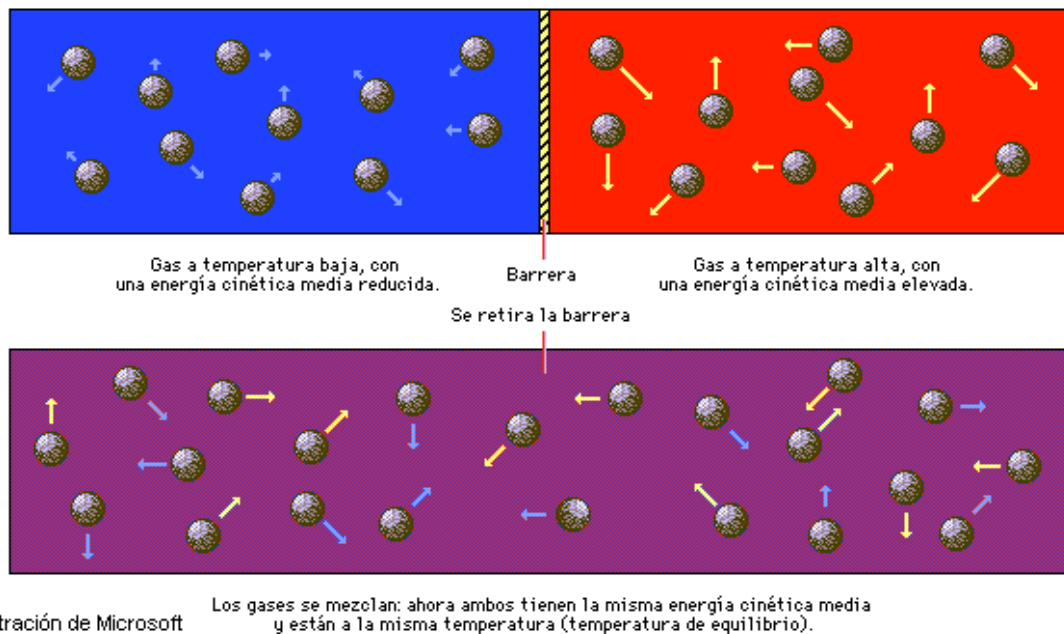


CALOR.

Introducción.

En física, transferencia de energía de una parte a otra de un cuerpo, o entre diferentes cuerpos, en virtud de una diferencia de temperatura. El calor es energía en tránsito; siempre fluye de una zona de mayor temperatura a una zona de menor temperatura, con lo que eleva la temperatura de la segunda y reduce la de la primera, siempre que el volumen de los cuerpos se mantenga constante. La energía no fluye desde un objeto de temperatura baja a un objeto de temperatura alta si no se realiza trabajo.

Hasta principios del siglo XIX, el efecto del calor sobre la temperatura de un cuerpo se explicaba postulando la existencia de una sustancia o forma de materia invisible, denominada calórico. Según la teoría del calórico, un cuerpo de temperatura alta contiene más calórico que otro de temperatura baja; el primero cede parte del calórico al segundo al ponerse en contacto ambos cuerpos, con lo que aumenta la temperatura de dicho cuerpo y disminuye la suya propia. Aunque la teoría del calórico explicaba algunos fenómenos de la transferencia de calor, las pruebas experimentales presentadas por el físico británico Benjamin Thompson en 1798 y por el químico británico Humphry Davy en 1799 sugerían que el calor, igual que el trabajo, corresponde a energía en tránsito (proceso de intercambio de energía). Entre 1840 y 1849, el físico británico James Prescott Joule, en una serie de experimentos muy precisos, demostró de forma concluyente que el calor es una transferencia de energía y que puede causar los mismos cambios en un cuerpo que el trabajo.



Flujo de calor entre dos gases

Dos gases idénticos a temperaturas diferentes están separados por una barrera aislante. El gas más caliente contiene moléculas con mayor energía cinética media que las moléculas del gas más frío. Cuando se juntan los gases, la mezcla alcanza una temperatura de equilibrio situada entre las dos temperaturas iniciales. El calor fluye del gas más caliente al más frío hasta que la energía cinética media de sus respectivas moléculas se iguala.

