna. Si se trata de un gas ideal, el aumento de energía interna implica un aumento de la temperatura.

2 | Transformación a temperatura constante.

Las transformaciones en las que la temperatura del sistema permanece constante se denominan *isotérmicas*. En los casos en los que el sistema es un gas ideal, la variación de energía interna solo depende de la variación de la temperatura, es decir que en una transformación isotérmica de un gas ideal no hay variación de la energía interna:

$$\Delta U = 0$$

Entonces, la expresión (2) para este caso queda:

$$Q - L = 0$$

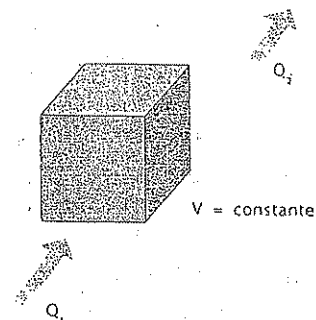
o, lo que es lo mismo:

$$Q = L$$

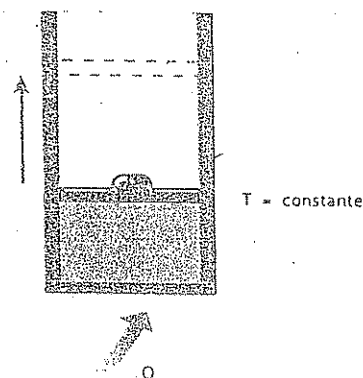
Si la temperatura se mantiene constante, el calor intercambiado por el sistema es igual al trabajo.

Si al sistema de la figura se le entregan, en forma suficientemente lenta, 50 J de calor, de modo que el émbolo vaya ascendiendo y la temperatura del sistema se mantenga constante, el trabajo realizado será también de 50 joules.

Hay que destacar que, si el sistema trabaja en estas condiciones, debe intercambiar calor con el medio exterior para mantener su temperatura constante. Cuando aumenta su volumen, el sistema debe recibir calor para no enfriarse y, cuando se lo comprime, debe ceder calor para que no aumente su temperatura.



En una transformación a volumen constante, el sistema solamente intercambia calor con el medio exterior.



Para que el sistema sufra una transformación a temperatura constante, la cantidad de calor (Q) absorbida debe ser igual al trabajo realizado por el sistema.

3| Transformación adiabática.

Una transformación adiabática es aquella en la que, durante su evolución, el sistema no intercambia calor con el medio. Este proceso se puede producir de dos maneras diferentes. Una de ellas consiste en hacer evolucionar el sistema dentro de una envoltura adiabática —semejante a un termo— de manera que durante el proceso no se pueda intercambiar calor con el medio exterior. La otra forma, más habitual, consiste en producir una transformación tan rápida que el sistema no tenga tiempo de intercambiar calor con el medio. Si la evolución es adiabática, se tiene:

$$Q = 0$$

Por lo que la expresión (2) queda:

$$-L = \Delta U$$

Si, en estas condiciones, el sistema realiza trabajo sobre el medio, disminuye su energía interna. Esto, por otra parte, resulta evidente, ya que si el sistema no recibe calor desde el exterior, realizará el trabajo gastando su propia energía. Si se trata de un gas ideal, una expansión adiabática produce un descenso de la temperatura.

Por el contrario, si el sistema recibe trabajo en forma adiabática, aumenta su energía interna y, si se trata de un gas, también aumenta su temperatura.

4| Transformaciones cíclicas.

Las máquinas térmicas trabajan de tal manera que el sistema realiza un ciclo, es decir que, después de varias transformaciones parciales, el sistema vuelve a un mismo estado. Si no sucediera así, las máquinas deberían ser muy grandes o entregar muy poco trabajo.

Si el sistema de la figura de la derecha recibe calor cuando el émbolo está en la posición A, entregará trabajo al medio exterior cuando comience a expandirse, pero dejará de hacerlo si no sigue expandiéndose y, para lograr esto último, se necesitaría un cilindro muy grande. En cambio, si el émbolo se detiene en B y retorna al estado A para comenzar nuevamente, y en cada ciclo entrega algo de trabajo, el sistema puede ser relativamente pequeño y funcionar permanentemente. En este ejemplo, el sistema gaseoso cumple un ciclo cada vez que el émbolo vuelve al punto A.

En un ciclo completo, el sistema tiene los estados inicial y final iguales, por lo que no existe variación de la energía interna:

$$\begin{aligned} \Delta U &= U_A - U_A \\ \Delta U &= 0 \end{aligned}$$

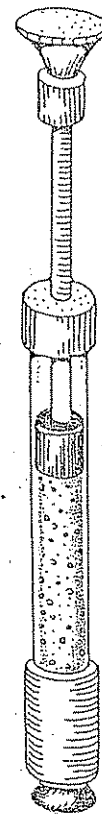
La expresión (2), para un sistema que completa un ciclo, se expresa:

$$Q - L = 0$$

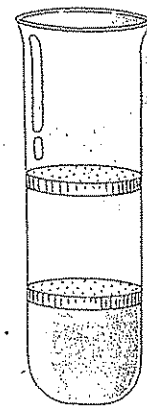
o, lo que es lo mismo:

$$Q = L$$

En un ciclo, el calor intercambiado por el sistema con el medio exterior es igual al trabajo realizado.



Encendedor de yesca. Estos encendedores se usaban antiguamente. La yesca, un material seco y fácilmente inflamable, hecho con tela u hojas secas, se colocaba en el interior del cilindro. Al producirse una rápida compresión —prácticamente adiabática— dentro del cilindro, el aumento de la temperatura provocaba la combustión de la yesca.



Si el sistema entregara trabajo en forma no cíclica, solo podría hacerlo hasta donde el tamaño del tubo se lo permitiera.

El Segundo Principio de la Termodinámica

En el Primer Principio de la Termodinámica se postula la conservación de la energía, pues se enuncia que, si dos cuerpos intercambian energía entre sí, la energía perdida por uno de ellos es igual a la ganada por el otro. El Segundo Principio de la Termodinámica permite predecir el sentido en que evolucionarán los sistemas.

Por ejemplo, se colocan en un termo 10 g de hielo a 0 °C y 100 g de agua líquida a 8 °C. Como el hielo está a menor temperatura, el calor que recibe del agua líquida lo funde. Para fundirse totalmente, el hielo requiere una cantidad de calor que se calcula:

$$Q_1 = m \cdot l_f \quad \left(\text{siendo el calor de fusión del hielo } 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}} \right).$$

Es decir que, para fundirse, el hielo requiere

$$Q_1 = 10 \text{ g} \cdot 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}} = 800 \text{ cal}$$

Al entregar las 800 calorías, el agua líquida se enfría:

$$Q_2 = c_{\text{agua}} \cdot m \cdot \Delta t$$

En este caso:

$$-800 \text{ cal} = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \cdot 100 \text{ g} \cdot \Delta t$$

por lo que la variación en la temperatura del agua ha sido:

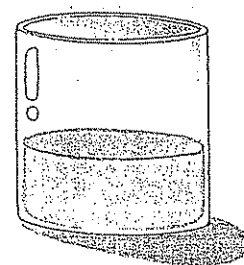
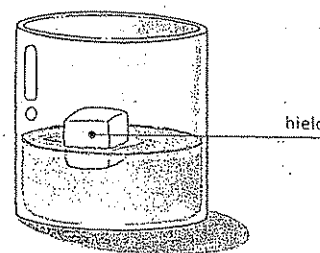
$$\Delta t = \frac{-800 \text{ cal}}{1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \cdot 100 \text{ g}}$$

$$\Delta t = -8 \text{ }^\circ\text{C}$$

La temperatura del agua descendió 8 °C, es decir que el sistema completo quedó a 0 °C.

¿Podría haberse dado la situación inversa? Es decir, ¿será posible que a partir de 110 g de agua a 0 °C se forme espontáneamente un bloque de hielo de 10 g a 0 °C, mientras que los 100 g de agua restantes quedan a 8 °C? El hielo, al formarse, cedería 800 calorías y el agua líquida, al pasar de 0 °C a 8 °C, absorbería exactamente esa cantidad de calor. En este caso, el agua que cambia de estado a 0 °C le debería ceder calor al resto del líquido que va aumentando su temperatura. Sin embargo, este proceso no ocurre, aunque cumple perfectamente con el principio de la conservación de la energía.

Para dar cuenta de esta imposibilidad, el físico alemán Rudolf Clausius (1822-1888) propuso, en 1850, un enunciado para el Segundo Principio de la Termodinámica, que se puede expresar de la siguiente manera: *No existe ningún proceso cuyo único efecto sea el pasaje de calor desde un cuerpo a menor temperatura a otro de mayor temperatura.* El calor es una transferencia de energía entre cuerpos a diferentes temperaturas y pasa espontá-



El recipiente de arriba contiene 100 g de agua líquida a 8 °C y un cubito de 10 g de hielo a 0 °C. El de abajo, 110 g de agua líquida a 0 °C. ¿Cuál es el estado inicial y cuál, el final? El Segundo Principio de la Termodinámica permite predecir el sentido en que se producirán los procesos físicos.

neamente del más caliente al más frío. No existen procesos en los que ocurra lo contrario, aunque en esos supuestos procesos se cumpla teóricamente el primer principio.

Cuando se requiere el pasaje de calor desde una fuente a baja temperatura a otra de temperatura mayor, hay que gastar trabajo extra, es decir, hay que recurrir a una máquina frigorífica que funciona si se le aporta energía en forma de trabajo.

Existen otras situaciones en las que los procesos no ocurren, aunque la energía se conserve.

Por ejemplo, si a una rueda que gira con una energía cinética de 80 J se le aplica un freno que la detiene, el freno y la rueda aumentan su energía interna en 80 J, y esto puede percibirse porque se calientan. No existen limitaciones para transformar totalmente la energía mecánica de un sistema en energía interna.

¿Podría darse el caso inverso? La situación comenzaría en el estado final del ejemplo anterior. La rueda y el freno se enfriarían perdiendo 80 J de su energía interna y la rueda comenzaría a girar sola hasta alcanzar una velocidad que implique que su energía cinética es de 80 joules.

En ambas situaciones, la energía se ha conservado; sin embargo, no es posible transformar íntegramente la energía interna en mecánica. Si así fuera, no habría problemas energéticos de ningún tipo. Un automóvil podría transformar la energía interna de la atmósfera en energía mecánica y no requeriría combustible, y un barco tendría a su disposición la energía interna del mar.

En 1849, el físico inglés William Thomson (1824-1907), que luego tomó el título de lord Kelvin, propuso otro enunciado del Segundo Principio de la Termodinámica, que se puede expresar de la siguiente manera: *No es posible un proceso cuyo único resultado sea transformar en trabajo la energía interna de una única fuente térmica.*

Según este enunciado, para extraer trabajo de un sistema se requieren, por lo menos, dos fuentes, que deben encontrarse a temperaturas diferentes.

Aunque los enunciados propuestos por Clausius y Kelvin para el segundo principio parecen muy diferentes entre sí, en realidad son equivalentes: al negar uno de los enunciados se niega el otro. Kelvin se basó en los trabajos de Carnot, quien ya había demostrado ideas equivalentes a las que establece el segundo principio. Los escritos de Carnot estaban relacionados con las máquinas térmicas y con sus rendimientos. El rendimiento se define como el cociente entre el trabajo entregado por la máquina y el calor que recibe:

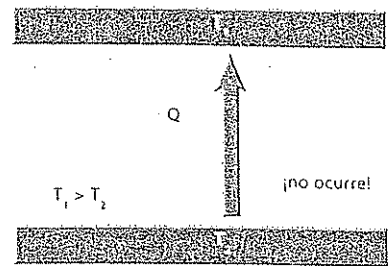
$$\eta = \frac{L}{Q_1}$$

Es decir que una máquina que en cada ciclo realice un trabajo de 100 joules, absorbiendo para ello 400 J, tendría un rendimiento:

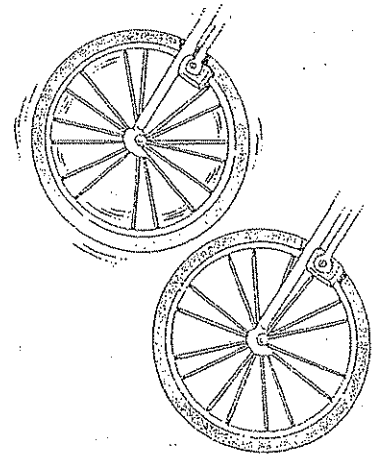
$$\eta = \frac{100 \text{ J}}{400 \text{ J}}$$

$$\eta = 0,25$$

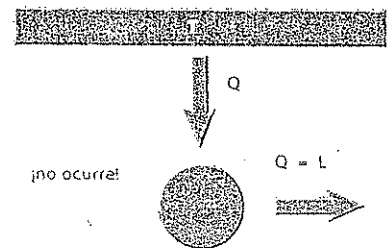
Muchas veces, el rendimiento se expresa en términos porcentuales, indicando cuál es el porcentaje del calor recibido que se transforma en trabajo; en este caso, es de un 25 %. Una máquina con un rendimiento de 0,4 haría más trabajo absorbiendo igual cantidad de calor.



No es posible el pasaje espontáneo de calor desde cuerpos de menor temperatura a otros cuerpos cuyas temperaturas sean mayores.



El sistema está constituido por la rueda y el freno. Al aplicar el freno, la rueda se detiene y se eleva la temperatura del sistema. ¿Es posible que, con la rueda detenida, el sistema disminuya su temperatura y la rueda gire espontáneamente?



No es posible extraer calor de una única fuente y convertirlo íntegramente en trabajo.

Las conclusiones de Carnot

En sus investigaciones, Carnot llegó a la conclusión de que el rendimiento de las máquinas térmicas depende de las temperaturas absolutas de las fuentes con las que intercambian calor.

El máximo rendimiento que puede tener una máquina térmica, que trabaja entre dos fuentes a temperaturas absolutas T_1 y T_2 , se calcula de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Por ejemplo, una máquina que extrae calor de una caldera a 427°C y cede calor a la atmósfera a 27°C , tendrá como máximo el siguiente rendimiento teórico:

$$T_1 = (427 + 273)\text{ K} = 700\text{ K} \quad \text{y} \quad T_2 = (27 + 273)\text{ K} = 300\text{ K}$$

$$\eta = \frac{700\text{ K} - 300\text{ K}}{700\text{ K}}$$
$$\eta = 0,57$$

Ninguna máquina térmica que trabaje entre estas dos temperaturas puede tener mayor rendimiento. En realidad, las máquinas tienen menor rendimiento que este valor teórico.

Según el enunciado de Kelvin, para que una máquina funcione siempre debe haber por lo menos dos fuentes térmicas a diferentes temperaturas, que intercambien calor con el sistema; es decir que el rendimiento siempre es menor que 1. Decir que no puede haber una máquina térmica con un rendimiento igual a 1 constituye otra forma de enunciar el Segundo Principio de la Termodinámica.

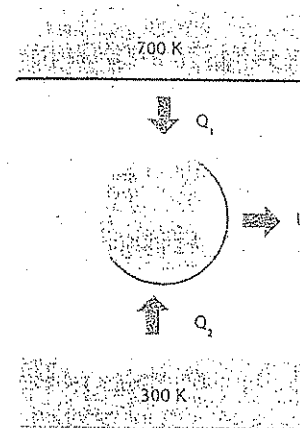
Teóricamente, el rendimiento máximo que tendría el motor de un automóvil que sigue el ciclo Otto es del orden de 0,6, pero en la realidad solo se llega a valores cercanos a 0,2. Es decir que solo el 20 % del calor cedido a partir de la combustión se utiliza en trabajo; el resto, se disipa en la atmósfera.

Cuando una máquina térmica funciona, necesariamente cede calor a las fuentes más frías. Esta energía cedida ya no es útil para hacer funcionar a la máquina nuevamente. En los procesos naturales, la energía también sufre un proceso de degradación que la hace menos útil para su uso.

Esta evidencia constituye otra forma de comprender el Segundo Principio de la Termodinámica: en todos los procesos, parte de la energía necesariamente se degrada, es decir que, pese a conservarse, pasa a un estado más desordenado, que es menos útil.

Así como a una casa ingresa agua potable útil y sale agua "degradada"—que ya no es potable y, por lo tanto, resulta menos útil—, en el motor de un auto entra energía ordenada en las moléculas del combustible. Al cederse calor, se aumenta la energía interna del aire cuyas partículas están más desordenadas que las del combustible, de modo que resulta más difícil extraer trabajo.

Por ejemplo, si una máquina cede calor al ambiente, que se encuentra a 20°C , para utilizar esa energía habría que hacer funcionar otra máquina que opere entre esa temperatura y otra mucho más baja.



Una máquina térmica que funcione entre fuentes de 700 K y 300 K tiene como límite de su rendimiento un 57 %.

La entropía

Los distintos enunciados del Segundo Principio de la Termodinámica, o sus consecuencias, se refieren a transformaciones que no pueden ocurrir pese a que, si ocurrieran, no violarían el primer principio.

Para sintetizar: el calor no pasa espontáneamente desde cuerpos de menor temperatura a otros de mayor temperatura. No es posible transformar todo el calor extraído de una única fuente térmica en trabajo; se requieren, por lo menos, dos fuentes que se encuentren a distintas temperaturas, pues una parte del calor necesariamente se transfiere a la fuente más fría. Por otra parte, la energía cedida a la fuente más fría se degrada de alguna manera, ya que no resulta útil para su transformación en trabajo.

