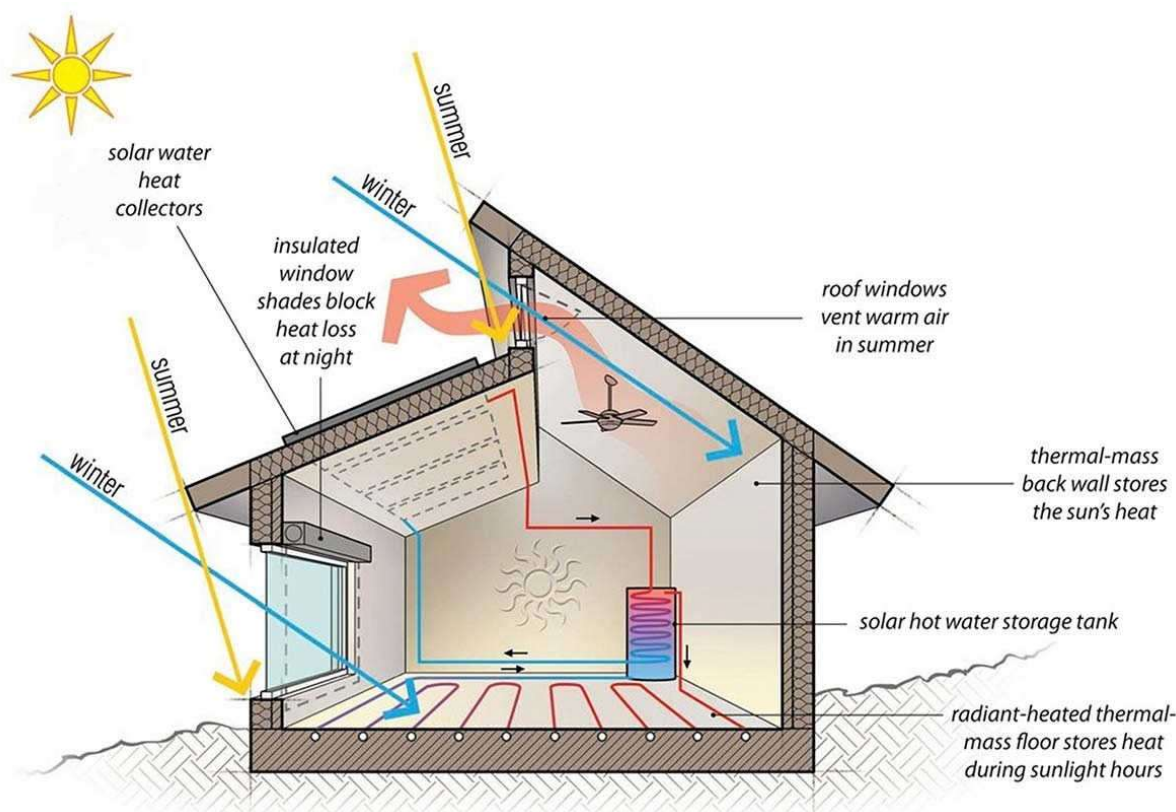


Caso práctico: vivienda solar

Esta es la primera Unidad del módulo de Equipos e Instalaciones Térmicas y en ella vamos a tratar los **conceptos básicos de energía, calor, temperatura y comportamiento de los gases**. Gracias a todo ello, seremos capaces de comprender los fundamentos científicos y tecnológicos de equipos e instalaciones como el de la figura, donde puedes ver un sistema integrado de calentamiento de una vivienda, mediante tecnologías activas y pasivas. La Termotecnia, estudia todo ello.



Kurt Struve, Active and passive heating system (Todos los derechos reservados)

En el dibujo, puedes comprobar cómo se aprovecha en una casa la energía solar, mediante **tecnologías activas** (colectores solares) y **arquitectura solar pasiva** (geometría y propiedades de los materiales constructivos). Unos colectores térmicos solares calientan el fluido que circula por ellos (usualmente agua con anticongelante) y se almacena en un tanque que, a su vez, aprovecha esta energía térmica para alimentar un circuito en forma de serpentín que, además de calentar la vivienda, almacena el calor para las horas en las que no hay radiación solar.

También vemos que los rayos de sol en invierno forman un ángulo menor con el terreno, por lo que entra una mayor radiación solar en la vivienda que en verano, cuando el sol alcanza mayor altura y no penetra la radiación en la casa. Por lo tanto, mediante soluciones como las que se muestran, **se consigue un menor consumo energético y una mayor eficiencia energética**.

La sistematización de soluciones como las propuestas implica el manejar conceptos como energía, potencia térmica, comportamiento de los gases, transmitancia o inercia térmica y comprender el funcionamiento de equipos e instalaciones térmicas. De todo ello nos ocuparemos en esta y en las sucesivas unidades didácticas.

Debes conocer

Formas de energía

Conducción térmica

Transformaciones de energía

Formas de energía

La energía adopta diferentes formas: mecánica, química, eléctrica, térmica, etc., y mediante distintos procedimientos y dispositivos podemos transformarla de un tipo a otro. No obstante no es lo mismo transformar calor en electricidad que a la inversa. La energía calorífica o térmica es la forma más degradada de la energía, mientras que la energía eléctrica es la más elaborada.

En la siguiente simulación puedes realizar diferentes experimentos mediante el simulador virtual. Activa el botón de inicio y calienta los distintos cuerpos y sustancias, observando lo que ocurre. Pulsa el botón de Systems y transforma distintos tipos de energía en otras formas, observa lo que ocurre.

https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes_en.html

[University of Colorado](#). Energy forms and changes (CC BY)

Conducción térmica

Mediante el simulador anterior, realiza un experimento para comprobar ¿qué se calienta antes, aplicando el mismo calor, el recipiente con una determinada masa de agua o el bloque de hierro de la misma masa? Monta el experimento y justifica el resultado.

RESULTADO: En primer lugar, hay que montar el experimento de la manera que se muestra en la imagen

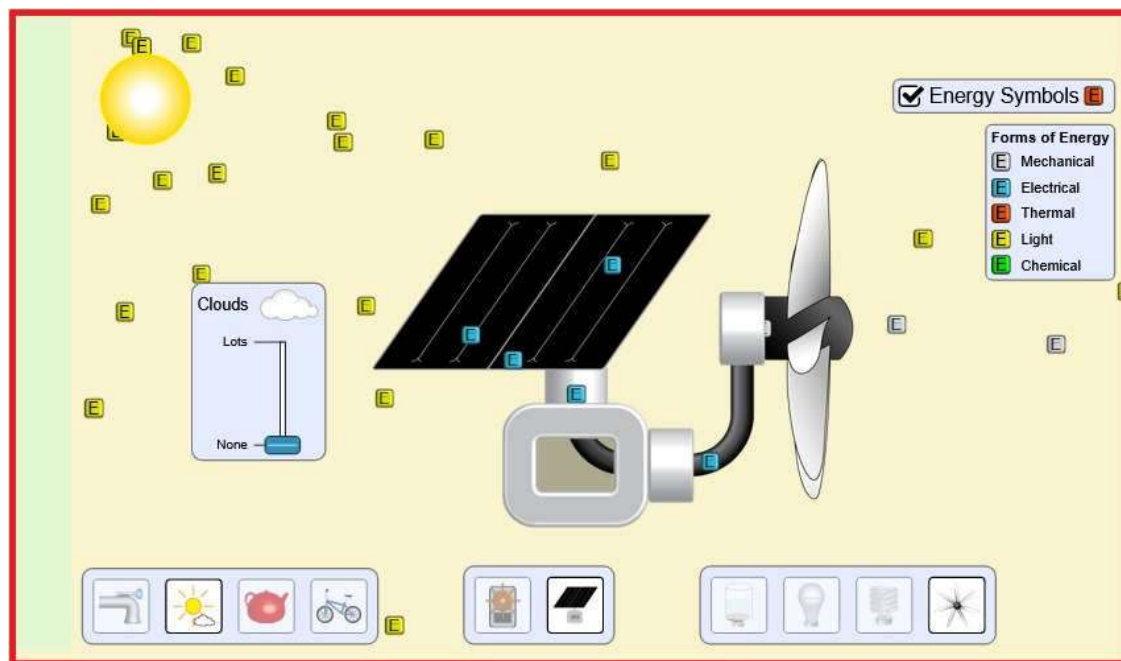


[University of Colorado](#). Energy forms and changes (CC BY)

La explicación en la rapidez con la que se calienta el hierro, frente a la del agua, tiene dos causas. Por un lado, la conducción térmica del hierro es mayor que la del agua: el calor se transmite con mayor facilidad. A esto se le llama conductividad térmica. La otra causa es la cantidad de calor que puede acumularse por unidad de masa. Es decir, el agua es capaz de acumular en 1 kg más cantidad de energía calorífica que 1 kg de hierro, estando ambos a la misma temperatura. A ello se le denomina calor específico. Ambos conceptos, así como sus unidades de medida, se verán a lo largo de este módulo.

Transformaciones de energía

Observa la siguiente imagen, procedente del simulador anterior y señala las transformaciones energéticas que se producen y los tipos de energía implicados.



[University of Colorado](#). *EW*nergy forms and changes (CC BY)

RESULTADO: Las transformaciones energéticas que se producen son las siguientes:

En primer lugar, pasando por alto la transformación energética que se origina en el Sol debido a las reacciones de fusión y que desprende energía radiante, la radiación solar llega a las placas fotovoltaicas y genera electricidad. Por cada metro cuadrado nos llega una potencia máxima de 1 kW/m^2 , lo que significa que, a lo largo de un día soleado de julio, puede llegarnos en una superficie horizontal una energía de, por ejemplo, 6 kWh/m^2 . Esta magnitud se denomina [irradiación solar](#). En segundo lugar, de esta irradiación solar, una placa fotovoltaica aprovecha algo menos del 20%. El resto de la energía no se aprovecha, bien porque la radiación se refleja o porque se transforma en calor que debe disipar el equipo.

En tercer lugar, la energía eléctrica producida llega al ventilador y este la transforma en movimiento mecánico que, a su vez, impulsa el aire. Es decir, transformamos la electricidad en movimiento mecánico. No obstante, no toda ella se transforma, una parte se convierte en calor que hay que disipar. Por ejemplo, un ventilador pequeño puede transformar en movimiento útil del aire no más del 50%. El resto se pierde, nuevamente, en calor.