Temperatura

La sensación de calor o frío al tocar una sustancia depende de su temperatura, de la capacidad de la sustancia para conducir el calor y de otros factores. Aunque, si se procede con cuidado, es posible comparar las temperaturas relativas de dos sustancias mediante el tacto, es imposible evaluar la magnitud absoluta de las temperaturas a partir de reacciones subjetivas. Cuando se aporta calor a una sustancia, no sólo se eleva su temperatura, con lo que proporciona una mayor sensación de calor, sino que se producen alteraciones en varias propiedades físicas que pueden medirse con precisión. Al variar la temperatura, las sustancias se dilatan o se contraen, su resistencia eléctrica cambia, y en el caso de un gas su presión varía. La variación de alguna de estas propiedades suele servir como base para una escala numérica precisa de temperaturas (ver más adelante).

La temperatura depende de la energía cinética media (o promedio) de las moléculas de una sustancia; según la teoría cinética, la energía puede corresponder a movimientos rotacionales, vibracionales y traslacionales de las partículas de una sustancia. La temperatura, sin embargo, sólo depende del movimiento de traslación de las moléculas. En teoría, las moléculas de una sustancia no presentarían actividad traslacional alguna a la temperatura denominada cero absoluto.

Escalas de temperatura

En la actualidad se emplean diferentes escalas de temperatura; entre ellas están la escala Celsius también conocida como escala centígrada, la escala Fahrenheit, la escala Kelvin, la escala Rankine o la escala termodinámica internacional. En la escala Celsius, el punto de congelación del agua equivale a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, y su punto de ebullición a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esta escala se utiliza en todo el mundo, en particular en el trabajo científico. La escala Fahrenheit se emplea en los países anglosajones para medidas no científicas y en ella el punto de congelación del agua se define como $32\text{ }^{\circ}\text{F}$ y su punto de ebullición como $212\text{ }^{\circ}\text{F}$. En la escala Kelvin, la escala termodinámica de temperaturas más empleada, el cero se define como el cero absoluto de temperatura, es decir, $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. La magnitud de su unidad, llamada kelvin y simbolizada por K, se define como igual a un grado Celsius. Otra escala que emplea el cero absoluto como punto más bajo es la escala Rankine, en la que cada grado de temperatura equivale a un grado en la escala Fahrenheit. En la escala Rankine, el punto de congelación del agua equivale a $492\text{ }^{\circ}\text{R}$, y su punto de ebullición a $672\text{ }^{\circ}\text{R}$.

En 1933, científicos de treinta y una naciones adoptaron una nueva escala internacional de temperaturas, con puntos fijos de temperatura adicionales basados en la escala Kelvin y en principios termodinámicos. La escala internacional emplea como patrón un termómetro de resistencia de platino (cable de platino) para temperaturas entre $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $660\text{ }^{\circ}\text{C}$. Desde los $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta el punto de fusión del oro ($1.063\text{ }^{\circ}\text{C}$) se emplea un termopar patrón: los termopares son dispositivos que miden la temperatura a partir de la tensión producida entre dos alambres de metales diferentes. Más allá del punto de fusión del oro las temperaturas se miden mediante el llamado pirómetro óptico, que se basa en la intensidad de la luz de una frecuencia determinada que emite un cuerpo caliente.

En 1954, un acuerdo internacional adoptó el punto triple del agua es decir, el punto en que las tres fases del agua (vapor, líquido y sólido) están en equilibrio como referencia para la temperatura de $273,16\text{ K}$. El punto triple puede determinarse con mayor precisión que el punto de congelación, por lo que supone un punto fijo más satisfactorio para la escala termodinámica. En criogenia, o investigación de bajas temperaturas, se han obtenido temperaturas de tan sólo $0,00001\text{ K}$ mediante la desmagnetización de sustancias paramagnéticas. En las explosiones nucleares se han alcanzado momentáneamente temperaturas evaluadas en más de 100 millones de kelvin.