Estos enunciados indican lo que no puede pasar, pero no predicen el sentido que deberá seguir una transformación.

Cuando se afirma que un cubito de hielo colocado en agua se funde, pero que el agua no forma espontáneamente un cubito, o cuando se dice que una rueda al frenar calienta el freno, pero que el freno no puede hacer girar a la rueda al enfriarse, se puede partir de la evidencia de que esas cosas no ocurren, pero, en situaciones menos conocidas, podría ser difícil predecir lo que ocurrirá.

Para resolver este problema, el físico alemán Rudolf Clausius propuso una función de estado cuya variación permite predecir el sentido en que se producirá una transformación espontáneamente.

A partir de esta función, que se denomina *entropía*, el Segundo Principio de la Termodinámica se puede expresar de la siguiente manera: *En toda transformación real, la entropía de un sistema, más la del medio exterior, aumenta.* Es decir que en todo proceso natural la entropía del universo aumenta.

Ante una posible transformación, se calcula la variación de entropía que experimentaría el sistema y se la suma a la que experimentaría el medio exterior. Si el resultado de esta suma es positivo, esto significa que la entropía aumenta y, por lo tanto, la transformación puede ocurrir. En cambio, si el resultado es negativo —es decir, si la entropía disminuye—, ese proceso no ocurre. Por último, si la variación de entropía fuera igual a cero, la transformación sería ideal. Estas transformaciones ideales, llamadas *reversibles*, son teóricamente posibles, pero no se dan espontáneamente.

Cálculo de la variación de la entropía

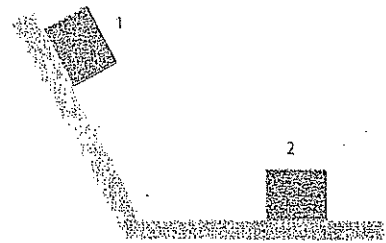
La variación de la entropía se expresa como ΔS y se calcula según la siguiente fórmula:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

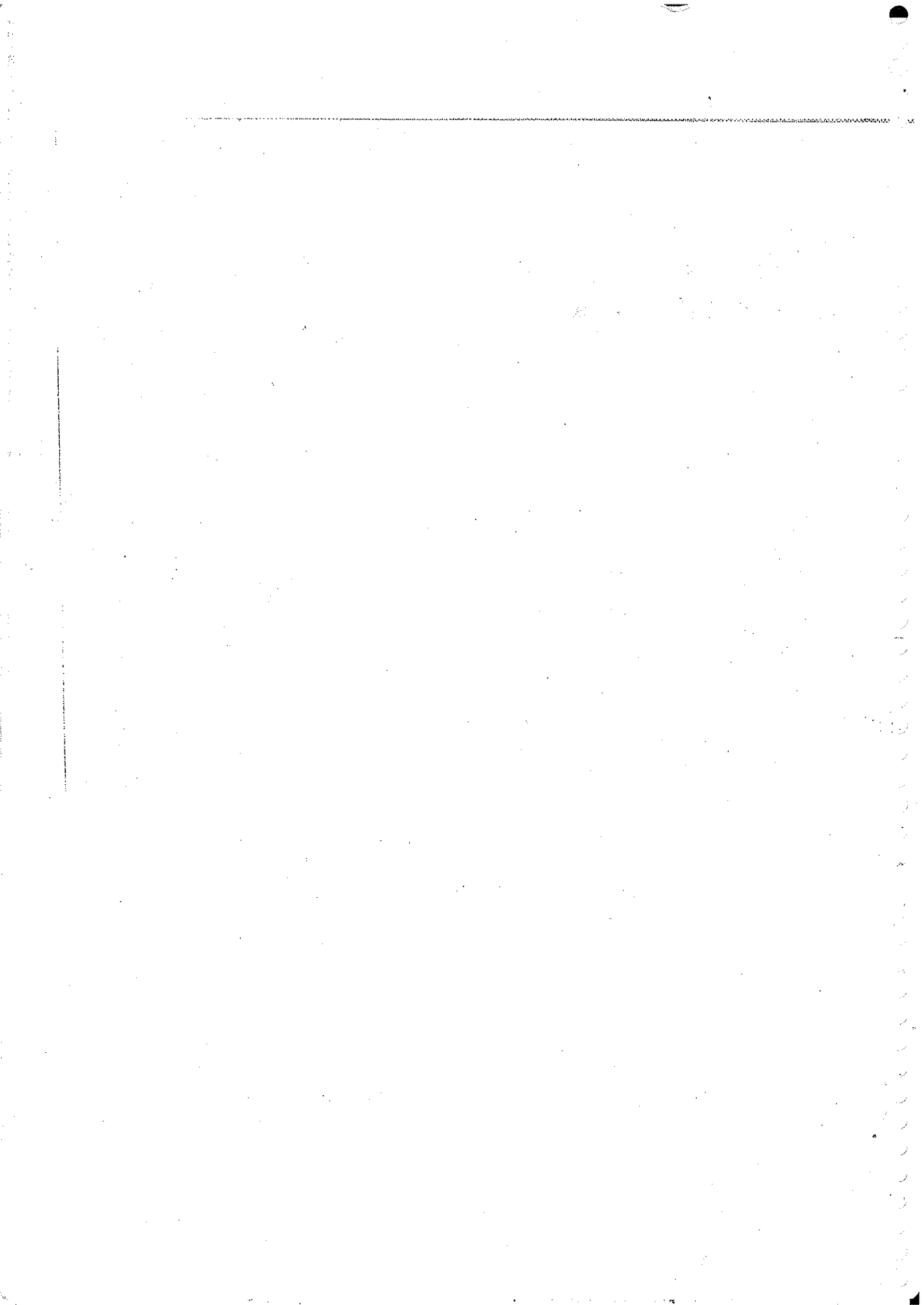
Donde ΔS es la variación de la entropía experimentada por un sistema que intercambia calor por un valor ΔQ a una temperatura absoluta T . La entropía se mide en joules sobre grado Kelvin.

Si la temperatura cambia durante la transformación, esta operación se complica desde el punto de vista matemático, ya que se requiere un cálculo integral.

De todas maneras, durante procesos a temperatura constante, como los cambios de estado o cuando la temperatura varía muy poco, es posible realizar cálculos utilizando la expresión anterior.

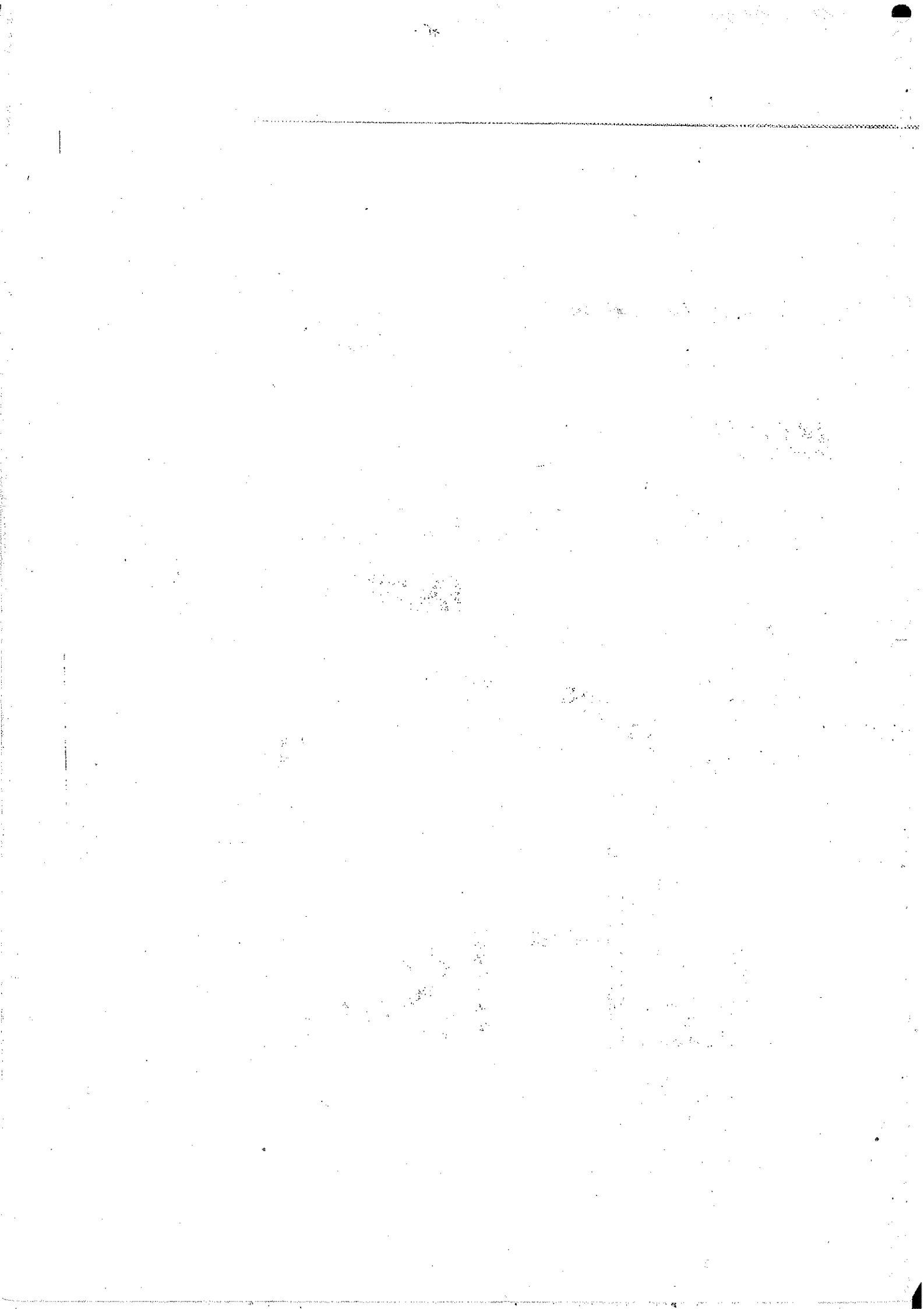


Una caja cae por una rampa desde el punto 1 y se detiene en 2. En el proceso, su energía pasa al aire y produce aumentos de temperatura: la entropía del universo aumenta. Si la caja pasara espontáneamente desde 2 hasta 1, la entropía del universo disminuiría; por tal motivo, esto no ocurre.



marco práctico

Física



Actividad N° 1: Marco Teórico.

La Energía: Conceptos, formas y propiedades

- 1) ¿Qué es la energía?
- 2) ¿Cómo se define en física a la energía?
- 3) ¿Cómo se evidencia la existencia de energía?
- 4) ¿En que unidades físicas se mide la energía?
- 5) ¿Cuáles son los mecanismos de transferencia de la energía? Enumérelos y describa brevemente cada uno de ellos.
- 6) El Sol es la fuente de casi toda la energía que aprovechamos en La Tierra. Investigue y explique este fenómeno.
- 7) Existen varias clasificaciones relacionadas con los tipos de energía; ¿cuales son más relevantes desde el punto de vista de la física?
- 8) ¿Qué se entiende por conservación de la energía?
- 10) ¿Se podrían enumerar en forma cronológica cinco desarrollos o inventos que hayan sido trascendentales para el uso de la energía? ¿Cuáles serían? Explique brevemente cada uno de ellos.

Actividad N° 2: Marco Teórico.

Trabajo y Energía Mecánica

- 1) Definir trabajo con su respectiva expresión matemática.
- 2) Que puede decir respecto a la expresión:

$$L = \Delta E$$

- 3) ¿A que se denomina energía mecánica?
- 4) ¿Cuales son los dos tipos de energía que componen a la energía mecánica? Expresar matemáticamente cada una de ellas.
- 5) Definir energía potencial gravitatoria con su respectiva expresión matemática.

6) ¿Cuándo un cuerpo tiene energía potencial nula y cuando su energía se considera negativa?

7) Definir energía cinética con su respectiva expresión matemática.

8) ¿A que variables esta sujeta la energía cinética? ¿Cómo se relacionan?

9) Dar un ejemplo de transformación de la energía mecánica.

10) Indicar como varía la energía cinética de un cuerpo, si su velocidad:

- a) Se duplica
- b) Se triplica
- c) Se reduce a la mitad.

11) Un paracaidista desciende en caída libre con dirección a la tierra. Responder:

- a) ¿Qué ocurre con su energía potencial?
- b) ¿Qué ocurre con su energía cinética?
- c) ¿Qué ocurre con su energía mecánica?

12) Un automóvil pequeño y un camión se mueven a la misma velocidad. ¿Cuál de los dos tiene mayor energía cinética? (Conteste y justifique la respuesta)

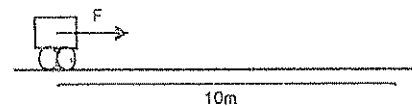
Actividad N° 3: Marco Práctico.

Problemas Cuantitativos

Trabajo y Energía Mecánica

1) Calcular el trabajo realizado por un móvil al recorrer 10 m, sabiendo que se le aplica una fuerza de 4 kgf. Expresar el resultado del problema en joules.

Rtas: 392 J



2) Expresar un trabajo realizado de 25000 J. en kJ (kilo joules) y kgrn.

3] A un carro de 30 Kg. de masa se le aplica una fuerza de 60 N y esto hace que recorra una distancia de 15 metros, manteniendo la fuerza aplicada durante todo el desplazamiento. Calcular el trabajo ejercido por el carrito durante ese recorrido. Rta: 900 J.

4] Un hombre empuja horizontalmente un bloque con una fuerza de 300 N. Calcular el trabajo realizado sobre el bloque si:

- a) Este se mueve dos metros paralelamente a la fuerza
- b) El bloque no se mueve.

Rtas: 600 J ; 0.

5] Se deja caer un cuerpo de 6 kg de masa desde lo alto de un edificio de 45 metros. ¿Que trabajo realiza el cuerpo? Rta: 2646 J.

6] Un cuerpo de 9 Kg cae desde una altura de 20 m. Calcular la pérdida de energía potencial en J y kJ que experimenta dicho cuerpo. Rta: 1764 J; 1,764 kJ.

7] A que altura debe ser elevado un cuerpo de 49 N. para que su energía potencial aumente a 490 joules. Rta: 10 m.

8] Una esfera de 147 N. es elevada hasta una altura de 3,50 m sobre el nivel del suelo. Calcular:

- a) Su energía potencial en unidades del sistema internacional
- b) El trabajo que fue necesario realizar para elevar el cuerpo a esa altura.

Rta: 514,5 J.

9] Calcular la energía cinética que posee un cuerpo de 15.kg si lleva una velocidad de 20 m/s. Rta: 3 kJ.



10] Un proyectil de 10 g. (gramos) lleva una velocidad de 800 m/s. Hallar la Ec del proyectil. Rta: 3200 J.

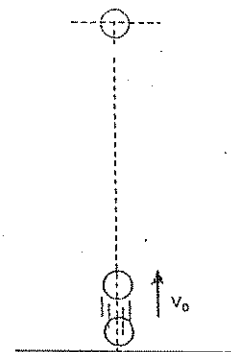
11] Un móvil de 50 kg posee una energía cinética de 2500 J. Se quiere saber la velocidad del móvil. Rta: 36 km/h \rightarrow 10 m/s

12] Para elevar un cuerpo a una determinada altura, es necesario realizar un trabajo de 200 kgm. Luego se suelta y se deja caer libremente. ¿Con que Ec llega al suelo?

13] Una piedra cuyo peso es de 98 N es lanzada verticalmente hacia arriba desde el nivel del suelo con una velocidad de 30 m/s. Determinar:

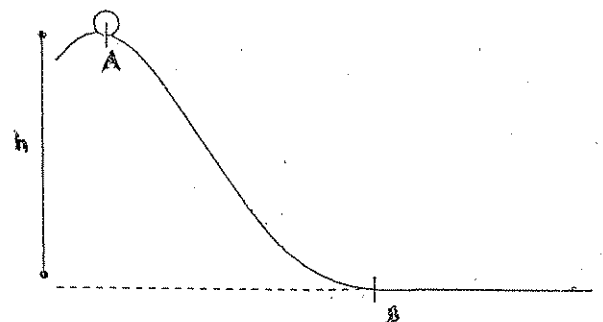
- a) Energía cinética inicial.
- b) Energía potencial inicial.
- c) Energía potencial en su altura máxima.
- d) Energía cinética en la altura máxima.

Rtas: 4500 J. ; 0 J. ; 4500 m ; 0 J



14] Un cuerpo de 2 Kg. se suelta desde el punto A (10 m) Hallar:

- a) La velocidad con que llega a B.
- b) El L_{AB}

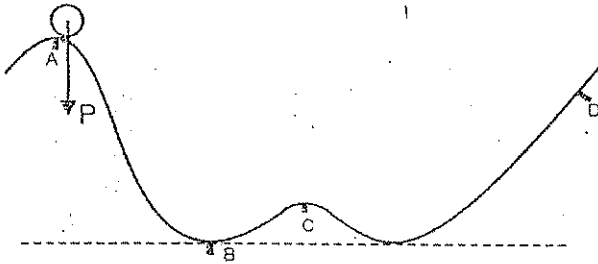


Rta: 14 m/seg ; 196 J

15] Dado el siguiente esquema determinar:

- Desde que altura se debe soltar al cuerpo en A para que pase por D con velocidad de 2 m/seg.
- La velocidad del cuerpo al pasar por B.
- La velocidad con que pasa por C.