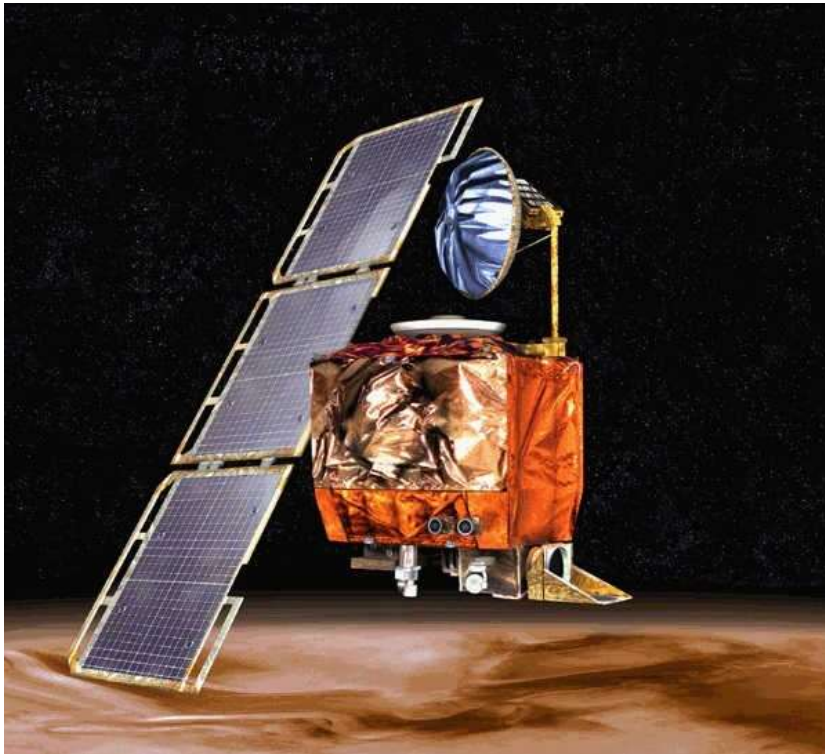
En resumen, **hay dos transformaciones básicas, una de radiación solar a electricidad y otra de electricidad a energía mecánica**. Junto con estas dos transformaciones deseadas hay otra indeseada, las pérdidas del sistema en forma de calor (no hay que olvidar que es la forma más degradada de energía). Si hacemos operaciones con los datos ejemplificados, tenemos que se aprovecha el 10% de la radiación solar en un propósito útil: mover el aire.



Materiales formativos de FP Online propiedad del Ministerio de Educación y Formación Profesional.

1.- Magnitudes y unidades

Caso práctico: el Mars Climate Orbiter se estrella en Marte



[NASA](#) (Dominio público)

Hace algún tiempo, el **Mars Climate Orbiter** se estrelló en la superficie de Marte. Una de las razones citadas fue una discrepancia en las unidades de medida utilizadas. El software de navegación esperaba datos en el **Sistema Internacional (SI)**, pero la empresa que construyó la nave proporcionó datos en el **Sistema Imperial de Medidas anglosajón**. En nuestro país está normalizado el uso de las unidades del SI, pero todavía pueden verse publicaciones en las que se utilizan unidades tradicionales, tales como la caloría o el caballo de vapor. Por otra parte si vas a consultar libros técnicos o catálogos de productos, procedentes de países anglosajones te vas a encontrar con unidades distintas de las del Sistema Internacional.

La observación de un fenómeno es, en general, incompleta a menos que dé lugar a una información cuantitativa. Para obtener dicha información, se requiere la medición de una o más propiedades físicas. Así, la medición constituye una buena parte de la rutina diaria del técnico. **La medición es la técnica por medio de la cual asignamos un número a una propiedad física**, como resultado de una **comparación** de dicha propiedad **con otra similar tomada como patrón, la cual se ha adoptado como unidad**. No es difícil entender que es necesario unificar el patrón para poder comprender e intercambiar datos.

1.1.- Sistema Internacional de Unidades

Sistema Internacional. El Sistema Internacional de Unidades, abreviado SI, es el sistema de unidades más extensamente usado; junto con el antiguo sistema métrico decimal, que es su antecedente y que se ha mejorado. El SI también es conocido como sistema métrico, especialmente en las naciones en las que aún no se ha implantado para su uso cotidiano. Fue creado en 1960 por la Confederación General de Pesas y Medidas, que inicialmente definió seis unidades físicas básicas o fundamentales. En 1971, fue añadida la séptima unidad básica, el mol.

MAGNITUDES FUNDAMENTALES (S.I.)			
Son la base para la formación de las demás magnitudes existentes.			
Magnitud Fundamental	Unidad		Dimensión
	Nombre	Símbolo	
Longitud	metro	m	L
Masa	kilogramo	kg	M
Tiempo	segundo	s	T
Temperatura Termodinámica	kelvin	K	θ
Intensidad de Corriente Eléctrica	ampere	A	I
Intensidad Luminosa	candela	cd	J
Cantidad de Sustancia	mol	mol	N

Magnitudes fundamentales

Unidades derivadas. Con esta denominación se hace referencia a las unidades utilizadas para expresar magnitudes físicas que son resultado de combinar magnitudes físicas tomadas como fundamentales. En cualquier caso, siempre es posible establecer una relación entre las unidades derivadas y las básicas o fundamentales mediante las correspondientes ecuaciones dimensionales.

Magnitudes físicas y unidades derivadas del sistema internacional (SI)		
Magnitud	Unidad	Símbolo
Área (S)	metro cuadrado	m ²
Volumen (V)	metro cúbico	m ³
Densidad (d, ρ)	kilogramo por metro cúbico	kg/m ³
Velocidad (v)	metro por segundo	m/s
Aceleración (a)	metro por segundo cuadrado	m/s ²
Fuerza (F)	Newton	N
Presión (P)	Pascal	Pa
Energía (E)	Julio	J
Trabajo (W)	Julio	J
Potencia (P)	Watio	W
Carga eléctrica (q)	Culombio	C
Resistencia eléctrica (R)	Ohmio	Ω
Voltaje (V)	Voltio	V

Tabla de prefijos multiplicadores para adecuar la unidad de medida

Prefijo		Factor que multiplica
Nombre	Símbolo	
mega	M	10 ⁶ = 1000000
kilo	k	10 ³ = 1000
hecto	h	10 ² = 100
deca	da	10 ¹ = 10
deci	d	10 ⁻¹ = 0.1
centi	c	10 ⁻² = 0.01
mili	m	10 ⁻³ = 0.001
micro	μ	10 ⁻⁶ = 0.000001

Magnitudes derivadas. Múltiplos y submúltiplos

Metro. Ahora se define al metro como la longitud de la trayectoria recorrida por la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de 1/299.792.458 de segundo

Kilogramo. Un Kg es la masa de 1 dm³ de agua a una temperatura de 4° Celsius.

Segundo. En 1964 se definió al segundo, en forma oficial, como la duración de 9.192.631.770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133.

Newton. Un Newton es la fuerza que hay que ejercer sobre un kilogramo de masa para que adquiera una aceleración de un metro por segundo cada segundo.

Pascal. Es la presión ejercida por una fuerza de 1 N que actúa sobre una superficie que tiene un área de 1 m².

Julio. Equivale a la cantidad de trabajo efectuado por una fuerza de 1 N actuando a través de una distancia de 1 metro.

Amperio. Es la unidad para la intensidad de corriente y equivale a una carga eléctrica de 1 Q (Culombio) por segundo.

Kelvin. Se define al Kelvin como la 1/273 parte de la temperatura termodinámica del punto triple del agua (que es el punto fijo en el que coexisten el hielo, el agua líquida y el vapor de agua en equilibrio). La única combinación de presión y temperatura a la que el agua, hielo y vapor de agua pueden coexistir en un equilibrio estable se produce exactamente a una temperatura de 273,1598 K (0,0098 °C) y a una presión parcial de vapor de agua de 611,73 Pa (6,1173 milibares; 0,0060373057 atm). En esas condiciones, es posible cambiar el estado de toda la masa de agua a hielo, a agua líquida o a vapor arbitrariamente haciendo pequeños cambios en la presión y la temperatura.

Normas ortográficas para los símbolos

Los símbolos de las unidades no deben tratarse como abreviaturas, por lo que se deben escribir siempre tal cual están definidos (p. ej., m para metro y A para amperio). Deben usarse preferentemente los símbolos y no los nombres (p. ej., kHz y no kilohertz o kilohertzio) y ni unos ni otros deben pluralizarse (p. ej., de resultar imprescindible, se dirá kilohertz, pero no kilohertzs).

Tampoco debe situarse un punto (".") a continuación de un símbolo, salvo cuando el símbolo se encuentra al final de una frase. Por lo tanto, es incorrecto escribir, por ejemplo, el símbolo de kilogramos como "Kg" (con mayúscula), "kgs" (pluralizado) o "kg." (con el punto). La única manera correcta de escribirlo es "kg". Esto se debe a que se quiere evitar que haya malas interpretaciones; por ejemplo: "Kg", podría entenderse como kelvin·gramo, ya que "K" es el símbolo de la unidad de temperatura kelvin. Por otra parte, ésta última se escribe sin el símbolo de grados "°", pues su nombre correcto no es grado Kelvin (°K), sino sólo kelvin (K). El símbolo de segundos es s (en minúscula y sin punto posterior) y no seg. ni segs. Los amperios no deben abreviarse Amps., ya que su símbolo es A (mayúscula y sin punto). El metro se simboliza con m (no mt, ni mts.).

Magnitudes derivadas

Magnitud derivada	Relación con otras magnitudes	Unidad básica	Símbolo de la Unidad
Fuerza	Masa x Aceleración	Newton	N
Presión	Fuerza / Superficie	Pascal	Pa
Trabajo, Energía, Calor	Fuerza x Longitud	Julio	J
Potencia	Trabajo / Tiempo	Vatio	W

Para saber más

En el siguiente enlace encontrarás información sobre el Sistema Internacional de Unidades (SI).

[Sistema Internacional de Unidades \(SI\).](#)

Autoevaluación

Analiza las siguientes frases, relacionadas con magnitudes y ecuaciones básicas frecuentes, y decide si son verdaderas o falsas.

1. La masa y el peso son la misma magnitud

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

No es la misma magnitud, aunque se suele emplear la misma unidad aparente para cuantificar ambas, el kg fuerza para designar el peso.

2. La ecuación de una fuerza, en función de la masa y de la aceleración a la que se somete es $F = m \times a$

☐ Verdadero ☐ Falso

Verdadero

Es correcto. De hecho, la relación entre la masa y el peso, sería $F \text{ (Peso)} = m \times g$ (aceleración de la gravedad)

3. La unidad de fuerza del Sistema Internacional es el Kg fuerza

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

La unidad es el Newton, y se simboliza con la letra N. 1 kg fuerza son 9,8 N. Por ejemplo, si una persona pesa 80 kg, es lo mismo que decir que tiene un peso de 784 N

4. La ecuación de la presión es $p = F/s$

☐ Verdadero ☐ Falso

Verdadero

Así es, la presión es directamente proporcional a la fuerza que se ejerce e inversamente proporcional a la superficie.