Unidades de calor

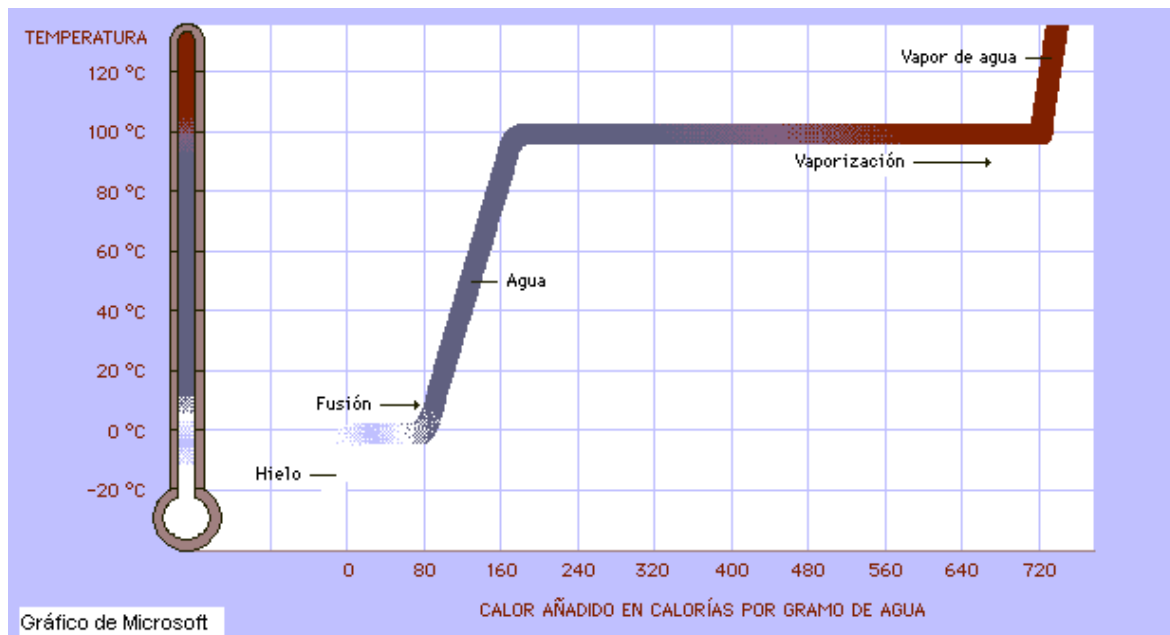
En las ciencias físicas, la cantidad de calor se expresa en las mismas unidades que la energía y el trabajo, es decir, en julios. Otra unidad es la caloría, definida como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 gramo de agua a 1 atmósfera de presión desde 15 hasta $16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esta unidad se denomina a

veces caloría pequeña o caloría gramo para distinguirla de la caloría grande, o kilocaloría, que equivale a 1.000 calorías y se emplea en nutrición. La energía mecánica puede convertirse en calor a través del rozamiento, y el trabajo mecánico necesario para producir 1 caloría se conoce como equivalente mecánico del calor. A una caloría le corresponden 4,1855 julios. Según la ley de conservación de la energía, todo el trabajo mecánico realizado para producir calor por rozamiento aparece en forma de energía en los objetos sobre los que se realiza el trabajo. Joule fue el primero en demostrarlo de forma fehaciente en un experimento clásico: calentó agua en un recipiente cerrado haciendo girar unas ruedas de paletas y halló que el aumento de temperatura del agua era proporcional al trabajo realizado para mover las ruedas.

Cuando el calor se convierte en energía mecánica, como en un motor de combustión interna, la ley de conservación de la energía también es válida. Sin embargo, siempre se pierde o disipa energía en forma de calor porque ningún motor tiene una eficiencia perfecta.

Calor latente

El cambio de temperatura de una sustancia conlleva una serie de cambios físicos. Casi todas las sustancias aumentan de volumen al calentarse y se contraen al enfriarse. El comportamiento del agua entre 0 y 4 °C constituye una importante excepción a esta regla. Se denomina fase de una sustancia a su estado, que puede ser sólido, líquido o gaseoso. Los cambios de fase en sustancias puras tienen lugar a temperaturas y presiones definidas. El paso de sólido a gas se denomina sublimación, de sólido a líquido fusión, y de líquido a vapor vaporización. Si la presión es constante, estos procesos tienen lugar a una temperatura constante. La cantidad de calor necesaria para producir un cambio de fase se llama calor latente; existen calores latentes de sublimación, fusión y vaporización. Si se hierve agua en un recipiente abierto a la presión de 1 atmósfera, la temperatura no aumenta por encima de los 100 °C por mucho calor que se suministre. El calor que se absorbe sin cambiar la temperatura del agua es el calor latente; no se pierde, sino que se emplea en transformar el agua en vapor y se almacena como energía en el vapor. Cuando el vapor se condensa para formar agua, esta energía vuelve a liberarse. Del mismo modo, si se calienta una mezcla de hielo y agua, su temperatura no cambia hasta que se funde todo el hielo. El calor latente absorbido se emplea para vencer las fuerzas que mantienen unidas las partículas de hielo, y se almacena como energía en el agua. Para fundir 1 kg de hielo se necesitan 19.000 julios, y para convertir 1 kg de agua en vapor a 100 °C, hacen falta 129.000 julios.