$P = 4 \text{ kgf.}$
 $h_C = 2 \text{ m.}$
 $h_D = 5 \text{ m.}$
 $v_D = 2 \text{ m/seg.}$



Rtas: 5,2 m ; 10,1 m/seg ; 7,92 m/seg.

Actividad N° 4: Marco Práctico.

Problemas Cuantitativos
Potencia y Energía

1] La potencia que tiene un motor es de 4000 kgm/s. Expresar este valor en watt (w), kilowatt (kw) y caballos de potencia (HP). Rtas: 39200 w; 39,2 kw; 53,3 HP.

2] ¿Cual es la potencia necesaria para trasladar un cuerpo si para lograrlo se deben transferir 200 kJ de energía durante 8 segundos? Expresar el resultado en HP.
Rta: 34 HP

3] Determinar la potencia de un motor en w, kw, kgm/s y HP, capaz de levantar un cuerpo que tiene una masa de 100 kg. hasta una altura de 15 m en medio minuto. Rta: 490 w / 0,49 kw. / 50 kgm/s. ; 0,7 HP .

4] Un motor efectúa un trabajo de 8 kwh. en media hora. Calcular la potencia en kw y HP.
Rta: 16 kw ; 21,8 HP.

5] La potencia de una maquina es de 900 watt. Calcular la energía que transfiere en un minuto.
Rta: 54 kJ.

6] Calcular la potencia que debe realizar una persona para levantar un cuerpo de 20 N a una altura de 2 metros en 2 segundos.
Rta: 20 w

7] Un calefón eléctrico tiene una potencia de 1,5 kw. Calcular:

- cuanto cuesta calentar agua durante 2 horas y 30 minutos sabiendo que 1 kwh cuesta \$ 0,07.
- La potencia del calefón en HP.

Rta: \$ 0,26; 2hp

Actividad N° 5: Marco Teórico.

Temperatura

1] ¿Cómo se llama el instrumento que se utiliza para medir la temperatura? (1)

2] ¿A que se denominan variables termométrica? Nombre tres de ellas y ejemplifique. (2)

3] ¿Cuándo un cuerpo puede sufrir una modificación en su temperatura? (2)

4] Explicar los siguientes conceptos:

- Temperatura (3)
- Equilibrio térmico (3)
- Cero absoluto

5] Establecer las referencias, parámetros y equivalencias de las escalas termométricas Celsius, Fahrenheit y Kelvin. (2)

Actividad N° 6: Marco Práctico.

Escalas Termométricas

1] Un termómetro centígrado marca 25°C como temperatura de una habitación. ¿Cuánto marcará en Fahrenheit? Rta: 77°F.

2] Se desea conocer la temperatura: a) En °C de 0°F; b) Del cuerpo humano en °F, suponiendo una temperatura media de 36,9°C. Rtas: -17,8°C; 98,42°F.

3] Expresar el punto de ebullición del agua en escalas Celsius, Fahrenheit y Kelvin. Rtas: 100°C; 212°F; 373°K.

4] Las temperaturas de fusión y de ebullición del:

- a) Etano, son de -170°C y -104°C respectivamente,
b) Butano, son de -216,4°F y -43,6°F respectivamente.

Calcular dichas temperaturas en °F y °C en cada caso.

Rtas: -274°F; -155,2°F; -138°C; -42°C.

5] El Propileno tiene un punto de fusión de -185°C y el Metano de -297,4°F. ¿Cuál de los dos tiene menor temperatura de fusión? Rta: El Propileno.

6] El Éter tiene un punto de ebullición de 95°F y el Alcohol Metílico de 65°C. Indicar cual de ellos tiene mayor temperatura de ebullición. Rta: El Alcohol Metílico.

7] Expresar en escala Kelvin las temperaturas siguientes: a) 50°C, b) 0°C, c) -35°C. Rtas: 323°K; 273°K; 238°K.

8] Expresar en escala Kelvin las temperaturas siguientes: a) 72°F, b) 0°F, c) -215°F. Rtas: 295,2°K; 255,3°K; 135,8°K.

9] Expresar en grados Fahrenheit el cero absoluto. Rta: -459,4°F.

10] ¿A que temperatura los termómetros Fahrenheit y Celsius marcaran lo mismo? Rtas: -40°C; -40°F.

Actividad N° 7: Marco Teórico.

Temperatura y Dilatación.

1] ¿A que se denomina fenómeno de dilatación?

2] ¿Que factores se deben tener en cuenta en la dilatación cúbica de un cuerpo? ¿Como quedan expresadas matemáticamente estas condiciones?

3] Transcriba la tabla de los coeficientes de dilatación lineal del cuadernillo y agregando otra columna obtenga los coeficientes de dilatación cúbica para cada material ahí detallado.

4] Establezca la diferencia entre la dilatación cúbica con la dilatación lineal expresando para esta última su respectiva expresión matemática.

5] Explique el fenómeno anómalo en la dilatación del agua.

6] Realice un esquema y describa la dinámica del agua en el proceso de congelamiento de un lago en época invernal.

7] Representar gráficamente el volumen en litros de un kilogramo de agua en función de la temperatura.

Actividad N° 8: Marco Práctico.

Dilatación de los materiales

1] ¿Cuál es la variación de la longitud de una de las vías de acero que une Buenos Aires con Mar Del Plata (400 km) entre un día de invierno, con una temperatura de 5 °C, y uno de verano, cuando la temperatura se eleva a 35 °C?

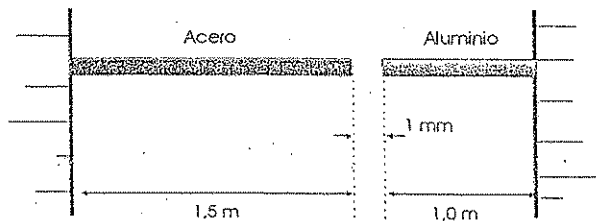
2] Un puente de hierro dilata 6 cm cuando la temperatura asciende de 8 °C a 40 °C ¿Cuál es la longitud del puente a 8 °C?

3] Se carga un camión cisterna con 10.000 litros de nafta a una temperatura de 20 °C. Al llegar al lugar de descarga, la temperatura aumento a 30 °C.

¿Cuántos litros de nafta transporta el camión al finalizar el viaje?

4] Un recipiente de vidrio contiene 1000 cm^3 de mercurio que llegan justo hasta el borde. Todo el sistema se encuentra a 20°C ¿Cuánto mercurio se derramará si se eleva la temperatura del sistema hasta 70°C ?

5] Dos barras, una de y otra de aluminio, están fijadas en uno de sus extremos y se encuentran separadas 1 mm cuando sus temperaturas son de 20°C ¿A que temperatura se tocan entre sí?



Actividad N° 9: Marco Teórico.
Energía Térmica – Calor

- 1] Defina el concepto de calor
- 2] ¿A que se llama sistema adiabático?
- 3] ¿Qué es la caloría? ¿Cuál es su equivalente mecánico en unidades del S.I.M.E.L.A.?
- 4] ¿Qué relación de proporcionalidad existe entre el intercambio de calor y la variación de temperatura?
- 5] Además de la temperatura ¿Que propiedades de los cuerpos son preponderantes al momento de estudiar intercambios térmicos? Ejemplifique
- 6] Escriba la ecuación fundamental de la calorimetría
- 7] ¿A que se denomina calor específico?

Actividad N° 10: Marco Práctico.
Calorimetría.

1] Calcular la cantidad de energía térmica que debe suministrar un termo tanque a 120 kg de agua para elevar su temperatura de 20°C a 35°C .
Rta: 1800 kcal.

2] Determinar la cantidad de calor que se requiere para elevar la temperatura de una olla de aluminio de 300 g desde 25°C hasta 100°C (en cal y kcal).
Rtas: $4882,5 \text{ cal}; 4,8825 \text{ kcal.}$

3] Determinar la cantidad de calor y su equivalente en joules que es necesario suministrarle a medio litro de alcohol (395 g) para que su temperatura se eleve desde los 33°C hasta su punto de ebullición.
Rtas: $12,19 \text{ kcal}; 5,1048.104 \text{ J.}$

4] Calcular la capacidad térmica de 1 kilogramo de hierro. Rta: $115 \text{ cal / }^\circ\text{C.}$

5] Un termómetro cuya masa es de 30 g contiene 50 g de mercurio. Calcular la capacidad térmica del conjunto. Rtas: $32,02 \text{ J / }^\circ\text{C.}$

6] Calcular la cantidad de kilocalorías que deben ceder 800 gramos de agua que se encuentran a 100°C para disminuir su temperatura a 10°C .
Rta: -72 kcal.

7] Un cuerpo de 200 g absorbe 1200 cal produciéndose una variación de la temperatura de 80°C . Determinar: a) La capacidad térmica del cuerpo; b) El calor específico del mismo.
Rtas: $15 \text{ cal / }^\circ\text{C}; 0,075 \text{ cal / g }^\circ\text{C.}$

8] Un bloque de hierro de 250 g se encuentra a 200°C . Determinar la cantidad de calor que debe ceder ese cuerpo para que disminuya su temperatura hasta 20°C . Rta: -5175 cal.

9] Un calentador eléctrico recibe 6 litros de agua a 15°C por minuto y eleva su temperatura hasta 35°C ¿Cuál es la potencia mínima del calentador?
Rta: $8,36 \text{ KW.}$

10] Para calcular la potencia de un calentador de inmersión se lo coloca dentro de un termo que contiene 800 cm^3 de agua a $22 \text{ }^\circ\text{C}$. Al conectarlo durante cuatro minutos la temperatura del agua se eleva hasta $88 \text{ }^\circ\text{C}$. Hallar la potencia del calentador.

Rta: 920 W

Actividad N° 11: Marco Teórico.

La energía térmica y los estados de la materia

1] ¿Cuáles son los tres estados de agregación principales de la materia?

2] Describa dichos estados según su forma, volumen y compresibilidad.

3] Realice un esquema indicando los distintos cambios de estado y describir cada uno de ellos.

4] ¿Qué ocurre con el calor absorbido durante un cambio de estado? Ejemplifique

5] ¿A que se denomina punto de ebullición y a que punto de fusión? Dar un ejemplo.

6] Defina sistema material

7] ¿A que se denomina calor latente? ¿Cual es su unidad de medida y expresión matemática?

8] Desarrollar paso a paso en la carpeta el proceso de fusión del hielo

9] Indicar los cambios de estado que se producen si:

- Un gramo de hielo absorbe 80 calorías sin variar su temperatura.
- Un gramo de agua cede 80 calorías sin variar su temperatura
- Un gramo de agua absorbe 80 calorías aumentando su temperatura

10] ¿Como influye la presión en los cambios de estado de las sustancias?

Actividad N° 12: Marco Práctico.

Cambios de estado – Calor latente

1] Calcular la cantidad de calor requerida para fundir 1 kg de plomo. Rta: 5500 cal.

2] Hallar la cantidad de calor que hay que suministrarle a:

- 1500g de aluminio que se encuentran a temperatura de fusión para que se funda totalmente.
- 2 kg de hielo en las mismas condiciones.
- 300 mg de mercurio a los mismos efectos.

Rtas: 115,5 kcal ; 160 kcal , 0,84 cal

3] Calcular la cantidad de calor que debe absorber 500 g de oro que se encuentran en estado sólido y a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ para fundirlo totalmente. Rta: 24208 cal

4] Calcular la cantidad de calor que ha debido ceder una masa de 200 g de agua que estaba a $30 \text{ }^\circ\text{C}$ para transformarse en la misma masa de hielo hasta alcanzar una temperatura de $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ a presión normal. Rta: -23 kcal

5] Determinar el calor absorbido por una bolsa de rolito (agua en estado sólido) de 5 kg y a $-17 \text{ }^\circ\text{C}$ al derretirse y alcanzar en toda su masa una temperatura de $8 \text{ }^\circ\text{C}$. Rta: 482 kcal

Actividad N° 13: Marco Teórico.

Transmisión del calor I

1] ¿Cuáles son las tres formas en que se puede transmitir el calor? Ejemplifique.

2] Explique el proceso de transmisión de calor por conducción. Dar un ejemplo.

3] ¿Qué materiales son considerados buenos conductores térmicos?

4] Al tocar distintos cuerpos podemos tener la sensación de "frio" o de "caliente". ¿A que se debe este fenómeno? Explique y de un ejemplo.

5] ¿A que se denomina régimen estacionario? Ejemplifique mediante un esquema.

6] Coeficiente de conductividad térmica. ¿Qué puede decir al respecto?

7] Explique el proceso de transmisión de calor por convección. Dar un ejemplo.

8] Explique el proceso de transmisión de calor por radiación. Dar un ejemplo.

9] Dentro del espectro electromagnético ¿Qué radiación está más relacionada con la energía térmica?

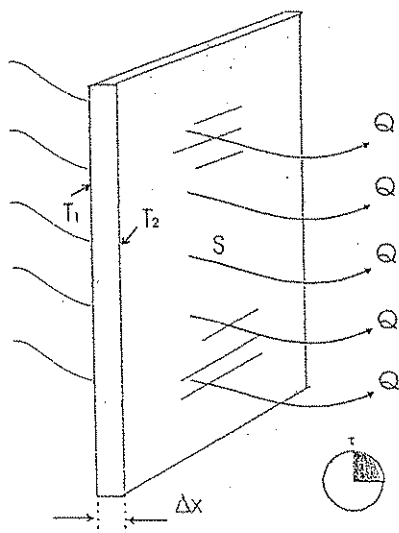
10] ¿A qué se denomina cuerpo negro? ¿Qué es el coeficiente de emisión?

Actividad N° 14: Marco Practico.

Propagación del calor por conducción

1] Una pared de ladrillos de 10 m^2 de superficie y 20 cm de espesor separa una habitación que se encuentra a $20 \text{ }^\circ\text{C}$, del exterior, que se encuentra a $5 \text{ }^\circ\text{C}$. Calcular la cantidad de calor que se propaga por segundo de la habitación hacia el exterior.

Rta: $900 \text{ W} \Rightarrow 900 \text{ J/s}$ (Joule por segundo)



2] Contemplando las dimensiones y datos del problema anterior, realice los cálculos correspondientes si la pared fuese:

- a) De Aluminio
- b) De Telgopor

3] Un extremo de una barra de Cinc de 30 cm de longitud y 10 cm^2 de sección está expuesta a la acción del calor producido por un mechero de gas, a una temperatura de $122 \text{ }^\circ\text{C}$, mientras que el otro extremo se encuentra a $22 \text{ }^\circ\text{C}$. Calcular la cantidad de calor que se propaga a través de dicha barra durante $1,5$ minutos. Rta: 900 cal

4] Un trozo de bronce de 5 cm de espesor y 10 cm^2 de superficie está expuesto a una temperatura de $40 \text{ }^\circ\text{C}$ por un lado y $30 \text{ }^\circ\text{C}$ por el otro. Si propaga 750 calorías en $2,5$ minutos, determinar:

- a) El coeficiente de conductividad térmica del bronce
- b) El calor que se propaga por segundo

Rtas: $0,250 \text{ cal/s cm }^\circ\text{C}$; $2,9 \text{ W} \Rightarrow 2,9 \text{ J/s}$

5] Para transportar helados, hay que fabricar recipientes que deben cumplir las siguientes especificaciones: deben ser cúbicos, de 10 cm de arista y estar contruidos en telgopor. La temperatura del helado es de $4 \text{ }^\circ\text{C}$ y se supone que la temperatura media exterior es del orden de los $20 \text{ }^\circ\text{C}$. ¿Cuál es el mínimo espesor del telgopor que se puede utilizar si se desea que el helado no reciba más de 2880 calorías por hora? Rta: $9,6 \text{ mm}$

* Recuerde: Área del cubo = $6 \cdot a^2$

6] Un iglú tiene 2 metros de radio, forma semiesférica y está contruido con bloques de hielo cuyo espesor es de 50 cm . Si la temperatura dentro de la vivienda es de $0 \text{ }^\circ\text{C}$ y la exterior de $-40 \text{ }^\circ\text{C}$:

- a) ¿Cuál es la energía térmica que pasa por segundo al exterior?
- b) ¿Cuánto habría disipado en iguales condiciones una vivienda de igual superficie contruida con ladrillos comunes de 20 cm de espesor?

Rtas: $4420 \text{ W} \Rightarrow 1057 \text{ cal/s}$; $6024 \text{ W} \Rightarrow 1440 \text{ cal/s}$

* Recuerde: Área de la esfera = $4\pi \cdot r^2$

Actividad N° 15: Marco Practico.

Emisión por radiación

1] Calcular la cantidad de energía que irradia, por segundo, un cuerpo esférico de 10 cm de radio que se encuentra a una temperatura de 727 °C. Sabiendo que el coeficiente de emisión de la esfera es de 0,91 indicar el resultado en J/s y su equivalente en kW.

Rta: 6484 J/s ; 6,48 kW

2] Una pequeña esfera de cobre ($e = 0,78$) de 4 cm de radio se calienta hasta 577 °C. Hallar la cantidad de energía irradiada por la esfera durante 2 minutos.

Rta: 13,24 kcal

3] Una chapa de aleación de aluminio cuyo coeficiente de emisión es de 0,45 se encuentra a 207 °C. Determinar la energía que irradia por segundo sabiendo que la superficie de la chapa es de 0,25 m².