5. La presión que ejerce un teléfono móvil de 10 cm × 7 cm, que pesa 280 g y que está apoyado en una mesa, es de 4 Pa

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

No es correcto, ya que el resultado que se presenta no es en Pa, sino en g/cm², ya que $p = F/s = 280 \text{ g}/70 \text{ cm}^2 = 4 \text{ g/cm}^2$. Para obtener Pa, deberíamos poner la fuerza en N y la superficie en m², por lo que el resultado sería:

$$p = 0,28 \text{ kg} \times 9,8 \text{ N/kg} / 0,007 \text{ m}^2 = 392 \text{ Pa}$$

6. La energía se mide en las mismas unidades que el trabajo realizado

☐ Verdadero ☐ Falso

Verdadero

Correcto, por ejemplo, una energía de 100 J puede realizar un trabajo de 100 J (suponiendo que aprovechamos toda la energía, cosa que no es posible)

7. El trabajo mecánico es el producto de una fuerza por la distancia, supuesto que la fuerza está en la misma dirección que el desplazamiento

☐ Verdadero ☐ Falso

Verdadero

8. Si estamos sosteniendo un peso de 10 kg a una altura del suelo de 1 m, realizamos un trabajo de $T = 10 \text{ kgm}$

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

Es falso, no realizamos trabajo alguno, ya que no nos desplazamos.

9. La potencia de un motor es de 100 W y está funcionando durante 3 h, por lo que ha consumido una energía de 300 Wh

☐ Verdadero ☐ Falso

Verdadero

Así es, ya que $E = P \times t$. Si quisiéramos dar la energía consumida en J, deberíamos poner el tiempo en segundos, por lo que:

$$E = 100 \times 3 \times 3\,600 = 1\,080 \text{ kJ}$$

10. La unidad de presión, llamada bar, es igual a 100 kPa

☐ Verdadero ☐ Falso

Verdadero

Correcto. Y si quisiéramos saber la relación con una atmósfera, sería: 1 atm (atmósfera) es igual a 1,013 bar. O lo que es lo mismo: 1 atm = 101,3 kPa

1.2.- Sistema Anglosajón de medidas

El Sistema Internacional de medidas es relativamente reciente (1960) pero se basa en el sistema métrico decimal que data del año 1889, cuando se celebró la conferencia de pesos y medidas de París. Este sistema unificó las innumerables unidades existentes y fue adoptado por la mayoría de los países. La otra gran potencia de la época, Inglaterra, no quiso modificar las unidades. Mantuvo y estandarizó las antiguas medidas inglesas. Estas unidades, curiosamente están dejando paso al SI en Gran Bretaña, pero tienen gran fuerza en los países anglosajones, en especial Estados Unidos.

La poca familiaridad con el complejo sistema inglés de unidades recomienda el que se utilicen herramientas informáticas de conversión como la adjunta:

[Conversor de unidades](#)

Para saber más

<https://www.youtube.com/embed/7bUVjJWA6Vw>

Breve historia del Sistema Imperial de Medidas anglosajón

Autoevaluación

A continuación van a plantearse distintas afirmaciones relacionadas con las unidades inglesas y su relación con el SI, decide si son falsas o verdaderas. Para ello, utiliza el Conversor de unidades en red que se sugiere (o cualquier otro)

1. Un cuentakilómetros de un coche británico marca una velocidad de 100 mi/h (millas/h), por lo que el vehículo va a algo más de 160 km/h

☐ Verdadero ☐ Falso

Verdadero

Correcto. La milla terrestre es, aproximadamente 1,61 km

2. En una revista, un jugador de baloncesto americano mide 6 pies y 10 pulgadas y pesa 232 libras. Ello significa que casi mide 2 m y pesa alrededor de 105 kg

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

El peso sí que es correcto, pero la altura es de 2,08 m. Puede usarse el conversor o utilizar las equivalencias siguientes:

1" (pulgada) = 1'(pie) / 12 = 0,3048/12 m = 0,0254 m

6' 10" = 6 x 0,3048 + 10 x 0,0254 = 2,08 m

232 libras = 232 x 0,4536 = 105,24 kg.

3. Los múltiplos y submúltiplos del Sistema Inglés son también factores de 10 como en el SI.

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

No es correcto. Una de las mayores dificultades del Sistema Inglés es que no sigue la lógica de los factores de 10 como puedes ver en los sistemas de conversión. Hasta hace unos años incluso era peor, ya que lo mismo ocurría con su sistema monetario.

4. Los irlandeses piden pintas de cerveza en los pub, eso significa que les sirven casi medio litro de cerveza.

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

No es correcto, una pinta equivale a 0,57 l aproximadamente

5. Una yarda (yd) es casi 1 m de longitud

☐ Verdadero ☐ Falso

Verdadero

Así es, más exactamente es 0,91 m

6. La Ley de Ohm establece la relación entre tres magnitudes eléctricas fundamentales, la tensión (U), la Intensidad (I) y la Resistencia (R) y que se expresa matemáticamente: $U = R \times I$

☐ Verdadero ☐ Falso

Verdadero

Es correcta, y también podría expresarse como $I = U/R$ y $R = U/I$

7. La energía eléctrica consumida por un receptor es igual a la tensión que le llega por la intensidad y por el tiempo

☐ Verdadero ☐ Falso

Verdadero

Es correcto, ya que:

$$E = P \times t = (U \cdot I) \cdot t = U \cdot I \cdot t$$

8. Una resistencia eléctrica de 10Ω se conecta a una tensión eléctrica de 100 V, por lo que la intensidad de corriente que la atravesará es de 1000 A

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

Es errónea la respuesta, ya que sería: $I = U/R = 100/10 = 10 \text{ A}$

9. Una ciclista desarrolla una potencia muscular máxima de 500 W, si tiene un motor eléctrico conectado de 12 V, que absorbe 3 A, y aprovecha el 70% de esta potencia, ello le supone un aumento de potencia del 5 %

☐ Verdadero ☐ Falso

Verdadero

Correcto, ya que: $12 \cdot 3 / 500 = 0,072 \rightarrow 7,2 \%$ y utilizará el 70%, por lo que: $7,2 \times 0,7 = 5,04 \%$

10. La diferencia de potencial entre los extremos de un circuito es de 30 V y tiene una resistencia de $10 \text{ k}\Omega$, por lo que deberá circular una corriente de 30 mA.

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

La respuesta correcta es 3 mA, ya que $I = 30 / 10.000 = 0,003 \text{ A} = 3 \text{ mA}$

1.3.- Sistema Tradicional de medidas

Aunque actualmente es obligatorio el uso de las unidades del Sistema Internacional, en la documentación de los sistemas energéticos se continúan utilizando unidades tradicionales de medida. Esto se debe en parte a que las unidades del Sistema Internacional son para algunas magnitudes muy grandes o muy pequeñas. Las principales unidades utilizadas y su factor de conversión al SI son

Conversión entre unidades tradicionales de presión al Sistema Internacional (SI)

Presión	Bar	Atmósfera	Kg/cm ²	Metro columna de agua (m cda)	Mm de mercurio (mmHg)	Pascal (Pa)
Bar	1	0,987	1,02	10,197	750	100 000
Atmósfera	-----	1	1,03	10,33	760	101 000
Kg/cm ²	-----	-----	1	10	735,56	98 066,52
Metro columna de agua (m cda)	-----	-----	-----	1	73,55	9 810
Mm de mercurio (Torr)	-----	-----	-----	-----	1	133
Pascal (Pa)	-----	-----	-----	-----	-----	1

Conversión entre unidades tradicionales de trabajo y energía al Sistema Internacional (SI)

Trabajo y energía	Caloría (cal)	Kilovatio hora kW.h	Julio (J)
Caloría (cal)	1	1,16x10 ⁻⁶	4,19
Kilovatio hora kW.h	-----	1	3,6x10 ⁶
Julio (J)	-----	-----	1

Conversión entre unidades tradicionales potencia al Sistema Internacional (SI)

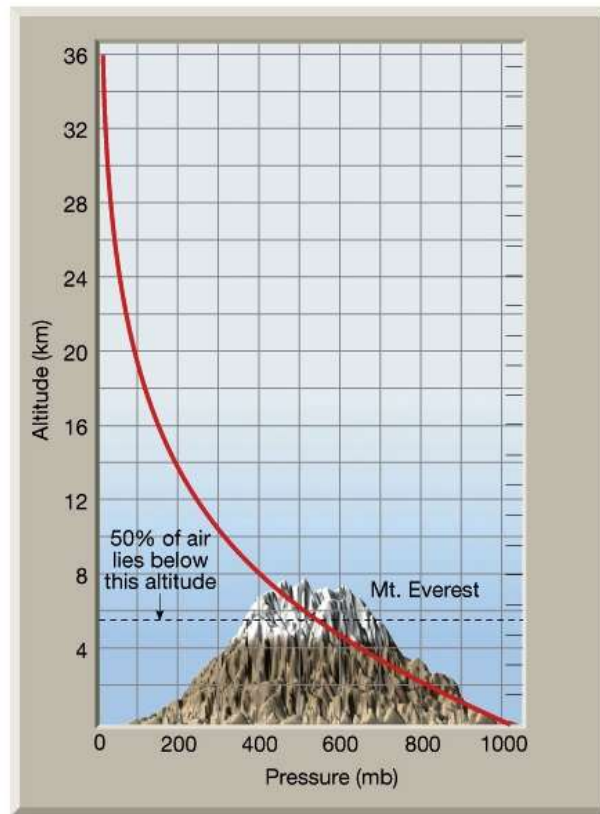
Potencia	Kilocaloría/hora (Kcal/h)	Caballo vapor (CV)	Vatio (W)
Kilocaloría/hora (Kcal/h)	1	1,58x10 ⁻³	1,16
Caballo vapor (CV)	-----	1	736
Vatio (W)	-----	-----	1

PRESIÓN ABSOLUTA Y RELATIVA

La [presión absoluta](#) es la presión partiendo del nivel de presión 0, es decir, del vacío.

Si tomamos un recipiente con mercurio, y una probeta, que llenamos completamente de mercurio de forma que no quede nada de aire en su interior. Taponamos la boca con un dedo, la invertimos, boca abajo, y la introducimos en el recipiente de mercurio. Una vez la boca de la probeta queda introducida en el recipiente, soltamos el dedo y comprobaremos cómo la parte superior del mercurio de la probeta desciende hasta quedar a una altura de 760 mm, lo que significa que es la presión atmosférica la que ejerce la fuerza que equilibra ambos niveles, ya que en la parte superior de la probeta no existe aire, sino vacío y, por tanto, no hay ninguna fuerza que empuje al mercurio hacia abajo.

La presión atmosférica no es igual en todas partes. Depende de la capa de aire sobre el lugar en el que se mide. Si la medimos a nivel del mar tendremos un valor que según vayamos aumentando la altitud disminuirá, debido a que la capa de aire es menor y por lo tanto ejerce menos presión. El gráfico siguiente nos da la relación entre la altitud y la presión atmosférica.