Calor y temperatura

La gráfica representa el cambio de temperatura que se produce al suministrar calor al agua (a 1 atmósfera de presión). A 0 °C y 100 °C se le puede suministrar calor sin cambiar su temperatura. Este 'calor latente' rompe los enlaces que mantienen unidas las moléculas, pero no aumenta su energía cinética. Para vaporizar un gramo de agua hace falta aproximadamente siete veces más calor que para fundirlo. Esa diferencia se refleja en las distintas longitudes de las partes horizontales de la gráfica. Las pendientes de las líneas inclinadas representan el número de grados de aumento de temperatura por cada julio de calor suministrado a un gramo de agua. El 'calor específico' del agua es de 4.185,5 julios por kilogramo y grado, es decir, hacen falta 4.185,5 julios de energía para aumentar en un grado la temperatura de un kilogramo de agua.

Calor específico

Cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una unidad de masa de una sustancia en un grado. En el Sistema Internacional de unidades, el calor específico se expresa en julios por kilogramo y kelvin; en ocasiones también se expresa en calorías por gramo y grado centígrado. El calor específico del agua es una caloría por gramo y grado centígrado, es decir, hay que suministrar una caloría a un gramo de agua para elevar su temperatura en un grado centígrado.

De acuerdo con la ley formulada por los químicos franceses Pierre Louis Dulong y Alexis Thérèse Petit, para la mayoría de los elementos sólidos, el producto de su calor específico por su masa atómica es una cantidad aproximadamente constante. Si se expande un gas mientras se le suministra calor, hacen falta más calorías para aumentar su temperatura en un grado, porque parte de la energía suministrada se consume en el trabajo de expansión. Por eso, el calor específico a presión constante es mayor que el calor específico a volumen constante.

SUSTANCIA	CALOR ESPECÍFICO (A 25 °C)	
	cal/g °C	J/kg K
Aire	0,24	1.010
Aluminio	0,22	900
Alcohol etílico	0,59	2.450
Oro	0,03	130
Granito	0,19	800
Hierro	0,11	450
Aceite de oliva	0,47	2.000
Plata	0,06	240
Acero inoxidable	0,12	510
Agua (líquida)	1,00	4.180
Madera	0,42	1.760

Transferencia de Calor

En física, proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos. Por ejemplo, el calor se transmite a través de la pared de una casa fundamentalmente por conducción, el agua de una cacerola situada sobre un quemador de gas se calienta en gran medida por convección, y la Tierra recibe calor del Sol casi exclusivamente por radiación.

Conducción

En los sólidos, la única forma de transferencia de calor es la conducción. Si se calienta un extremo de una varilla metálica, de forma que aumente su temperatura, el calor se transmite hasta el extremo más frío por conducción. No se comprende en su totalidad el mecanismo exacto de la conducción de calor en los sólidos, pero se cree que se debe, en parte, al movimiento de los electrones libres que transportan energía cuando existe una diferencia de temperatura. Esta teoría explica por qué los buenos conductores eléctricos también tienden a ser buenos conductores del calor. En 1822, el matemático francés Barón Joseph Fourier dio una expresión matemática precisa que hoy se conoce como ley de Fourier de la conducción del calor. Esta ley afirma que la velocidad de conducción de calor a través de un cuerpo por unidad de sección transversal es proporcional al gradiente de temperatura que existe en el cuerpo (con el signo cambiado).

El factor de proporcionalidad se denomina conductividad térmica del material. Los materiales como el oro, la plata o el cobre tienen conductividades térmicas elevadas y conducen bien el calor, mientras que materiales como el vidrio o el amianto tienen conductividades cientos e incluso miles de veces menores; conducen muy mal el calor, y se conocen como aislantes. En ingeniería resulta necesario conocer la velocidad de conducción del calor a través de un sólido en el que existe una diferencia de temperatura conocida. Para averiguarlo se requieren técnicas matemáticas muy complejas, sobre todo si el proceso varía con el tiempo; en este caso, se habla de conducción térmica transitoria. Con la ayuda de ordenadores (computadoras) analógicos y digitales, estos problemas pueden resolverse en la actualidad incluso para cuerpos de geometría complicada.