Rta: 261,6 W

4] Un cuerpo negro esférico que se encuentra a 600 °C emite 2kW de energía. Calcule su radio.

Rta: 6,9 cm

Actividad N° 16: Marco Teórico.

Termodinámica.

Conceptos fundamentales y el Primer Principio de la Termodinámica

1] ¿Cuál es el objeto de estudio de la termodinámica?

2] Defina los siguientes conceptos:

- a) Sistema
- b) Sistema cerrado
- c) Sistema aislado
- d) Medio exterior

4] ¿Cuándo decimos que un sistema sufre una transformación?

5] ¿Como suelen representarse las transformaciones de un sistema gaseoso?

6] Definir energía interna de un sistema, enunciar sus características y su respectiva expresión matemática.

7] ¿Como se relacionan la energía interna y la temperatura absoluta en un gas ideal?

8] Enunciar el primer principio de la termodinámica con su respectiva expresión matemática.

9] Según la convención de signos:

- a) ¿Cuándo el trabajo es positivo?
- b) ¿Cuándo el trabajo es negativo?

10] Definir y explicar como resulta la aplicación del Primer Principio de la Termodinámica en cada una de las siguientes transformaciones:

- a) Transformación Isobárica
- b) Transformación Isotérmica
- c) Transformación Isocórica
- d) Transformación adiabática

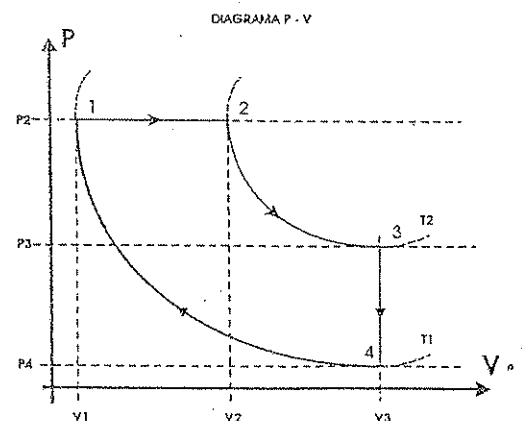
11] ¿A que se llaman transformaciones cíclicas?

Actividad N° 17: Marco Práctico.

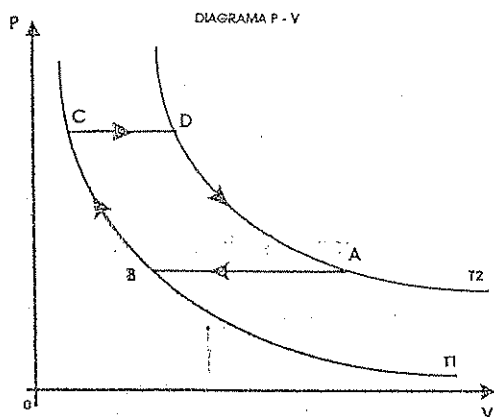
Termodinámica.

El Primer Principio de la Termodinámica

1] En el diagrama se muestra un proceso cíclico, es decir que comienza y termina en el mismo punto 1. Determinar el tipo de proceso e indicar que parámetros (presión, volumen o temperatura) varían desde: a) 1 a 2; b) 2 a 3; c) 3 a 4; d) 4 a 1.



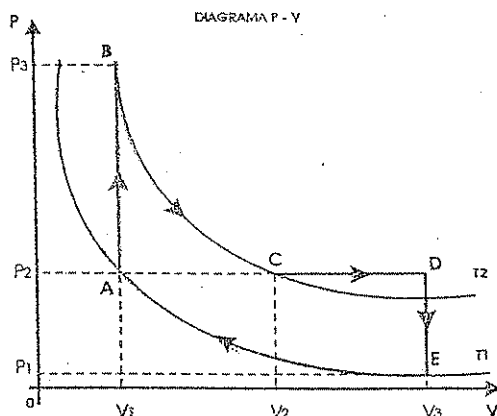
2) En el diagrama que se indica en la figura esta representada una transformación cíclica ABCDA, de un gas perfecto. Indicar que ocurrió en cada caso:



- En la transformación AB, ¿El sistema absorbió o cedió calor?
- En la transformación DA, ¿Cómo fue el trabajo, positivo o negativo?
- En la transformación CD, ¿Qué pasó con la energía interna, aumento o disminuyó?
- En la transformación CD, ¿El sistema absorbió o cedió calor?
- ¿Por que tipo de transformaciones esta constituido este ciclo?

Rtas: a) cede calor; b) positivo; c) aumento; d) absorbió calor del medio exterior; e) por 2 isotermas y 2 isobáricas.

3) Observando el grafico, donde están representadas varias transformaciones de un gas, indicar:

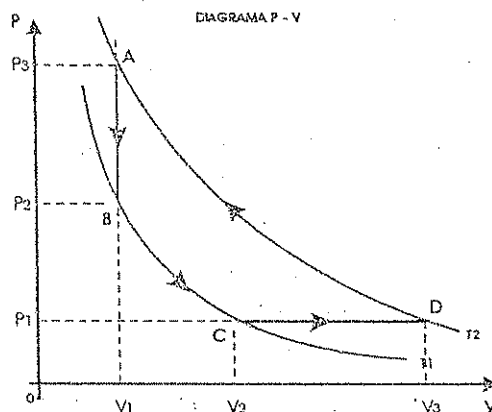


- Si en la transformación AB, se verifico un aumento de la energía interna no habiéndose realizado trabajo.

- ¿Qué sucedió con la energía interna del sistema en la evolución BC?
- En la evolución CD ¿Qué sucedió con el trabajo?
- En DE ¿Que ocurrió con el calor?
- En DE del sistema, ¿Realizo trabajo sobre el medio exterior o se realizo trabajo sobre el sistema?
- En todo el ciclo ¿Que ocurrió con la energía interna?

Rtas: a) si; b) no vario; c) se realizo trabajo sobre el medio; d) hubo intercambio de calor con el medio exterior; e) no se realizo trabajo; f) no sufrió variación.

4) En el diagrama P-V se representa la evolución que experimenta un gas que se encuentra en un estado inicial A y luego de una serie de transformaciones llega nuevamente al estado inicial A, es decir que experimenta una transformación cíclica:



- Analizar cada una de dichas transformaciones respecto de la variación de volumen, el trabajo realizado, la variación de temperatura, la variación de energía interna y la variación de presión.
- Obtener conclusiones para cada caso aplicando el primer principio de la termodinámica.

5) En cada uno de los siguientes casos calcular la variación de energía interna del sistema, suponiendo que:

- El sistema absorbe 3000 calorías y realiza 2508 Joules de trabajo.
- Absorbe 500 calorías y se le aplica un trabajo de 1254 joules.

c) Se extraen 2000 calorías de un gas a volumen constante.

Rtas: 2400 cal; 200 cal; -2000 cal.

6) En las siguientes transformaciones adiabáticas calcular la variación de energía interna, si:

a) Un gas produce trabajo exterior equivalente a 35 Joules en una expansión.

b) Si se le aplica a dicho gas un trabajo de 680 joules en una compresión.

Rtas: -35 J; 680 J

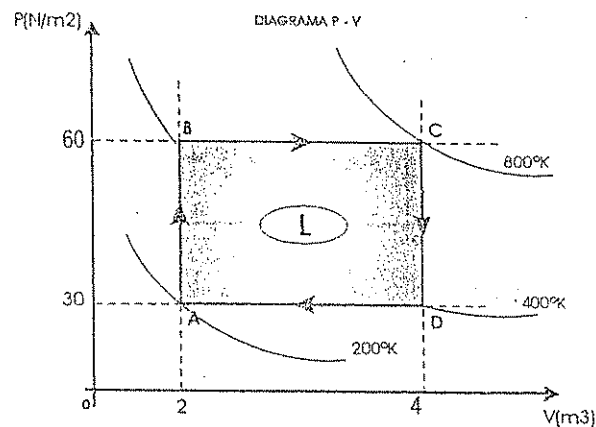
7) En una transformación isobárica, un gas recibió 8500 joules del medio exterior en forma de calor expandiéndose a presión constante de 10^4 N/m^2 . Determinar:

a) El trabajo realizado por el sistema.

b) La variación de energía interna experimentada.

Rtas: 6000 J; 598 cal.

8) En un gas ideal se realizan las transformaciones correspondientes a un proceso cíclico que se indican en el diagrama P-V. Calcular



a) El valor de las variables P_B , V_C y T_D .

b) El trabajo realizado por el gas en la transformación DA.

c) El trabajo neto obtenido en todo el ciclo.

Rtas: 60 N/m²; 4 m³; 400°K; -60 J; 60 J.

9) Calcular el trabajo que efectúa un gas al expandirse desde un volumen de 2 litros hasta un volumen de 12 litros a 2026 kPa, si durante la evolución la temperatura se mantiene constante.

Rta: 7260 J.

10) Hallar la variación de energía interna de un sistema en los siguientes casos:

a) El sistema absorbe 300 calorías y realiza un trabajo de 400 joules.

b) El sistema absorbe 300 calorías y el medio realiza un trabajo de 600 joules sobre el sistema.

Rtas: 854 J; 1854 J.

Actividad N° 18: Marco Teórico.

Termodinámica.

Segundo Principio de la Termodinámica

1) ¿Cuál fue el enunciado propuesto por Kelvin para el segundo principio de la termodinámica?

2) ¿Qué relaciona el Ciclo de Carnot? ¿Cómo se define?

3) ¿Cuáles son las expresiones que permiten calcular el rendimiento de una máquina térmica?

4) ¿Qué describe la entropía en los procesos termodinámicos? Ejemplifique

5) ¿A partir de que ecuación se puede calcular la entropía de un sistema?

Actividad N° 19: Marco Práctico.

Termodinámica.

El Ciclo de Carnot

Rendimiento de una máquina térmica

1) Una máquina térmica absorbe en cada ciclo 10000 calorías de una caldera, cediendo 7500 calorías al medio exterior. Calcular:

a) El trabajo realizado en cada ciclo.

b) El rendimiento térmico de dicha máquina.

Rtas: 10450 J; 25%.

2) Calcular el rendimiento de una máquina térmica que opera en forma cíclica entre 47°C y 322°C.

Rta: 46%.

3) Una máquina térmica realiza 20 ciclos por segundo. En cada ciclo absorbe 1600 joules de la fuente caliente y cede 1000 joules a la fuente fría. Determinar:

- a) El rendimiento de cada ciclo.
 - b) La temperatura de la fuente caliente, si se sabe que la fuente fría está a 27°C .
 - c) La potencia máxima del motor.
- Rtas: 37,5%; 207°C ; 12 kw.

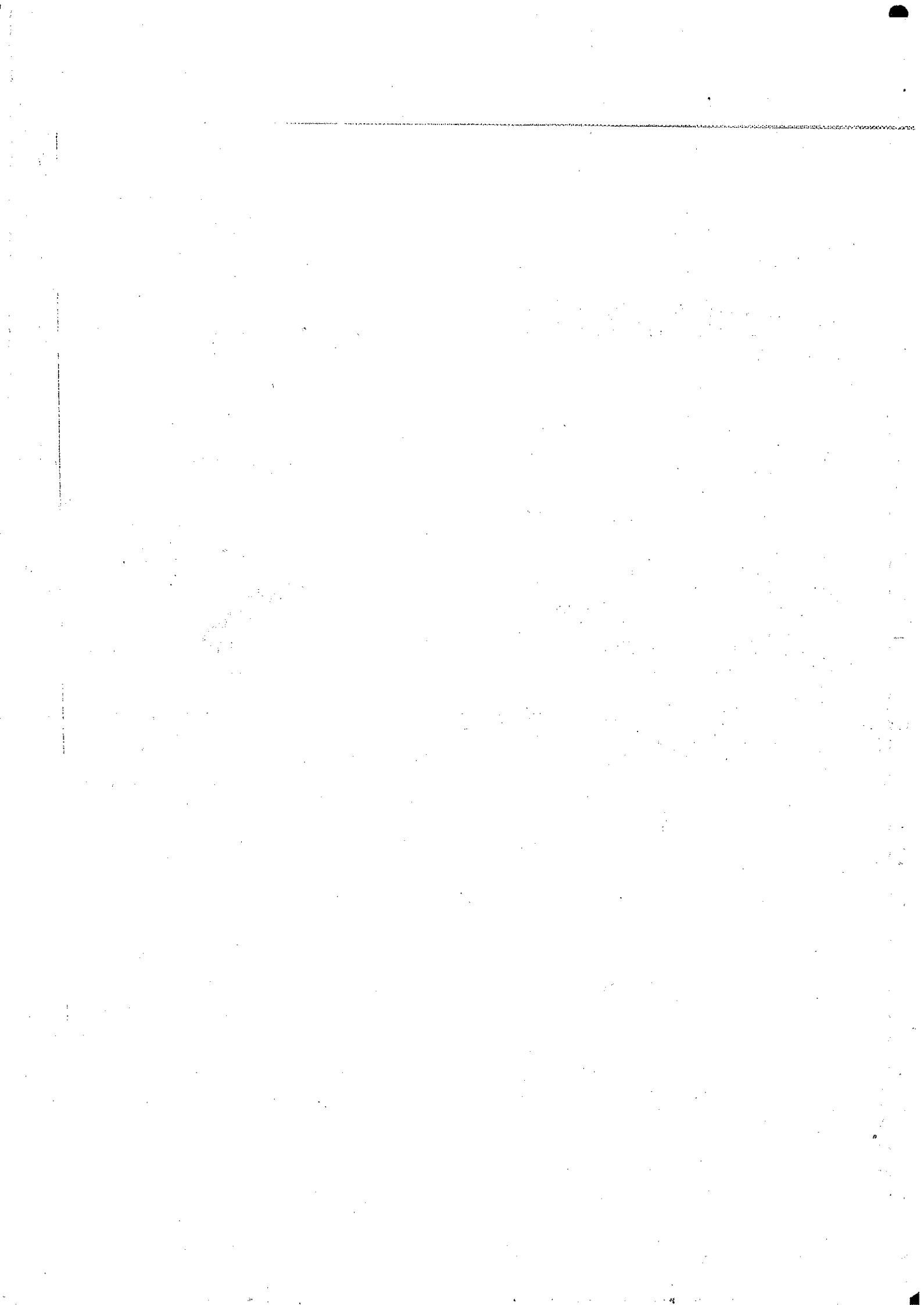
4) Una máquina absorbe en cada ciclo 4500 joules de la fuente caliente y tiene un rendimiento del 20%. ¿Cuánto calor cede a la fuente fría en cada ciclo?
Rta: 3600 J.

5) Una máquina térmica funciona a razón de 10 ciclos por segundo, realizando un trabajo neto de 500 joules en cada ciclo y operando entre dos fuentes de calor de 27°C y 177°C , respectivamente. Determinar:

- a) El rendimiento máximo de la máquina.
 - b) La energía térmica que la máquina absorbe de la fuente en cada ciclo.
 - c) La energía térmica que la máquina cede a la fuente en cada ciclo.
 - d) La potencia de dicha máquina térmica.
- Rtas: 33%; 362 cal; 242,5 cal; 5 kw.