Lutgens and Tarbuck's The Atmosphere, Figure 1-17, page 18 . Pressure variations caused by altitude (Todos los derechos reservados)

La **presión relativa** es la presión medida sin tener en cuenta la presión atmosférica. Por ejemplo, un manómetro que está desconectado y colocado sobre una mesa marca 0 bar y, sin embargo, la presión atmosférica es prácticamente 1 bar. Si ese manómetro se conecta a una tubería y marca 4 bar, significa que tiene 4 bar por encima de la presión atmosférica, es decir 5 bar absolutos, ya que la presión atmosférica es, aproximadamente, igual a 1 bar.

$$\text{Presión absoluta} = \text{Presión relativa} + \text{Presión atmosférica}$$

A la presión relativa se le llama presión manométrica, que es la que normalmente leemos en los manómetros



WICA . Manómetro (Todos los derechos reservados)

2.- Calor y temperatura

Caso práctico: Central solar de torre de Almería (CIEMAT)

Existen diferentes métodos y tecnologías para obtener energía eléctrica de la radiación solar. Una de ellas es la utilización de espejos que concentran la radiación solar en una torre. Es el mismo principio por el que con una lupa podemos quemar un papel. Hemos dicho antes que, dependiendo del lugar, día y hora, podemos imaginar que nos llega una radiación solar por cada metro cuadrado de superficie perpendicular a esta radiación, de 1 kW. Esta magnitud, denominada irradiancia (1 kW/m^2), está muy relacionada con lo que se denomina 1 sol. Por ejemplo, si, en el caso de utilizar una lupa, concentramos la radiación solar que llega a la superficie de la lupa, en una superficie 10 veces menor, tenemos una concentración de 10 soles.

Una **central de torre de energía solar** es un sistema que incluye una serie de grandes espejos de seguimiento solar conocidos como **helióstatos** que enfocan la luz solar en un receptor en la parte superior de una torre. En este receptor, un fluido se calienta y se usa para generar vapor de agua a alta presión y temperatura (100 bar y 400°C). Este vapor alimenta un generador de turbina convencional para generar electricidad. Cuando, además de los helióstatos, se realiza una segunda concentración en la torre, se denominan hornos solares y su aplicación más importante es para investigación de procesos químicos y de conocimiento de materiales. Las temperaturas que se obtienen llegan a más de $3\,000^\circ\text{C}$ y sirven para realizar experimentos.

La experiencia acumulada hasta la fecha ha servido para demostrar la viabilidad técnica del concepto y su capacidad para operar con altos flujos de radiación incidente (típicamente entre 200 y $1\,000 \text{ kW/m}^2$). Las predicciones sobre valores de eficiencia del sistema, conversión de solar a electricidad, son de alrededor del 15-17% anual. No obstante, **el elevado coste de inversión aún constituye un obstáculo** hacia el pleno aprovechamiento de su potencial a nivel comercial. Las primeras aplicaciones comerciales que están iniciando su despliegue, todavía presentan costes por potencia instalada de 2 500 a 9 000 €/kW (dependiendo del tamaño del almacenamiento) y costes estimados de la electricidad producida en el entorno de 0,16 a 0,20 €/kWh.



[Abengoa solar](#). Solar tower (Todos los derechos reservados)

2.1.- Energía interna y entalpía

El concepto de calor ha experimentado numerosos cambios a lo largo de la historia. Actualmente **el calor es concebido como la medida de la cantidad de energía que se transfiere de un cuerpo a otro, debido únicamente a una diferencia de temperatura**. Con esta definición no tiene sentido hablar de la cantidad de calor de un cuerpo. Un cuerpo no tiene calor, tiene energía interna. **La energía interna de un cuerpo se define como la suma de todos los tipos de energías, de las partículas que lo constituyen**. Así que, cuando decimos que dos cuerpos intercambian calor, lo que estamos diciendo es que hay transferencia de energía de un cuerpo a otro debido al hecho de que están a diferentes temperaturas.

La temperatura de un cuerpo mide el grado de agitación de las partículas que lo constituyen. Todo cuerpo está formado por átomos o moléculas que están en un estado permanente de agitación. A mayor temperatura, la agitación de las moléculas es mayor y, recíprocamente, a menor temperatura la agitación es menor, hasta que llega a ser nula a $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ (0 K). **A 0 K la energía interna de cualquier cuerpo es 0**.

La **unidad tradicional para medir la cantidad de calor es la kilocaloría (kcal)**, definida como la energía necesaria para aumentar $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ la temperatura de 1 kg de agua. En el Sistema Internacional (SI) la unidad de energía (calor o trabajo) es el Julio (J), resultando que $1\text{ kcal} = 4\,184\text{ J}$.

ENERGÍA INTERNA

Un sistema termodinámico (una caldera, un motor de coche, una central térmica, el suelo radiante de una habitación, una tubería por la que circula vapor, etc.) poseen una cierta energía que llamamos energía interna (U), debida a la propia constitución de la materia (enlaces de la moléculas, interacciones entre ellas, choques térmicos....). Por lo tanto, la energía total de un sistema es la suma de su energía interna, su energía potencial (relacionada con la altura relativa a la que se encuentra), su energía cinética (debido al movimiento), y la debida al hecho de encontrarse sometido a la acción de cualquier campo. No obstante, **en los sistemas térmicos suelen considerarse dos tipos de energía, la térmica**, relacionada con la transferencia de calor **y la mecánica**, asociada a su posición (energía potencial) movimiento (cinética) y a su presión (piezométrica). El resto de las energías se considera que no varían al realizar los cálculos de instalaciones térmicas.

En consecuencia, la energía interna de un sistema varía cuando está realizando un trabajo (energía mecánica), o transfiriéndose energía en forma de calor. Si varía la energía interna de nuestro sistema, debido a la Primera Ley de la Termodinámica, que veremos después, esta variación vendrá acompañada, en el exterior de nuestro sistema, de la misma variación de energía, pero de signo contrario. De este modo, la energía total del sistema más la del entorno, permanece constante. La energía del Universo permanece constante. La energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma. Por ejemplo, si calentamos un depósito lleno de agua, hasta que se evapora y mueve un cilindro, nuestro sistema gana energía interna mientras se calienta el agua, pero al realizar un gasto energético para mover el cilindro, perderá esa misma energía interna y se transformará en trabajo útil. Esto lo pone de manifiesto la siguiente relación: $\Delta U = Q + W$

Como resulta más conveniente considerar positivos, tanto el trabajo que realiza un sistema (realmente debería ser negativo según la fórmula anterior), como el calor aportado, la anterior fórmula debe cambiar de signo y expresarse del modo usual:

$$\Delta U = Q - W$$

**El cambio en la energía interna de un sistema es
Igual al calor añadido al sistema menos el
trabajo realizado por el sistema**

Siendo:

ΔU : Variación de la energía interna en el sistema

Q : Calor transferido. El calor que absorbe el sistema se considera positivo y el cedido negativo.

W : Trabajo transferido. El trabajo que aporta el sistema al exterior se considera positivo y el que se realiza sobre el sistema negativo

Las unidades de medida son en formato de energía (J, kWh, cal, etc) o en el de energía específica por unidad de masa (J/kg, kcal/kg, etc.)

Desde el punto de vista de la termodinámica, en un sistema cerrado (o sea, de paredes impermeables), la variación total de energía interna es igual a la suma de las cantidades de energía comunicadas al sistema en forma de calor y de trabajo. Aunque el calor transmitido depende del proceso en cuestión, la variación de energía interna es independiente del proceso, sólo depende del estado inicial y final, por lo que se dice que es una función de estado, lo mismo que la entalpía, que vemos a continuación.

ENTALPÍA

La entalpía (H), mide la energía que un sistema termodinámico intercambia con su entorno y su ecuación es:

$$H = U + p \cdot v$$

La entalpía de un sistema es la energía interna que tiene más el producto de la presión por su volumen

Siendo:

H: Entalpía. Con frecuencia se utiliza el concepto de entalpía específica (por unidad de masa)

U: Energía interna en el sistema

p: Presión. Puede ir variando en el proceso de transformación.

v: Volumen.

Las unidades de medida son, en el SI: J, Pa y m³

Los intercambios de energía pueden realizarse en forma de calor, lo que contribuye a la variación de la energía interna, o de trabajo, lo que se refleja en el producto de la presión por el volumen. La entalpía, al igual que la energía interna, se mide en unidades energéticas. En el caso de la entalpía es mucho más frecuente utilizar la entalpía específica por unidad de masa (kJ/kg), que no es otra cosa que la energía termodinámica que tiene un fluido por cada unidad de masa. Cuando un sistema pasa desde unas condiciones iniciales hasta otras finales, se mide el cambio de entalpía (ΔH). Lo que hace la entalpía es reflejar la cantidad de energía que un cuerpo intercambia con el entorno. Sus fluctuaciones, de este modo, revelan el nivel energético que el cuerpo libera o absorbe.

$$\Delta H = H_{final} - H_{inicial}$$

Ejercicio para resolver

A partir del siguiente simulador online, comprueba cómo a mayor temperatura, la agitación molecular aumenta. Del mismo modo, observa cómo en estado sólido, las moléculas están muy unidas entre sí, mientras que en estado líquido gozan de una cierta movilidad y en el estado gaseoso, se desplazan de forma errática. Realiza diferentes experimentos para comprobar si los resultados obtenidos se adaptan a las ideas iniciales que tienes sobre calor y temperatura.

Podrás observar que aparecen magnitudes y comportamientos que, quizás, te cueste un poco entender. Pero no te preocupes, a lo largo de esta unidad estudiaremos todo ello y adquirirás el conocimiento sobre las leyes que rigen el comportamientos de sólidos, líquidos y gases. Por el momento, realiza los experimentos que desees.

https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter/latest/states-of-matter_en.html

Simulador de estados de la materia

2.2.- Escalas termométricas

TEMPERATURA

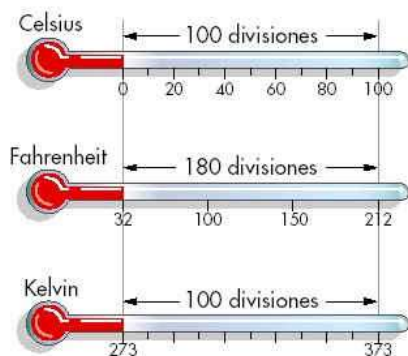
Hay 3 escalas para medir la temperatura: Celsius, Fahrenheit y Kelvin. La escala Fahrenheit es la utilizada tradicionalmente por los países anglosajones. La escala Celsius es la tradicional de los países del sistema métrico. Ambas escalas parten de los valores de fusión y ebullición del agua para fijar sus escalas. En el sistema Celsius esos puntos corresponden a 0°C y a 100°C mientras que en el Fahrenheit los puntos corresponden a 32°F y a 212 °F. La escala Kelvin es equivalente a la Celsius con la salvedad que su cero corresponde a -273 °C. Por lo tanto cuando consideramos diferencias de temperaturas, el resultado es el mismo en ambas escalas.

La unidad del Sistema Internacional (S.I.) es el grado Kelvin, cuya escala comienza en el cero absoluto (0K = -273°C).