Convección

Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, es casi seguro que se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección. El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. Si se calienta un líquido o un gas, su densidad (masa por unidad de volumen) suele disminuir. Si el líquido o gas se encuentra en el campo gravitatorio, el fluido más caliente y menos denso asciende, mientras que el fluido más frío y más denso desciende. Este tipo de movimiento, debido exclusivamente a la no uniformidad de la temperatura del fluido, se denomina convección natural. La convección forzada se logra sometiendo el fluido a un gradiente de presiones, con lo que se fuerza su movimiento de acuerdo a las leyes de la mecánica de fluidos.

Supongamos, por ejemplo, que calentamos desde abajo una cacerola llena de agua. El líquido más próximo al fondo se calienta por el calor que se ha transmitido por conducción a través de la cacerola. Al expandirse, su densidad disminuye y como resultado de ello el agua caliente asciende y parte del fluido más frío baja hacia el fondo, con lo que se inicia un movimiento de circulación. El líquido más frío vuelve a calentarse por conducción, mientras que el líquido más caliente situado arriba pierde parte de su calor por radiación y lo cede al aire situado por encima. De forma similar, en una cámara vertical llena de gas, como la cámara de aire situada entre los dos paneles de una ventana con doble vidrio, el aire situado junto al panel exterior que está más frío desciende, mientras que al aire cercano al panel interior más caliente asciende, lo que produce un movimiento de circulación.

El calentamiento de una habitación mediante un radiador no depende tanto de la radiación como de las corrientes naturales de convección, que hacen que el aire caliente suba hacia el techo y el aire frío del resto de la habitación se dirija hacia el radiador. Debido a que el aire caliente tiende a subir y el aire frío a bajar, los radiadores deben colocarse cerca del suelo (y los aparatos de aire acondicionado cerca del techo) para que la eficiencia sea máxima. De la misma forma, la convección natural es responsable de la ascensión del agua caliente y el vapor en las calderas de convección natural, y del tiro de las chimeneas. La convección también determina el movimiento de las grandes masas de aire sobre la superficie terrestre, la acción de los vientos, la formación de nubes, las corrientes oceánicas y la transferencia de calor desde el interior del Sol hasta su superficie.

Radiación

La radiación presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas. Algunos fenómenos de la radiación pueden describirse mediante la teoría de ondas, pero la única explicación general satisfactoria de la radiación electromagnética es la teoría cuántica. En 1905, Albert Einstein sugirió que la radiación presenta a veces un comportamiento cuantizado: en el efecto fotoeléctrico, la radiación se comporta como minúsculos proyectiles llamados fotones y no como ondas. La naturaleza cuántica de la energía radiante se había postulado antes de la aparición del artículo de Einstein, y en 1900 el físico alemán Max Planck empleó la teoría cuántica y el formalismo matemático de la mecánica estadística para derivar una ley fundamental de la radiación. La expresión matemática de esta ley, llamada distribución de Planck, relaciona la intensidad de la energía radiante que emite un cuerpo en una longitud de onda determinada con la temperatura del cuerpo. Para cada temperatura y cada longitud de onda existe un máximo de energía radiante. Sólo un cuerpo ideal (cuerpo negro) emite radiación ajustándose exactamente a la ley de Planck. Los cuerpos reales emiten con una intensidad algo menor.

La contribución de todas las longitudes de onda a la energía radiante emitida se denomina poder emisor del cuerpo, y corresponde a la cantidad de energía emitida por unidad de superficie del cuerpo y por unidad de tiempo. Como puede demostrarse a partir de la ley de Planck, el poder emisor de una superficie es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. El factor de proporcionalidad se denomina constante de Stefan–Boltzmann en honor a dos físicos austriacos, Joseph Stefan y Ludwig Boltzmann que, en 1879 y 1884 respectivamente, descubrieron esta proporcionalidad entre el poder emisor y la temperatura. Según la ley de Planck, todas las sustancias emiten energía radiante sólo por tener una temperatura superior al cero absoluto. Cuanto mayor es la temperatura, mayor es la cantidad de energía emitida. Además de emitir radiación, todas las sustancias son capaces de absorberla. Por eso, aunque un cubito de hielo emite energía radiante de forma continua, se funde si se ilumina con una lámpara incandescente porque absorbe una cantidad de calor mayor de la que emite.