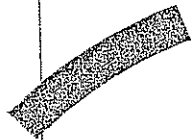
6) Una máquina térmica que opera según el ciclo de Carnot, a una temperatura de 127°C absorbe 100 calorías en cada ciclo y cede 80 calorías a la fuente de baja temperatura. Calcular:

- a) La temperatura de la fuente fría.
 - b) El rendimiento de esta máquina.
- Rtas: 320°K ; 20%.





anexo

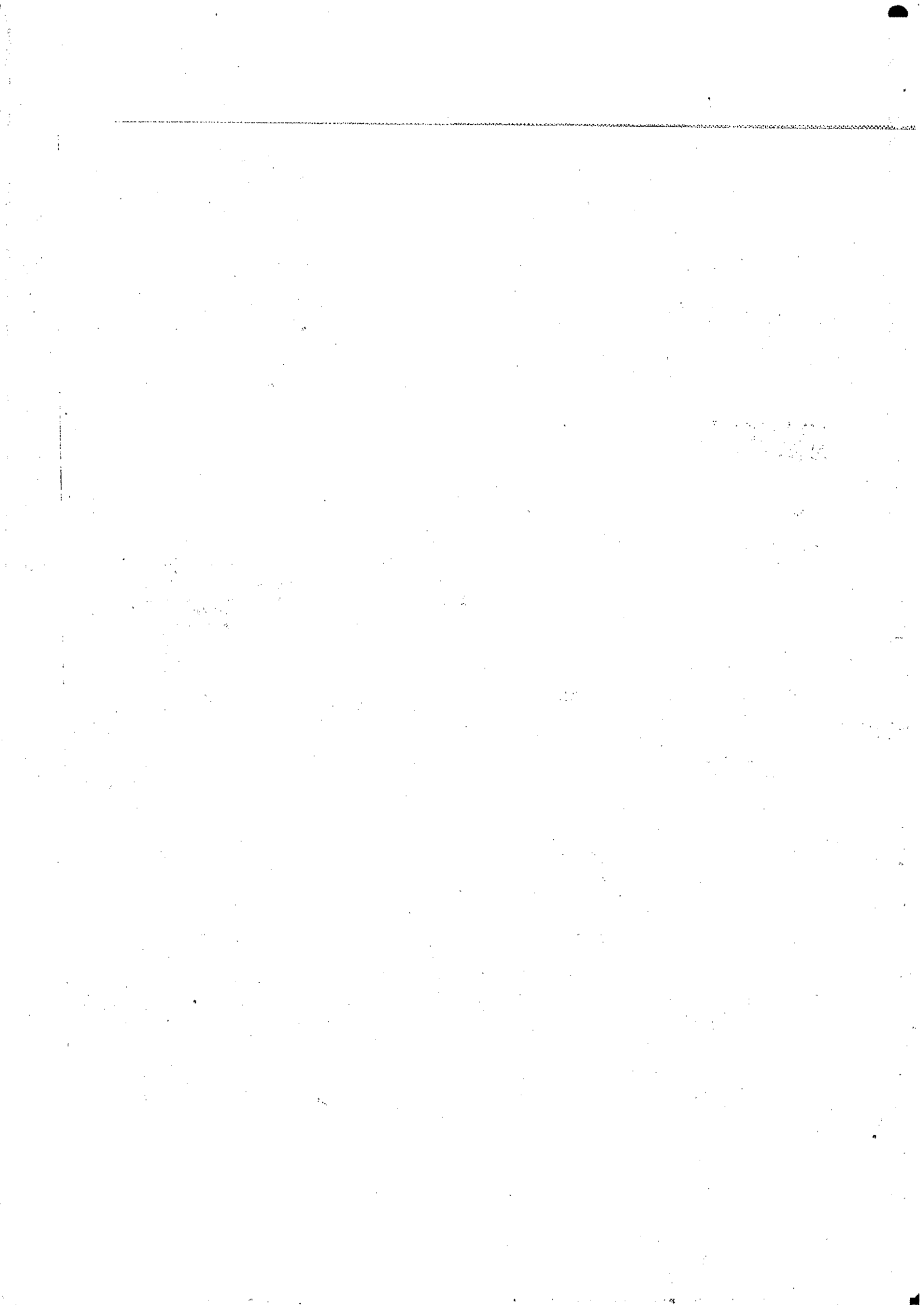


F



isica





ALFABETO GRIEGO		
May.	Min.	Nombre
A	α	Alpha
B	β	Beta
Γ	γ	Gamma
Δ	δ	Delta
E	ε	Epsilon
Z	ζ	Zeta
H	η	Eta
Θ	θ	Theta
I	ι	Iota
K	κ	Kappa
Λ	λ	Lambda
M	μ	Mu
N	ν	Nu
Ξ	ξ	Xi
O	ο	Ómicron
Π	π	Pi
P	ρ	Rho
Σ	σ	Sigma
T	τ	Tau
Υ	υ	Ipsilon
Φ	φ	Phi
X	χ	Chi
Ψ	ψ	Psi
Ω	ω	Omega

PREFIXOS DE MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS MATEMÁTICOS					
Múltiplos			Submúltiplos		
Prefijo	Símbolo	Factor	Prefijo	Símbolo	Factor
Tera	T	10 ¹²	deci	d	10 ⁻¹
Giga	G	10 ⁹	centi	c	10 ⁻²
Mega	M	10 ⁶	mili	m	10 ⁻³
Kilo	k	10 ³	micro	μ	10 ⁻⁶
Hecto	h	10 ²	nano	n	10 ⁻⁹
Deca	da	10	pico	p	10 ⁻¹²
			femto	f	10 ⁻¹⁵
			alto	a	10 ⁻¹⁸

EQUIVALENCIA DE TIEMPOS
1 año ≅ 365,2 días ≅ 8 765 h ≅ 5,259 · 10 ⁵ min ≅ 3,155 · 10 ⁷ s
1 día ≅ 24 h ≅ 1440 min ≅ 86 400 s
1 h ≅ 60 min ≅ 3600 s

FUNCIONES TRIGONOMÉTRICAS	
Nombre de la función:	Esquemas:
$\text{sen } \hat{A} = \frac{\text{cateto opuesto a } \hat{A}}{\text{hipotenusa}} = \frac{a}{c}$ $\text{cos } \hat{A} = \frac{\text{cateto adyacente a } \hat{A}}{\text{hipotenusa}} = \frac{b}{c}$ $\text{tg } \hat{A} = \frac{\text{cateto opuesto a } \hat{A}}{\text{cateto adyacente a } \hat{A}} = \frac{a}{b}$	
<p>Teoremas fundamentales:</p> <ul style="list-style-type: none"> de los senos: $\frac{a}{\text{sen } \hat{A}} = \frac{b}{\text{sen } \hat{B}} = \frac{c}{\text{sen } \hat{C}}$ del coseno: $a^2 = b^2 + c^2 - 2 b c \cos \hat{A}$ 	

SIGNOS MATEMÁTICOS	
Signo	Significado
=	Igual a
≈	Aproximadamente igual a
≠	Distinto, diferente
≡	Idéntico a; equivalente a
>	Mayor que
<	Menor que
≥	Mayor e igual a
≤	Menor e igual a
±	Más o menos
Σ	Suma algebraica
⇒	Ello implica que; por lo tanto

VALOR NUMÉRICO DE LAS FUNCIONES DE ÁNGULOS NOTABLES					
Ángulos	0°	30°	45°	60°	90°
sen α	0	$\frac{1}{2} = 0,500$	$\frac{\sqrt{2}}{2} = 0,707$	$\frac{\sqrt{3}}{2} = 0,866$	1
cos α	1	$\frac{\sqrt{3}}{2} = 0,866$	$\frac{\sqrt{2}}{2} = 0,707$	$\frac{1}{2} = 0,500$	0

MAGNITUDES ASTRONÓMICAS
1 unidad astronómica ≅ 1,496 · 10 ⁸ km
1 año-luz ≅ 9,46 · 10 ¹² km
1 parsec ≅ 3,084 · 10 ¹³ km

↑ R=I
↓ V

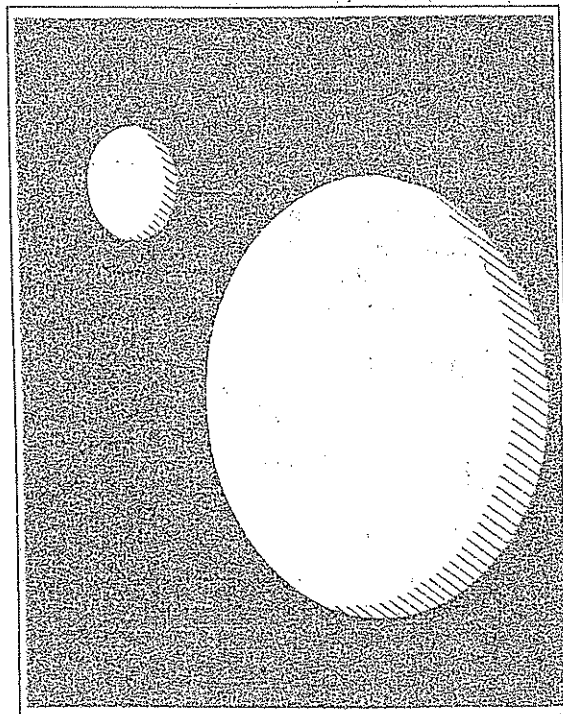
PROCEDIMIENTOS Y VALORES NUMÉRICOS IMPORTANTES DE ALGUNAS EXPRESIONES MATEMÁTICAS		
Potencias de 10		<ul style="list-style-type: none"> • Producto de potencias de igual base: $a^2 \cdot a^6 = a^{2+6} = a^8$ • Cociente de potencias de igual base: $a^{12} : a^7 = a^{12-7} = a^5$ • Notación científica $\begin{cases} 22.439 = 2,2439 \cdot 10^4 \\ 0,0658 = 6,58 \cdot 10^{-2} \end{cases}$ • Exponente fraccionario: $a^{\frac{3}{4}} = \sqrt[4]{a^3}$ • Valores numéricos: $\pi = 3,1416$ $\sqrt{2} = 1,4142$ $e = 2,7183$ $\sqrt{3} = 1,732$
Positivas	Negativas	
$10^0 = 1$	$10^{-1} = \frac{1}{10} = 0,1$	
$10^1 = 10$		
$10^2 = 10 \cdot 10 = 100$	$10^{-2} = \frac{1}{10^2} = 0,01$	
$10^3 = 10 \cdot 10 \cdot 10 = 1.000$	$10^{-3} = \frac{1}{10^3} = 0,001$	
$10^4 = 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 = 10.000$	$10^{-4} = \frac{1}{10^4} = 0,0001$	
etc.	etc.	

CONSTANTES FÍSICAS Y OTROS ELEMENTOS FUNDAMENTALES ANEXO 2

Constante o elemento	Símbolo	Valor numérico y unidad	Aclaraciones
Aceleración de la gravedad	g	9,807 m/s ²	A nivel del mar y 45° de latitud
Calor molar	C _m	$\begin{cases} 3 \text{ cal/mol} \cdot \text{°K} \\ 5 \text{ cal/mol} \cdot \text{°K} \end{cases}$	A volumen constante * A presión constante
Capacidad calorífica	C	4186,8 J/kg °K	
Constante de BOLTZMANN de los gases	k	$1,3805 \cdot 10^{-23} \text{ J/°K}$	
Constante de gravitación universal	G	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$	
Constante de STEPHAN-BOLTZMANN (de la radiación)	σ	$5,6686 \cdot 10^{-7} \text{ J/m}^2 \cdot \text{°K}^4 \cdot \text{s}$	
Constante universal de los gases	R	$\begin{cases} 8,3117 \text{ J/mol} \cdot \text{°K} = \\ = 0,08205 \text{ at} \cdot \text{l/mol} \cdot \text{°K} \end{cases}$	
Densidad máxima del agua	$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$	0,999972 g/cm ³	A 4°C
Densidad del aire seco	ρ_{aire}	1,293 kg/m ³	A 0°C y 760 mmHg
Densidad del mercurio	ρ_{Hg}	13,595 g/cm ³	En C.N. de presión y temperatura
Diámetro promedio de los átomos:			
• de Helio (He)	—	$2 \cdot 10^{-10} \text{ m}$	
• de Hidrógeno (H ₂)	—	$2,3 \cdot 10^{-10} \text{ m}$	
• de Oxígeno (O ₂)	—	$3 \cdot 10^{-10} \text{ m}$	
Electrón-Voltio	eV	1,6021 · 10 ⁻¹⁹ J	
Energía de 1 u.m.a. en reposo	—	931,16 MeV	
Equivalente mecánico del trabajo	J	4,186 J/cal	O también: 4186 J/kcal
Equivalente calórico del trabajo	1/J	0,24 cal/J	
Masa en reposo del $\begin{cases} \bullet \text{ electrón} \\ \bullet \text{ neutrón} \\ \bullet \text{ protón} \end{cases}$	m_e^- m_n^0 m_p^+	$9,1086 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ $1,6748 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ $1,6725 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	
Mol (1)	mol		(1) Cantidad de sustancia que contiene el mismo número de átomos que 12 g (exactamente) de C ₁₂ puro.
Número de AVOGADRO	N _A	$6,025 \cdot 10^{23} \text{ part/mol}$	(2) O también: 760 mm de Hg ó 1,013 · 10 ⁵ Pa (En C.N.)
Presión atmosférica (2)	p	$1,033 \text{ kg/cm}^2 = 1 \text{ at}$	
Punto de solidificación del agua	T _s	273,15 °K	
Temperatura absoluta o termodinámica	T	t + 273,15 °K	
Unidad de masa atómica	u.m.a.	$1,6597 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	
Velocidad de la luz en el vacío	c	$2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s}$	
Velocidad del sonido $\begin{cases} \bullet \text{ en el aire a } 0^\circ\text{C} \\ \bullet \text{ en el aire a } 15^\circ\text{C} \\ \bullet \text{ en el agua a } 15^\circ\text{C} \\ \bullet \text{ en el acero} \end{cases}$	$V_{\text{sa}(0^\circ)}$ $V_{\text{sa}(15^\circ)}$ $V_{\text{sH}_2\text{O}}$ V_{sFe} V_{N}	330 m/s 340 m/s 1460 m/s 5400 m/s 22,421 l/mol	En C.N. de presión y temperatura.

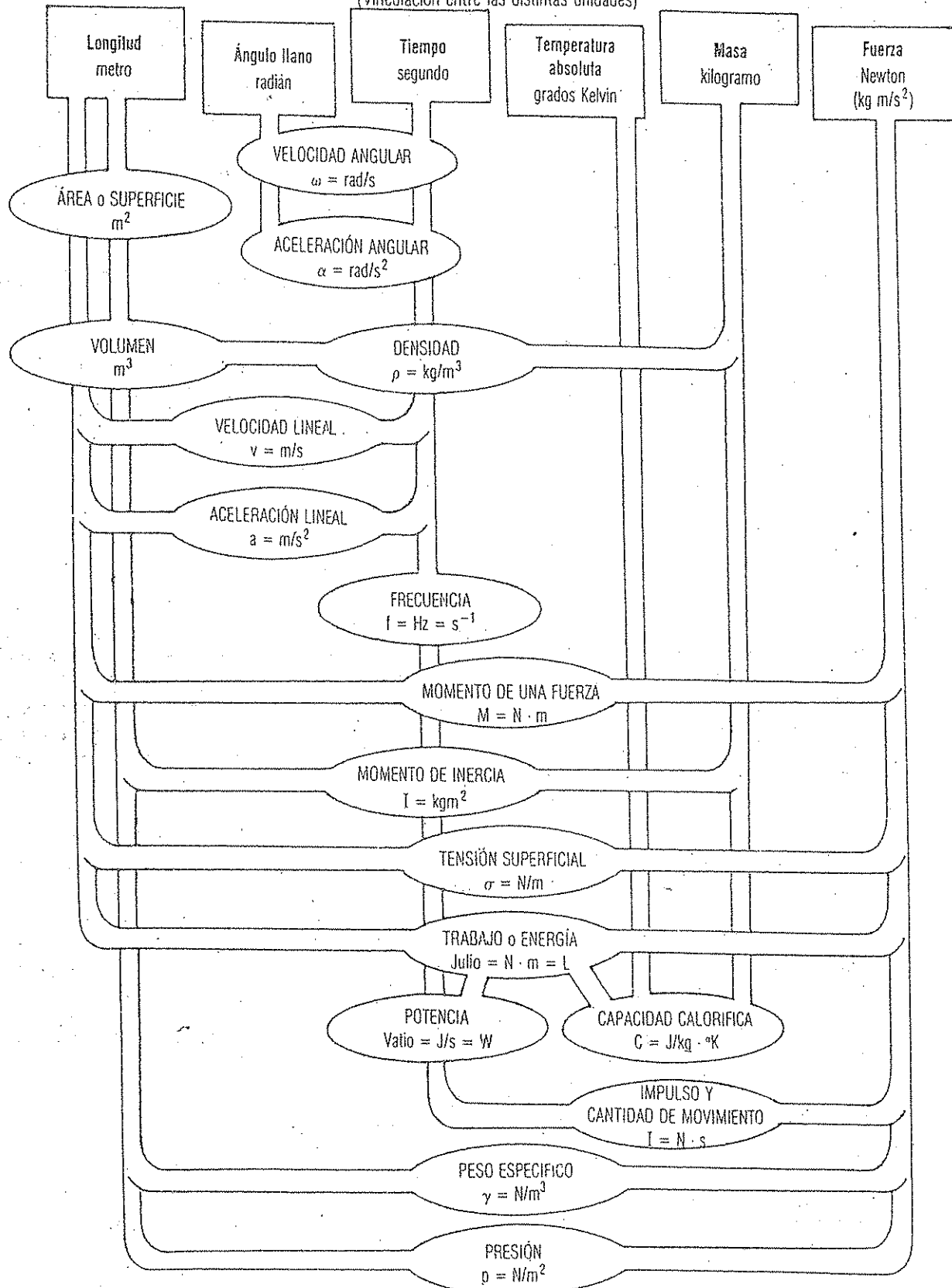
DATOS DE NUESTRO SISTEMA SOLAR										
Planeta	Mercurio	Venus	Tierra	Marte	Júpiter	Saturno	Urano	Neptuno	Plutón	SOL
Diámetro promedio (km)	5.140	12.620	12.756	6.860	143.600	120.600	53.400	49.700	12.700(?)	1.391.000
Volumen (en relación con la Tierra)	0,0655	0,967	1	0,156	1,428	843	73,6	59,3	0,10	$7,5 \cdot 10^9$
Masa (en relación con la Tierra)	0,0549	0,807	1	0,106	314,5	94,1	14,4	16,7	1 (?)	$2 \cdot 10^{30}$
Densidad promedio (g/cm ³)	5,61	5,16	5,52	3,95	1,34	0,69	1,36	1,30	(?)	1,41
Gravedad superficial (relación con la Tierra)	0,40	0,90	1	0,40	2,70	1,20	1	1	(?)	28
Velocidad de escape (km/s)	3,5	10,4	11,19	5,03	59,7	35,4	21,6	22,8	11 (?)	616
Duración del día (en relación con la Tierra)	58,6 d	30 d (?)	1 d	1d 37 min	9 h 55 min	10 h 38 min	10,7 h	15,8 h	(?)	27 d
Período de revolución (en días)	87,97	224,7	365,2	686,9	4.332,59	10.759,2	30.685,9	60.187,6	90.885	—
Temperatura de la superficie (máx. en °K)	700	700	350	320	153	138	110 (?)	90 (?)	80 (?)	6.273
Distancia al Sol (en millones de km)	58	108	149	228	778	1.426	2.869	4.495	5.900	—

DATOS COMPARATIVOS DE LA TIERRA Y LA LUNA		
Elementos	Tierra	Luna
Densidad media (kg/m ³)	5.522	3.400
Diámetro medio (km)	12.756	3.476
Gravedad superficial (m/s ²)	9,80665	1,620
Volumen (m ³)	$1,027 \cdot 10^{21}$	$2,05 \cdot 10^{19}$
Velocidad orbital (m/s)	29,77	277,7
Distancia Tierra-Luna (en km)	—	384.321
Período de rotación sobre su eje	23 h 56 min	27,3 d
Masa (kg)	$5,983 \cdot 10^{24}$	$7,343 \cdot 10^{22}$



UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL
(Vinculación entre las distintas unidades)

ANEXO 4



TABLAS DE TRANSFORMACIONES DE UNIDADES MÉTRICAS

ANEXO 5

Forma de usarlas:

1. Toda vez que se desee transformar una unidad en otra de diferente sistema de unidades de que se trata y de las magnitudes indicadas en dichas tablas, bastará multiplicar el valor numérico dado, por el que se señala en la de la magnitud correspondiente.
2. La transformación o equivalencia deberá realizarse en todos los casos en dirección horizontal. Las lecturas se obtendrán en la columna vertical.