La conversión entre Fahrenheit y Celsius viene dada por la fórmula:

$$F = 32 + \frac{9}{5} \cdot C \quad \rightarrow \quad C = \frac{5}{9} \cdot (F - 32)$$

Siendo F los grados Fahrenheit y C los grados Celsius



Nombre	Símbolo	Temperaturas de referencia	Equivalencia
Escala Celsius	°C	Puntos de congelación del agua o fusión del hielo (0 °C) y ebullición del agua (100 °C)	$t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273$
Escala Fahrenheit	°F	Punto de congelación de una mezcla anticongelante de agua y sal y temperatura del cuerpo humano.	$T(^{\circ}\text{F}) = 1,8 \cdot t(^{\circ}\text{C}) + 32$
Escala Kelvin	K	Cero absoluto (temperatura más baja posible)	$T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273$

TIPOS DE TERMÓMETROS

- Mercurio. Se denominan de mercurio pero se utilizan otros líquidos menos contaminantes para poder visualizar la variación de temperatura. La forma, sin embargo, no ha variado. Suelen tener forma de varilla con un cristal transparente que permite apreciar la dilatación del líquido contenido.
- De reloj con bimetálico. Su forma es la de un reloj, cuya escala está graduada a las temperaturas correspondientes. En ocasiones tienen dobles escalas, aunque no suele ser frecuente debido a la mayor complejidad que ocasiona su lectura. El movimiento de la guja lo produce una espiral constituida por dos metales de diferente coeficiente de dilatación.
- Con sonda a distancia por termopar. En muchas ocasiones el punto de medida de la temperatura suele estar alejado del sitio de su control. El mejor ejemplo lo tenemos con las estaciones meteorológicas domésticas, en las que se coloca un sensor en el exterior y envía una señal por radiofrecuencia para su lectura en la unidad de control. En ocasiones estas sondas se comunican por cableo por internet.
- Por infrarrojos. Los termómetros por infrarrojos captan la radiación infrarroja que todo cuerpo que esté a más de -273°C emite. El tratamiento de esta señal permite obtener una temperatura aproximada de la superficie del cuerpo correspondiente. Las cámaras termográficas, muy utilizadas en estudios de eficiencia energética, se basan en este principio.

DIGITALES



ANALÓGICOS



Tipos de termómetros (CCO)

Ejercicios resueltos

1. ¿A cuánto equivalen 25 °C en la escala Fahrenheit?

Mostrar retroalimentación

$$^{\circ}F = \frac{9}{5} 25 + 32 = 77^{\circ}F$$

2. La temperatura de ebullición del nitrógeno a presión normal, es 77 K. En la escala Celsius esta temperatura se escribe ...

Mostrar retroalimentación

$$77 K = 77 - 273 = -196^{\circ}C = 77^{\circ}F.$$

3. El etanol tiene un punto de congelación de - 39 ° C, a presión normal. Determina esta temperatura en la escala Kelvin.

Mostrar retroalimentación

$$- 39^{\circ}C = - 39 + 273 = 234 K.$$

4. Cuando un termómetro graduado en grados Celsius sufre una variación de 32 grados en su temperatura, ¿cuánto lo hará en la escala Kelvin?

Mostrar retroalimentación

La misma variación 32 grados. La escala Celsius y la escala Kelvin tienen la misma graduación, la diferencia es dónde establecen el cero.

5. Una estación de radio local anunció que la temperatura en el oeste de los Estados Unidos era de 77 grados. Es evidente que esa temperatura está dada en grados Fahrenheit. ¿Cuál es su valor en la escala Celsius?

Mostrar retroalimentación

$$^{\circ}\text{C} = 5/9 \cdot (^{\circ}\text{F} - 32) = 5/9 \cdot (77 - 32) = 25^{\circ}\text{C}.$$

Autoevaluación

1. En el interior de una habitación que no ha sido calentada ni refrigerada durante varios días:

- ☐ La temperatura de los objetos de metal es inferior a la de los de madera.
- ☐ La temperatura de todos los objetos es la misma.
- ☐ Ningún objeto tiene temperatura.

Incorrecto. La temperatura será la misma.

Correcto. Efectivamente, todos tendrán la misma temperatura.

Esa afirmación es errónea. Todo cuerpo está a una temperatura.

Solución

1. Incorrecto
2. Opción correcta
3. Incorrecto

2. Se define el calor como:

- ☐ La energía cinética de las moléculas.
- ☐ La energía transmitida debido a una diferencia de temperaturas.
- ☐ La energía contenida en un cuerpo.

No es correcto. La energía cinética de las moléculas se corresponde con la temperatura.

Correcto, el calor se relaciona con una transferencia de energía entre dos cuerpos a diferentes temperaturas.

La respuesta no es correcta. Tiene que haber una transferencia de energía.

Solución

1. Incorrecto
2. Opción correcta
3. Incorrecto

3. La entalpía de un caudal másico de vapor de 10 kg/s, es de 2 900 kJ/kg. Este vapor se obtiene en una central geotérmica y acciona una turbina. A la salida de la turbina, los programas de control indican que el vapor tiene una entalpía de 1 900 kJ/kg. Se trata de averiguar la potencia que, aproximadamente, ha transmitido el vapor a la turbina.

- ☐ No ha transmitido potencia alguna, ya que el vapor a la salida tiene la misma potencia que a la entrada
- ☐ Como el vapor ha perdido 1 000 kJ/kg y hay un caudal de 10 kg/s, la potencia que ha transmitido a la turbina será 10 000 kJ/s = 10 000 kW
- ☐ No transmite potencia a la turbina, es la turbina la que, al girar, transmite potencia al vapor.

El vapor tiene menor potencia y menos energía a la salida

Efectivamente, esta es la respuesta correcta

Si la entalpía a la salida es menor que a la entrada, obviamente la turbina absorbe energía. Si ocurriera al contrario, estaríamos frente a un compresor que comprimiría un vapor, aumentando su entalpía.

Solución

- 1. Incorrecto
- 2. Opción correcta
- 3. Incorrecto

4. Convertir 15 °C en °F

- ☐ 59 °F
- ☐ 65 °F
- ☐ 10 °F

Opción correcta

Incorrecto

Incorrecto

Solución

- 1. Opción correcta
- 2. Incorrecto
- 3. Incorrecto

5. Convertir 27 °C en K

- ☐ 246 K
- ☐ 300 K
- ☐ 263 K

Incorrecto

Opción correcta

Incorrecto

Solución

1. Incorrecto
2. Opción correcta
3. Incorrecto

Para saber más

La temperatura, como ya se ha dicho, puede medirse con ayuda de detectores de radiación infrarroja. Ajustando los aparatos receptores de radiación, tratando las señales eléctricas recogidas y proyectándolas en un display o pantalla, conseguimos un equipo muy importante en eficiencia energética, en mantenimiento o en detección visual de anomalías térmicas: es la denominada cámara termográfica. En el siguiente vídeo puedes ver las aplicaciones en mantenimiento predictivo.

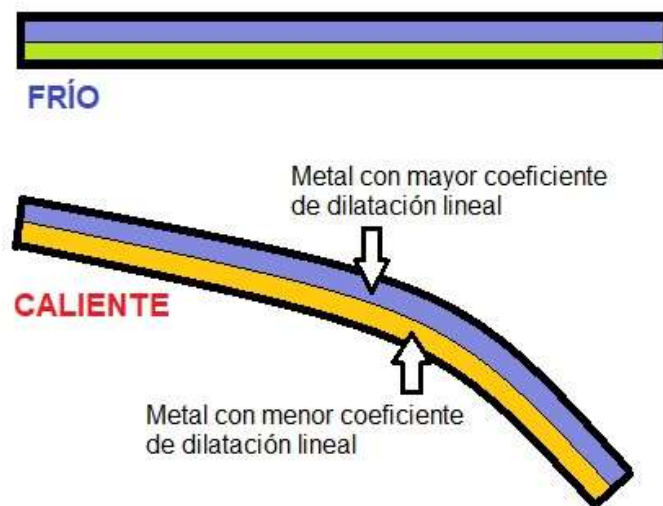
<https://www.youtube.com/embed/qbLxi8k1X0>

[Flir](#), Termografías (Gentileza de Flir)

2.3.- Dilatación

CONCEPTO DE DILATACIÓN

Por lo general, al aumentar la temperatura de un cuerpo, sus dimensiones aumentan y al contrario, al disminuir la temperatura las dimensiones también disminuyen. Esta variación de dimensiones se produce debido a que **la agitación térmica** (vibración partículas que componen el cuerpo) **y la temperatura están estrechamente relacionadas**. Al aumentar la temperatura las partículas vibran con mayor intensidad y por lo tanto requieren mayor espacio. La suma de todos esos pequeños incrementos de espacio, al aumentar la temperatura, da lugar a una dilatación. Y, en sentido contrario, la disminución de temperatura origina una contracción.



Dilatación de bimetales

Una aplicación interesante de la dilatación son los dispositivos basados en láminas bimetálicas. Se trata de dos o más láminas de diferentes materiales, con diferentes coeficientes de dilatación, unidas. Al calentarse, las dilataciones son distintas y hace que el conjunto de las láminas se curve en función de la temperatura. Este es el principio de funcionamiento de los termómetros bimetálicos, tal como se ha indicado antes.

En la siguiente imagen puedes ver un caso práctico que se produce en las instalaciones térmicas. Las juntas que ves sirven para, en el primer caso, permitir la dilatación del suelo. Un suelo radiante necesita ese tipo de juntas dado que la superficie aumenta con la temperatura. En la segunda imagen la junta permite ajustar el diferente grado de dilatación de la tubería y del muro que atraviesa.



[Romus](#). Junta dilatación (Todos los derechos reservados)



Junta de dilatación en tuberías pasantes (CCO)

DILATACIÓN DE SÓLIDOS

Se distinguen tres tipos de dilataciones:

- Lineales.
- Superficiales.
- Cúbicas (Volumétricas).

La dilatación lineal es la que se produce en cualquier dimensión lineal de un cuerpo por efecto de la temperatura. La tendrás que tener muy en cuenta en el tendido de tuberías, ya que deberás dejar espacio suficiente para que se produzca la dilatación. El coeficiente lineal de expansión (α): es la variación de la unidad de longitud de un sólido cuando su temperatura varía en una unidad.

$$\Delta l = l_{\text{final}} - l_{\text{inicial}} = l_{\text{inicial}} \cdot \alpha \cdot (t_{\text{final}} - t_{\text{inicial}})$$
$$\Delta l = l_{\text{inicial}} \cdot \alpha \cdot \Delta t \rightarrow \text{y si llamamos a la } l_{\text{inicial}}, l_0$$

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

La dilatación superficial es la que se produce en cualquier superficie del cuerpo. El coeficiente superficial (β) es la variación de la unidad de superficie por unidad de temperatura.

$$\Delta S = S_0 \cdot \beta \cdot \Delta t$$

La dilatación volumétrica o cúbica, es la que se produce en el volumen de un cuerpo por efecto de un incremento de la temperatura. El coeficiente volumétrico (γ) es la variación de volumen por unidad de temperatura.