Las superficies opacas pueden absorber o reflejar la radiación incidente. Generalmente, las superficies mates y rugosas absorben más calor que las superficies brillantes y pulidas, y las superficies brillantes reflejan más energía radiante que las superficies mates. Además, las sustancias que absorben mucha radiación también son buenos emisores; las que reflejan mucha radiación y absorben poco son malos emisores. Por eso, los utensilios de cocina suelen tener fondos mates para una buena absorción y paredes pulidas para una emisión mínima, con lo que maximizan la transferencia total de calor al contenido de la cazuela.

Algunas sustancias, entre ellas muchos gases y el vidrio, son capaces de transmitir grandes cantidades de radiación. Se observa experimentalmente que las propiedades de absorción, reflexión y transmisión de una sustancia dependen de la longitud de onda de la radiación incidente. El vidrio, por ejemplo, transmite grandes cantidades de radiación ultravioleta, de baja longitud de onda, pero es un mal transmisor de los rayos infrarrojos, de alta longitud de onda. Una consecuencia de la distribución de Planck es que la longitud de onda a la que un cuerpo emite la cantidad máxima de energía radiante disminuye con la temperatura. La ley de desplazamiento de Wien, llamada así en honor al físico alemán Wilhelm Wien, es una expresión matemática de esta observación, y afirma que la longitud de onda que corresponde a la máxima energía, multiplicada por la temperatura absoluta del cuerpo, es igual a una constante, 2.878 micrómetros–Kelvin. Este hecho, junto con las propiedades de transmisión del vidrio antes mencionadas, explica el calentamiento de los invernaderos. La energía radiante del Sol, máxima en las longitudes de onda visibles, se transmite a través del vidrio y entra en el invernadero. En cambio, la energía emitida por los cuerpos del interior del invernadero, predominantemente de longitudes de onda mayores, correspondientes al infrarrojo, no se transmiten al exterior a través del vidrio. Así, aunque la temperatura del aire en el exterior del invernadero sea baja, la temperatura que hay dentro es mucho más alta porque se produce una considerable transferencia de calor neta hacia su interior.

Además de los procesos de transmisión de calor que aumentan o disminuyen las temperaturas de los cuerpos afectados, la transmisión de calor también puede producir cambios de fase, como la fusión del hielo o la ebullición del agua. En ingeniería, los procesos de transferencia de calor suelen diseñarse de forma que aprovechen estos fenómenos. Por ejemplo, las cápsulas espaciales que regresan a la atmósfera de la Tierra a velocidades muy altas están dotadas de un escudo térmico que se funde de forma controlada en un proceso llamado ablación para impedir un sobrecalentamiento del interior de la cápsula. La mayoría del calor producido por el rozamiento con la atmósfera se emplea en fundir el escudo térmico y no en aumentar la temperatura de la cápsula.

Calorimetría.

Ciencia que mide la cantidad de energía generada en procesos de intercambio de calor. El calorímetro es el instrumento que mide dicha energía. El tipo de calorímetro de uso más extendido consiste en un envase cerrado y perfectamente aislado con agua, un dispositivo para agitar y un termómetro. Se coloca una fuente de calor en el calorímetro, se agita el agua hasta lograr el equilibrio, y el aumento de temperatura se comprueba con el termómetro. Si se conoce la capacidad calorífica del calorímetro (que también puede medirse utilizando una fuente corriente de calor), la cantidad de energía liberada puede calcularse fácilmente. Cuando la fuente de calor es un objeto caliente de temperatura conocida, el calor específico y el calor latente pueden ir midiéndose según se va enfriando el objeto. El calor latente, que no está relacionado con un cambio de temperatura, es la energía térmica desprendida o absorbida por una sustancia al cambiar de un estado a otro, como en el caso de líquido a sólido o viceversa. Cuando la fuente de calor es una reacción química, como sucede al quemar un combustible, las sustancias reactivas se colocan en un envase de acero pesado llamado bomba. Esta bomba se introduce en el calorímetro y la reacción se provoca por ignición, con ayuda de una chispa eléctrica.