Ejemplos:

- a. En la tabla 14 del anexo N° 5, vemos que 1 dina/cm² o sea 1 baria, es equivalente a:
 - leyendo hacia la izquierda horizontalmente: 10⁻¹ N/m² y 1,02 · 10⁻² kg/m²;
 - leyendo hacia la derecha horizontalmente: 10⁻⁶ Bar; 0,987 · 10⁻⁶ at; 7,5 · 10⁻⁴ mmHg y 0,102 · 10⁻⁵ kg/cm².
- b. Si se indica que el trabajo desarrollado sobre un cuerpo es de 32,5 Julios y se desea saber a cuántos kgm, ergios y kWh equivalen, recurrimos a la tabla 10 del mismo anexo y obtenemos:
 - 32,5 · 0,102 (lectura horizontal a la izquierda; columna de los kgm) = 3,315 kgm.
 - 32,5 · 10⁷ (lectura horizontal a la derecha; columna de los ergios) = 32,5 · 10⁷ ergios.
 - 32,5 · 2,78 · 10⁻⁷ (ídem anterior, columna de los kWh) = 90,35 · 10⁻⁷ kWh = 9,035 · 10⁻⁶ kWh.

TABLA 1

UNIDADES DE LONGITUD						
Sistema	Unidades	m	cm	mm	μ	Å
Técnico y M.K.S.	m	1	10 ²	10 ³	10 ⁶	10 ¹⁰
C.G.S.	cm	10 ⁻²	1	10	10 ⁴	10 ⁸
Usuales de la práctica	mm	10 ⁻³	10 ⁻¹	1	10 ³	10 ⁷
	micrón (μ)	10 ⁻⁶	10 ⁻⁴	10 ⁻³	1	10 ⁴
	Ångstrom (Å)	10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁸	10 ⁻⁷	10 ⁻⁴	1

TABLA 2

UNIDADES DE SUPERFICIE					
Sistema	Unidades	m ²	cm ²	mm ²	a
Técnico y M.K.S.	m ²	1	10 ⁴	10 ⁶	10 ⁻²
C.G.S.	cm ²	10 ⁻⁴	1	10 ²	10 ⁻⁶
Usuales de la práctica	mm ²	10 ⁻⁶	10 ⁻²	1	10 ⁻⁸
	área (a)	10 ²	10 ⁶	10 ⁸	1

TABLA 3

UNIDADES DE VOLUMEN					
Sistema	Unidades	m ³	cm ³	mm ³	l
Técnico y M.K.S.	m ³	1	10 ⁶	10 ⁹	10 ³
C.G.S.	cm ³	10 ⁻⁶	1	10 ³	10 ⁻³
Usuales de la práctica	mm ³	10 ⁻⁹	10 ⁻³	1	10 ⁻⁶
	litro (l)	10 ⁻³	10 ³	10 ⁶	1

TABLA 4

UNIDADES DE VELOCIDAD LINEAL					
Sistema	Unidades	m/s	cm/s	m/min	km/h
Técnico y M.K.S.	m/s	1	10 ²	60	3,6
C.G.S.	cm/s	10 ⁻²	1	0,6	3,6 · 10 ⁻²
Usuales de la práctica	m/min	1,67 · 10 ⁻²	1,67	1	6 · 10 ⁻²
	km/h	0,28	27,8	16,7	1

TABLA 5

UNIDADES DE ACELERACIÓN LINEAL					
Sistema	Unidades	m/s ²	cm/s ²	m/min/s	km/h/s
Técnico y M.K.S.	m/s ²	1	10 ²	60	3,6
C.G.S.	cm/s ²	10 ⁻²	1	0,6	3,6 · 10 ⁻²
Usuales de la práctica	m/min/s	1,67 · 10 ⁻²	1,67	1	6 · 10 ⁻²
	km/h/s	0,28	27,8	16,7	1

TABLA 6

UNIDADES DE ÁNGULO PLANO			
Unidades	C	rad	(°)
Circunferencia (C)	1	2π = 6,2832	360
Radián (rad)	1/2 π = 0,1592	1	180/π = 57°17'41"
Grado sex. (°)	1/360 = 2,778 · 10 ⁻³	π/180 = 1,745 · 10 ⁻²	1

TABLA 7

UNIDADES DE VELOCIDAD ANGULAR			
Unidades	rad/s	rev/min	rev/s
rad/s	1	9,549	0,1592
r.p.m. (rev/min)	0,1047	1	0,0167
r.p.s. (rev/s)	6,2832	60	1

TABLA 8

UNIDADES DE MASA					
Sistema	Unidades	kg	u.t.m.	kg	g
Técnico	kg	1	1/9,8 = 0,102	1	10 ³
	u.t.m.	9,8	1	9,8	9,8 · 10 ³
M.K.S.	kg	1	1/9,8 = 0,102	1	10 ³
C.G.S.	g	10 ⁻³	0,102 · 10 ⁻³	10 ⁻³	1

TABLA 9

UNIDADES DE PESO O FUERZA				
Sistema	Unidades	kg	Newton (N)	dinas
Técnico	kg	1	9,8	9,8 · 10 ⁵
M.K.S.	Newton (kg m/s ²)	1/9,8 = 0,102	1	10 ⁵
C.G.S.	dinas (g cm/s ²)	0,102 · 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	1

TABLA 10

UNIDADES DE ENERGÍA, TRABAJO Y CALOR							
Sistema	Unidades	kgm	Julios	ergios	kW · h	eV	cal
Técnico	kgm	1	9,8	$9,8 \cdot 10^7$	$2,72 \cdot 10^{-6}$	$6,37 \cdot 10^{19}$	2,343
M.K.S.	Julios (N · m)	0,102	1	10^7	$2,78 \cdot 10^{-7}$	$6,25 \cdot 10^{18}$	0,239
C.G.S.	ergios (dina · cm)	$0,102 \cdot 10^{-7}$	10^{-7}	1	$2,78 \cdot 10^{-14}$	$6,25 \cdot 10^{11}$	$0,239 \cdot 10^{-7}$
Usuales de la práctica	kW · h	$3,6 \cdot 10^5$	$3,6 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^{13}$	1	$2,24 \cdot 10^{25}$	$8,6 \cdot 10^5$
	eV	$1,63 \cdot 10^{-20}$	$1,6 \cdot 10^{-19}$	$1,6 \cdot 10^{-12}$	$4,4 \cdot 10^{-26}$	1	$3,82 \cdot 10^{-20}$
Calor	cal (C.G.S.)	0,427	4,186	$4,186 \cdot 10^7$	$1,163 \cdot 10^{-6}$	$2,62 \cdot 10^{19}$	1

TABLA 11

UNIDADES DE POTENCIA						
Sistema	Unidades	C.V.	kgm/s	kW	W	ergio/s
Técnico	C.V.	1	75	0,735	736	$736 \cdot 10^7$
	kgm/s	$1,33 \cdot 10^{-2}$	1	$9,8 \cdot 10^{-3}$	9,8	$9,8 \cdot 10^7$
M.K.S.	kW (kilovatio)	1,36	102	1	10^3	10^{10}
	W = J/s (vatio = = kgm ² /s ²)	$1,36 \cdot 10^{-3}$	0,102	10^{-3}	1	10^7
C.G.S.	ergios/s	$1,36 \cdot 10^{-10}$	$0,102 \cdot 10^{-7}$	10^{-10}	10^{-7}	1

TABLA 12

UNIDADES DE PESO ESPECÍFICO						
Sistema	Unidades	$\vec{\text{kg}}/\text{m}^3$	Newton/m ³	dinas/cm ³	$\vec{\text{kg}}/\text{dm}^3$	l/m ³
Técnico	$\vec{\text{kg}}/\text{m}^3$	1	9,8	$9,8 \cdot 10^{-1}$	10^{-3}	10^{-3}
M.K.S.	Newton/m ³	0,102	1	10^{-1}	$0,102 \cdot 10^{-3}$	$0,102 \cdot 10^{-3}$
C.G.S.	dinas/cm ³	1,02	10	1	$9,8 \cdot 10^{-2}$	$9,8 \cdot 10^{-2}$
Usuales de la práctica	$\vec{\text{kg}}/\text{dm}^3$	10^3	$9,8 \cdot 10^3$	$0,102 \cdot 10^2$	1	1
	l/m ³	10^3	$9,8 \cdot 10^3$	$0,102 \cdot 10^2$	1	1

TABLA 13

UNIDADES DE DENSIDAD						
Sistema	Unidades	utm/m ³	kg/m ³	g/cm ³	ka/l	g/l
Técnico	utm/m ³	1	9,8	9,8 · 10 ⁻³	9,8 · 10 ⁻³	9,8
M.K.S.	kg/m ³	0,102	1	10 ⁻³	10 ⁻³	1
C.G.S.	g/cm ³	102	10 ³	1	1	10 ³
Usuales de la práctica	kg/l	102	10 ³	1	1	10 ³
	g/l	0,102	1	10 ⁻³	10 ⁻³	1

TABLA 14

UNIDADES DE PRESIÓN								
Sistema	Unidades	kg/m ²	N/m ²	dina/cm ²	Bar	at	mm de Hg	kg/cm ²
Técnico	kg/m ²	1	9,8	98	9,8 · 10 ⁻⁵	9,68 · 10 ⁻⁵	7,36 · 10 ⁻²	10 ⁻⁴
M.K.S.	Pascal (N/m ²)	0,102	1	10	10 ⁻⁵	9,87 · 10 ⁻⁵	7,5 · 10 ⁻³	0,102 · 10 ⁻⁴
C.G.S.	baria (dina/cm ²)	1,02 · 10 ⁻²	10 ⁻¹	1	10 ⁻⁶	0,987 · 10 ⁻⁶	7,5 · 10 ⁻⁴	0,102 · 10 ⁻⁵
Usuales de la práctica	Bar	1,02 · 10 ³	10 ⁵	10 ⁶	1	0,987	750	1,02
	at	1,033 · 10 ⁴	1,013 · 10 ⁵	1,013 · 10 ⁶	1,013	1	760	1,033
	mm de Hg	13,6	133	1,33 · 10 ³	1,33 · 10 ⁻³	1,31 · 10 ⁻³	1	1,36 · 10 ⁻³
	kg/cm ²	10 ⁴	9,8 · 10 ⁴	9,8 · 10 ⁵	0,98	0,968	736	1

PROPIEDADES ESPECÍFICAS O CONSTANTES FÍSICAS DE ALGUNOS SÓLIDOS, LÍQUIDOS Y GASES

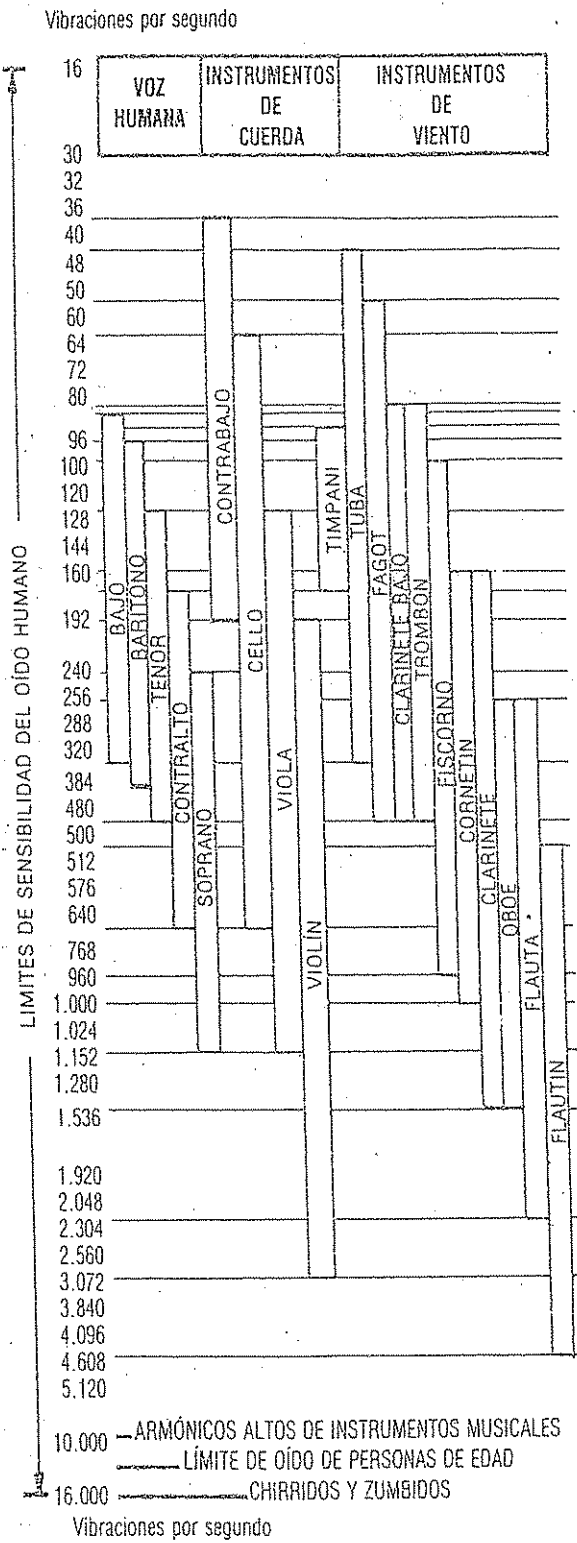
Elemento o sustancia	Densidad kg/m ³	Calor específico cal/g°C	Calor de fusión cal/g	Punto de fusión °C	Calor de vapor cal/g	Punto de vapor °C	Coeficiente de dilatación térmica 1/°C	Conductivi- dad térmica cal/cm °C s	Puntos críticos	
									pk (at)	Tk (°C)
Sólido										
Aluminio	2.600	0,217	77	658	—	1.800	$2,4 \cdot 10^{-5}$	0.500	—	—
Bronce	—	0,080	—	900	—	—	$1,75 \cdot 10^{-5}$	0.055	—	—
Carbono	grafito	2.250	0,160	—	3.500	—	4.830	—	—	—
	diamante	3.150	0,120	—	3.600	—	—	—	—	—
Cinc	7.000	0,093	21,4	419	—	906	$2,8 \cdot 10^{-5}$	0,918	—	—
Cobre	8.600	0,093	42	1.083	1.200	2.595	$1,8 \cdot 10^{-5}$	0,941	—	—
Estaño	7.200	0,060	14,2	232	530	2.270	$2 \cdot 10^{-5}$	0,150	—	—
Hierro (o acero)	7.900	0,115	6	1.530	—	—	$1,1 \text{ a } 1,2 \cdot 10^{-5}$	0,163	—	—
Latón	8.400	0,094	—	900	—	—	$1,84 \cdot 10^{-5}$	0,260	—	—
Maderas (en general)	—	0,5 a 0,65	—	—	—	—	$3 \text{ a } 60 \cdot 10^{-6}$	0,14/0,18	—	—
Niquel	8.900	0,110	56	1.453	—	2.800	—	0,150	—	—
Oro	19.300	0,032	16	1.063	—	2.700	$1,42 \cdot 10^{-5}$	0,265	—	—
Plata	10.500	0,056	21	962	—	2.200	$2 \cdot 10^{-5}$	1	—	—
Plomo	11.300	0,031	5,5	327	—	1.740	$2,92 \cdot 10^{-5}$	0,083	—	—
Rocas	—	0,18 a 0,21	—	—	—	—	—	$5 \cdot 10^{-2}$	—	—
Tungsteno (W)	2000/4800	0,034	49	3.400	1.180	5.930	—	0,400	—	—
Vidrio (en general)	—	0,16/0,20	—	—	—	—	$8 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	—	—
Líquido										
Aceite	900	0,400	—	—	70	316	$7,2 \cdot 10^{-4}$	—	—	—
Agua	1.000	1	—	—	540	100	10^{-4} (4° a 30°C)	$1,4 \cdot 10^{-3}$	218	374
Agua salada	1.025	0,950	—	—	—	—	—	—	—	—
Alcohol	790	0,574	—	—	208	79	$7 \cdot 10^{-4}$	—	65	243
Éter	—	0,560	—	—	83,9	34,5	$1,6 \cdot 10^{-3}$	—	35	193
Glicerina	1.200	0,580	—	—	—	290	$5 \cdot 10^{-4}$	—	—	—
Hielo	900	0,489	80	0	70,6	357	—	$4 \cdot 10^{-3}$	—	—
Mercurio	13.600	0,033	2,8	-39	357	70,6	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-2}$	1.000	1.450
Gaseoso										
Aire	1,293	$C_{e_p} = 0,238$	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	$C_{e_v} = 0,169$	—	—	51	-191	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-4}$	—	—
Anhídrido carbónico (CO ₂)	1,98	$C_{e_p} = 0,198$	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	$C_{e_v} = 0,152$	—	—	56	-78,5	$3,7 \cdot 10^{-3}$	—	75	31
Helio (He)	$1,78 \cdot 10^{-1}$	$C_{e_p} = 1,251$	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	$C_{e_v} = 0,753$	—	—	6	-268,8	—	$3,4 \cdot 10^{-4}$	2	-268
Hidrógeno (H ₂)	$8,95 \cdot 10^{-2}$	$C_{e_p} = 3,389$	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	$C_{e_v} = 2,403$	—	—	108	-252,8	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	12	-241
Nitrógeno (N ₂)	1,26	$C_{e_p} = 0,247$	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	$C_{e_v} = 0,176$	—	—	48	-196	$3,6 \cdot 10^{-3}$	—	33	-147
Oxígeno (O ₂)	1,43	$C_{e_p} = 0,217$	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	$C_{e_v} = 0,155$	—	—	50,9	-183	—	$5,6 \cdot 10^{-4}$	49	-118