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta t$$

La relación entre los tres coeficientes es, con bastante aproximación:

$$\beta \approx 2 \cdot \alpha$$

$$\gamma \approx 3 \cdot \alpha$$

Los líquidos también aumentan su volumen al aumentar la temperatura. El que más vas a utilizar es el agua. Como verás más adelante, en las instalaciones térmicas tendremos que disponer siempre de algún sistema que nos permita afrontar el aumento de volumen del líquido contenido en las tuberías.

El agua presenta además un comportamiento anómalo con respecto a la correlación entre temperatura y dilatación. Si el agua se enfría por debajo de 4 °C deja de contraerse y comienza una dilatación. Esto hace que el hielo sea menos denso que el agua, lo que permite que en los ríos, el hielo se forme en la parte superior, permaneciendo el agua líquida bajo su superficie. Por lo tanto se puede decir que el agua tiene su volumen mínimo y su densidad máxima a 4 °C.

LA ANOMALÍA DEL AGUA

El hecho de que el agua no siga la conducta de los demás cuerpos, en lo que a la dilatación se refiere, es providencial para la vida marina en las zonas árticas. Si el hielo fuera más denso que el agua, en el momento en que se formaran cristales de hielo, estos irían al fondo del mar, quedando en contacto con la atmósfera otra capa de agua, repitiéndose el proceso indefinidamente hasta que toda el agua del mar quedara congelada. Más abajo, el agua a 4 °C presenta mayor densidad que a 0 °C, por lo que el agua del fondo estará más caliente que la que se encuentra en contacto con el hielo.



Anomalía del agua

COEFICIENTES DE DILATACIÓN

En las dos siguientes tablas podemos ver los coeficientes de dilatación lineal de algunos sólidos y los coeficientes de dilatación cúbica (volumétrica) de algunos líquidos.

Algunos coeficientes de dilatación, que son constantes cuando el cambio de temperatura es menor que 100°C

Material	α ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Hormigón	2.0×10^{-5}
Acero	1.1×10^{-5}
Hierro	1.2×10^{-5}
Plata	2.0×10^{-5}
Oro	1.5×10^{-5}
Invar	0.04×10^{-5}
Plomo	3.0×10^{-5}
Zinc	2.6×10^{-5}
Aluminio	2.4×10^{-5}
Latón	1.8×10^{-5}
Cobre	1.7×10^{-5}
Vidrio	$0.7 \text{ a } 0.9 \times 10^{-5}$
Cuarzo	0.04×10^{-5}
Hielo	5.1×10^{-5}
Diamante	0.12×10^{-5}
Grafito	0.79×10^{-5}

Coeficientes de dilatación volumétrica de algunos líquidos

Sustancia	γ ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Alcohol	1.1×10^{-3}
Benceno	1.24×10^{-3}
Glicerina	5.1×10^{-4}
Mercurio	1.8×10^{-4}
Agua	2.1×10^{-4}
Petróleo	9.0×10^{-4}

Para saber más

Una aplicación interesante de la dilatación son los dispositivos basados en láminas bimetalicas. Se trata de dos o más láminas de diferentes materiales, con diferentes coeficientes de dilatación, unidas. Al calentarse las dilataciones son distintas y hace que el conjunto de las láminas se curve, más o menos, en función de la temperatura. Una primera aplicación son los termómetros. En el siguiente enlace puedes ver una explicación de su funcionamiento:

[Termómetro bimetalico](#)

Otra aplicación es en los cuadros eléctricos. En todos existe un dispositivo llamado PIA (pequeño interruptor automático), que se basa en este principio. Puedes ver una explicación en el siguiente enlace:

[Interruptor eléctrico](#)

Ejercicios resueltos

1. Una placa de metal aumenta su superficie en $0,66 \text{ cm}^2$ cuando se calienta de 0°C a 100°C . Utilizando la tabla de dilataciones, averigua cuál es el material sabiendo que su área es de 200 cm^2 a 0°C

Mostrar retroalimentación

$$\Delta s = s_0 \cdot \beta \cdot \Delta t$$

$$0,66 = 200 \cdot \beta \cdot 100$$

$$\beta = 0,34 \cdot 10^{-4} = 3,4 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \rightarrow \alpha = 1,65 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

Si observas en la tabla de dilatación de sólidos, ese valor correspondería, aproximadamente al cobre. Lógicamente, hay muchos tipos de cobres y aleaciones.

2. Una estación de servicio ha comprado 20 000 litros de combustible. Cuando se almacenó la temperatura a la que se encontraba era de 25 °C. En el almacenamiento su temperatura subió a 27 °C. Sabiendo que toda la gasolina se ha vendido a esta temperatura y su coeficiente de expansión volumétrica es de $11 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ Determina la variación en litros entre lo almacenado y lo vendido.

Mostrar retroalimentación

$$\Delta V = V_o \cdot \gamma \cdot \Delta t$$

$$\Delta V = 20.000 \cdot 11 \cdot 10^{-4} \cdot 2 = 44 \text{ litros}$$

3. Un cable de acero de una longitud de 500 m, sufre un cambio de temperatura de 10 °C a 40 °C. ¿Cuál es la dilatación lineal que experimenta?

Mostrar retroalimentación

$$\Delta l = 500 \cdot 1,1 \cdot 10^{-5} \cdot 30 = 0,165 \text{ m}$$

3.- Calor específico, sensible y latente

Caso práctico: Muro Trombe

En el caso práctico al inicio de esta unidad, hemos visto un edificio construido para conseguir un mayor aprovechamiento energético y una mayor sensación de confort. Una de las cosas que más sensación de confort produce es que las temperaturas de paredes y suelos se acerquen a la temperatura del aire de una estancia e, incluso, en invierno un poco por encima. Los muros y techos radiantes aportan esta mejora y, además, un muro bien orientado y, con una disposición como la que vemos en la imagen, nos permite ahorrar energía durante la noche en climas fríos y soleados.



Un **Muro Trombe** es un sistema de eficiencia energética basado en la arquitectura solar pasiva. Se trata de aprovechar la energía solar durante el día para el calentamiento durante la noche. Para ello se orienta la fachada de la edificación al sur, que es donde mayor radiación se captará. Y para conseguir la máxima eficiencia, se hace un pequeño invernadero con un muro cortina de vidrio. La radiación solar, al incidir en la superficie del muro se convierte, en buena parte, en radiación infrarroja, la cual queda atrapada en el hueco como en un invernadero. Este calor acumulado se va almacenando, poco a poco, en un muro de alta densidad. Cuanta mayor sea la capacidad de almacenar calor por el muro, mayor energía calorífica se dispondrá durante la noche. Y esta capacidad dependerá, esencialmente, del calor específico del material con el que esté hecho y de su masa. En este apartado estudiaremos estos factores y veremos su relación cuantitativa.

3.1.- Calor específico

CALOR ESPECÍFICO DE SÓLIDOS Y LÍQUIDOS

El calor específico c se define como la cantidad de energía necesaria para aumentar $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ la temperatura de una masa de 1 kg . Es decir, es algo parecido a la capacidad que tiene un cuerpo para almacenar calor. Si tenemos que administrar mucha energía calorífica a un cuerpo para que aumente su temperatura (sabiendo que la energía no se crea ni destruye y, por consiguiente, está almacenada en este cuerpo), podemos concluir que su calor específico es mayor que en otro cuerpo en el que con el mismo calor, su temperatura aumenta rápidamente. Lo hemos visto en la simulación que hemos realizado anteriormente con el agua (mucho calor específico) y el bloque de hierro (menor calor específico).

Cada cuerpo tiene un calor específico distinto y lo debemos conocer si deseamos enfriar o calentar ese cuerpo para saber cuánto calor debemos aportar o quitar. A la sustancia más común en sistemas térmicos, el agua, se le ha dado el valor de $1\text{ kcal/kg }^{\circ}\text{C}$ (necesito 1 kilocaloría para subir 1 kg de agua 1°C). Es decir, en el caso del agua resulta, $c = 1\text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C} = 4,184\text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$.

Los demás cuerpos, reciben valores en comparación con el agua, y tienen un valor inferior a ésta. Es decir, el agua es una de las sustancias con mayor capacidad para acumular calor. Esta es una gran ventaja, ya que suele ser un recurso muy accesible y es barata. Tiene el inconveniente de que, a presión atmosférica, se hiela a 0°C . No obstante, las instalaciones de calefacción y climatización de edificios no necesitan temperaturas tan bajas en el fluido portador.

Por otro lado, sabemos que la cantidad de calor que hay que aportar a un cuerpo para subir su temperatura es proporcional a su masa. De este modo, obtenemos la ecuación básica siguiente:

$$Q = m \cdot c \cdot (t_{\text{final}} - t_{\text{inicial}}) = m \cdot c \cdot \Delta t$$

El calor es positivo cuando se absorbe (aumenta la temperatura ($t_2 > t_1$)) y negativo cuando se cede ($t_2 < t_1$)

Siendo:

Q: Energía calorífica que interviene (positiva si absorbe calor, ya que $t_2 > t_1$, y negativa si cede calor). En el SI, la unidad es J, pero se utiliza frecuentemente la kcal $\rightarrow 1\text{ kcal} = 4,184\text{ kJ}$

m: Masa que interviene. Usualmente en kg

t: Temperaturas inicial y final. Aunque en el SI debe ir en K, es exactamente igual ponerlas en $^{\circ}\text{C}$, ya que la diferencia da el mismo resultado en ambas unidades.

c: Calor específico del cuerpo o sustancia. Las unidades empleadas en este valor determinarán las unidades restantes. Normalmente, este valor viene dado en el SI en $\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$ (también $\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$), o en $\text{kcal/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$

Algunos valores de calores específicos los tenemos en la tabla siguiente:

Calores específicos de algunas sustancias a presión constante		
Sustancia	Calor Especifico	
	cal/g °C	J/kg °C
Agua	1.00	4186
Alcohol etílico	0.58	2430
Trementina	0.42	1800
Hielo	0.50	2090
Vapor (a 100 °C)	0.48	2010
Aluminio	0.21	900
Cobre	0.0920	390
Plomo	0.03	128
Zinc	0.0922	386
Plata	0.056	236
Vidrio	0.20	840
Oro	0.030	129
Acero	0.114	477
Hierro	0.113	473

EQUILIBRIO TÉRMICO EN MEZCLAS

Cuando se mezclan dos o más sustancias a diferentes temperaturas, se produce un proceso por el que el calor del cuerpo más caliente pasa al cuerpo más frío. De este modo, al cabo del tiempo suficiente, se produce un equilibrio térmico en el que ambos cuerpos se encuentran a la misma temperatura. Esta temperatura de equilibrio está entre las dos temperaturas y su proximidad a una u otra depende de la masa de cada cuerpo, de sus temperaturas y de los calores específicos de cada uno de ellos. En estos casos se aplica el principio de las mezclas siguiente:

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 + \dots = 0$$

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (t_{\text{equilibrio}} - t_1) + m_2 \cdot c_2 \cdot (t_{\text{equilibrio}} - t_2) = 0$$

El calor cedido por el cuerpo caliente es absorbido por el cuerpo frío, por lo que la suma neta es cero, supuesto que no se pierde calor en recipientes o en el ambiente.