MOMENTOS DE INERCIA DE ALGUNOS CUERPOS REGULARES USUALES EN LA PRÁCTICA

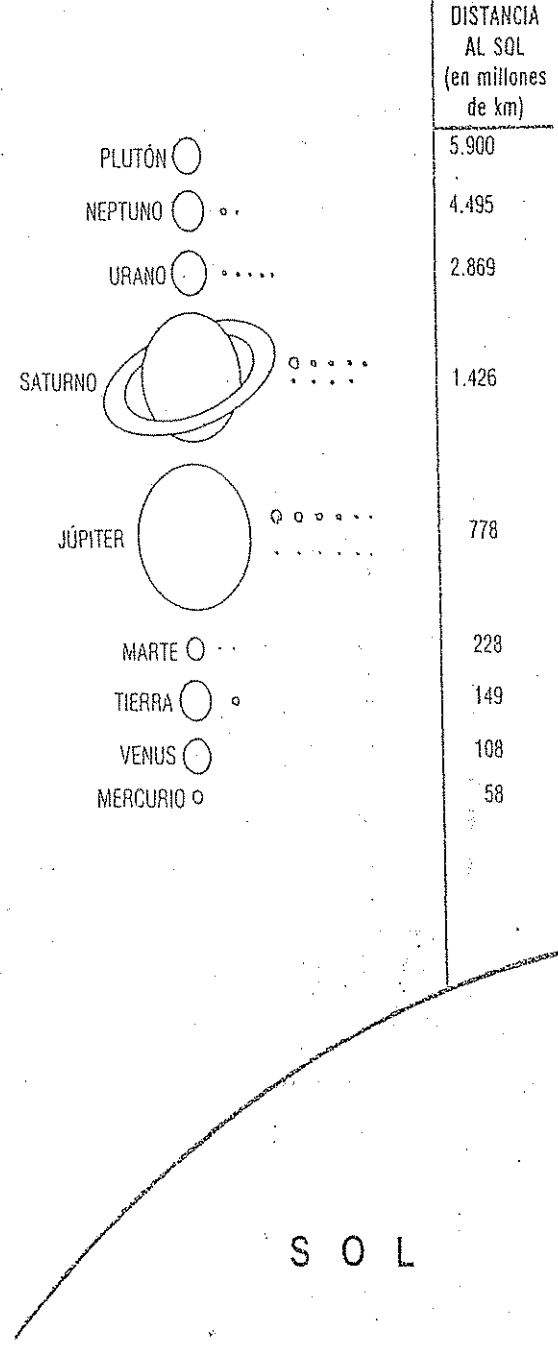
ELEMENTO	MOMENTO DE INERCIA (I)		ESQUEMAS	ELEMENTO	MOMENTO DE INERCIA (I)		ESQUEMAS
	Respecto de	Expresión matemática			Respecto de	Expresión matemática	
ARO	el eje del cilindro	$M \cdot R^2$		DISCO DE DENSIDAD UNIFORME	su eje	$\frac{1}{2} M \cdot R^2$	
	cualquier diámetro	$\frac{1}{2} M \cdot R^2$			su diámetro	$\frac{1}{4} M \cdot R^2$	
	una tangente	$\frac{3}{2} M \cdot R^2$			ESFERA	sólida respecto de cualquier diámetro	$\frac{2}{5} M \cdot R^2$
CILINDRO ANULAR O ANILLO	de su eje	$\frac{1}{2} M (R_1^2 + R_2^2)$	huesa respecto de cualquier diámetro	$\frac{2}{3} M \cdot R^2$			
CILINDRO SÓLIDO	de su eje	$\frac{1}{2} M \cdot R^2$		MASA PEQUEÑA	de un eje	$M \cdot R^2$	
	de un diámetro central	$\frac{1}{4} M \cdot R^2 + \frac{1}{12} M \cdot l^2$		PLACA RECTANGULAR DE DENSIDAD UNIFORME	de un eje perpendicular a ella	$\frac{1}{12} M (a^2 + b^2)$	
CONO SÓLIDO	de su eje	$\frac{3}{10} M \cdot R^2$		VARILLA DELGADA	de un eje perpendicular a ella	$\frac{1}{12} M \cdot l^2$	
					de un eje perpendicular a ella por uno de sus extremos	$\frac{1}{4} M \cdot l^2$	

NOTA: En todos los casos M representa la masa del cuerpo, R el radio correspondiente y l la longitud.

Registros de la voz humana y de los diversos instrumentos musicales



Tamaño aproximado de los planetas comparados con el Sol



Los tamaños relativos de los 9 planetas y sus 31 satélites aparecen a la derecha con el Sol, para comparación. Júpiter y Saturno tienen 21 satélites y los 7 planetas menores, 10. La Luna es mucho mayor, en comparación con su planeta padre, que cualquier otro satélite del sistema solar, tanto así que a menudo se la considera como un socio planetario de la Tierra y no como un satélite.

ANEXO 10

VALORES DEL CALOR ESPECÍFICO DE ALGUNOS SÓLIDOS Y LÍQUIDOS MÁS USUALES

Líquidos	$C_e \left(\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$	Sólidos	
Agua	1,000	Maderas	0,50/0,65
Agua salada	0,950	Aluminio	0,217
Glicerina	0,580	Carbón vegetal	0,190
Alcohol	0,574	Rocas	0,18/0,21
Éter	0,560	Vidrio	0,16/0,20
Hielo	0,489	Carbono { Grafito	0,160
Aceite	0,400	{ Diamante	0,120
Mercurio	0,033	Hierro o acero	0,115
		Níquel	0,110
		Latón	0,094
		Cinc y cobre	0,093
		Bronce	0,080
		Estaño	0,060
		Plata	0,056
		Wolframio	0,034
		Oro	0,032
		Plomo	0,031

Aclaraciones

Los valores de estos calores específicos (a excepción del agua) han sido obtenidos a temperaturas que oscilan entre los 25°C y los 100°C. A temperaturas muy bajas (próximas al cero absoluto) todos los valores de los calores específicos disminuyen, e inclusive, para algunas sustancias, se aproximan a cero.

ANEXO 11

VALORES DEL COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA PARA ALGUNAS SUSTANCIAS

$k = \left(\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}} \right)$		$k = \left(\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}} \right)$	
Metales		Otras sustancias	
Plata	1,000	Granito	$5 \cdot 10^{-2}$
Cobre	0,918	Mercurio	$2 \cdot 10^{-2}$
Aluminio	0,500	Hielo	$4 \cdot 10^{-3}$
Cinc	0,300	Mica	$4 \cdot 10^{-3}$
Latón	0,260	Vidrio	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Hierro	0,163	Tierra	$2 \cdot 10^{-3}$
Plomo	0,083	Agua	$1,4 \cdot 10^{-3}$
		Ladrillo refractario	$3,5 \cdot 10^{-4}$
Gases		Papel	$3 \cdot 10^{-4}$
Helio	$3,4 \cdot 10^{-4}$	Parafina	$2 \cdot 10^{-4}$
Hidrógeno	$3,3 \cdot 10^{-4}$	Seda	10^{-4}
Aire	$5,7 \cdot 10^{-5}$	Corcho	10^{-4}
Oxígeno	$5,6 \cdot 10^{-5}$	Lana de vidrio	$9 \cdot 10^{-5}$
Argón	$3,9 \cdot 10^{-5}$		

ANEXO 12

VALORES DE LAS TEMPERATURAS Y CALOR DE FUSIÓN DE ALGUNAS SUSTANCIAS (A PRESIÓN NORMAL)

Sustancias	Temperatura de fusión (°C)	Calor latente de fusión (cal/g)
Hielo	0	80
Mercurio	-39	2,8
Plomo	327	5,5
Hierro (o acero)	1530	6
Azufre	119	9,3
Bismuto	269	12,6
Estaño	232	14,2
Oro	1063	16
Plata	962	21
Cinc	419	21,4
Platino	1760	27
Cobre	1083	42
Wolframio (Tungsteno)	3400	44
Aluminio	658	77

ANEXO 13

PUNTOS DE EBULLICIÓN Y LOS CORRESPONDIENTES CALORES DE VAPORIZACIÓN PARA ALGUNAS SUSTANCIAS

Sustancias	Punto de ebullición (°C)	Calor de vaporización (cal/g)
Helio	-268,8	6
Hidrógeno	-252,8	108
Nitrógeno	-196	48
Aire	-191	51
Oxígeno	-183	50,9
Amoniaco	-33,3	327
Éter	34,5	83,9
Alcohol	79	208
Agua	100	540
Ácido sulfúrico	338	122
Mercurio	357	70,6

ANEXO 14

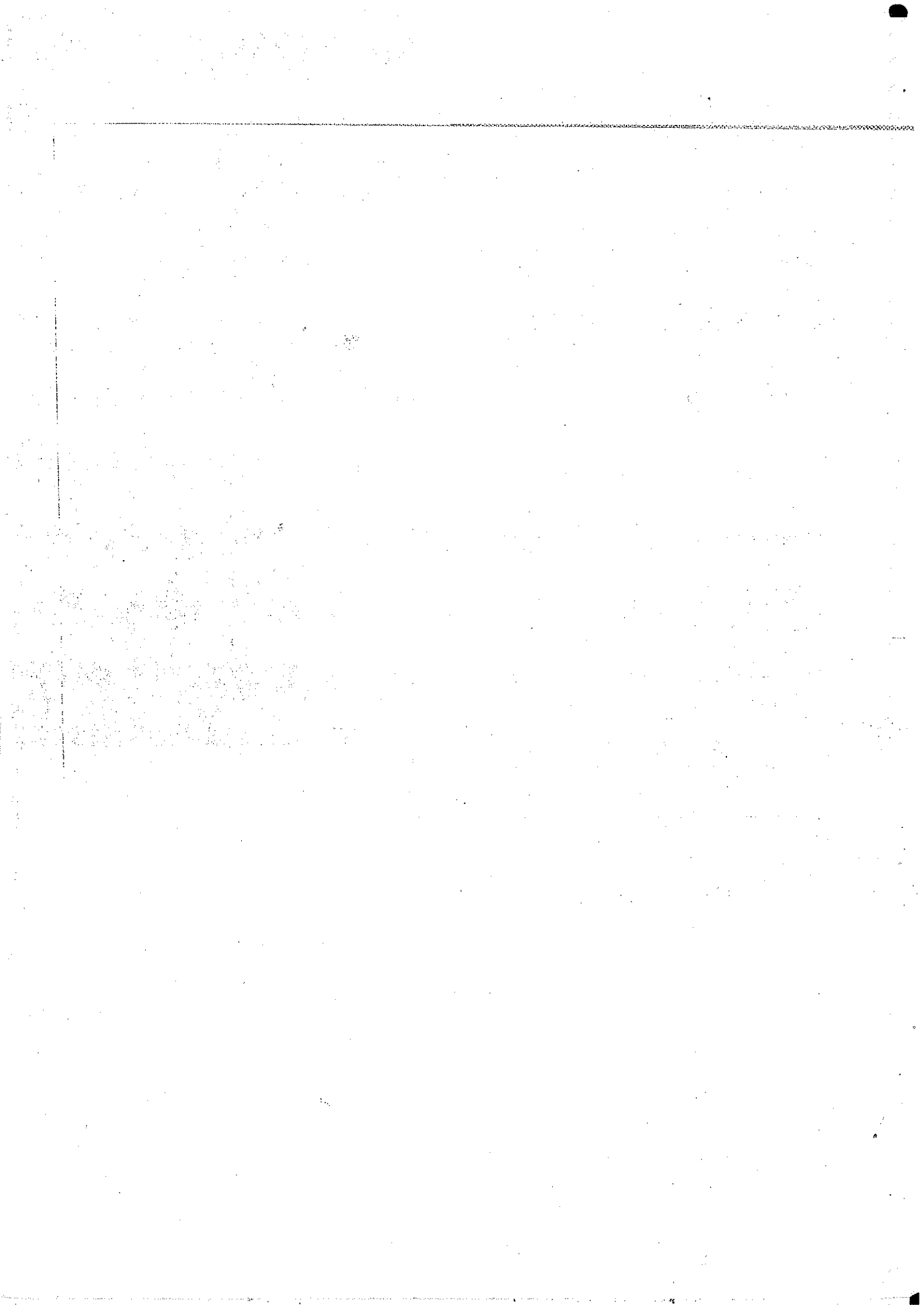
VALORES DE LAS PRESIONES EN mm DE MERCURIO CORRESPONDIENTES A LA SATURACIÓN MÁXIMA Y LAS TEMPERATURAS EN °C DE ALGUNOS LÍQUIDOS					
Tempe- ratura (°C)	Presiones (mm de Hg)				
	Agua	Éter	Benceno	Alcohol	Mercurio
0	4,58	185	25,3	12,7	$2 \cdot 10^{-4}$
40	55,00	921	183,6	133,7	$6,5 \cdot 10^{-3}$
80	355,00	2990	752	812,9	$9,2 \cdot 10^{-2}$
120	1489	7500	2235	3220	0,756
160	4636	15 800	5280	9370	4,18
200	11 630	—	10 660	22 160	17,22
De ebu- llición a 760 mm de Hg	100	34,6	80,5	78,3	357

ANEXO 15

VALORES DE LOS PUNTOS CRÍTICOS DE ALGUNAS SUSTANCIAS		
Sustancia	Punto crítico	
	Presión crítica: p_x (en atmósferas)	Temperatura crítica: T_x (en °C)
Agua	218	374
Amoniaco	116	133
Cloro	90	150
Anhidrido carbónico	75	31
Alcohol etílico	65	243
Acetileno	64	36
Éter	35	193
Oxígeno	49	-118
Argón	48	-122
Óxido de carbono	36	-136
Nitrógeno	33	-147
Neón	27	-228
Hidrógeno	12	-241
Helio	2	-268

ANEXO 16

VALORES DE LOS CALORES MOLARES Y ESPECÍFICOS DE ALGUNOS GASES, DE LA DIFERENCIA: $C_p - C_v$ Y DEL COEFICIENTE: γ							
Atomicidad	Gas	Calores molares		Calores específicos		Diferencias	
		C_{mp} (cal/mol · K)	C_v (cal/g · K)	C_p (cal/g · K)	C_{mv} (cal/mol · K)	$C_p - C_v$	$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$
Monoatómicos	He	4,97	2,98	1,25	0,753	1,99	1,67
	A	4,97	2,98	0,125	0,0752	1,99	1,67
Biatómicos	H ₂	6,87	4,88	3,389	2,403	1,99	1,41
	N ₂	6,95	4,96	0,247	0,176	1,99	1,40
	O ₂	7,03	5,04	0,217	0,155	1,99	1,40
	CO	6,97	4,98	0,248	0,176	1,99	1,40
	Aire	6,96	4,96	0,238	0,169	2,00	1,40
Poliatómicos	CO ₂	8,83	6,80	0,198	0,152	2,03	1,30
	SO ₂	9,65	7,50	0,201	0,156	2,15	1,29
	H ₂ S	8,37	6,20	0,246	0,183	2,10	1,34



CONSTANTES FISICAS MAS USADAS

NOMBRE	VALOR
Constante de gravitación universal	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2 = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 / (\text{kg} \cdot \text{s}^2)$
Nº de Avogadro	$6,02252 \cdot 10^{23} \text{ unidades/mol}$
Constante universal de los gases	$8,3143 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) = 0,082 \text{ l} \cdot \text{atm}/(\text{K} \cdot \text{mol}) = 1,9858 \text{ cal}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
Constante de Planck	$6,6256 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
Constante de Rydberg	$1,0973731 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$
Constante de Faraday	$9,6487 \cdot 10^4 \text{ C/eq}$
Constante de Boltzmann	$1,38054 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
Constante de Coulomb	$8,9876 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$
Constante de ascenso ebulloscópico	$0,51 \text{ }^\circ\text{C/molal}$
Constante de descenso crioscópico	$1,86 \text{ }^\circ\text{C/molal}$