Si $t_2 > t_1 \rightarrow Q_1$ positivo y Q_2 negativo

Si $t_2 < t_1 \rightarrow Q_1$ negativo y Q_2 positivo

Si la mezcla es de dos o más sustancias que tienen el mismo calor específico, en la fórmula se elimina el calor específico y queda más simplificada, tal como vemos a continuación:

$$m_1 \cdot (t_{\text{equilibrio}} - t_1) + m_2 \cdot (t_{\text{equilibrio}} - t_2) = 0$$

$$m_1 \cdot t_{\text{equilibrio}} - m_1 \cdot t_1 + m_2 \cdot t_{\text{equilibrio}} - m_2 \cdot t_2 = 0$$

$$t_{\text{equilibrio}} \cdot (m_1 + m_2) = m_1 \cdot t_1 + m_2 \cdot t_2$$

$$t_{\text{mezcla}} = \frac{m_1 \cdot t_1 + m_2 \cdot t_2}{m_1 + m_2}$$

CALOR ESPECÍFICO DE LOS GASES

A diferencia de lo que sucede con sólidos y líquidos, los valores de los calores específicos de los gases dependen del proceso que experimentan. Dos procesos importantes son aquellos en los que se mantiene constante la presión o el volumen.

Todo el calor Q_v que se suministra a un gas a volumen constante se invierte en incrementar la energía interna de las moléculas y aumentar su temperatura hasta T . Sin embargo, si se calienta un gas a presión constante, la energía calorífica suministrada Q_p no sólo se invierte en aumentar su energía interna hasta la misma temperatura T , sino que, además, produce un trabajo mecánico al dilatarse el gas en cuestión $W = p \cdot \Delta V$, venciendo la presión constante exterior. Es decir, en el segundo caso debe aportarse más calor ΔQ y por tanto, el calor específico de un gas a presión constante (C_p) es mayor que el correspondiente a volumen constante (C_v). Se demuestra que, en el caso de un gas perfecto de masa molecular M , la diferencia de los dos calores específicos es:

$$C_p - C_v = \frac{R}{M}$$

Siendo:

R: Constante universal de los gases perfectos, de valor $8,3145 \text{ J/mol.K} = 1,986 \text{ cal/mol.}^\circ\text{C} \sim 1,99 \text{ cal/mol.}^\circ\text{C}$

M: Masa molecular en kg/mol

La relación $C_p / C_v = \gamma$ (gamma). A temperaturas ordinarias, este factor vale:

- Para los gases monoatómicos: helio (He), neón (Ne), argón (Ar), kriptón (Kr), xenón (Xe) y el radiactivo radón (Rn): $\gamma = 5/3$
- Para los diatómicos: hidrógeno (H), fluor (F), cloro (Cl), bromo (Br), yodo (I), nitrógeno (N), oxígeno (O): $\gamma = 7/5$

En el estudio de las Leyes de la Termodinámica para gases utilizaremos este factor.

Ejercicios resueltos

1. ¿Cuánto calor tengo que suministrar a 5 kg de agua para subir su temperatura desde $+15^\circ\text{C}$ a $+25^\circ\text{C}$?

Mostrar retroalimentación

$$Q = \text{Masa} \times \text{Calor específico} \times (\text{temp. final} - \text{temp inicial}) = 5 \text{ Kg} \times 1 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{C} \times (25^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}) = 50 \text{ Kcal.}$$

2. ¿Y si en lugar de agua fuese hierro?

Mostrar retroalimentación

$$5 \text{ kg} \times 0,113 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times (25-15) = 5,65 \text{ kcal.}$$

3. Un muro Trombe de piedra caliza de 4 m x 3 m x 0,4 m, se encuentra a una temperatura media de 45 °C al ponerse el sol y a la mañana siguiente ha bajado hasta los 29 °C. Si se aprovecha el 100 % de este calor para calentar un recinto, averigua la energía (en kcal) aprovechada y el ahorro de gas que supone. Sabemos que el calor específico de la piedra es de 0,22 kcal/kg°C y su densidad 2 250 kg/m³ y el poder calorífico del gas natural es de 9 500 kcal/m³

Mostrar retroalimentación

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t = (4 \cdot 3 \cdot 0,4) \cdot 2\,250 \cdot 0,22 \cdot (45-29) = 38\,016 \text{ kcal}$$

$$\text{Ahorro: } 38016/9500 = 4 \text{ m}^3$$

Ejercicios para resolver

1. Calcula la temperatura final de la mezcla de 300 g de agua que se encuentra a 20 °C y 500 g de alcohol a una temperatura de 50 °C. Datos: c_e del alcohol = 2 450 J/kg °C ; c_e del agua = 4 180 J/kg °C.

Mostrar retroalimentación

$$\text{Sol.: } t = 34,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

2. Mezclamos 800 g de un líquido A de 0,80 cal/g°C de calor específico y temperatura inicial de 72 °C con 600 g de agua a 57 °C. ¿Cuánto vale la temperatura de equilibrio?.

Mostrar retroalimentación

$$\text{Sol.: } t = 64,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

3. Se mezclaron 5 kg. de agua hirviendo con una masa de agua a 25 °C. La temperatura de la mezcla es de 40 °C. Si no se considera el calor absorbido por el recipiente, calcular el calor entregado por el agua hirviendo y la masa de agua fría empleada.

Mostrar retroalimentación

$$\text{Sol.: } Q = 300 \text{ kcal; } m = 20 \text{ kg}$$

4. En un recipiente se han colocado 10 kg de agua fría a 9 °C. ¿Que masa de agua hirviendo hay que introducir para que la temperatura de la mezcla sea de 30 °C. No se considere la energía absorbida por el recipiente.

Mostrar retroalimentación

$$\text{Sol.: } 3 \text{ kg}$$

5. Una muestra de 50 gr de cobre está a 25°C, si se le agregan 1,2 kJ de energía por calor, ¿cuál es la temperatura final del cobre?

Mostrar retroalimentación

$$\text{Sol.: } 86,54 \text{ }^\circ\text{C}$$

6. Si en el ejercicio 3 resuelto consideramos que aprovechamos el 80% y el coste del m³ de gas natural es de 0,6 €, averigua el ahorro mensual nocturno, suponiendo que todos los días tenemos los mismos valores.

Mostrar retroalimentación

$$\text{Sol.: } 57,6 \text{ €} - \text{ Observar que, a este ahorro, habría que añadir el ahorro durante el día, debido al calor residual que no se aprovecha para calentar el muro y se utilizaría para el caldeoamiento de la estancia.}$$

7. Si en una taza de vidrio de 300 g que inicialmente está a 25 °C se vierten 200 cm³ de té a 95 °C ¿Cuál será la temperatura final cuando se alcance el equilibrio, suponiendo que sea mínimo el calor que pase al ambiente? Date cuenta que el té es prácticamente agua. El calor específico del vidrio, obténlo de las tablas.

Mostrar retroalimentación

Sol.: $t = 78,8^{\circ}\text{C}$

Autoevaluación

1. Un material que tenga mucho calor específico significa que:

- ☐ Tardará, aplicando el mismo calor, menos en calentarse que otro con valor más bajo
- ☐ Tardará, aplicando el mismo calor, más en calentarse que otro con un valor más bajo
- ☐ El tiempo de calentamiento no depende de su calor específico

Incorrecto

Opción correcta

Incorrecto

Solución

- 1. Incorrecto
- 2. Opción correcta
- 3. Incorrecto

2. Si introducimos 1 kg de acero a 50 °C en 1 kg de agua a 70 °C, la temperatura resultante, si no se pierde nada de calor, será:

- ☐ Al tenerla misma masa, será la media, es decir, 60 °C
- ☐ Estará más cerca de la temperatura del agua
- ☐ Estará más cerca de la temperatura del acero
- ☐ La temperatura del acero y del agua permanecerá constante, ya que uno es sólido y el otro líquido

Incorrecto

Efectivamente, ya que el calor específico del agua es mayor y, por lo tanto tiene mayor energía térmica que el acero, cuyo calor específico es mucho menor

Incorrecto

Incorrecto

Solución

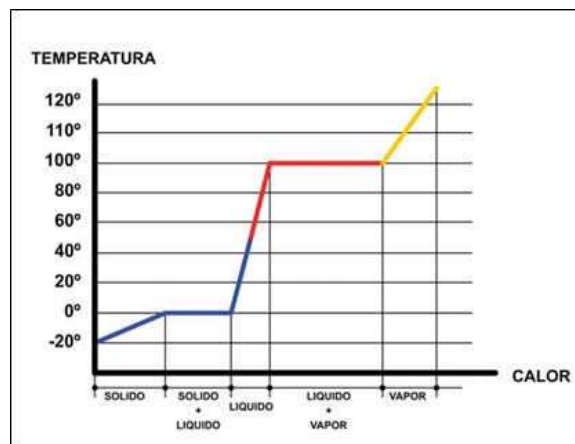
1. Incorrecto
2. Opción correcta
3. Incorrecto
4. Incorrecto

3.2.- Calor sensible y calor latente

Cuando se produce un cambio de estado, por ejemplo de líquido a vapor, el calor suministrado se emplea en ese cambio de estado, permaneciendo constante la temperatura. Por ello hablamos de dos tipos de calor:

- **Calor sensible** es el calor que el cuerpo utiliza para aumentar su temperatura y se corresponde con los ejemplos y ejercicios vistos hasta ahora.
- **Calor latente** es el calor que se suministra a un cuerpo y no se aprecia en un termómetro, es decir, que no aumenta su temperatura. Toda la energía que se le suministra en forma de calor lo está empleando en realizar un cambio de estado.

El calor latente de evaporación del agua es mucho mayor que el calor sensible necesario para subir su temperatura desde los 0 °C hasta los 100 °C. Esta propiedad, común a muchos compuestos, va a ser de mucha utilidad en varios campos de los sistemas energéticos, por ejemplo en refrigeración. En el gráfico siguiente podemos ver una combinación de calor sensible y latente, en el proceso por el que calentamos un bloque de hielo hasta conseguir vapor de agua a alta temperatura.



Proceso de cambios de estado del agua

Cambios de estado del agua

La tabla siguiente muestra los valores de calores latentes de fusión y de evaporación de algunas sustancias. Hay que tener presente que, si una sustancia se evapora, debe absorber el calor señalado por cada unidad de masa, pero que si se condensa, ocurre justamente lo contrario, cede este calor a su entorno. Con la fusión ocurre exactamente igual, una sustancia que se funde (pasa de sólido a líquido, debe absorber calor, mientras que una que se solidifica, cede calor al exterior. También se muestran las temperaturas a las que se producen estos cambios de estado, a la presión atmosférica normal.