Molal: $\frac{\text{mol de st}}{\text{kg de sv}}$

VALORES A TENER EN CUENTA

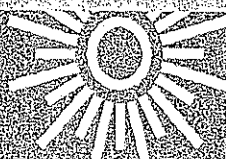
NOMBRE	VALOR
Masa de una partícula ALPHA	$6,6442 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Presión atmosférica normal	$1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$
Volumen molar de un gas ideal en condiciones normales	$22,4136 \text{ dm}^3$
Velocidad de la luz en el vacío	$2,997925 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
Un año luz	$9,461 \cdot 10^{15} \text{ m}$
Velocidad del sonido a nivel del mar y a 20°C	$3,44 \cdot 10^2 \text{ m/s}$
Unidad de masa atómica unificada	$1,660 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

PARTICULAS SUBATOMICAS

PROPIEDAD	ELECTRÓN	PROTÓN	NEUTRÓN
Masa (kg)	$9,1091 \cdot 10^{-31}$	$1,67252 \cdot 10^{-27}$	$1,67482 \cdot 10^{-27}$
Masa atómica relativa*	$5,4858 \cdot 10^{-4}$	1,007276	1,008665
Carga (C)	$-1,6022 \cdot 10^{-19}$	$1,6022 \cdot 10^{-19}$	0
Spin cuántico	1/2	1/2	1/2
Radio (m)	$< 1 \cdot 10^{-16}$	$8 \cdot 10^{-16}$	$8 \cdot 10^{-16}$
Momento magnético	1,001 μB	2,793 μN	-1,913 μN

* masa atómica relativa al $\text{C}^{12} = 12$

TABLA DE CONVERSIONES



Física

μ

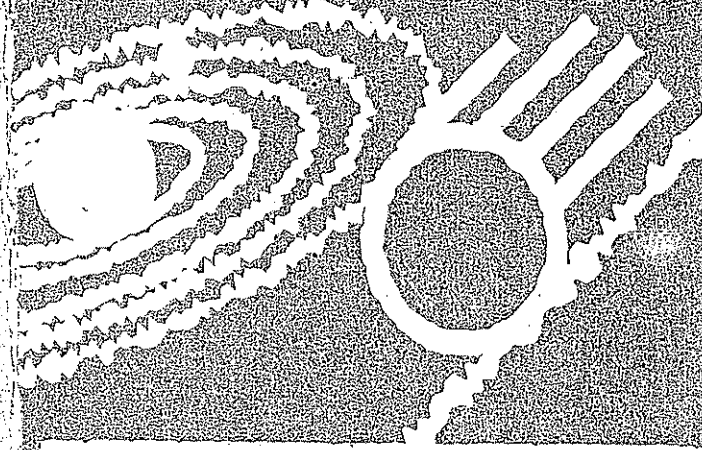


TABLA BÁSICA DE FÍSICA

UNIDADES GEOMÉTRICAS

FÓRMULA GENERAL	Sistemas de unidades Magnitudes	C.G.S.	M.K.S.	TECNICO	S.I.
L	LONGITUD	cm	m	m	m
S = L ²	SUPERFICIE	cm ²	m ²	m ²	m ²
V = L ³	VOLUMEN	cm ³	m ³	m ³	m ³
L ³	CAPACIDAD	cm ³	m ³	l	m ³
α	ÁNGULO PLANO	rad	rad	rad	rad

GINEMÁTICA

FÓRMULA GENERAL	Sistemas de unidades Magnitudes	C.G.S.	M.K.S.	TECNICO	S.I.
v = L/t	VELOCIDAD	cm/seg	m/seg	m/seg	m/seg
ω = α/t	VELOCIDAD ANGULAR	rad/seg	rad/seg	rad/seg	rad/seg
a = L/t ²	ACELERACIÓN	cm/seg ²	m/seg ²	m/seg ²	m/seg ²
f = ω/2π	FRECUENCIA	1/seg	1/seg	1/seg	1/seg

ESTÁTICA DE SÓLIDOS

FÓRMULA GENERAL	Sist. de unid. Magnitudes	C.G.S.	M.K.S.	TECNICO	S.I.
m	MASA	g	kg	u.l.m.	kg
F = m · a	FUERZA	g · cm/s ² = dina	kg · m/s ² = Newton	kp	Newton
F/V	PESO ESPECÍF.	dina/cm ³	Newton/m ³	kp/m ³	Newton/m ³
δ = m/V	DENSIDAD	g/cm ³	kg/m ³	u.l.m./m ³	kg/m ³
M = F · L	MOMENTO DE UNA FUERZA	dina · cm	N · m	kp · m	N · m
P = F/S	PRESION	dina/cm ² = baria	Newton/m ² = Pa	kp/m ²	Pa

u.l.m.: unidad técnica de masa Kp: kilopondio o kilogramo fuerza (kgf)
Pa: Pascales

DINÁMICA DE LOS SÓLIDOS

FÓRMULA GENERAL	Sist. de unidades Magnitudes	C.G.S.	M.K.S.	TECNICO	S.I.
W = F · d	TRABAJO, ENERGÍA, CALOR	dina · cm = ergio	Newton · m = joule	kp · m = kpm	joule
P = W/t	POTENCIA	erg/s	joule/s = Watt	kpm/s	Watt
I = m · d ²	MOMENTO DE INERCIA	g · cm ²	kg · m ²	u.l.m. · m ²	kg · m ²
E _r = I · ω ²	ENERGÍA CINÉTICA DE ROTACIÓN	erg · rad ²	joule · rad ²	kpm · rad ²	joule · rad ²
f = m · ω ² · r	FUERZA CENTRÍFUGA	dina · rad ²	Newton · rad ²	kp · rad ²	Newton · rad ²
θ = m · Δv	IMPULSO	dina · s	Newton · s	kp · s	Newton · s
p = m · v	CANTIDAD DE MOVIMIENTO	g · cm/s	kg · m/s	u.l.m. · m/s	kg · m/s
S = I · Δω	IMPULSO ANGULAR	erg · s · rad	joule · s · rad	kpm · s · rad	joule · s · rad

DINÁMICA DE FLUIDOS

FÓRMULA GENERAL	Sist. de unidades Magnitudes	C.G.S.	M.K.S.	TECNICO	S.I.
q = V/t	CAUDAL	cm ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Q	CANTIDAD DE CALOR	cal	joule	kcal	joule
cp = Q/m · ΔT	CALOR ESPECÍFICO	cal/(g · °C)	joule/(kg · K)	kcal/(u.l.m. · °C)	joule/(kg · K)
S = δ (Q/T)	ENTROPÍA	cal/°C	joule/K	kcal/°C	joule/K

K: Kel

SISTEMA SEXAGESIMAL

UNIDADES	° (grados)	' (minutos)	" (segundos)
1 grado	1	60	3.600
1 minuto	1,667 · 10 ⁻²	1	60
1 segundo	2,778 · 10 ⁻⁴	1,667 · 10 ⁻²	1

FUERZA

UNIDADES	kgf	Newton	dinas
1 kgf	1	9,81	9,8 · 10 ⁵
1 Newton	0,102	1	1 · 10 ⁵
1 dina	1,02 · 10 ⁻⁶	1 · 10 ⁻⁵	1

UNIDADES ELÉCTRICAS

Magnitudes	SIMB.	UNIDADES mksa (racionalizado)	UNIDADES ELECTROESTÁTICAS (ues) (no racionalizado)	UNIDADES ELECTROMAGNÉTICAS (uem) (no racionalizado)
CARGA	q	1 Culomb (C)	$3 \cdot 10^9$ ues	$1 \cdot 10^{11}$ uem
INTENSIDAD DE CORRIENTE	I	1 Ampere (A)	$3 \cdot 10^9$ ues	$1 \cdot 10^{11}$ uem
D.d.p. y f.e.m.	V, e	1 Volt (V)	1/300 ues	$1 \cdot 10^8$ uem
INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO	E	1 V/m	$1 \cdot 10^4/3$ ues	$1 \cdot 10^8$ uem
CAPACIDAD	C	1 Faraday (F)	$9 \cdot 10^{11}$ ues (cm)	$1 \cdot 10^9$ uem
RESISTENCIA	R	1 Ohm (Ω)	$1 \cdot 10^{11}/9$ ues	$1 \cdot 10^9$ uem
PERMITIVIDAD DEL VACÍO	ϵ_0	$1/(36\pi \cdot 10^9)$ C / (N · m²)		
PERMEABILIDAD DEL VACÍO	μ_0	$4\pi/(1 \cdot 10^7)$ Wb / (A · m)		
FLUJO MAGNÉTICO	Φ_0	1 Weber (Wb)		$1 \cdot 10^8$ Maxwell (Mx)
INDUCCIÓN	B	1 Tesla (T) o Wb/m²		$1 \cdot 10^4$ Gauss
INTENSIDAD DEL CAMPO MAGNÉTICO	H	1 A/m		$4\pi \cdot 10^3$ Oersted
AUTOINDUCCIÓN E INDUCCIÓN MUTUA	L, M	1 Henry (H)	$1 \cdot 10^{11}/9$ ues	$1 \cdot 10^9$ uem

LUMINOSIDAD

UNIDADES	cd / m²	stilb	m · lambert	cd / ft²	cd / inch²
1 cd / m²	1	0,0001	3,141593	0,092903	0,000645
1 stilb	10.000	1	31415,92655	929,030426	6,4516
1 m · lambert	0,31830985	3,1831E-05	1	0,029572	0,000205
1 cd / ft²	10,7639151	0,00107639	33,81577168	1	0,006944
1 cd / inch²	1550,3876	0,15500031	4878,04878	144,0092166	1

ECUACIONES A TENER EN CUENTA

Ecuación General de los Gases Ideales

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

P = Presión en ATM.

V = Volumen (en dm³ ó l)

n = número de moles

R = Constante universal de los gases

$$= 0,0821 \cdot \text{ATM} / (\text{K} \cdot \text{mol})$$

T = Temperatura absoluta (K)

CONVERSIÓN DE ESCALAS DE TEMPERATURAS

$$T(R) = T(^{\circ}\text{F}) + 459,67$$

$$T(R) = T(^{\circ}\text{C}) \cdot 1,8 + 491,67$$

$$T(R) = 1,8 \cdot T(K)$$

$$T(^{\circ}\text{F}) = 1,8 \cdot T(^{\circ}\text{C}) + 32$$

$$T(^{\circ}\text{F}) = T(R) - 459,67$$

$$T(^{\circ}\text{F}) = 1,8 \cdot (T(K) - 273,15) + 32$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(K) - 273,15$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = (T(^{\circ}\text{F}) - 32) / 1,8$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = (T(R) - 491,67) / 1,8$$

$$T(K) = T(^{\circ}\text{C}) + 273,15$$

$$T(K) = T(R) / 1,8$$

$$T(K) = (T(^{\circ}\text{F}) + 459,67) / 1,8$$

DILATACIÓN LINEAL DE SÓLIDOS

$$\Delta L = \alpha \cdot L_1 \cdot \Delta T$$

ΔL = Variación de longitud ($L_{\text{final}} - L_{\text{inicial}}$)

α = Coeficiente de dilatación lineal

L_1 = Longitud inicial

ΔT = Variación de temperatura ($T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}}$)

Temperaturas Relativas Temperaturas Absolutas

Celsius Fahrenheit Rankine Kelvin

100 °C 212 °F 671,67 R 373 K

0 °C 32 °F 491,67 R 273 K

0 °F

-273 °C Cero Absoluto 0 R 0 K

TRABAJO Y ENERGÍA

UNIDADES	kgf • m	joule	erg	kwh
1 kgf • m	1	9,80665	$9,8 \cdot 10^5$	$2,7241 \cdot 10^{-6}$
1 joule	0,102	1	$1 \cdot 10^5$	$2,7778 \cdot 10^{-7}$
1 erg	$1,0197 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	1	$2,7778 \cdot 10^{-14}$
1 kwh	367097,84	3600000	$3,6 \cdot 10^{13}$	1
1 cal	0,426935	4,1868	$4,1868 \cdot 10^7$	$1,163 \cdot 10^{-6}$
1 HP (U.K.) • h	273744,86	2684520	$2,6845 \cdot 10^{13}$	0,7457
1 eV	$1,6338 \cdot 10^{-20}$	$1,6022 \cdot 10^{-19}$	$1,6022 \cdot 10^{12}$	$4,4505 \cdot 10^{-25}$

TRABAJO Y ENERGÍA

UNIDADES	cal	HP (U.K.) • h	eV
1 kgf • m	2,342,278	$3,653 \cdot 10^{-6}$	$6,1208 \cdot 10^{19}$
1 joule	0,238846	$3,7251 \cdot 10^{-7}$	$6,2415 \cdot 10^{18}$
1 erg	$2,3885 \cdot 10^{-8}$	$3,7251 \cdot 10^{-14}$	$6,2415 \cdot 10^{11}$
1 kwh	860420,65	1,341022	$2,2469 \cdot 10^{25}$
1 cal	1	$1,5596 \cdot 10^{-7}$	$2,6132 \cdot 10^{19}$
1 HP (U.K.) • h	641186,59	1	$1,6755 \cdot 10^{25}$
1 eV	$3,8268 \cdot 10^{-20}$	$5,9683 \cdot 10^{-26}$	1

POTENCIA Y FLUJO DE CALOR

UNIDADES	kgf • m/s	W	erg/s	HP (U.K.)
1 kgf • m/s	1	9,80665	$9,8 \cdot 10^7$	0,0131508
1 W	0,101972	1	$1 \cdot 10^7$	0,001341
1 erg/s	$1,0197 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	1	$1,341 \cdot 10^{-10}$
1 H.P. (U.K.)	76,641	745,7	$7,457 \cdot 10^9$	1

PRESIÓN

UNIDADES	kg / cm ²	atm	mmHg	milibares	Pa
1 kg / cm ²	1	0,967841	736	980,665	98066,5
1 atm	1,033	1	760	1013,25	101325
1 mmHg	0,00136	0,001316	1	1,33	133,32
1 millibar	0,00102	0,000987	0,75	1	100
1 Pa	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$9,869 \cdot 10^{-6}$	0,00750075	0,01	1

SISTEMA SOLAR

PLANETA	Masa relativa a la Tierra	Dist. solar promedio (10 ⁶ km)	Período Orbital (días)	Densidad Relativa Promedio	diámetro (10 ⁶ metros)	Aceleración de la gravedad
SOL	332,999	0		1,410	1390	273,720
MERCURIO	0,0544	57,95	87,97	5,431	5,14	3,578
VENUS	0,8149	108	224,70	5,256	12,6	8,874
TIERRA	1	149,5	365,26	5,519	12,749	9,807
MARTE	0,1078	228	686,98	3,907	6,86	3,740
JUPITER	317,821	778	4332,59	1,337	144	26,010
SATURNO	95,112	1426	10,759,20	0,688	121	11,170
URANO	14,516	2869	30,685,93	1,603	53,4	10,49
NEPTUNO	17,140	4495	60187,64	2,272	49,8	13,25
PLUTÓN	0,1806	5900	90885	1,65	2,4	2,210

OTROS DATOS ACERCA DE LA TIERRA:

Elementos constituyentes: 105 conocidos
 Temperatura superficial: 15° C (promedio)
 Composición atmosférica: Nitrógeno (76%), Oxígeno (21%), Argón, vapor de agua,
 Dióxido de Carbono, Ozono y otros gases (3%)
 Período de rotación: 23,93 horas
 Inclínación del eje de rotación: 23° 44'
 Excentricidad orbital: 0,017
 Satélites conocidos: 1 (la luna)

LUNA: Diámetro ecuatorial: 3.476 km

Densidad relativa promedio: 3,34
 Elementos constituyentes: Silicio, Oxígeno, Aluminio,
 Calcio, Hierro, Magnesio, Titanio, Sodio, Potasio,
 Cromo, Manganeso, Fósforo, Torio, Uranio, etc.
 Temperatura superficial: 139° (de día) / -184° C (de noche)
 Distancia a la Tierra: 384.392 km
 Período orbital: 27,37 días
 Inclínación orbital / eclíptica: 5° 09'

LONGITUD

UNIDADES	m	inch (u)	ft (i)	millas terrestres	millas náuticas
1 m	1	39,370079	3,28084	0,000621	0,00054
1 inch	0,0254	1	0,08333	0,000016	0,000014
1 ft	0,30479999	12,00048	1	0,000189	0,000165
1 milla terrestre	1610,30596	63360	5280	1	0,8689
1 milla náutica	1,852	72913,3858	6076,115486	1,150779	1

VOLUMEN Y CAPACIDAD

UNIDADES	m ³	cm ³	gal (U.K.)	l
1 m ³	1	$1 \cdot 10^6$	219,9736032	$1 \cdot 10^3$
1 cm ³	$1 \cdot 10^{-6}$	1	0,000219974	$1 \cdot 10^{-3}$
1 gal (U.K.)	0,004546	4546	1	4,546
1 l	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^3$	0,219973603	1

PROPIEDADES DEL AGUA (H₂O)

TEMPERATURA (°C)	0	4	25	100
Densidad (g/cm ³)	0,99987	1	0,99707	0,958
Calor de fusión (KJ/mol)	5,99			
Calor de vaporización (KJ/mol)	44,8		44,0	40,6