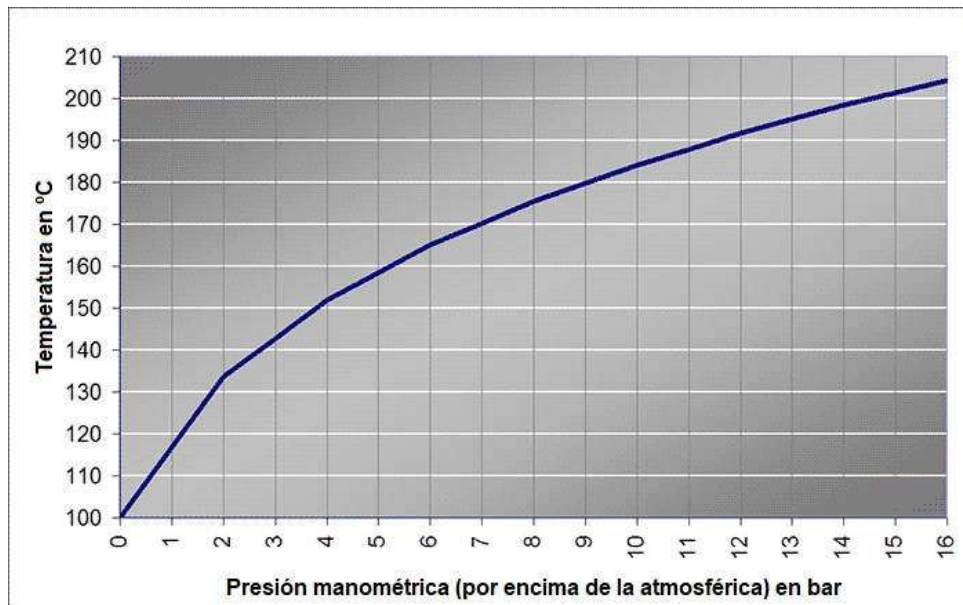
Calores latentes de algunas sustancias

Sustancia	Punto de fusión (°C)	Calor latente de fusión (J/kg)	Punto de ebullición	Calor Latente de vaporización
Helio	-269.65	5.23×10^5	-268.93	2.09×10^4
Nitrógeno	-209.97	2.55×10^4	-195.81	2.01×10^5
Oxígeno	-218.79	1.38×10^4	-182.97	2.13×10^5
Alcohol etílico	-114	1.04×10^5	78	8.54×10^5
Agua	0.00	3.33×10^5	100.00	2.26×10^6
Azufre	119	3.81×10^4	444.60	3.26×10^5
Plomo	327.3	2.45×10^4	1750	8.70×10^5
Aluminio	660	3.97×10^5	2450	1.14×10^7
Plata	960.80	8.82×10^4	2193	2.33×10^6
Oro	1063.00	6.44×10^4	2660	1.58×10^6
Cobre	1083	1.34×10^5	1187	5.06×10^6

En esta tabla, tenemos las temperaturas de ebullición-evaporación de diferentes sustancias a la presión atmosférica normal. Al suministrar calor, las moléculas en estado líquido, se mueven, y son capaces de "saltar" y desunirse totalmente unas de otras y pasar al estado de vapor. A presión atmosférica, la temperatura de ebullición del agua es de 100 °C. Sin embargo, en un monte a 3 000 m de altitud, la presión atmosférica es menor que a nivel del mar. Las moléculas de agua que pasan al estado vapor, tienen que realizar menos esfuerzo para evaporarse y, por lo tanto, lo hacen a una temperatura inferior de 100 °C, en concreto, el agua se evapora a 89,4 °C

Otra situación cotidiana en la que se juega con la presión y la temperatura son las ollas a presión. A presión atmosférica sólo podemos cocinar los alimentos a 100 °C, pero si los encerramos en una olla y aumentamos la presión interior la temperatura de cocción será superior a 100 °C. Por este motivo se utilizan las ollas a presión: permiten cocinar a temperaturas más

elevadas que un recipiente convencional y la cocción se realiza antes. A cada presión le corresponde una temperatura de evaporación o temperatura de saturación. Para el agua, esta relación, a presiones manométricas (por encima de la presión atmosférica) es:



Relación entre la presión y la temperatura de evaporación del agua

Debes conocer

En la siguiente simulación puedes experimentar con los cambios de estado del agua y observar cómo se comporta a las diferentes temperaturas.

Simulador de cambios de estado del agua

Ejercicio resuelto

¿Cuánto calor tengo que suministrar a 1 kg de hielo a -10 °C hasta convertirlo en vapor de agua a 100 °C ?

Datos:

- ✓ Calor específico del hielo: $2\,090\text{ J/Kg K}$
- ✓ Calor fusión hielo: $334 \cdot 10^3\text{ J/Kg}$
- ✓ Calor específico del agua: $4\,180\text{ J/Kg K}$
- ✓ Calor evaporación del agua $2\,260 \cdot 10^3\text{ J/Kg}$

Mostrar retroalimentación

- Hielo desde -10 °C a 0 °C .
 $Q = 1 \cdot 2\,090 \cdot (0 - (-20)) = 41\,800\text{ J} = 41,8\text{ kJ}$
- Fusión del hielo.
 $Q = 1 \cdot 334 \cdot 10^3 = 334\,000\text{ J} = 334\text{ kJ}$
- Agua desde 0 °C hasta 100 °C .
 $Q = 1 \cdot 4\,180 \cdot (100 - 0) = 418\,000\text{ J} = 418\text{ kJ}$
- Evaporación del agua.
 $Q = 1 \cdot 2\,260 \cdot 10^3 = 2\,260\,000\text{ J} = 2\,260\text{ kJ}$

TOTAL Q = 41,8 + 334 + 418 + 2 260 = 3 053,8 kJ

Ejercicio para resolver

1. Determina la energía térmica necesaria para transformar 40 g de hielo a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y a presión atmosférica en vapor de agua a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los datos, a una presión determinada, son los siguientes (difieren algo de los de la tabla, que están a la presión atmosférica): $L_{\text{fusión_hielo}} = 80\text{ cal/g}$; $L_{\text{vap_agua}} = 540\text{ cal/g}$; $c_{\text{hielo}} = 2114\text{ J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$; $c_{\text{agua}} = 4181\text{ J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$

Mostrar retroalimentación

Sol.: 121,332 kJ

Autoevaluación

1. Si tenemos hielo a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y deseamos fundirlo deberemos:

- ☐ Aplicar un calor latente en primer lugar para conseguir subir su temperatura
- ☐ Aplicar un calor sensible para bajar su temperatura hasta la de fusión
- ☐ Aplicar una energía térmica suficiente para subir su temperatura a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y otra energía para fundirlo y conseguir agua líquida a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

Incorrecto

Incorrecto

Opción correcta

Solución

1. Incorrecto
2. Incorrecto
3. Opción correcta

2. Se tiene 4,5 kg de agua a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. ¿Qué parte de esta masa ha de congelarse para que el calor desprendido transforme a la otra parte en vapor a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (suponiendo que no hay pérdidas y el rendimiento es del 100 %)?

- ☐ 1 kg
- ☐ 2 kg
- ☐ 2,6 kg
- ☐ 1,3 kg
- ☐ 4 kg

Incorrecto

Incorrecto

Incorrecto

Incorrecto

Opción correcta

Solución

1. Incorrecto
2. Incorrecto
3. Incorrecto
4. Incorrecto
5. Opción correcta

4.- Transmisión de calor

Caso práctico

The [Concord Consortium](#) ha desarrollado el magnífico programa gratuito **Energy2D** para simular diferentes aspectos relacionados con el calor. Tiene muchas posibilidades y, sin llegar a la profundidad que el manejo especializado requiere, pueden hacerse simulaciones simples que permiten comprender mejor algunos conceptos y procesos que se van a ver en esta primera unidad y en otras unidades posteriores. Por ello, este programa será recurrente a lo largo de este módulo.



[Charles Xie](#), Programa Energy2D (CC BY)

Por el momento, descarga este programa e instálalo en el ordenador. Seguidamente, experimenta el proceso de conducción del calor con dos objetos (madera y metal), observando cómo se transmite más rápidamente el calor en el metálico, ya que tiene mayor conductividad térmica. Observa, sin embargo, que al cabo de suficiente tiempo, los dos objetos alcanzan la misma temperatura. En el siguiente vídeo puedes ver algunas claves para su inicial manejo.

https://www.youtube.com/embed/ABRQ_yhH_Cs

Breve explicación del manejo del programa Energy2D

Al final de esta unidad, vas a realizar una tarea relacionada con el diseño de una simulación en la que utilizarás muchos conceptos y herramientas de los que estamos viendo en esta unidad.

Para saber más

Si te defiendes en inglés también puedes ver el siguiente vídeo tutorial abreviado.

<https://www.youtube.com/embed/M2kSU06829g>

Tutorial del programa Energy2D (inglés)

4.1.- Conducción térmica

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN

Se realiza en un mismo cuerpo cuando sus partes están a distintas temperaturas. También puede darse entre dos cuerpos que se encuentren a distintas temperaturas, siempre que estén en contacto. La conducción del calor se produce debido a que las moléculas que están a mayor temperatura, y por lo tanto tienen mayor agitación, van chocando con las que tienen al lado y éstas a su vez con las siguientes, propagando progresivamente el calor.

Los materiales se clasifican en función de la facilidad para conducir el calor en **conductores o aislantes térmicos**. Los metales en general son buenos conductores y, de entre ellos, la plata, el cobre y el aluminio son los mejores. Como aislantes se encuentran aquellos cuerpos que almacenan aire en su interior como son las plumas, el corcho o el poliestireno. El resto de los materiales propagan con mayor o menor facilidad el calor.

Esta conductividad térmica es propia de cada material. Se mide mediante el [coeficiente de conductividad térmica](#). El coeficiente de conductividad térmica de un cuerpo (λ) se define como la cantidad de calor que atraviesa en un segundo un metro cuadrado de dicho cuerpo, con un espesor de un metro y una diferencia de temperatura de un Kelvin entre las dos superficies del cuerpo. La unidad es vatio dividido entre metro de espesor y grado Kelvin: W/m·K.

Otra magnitud física muy importante es el **flujo calorífico**, la Q con un punto encima. Es una medida del calor que atraviesa un cuerpo, de un espesor y superficie determinados, en la unidad de tiempo (**potencia térmica**). Se mide en vatios y se calcula, en el caso de superficies planas, con la fórmula:

$$\dot{Q} = \frac{\lambda}{e} \cdot S \cdot (t_1 - t_2)$$

Siendo:

$\dot{Q}$: Flujo calorífico por conducción en W

λ : Coeficiente de conductividad térmica en W/mK. También puede ir en W/m°C, ya que coinciden los valores y es más usual conocer las temperaturas en °C

e : Espesor en m

S : Superficie en m²

t_{1-2} : Temperaturas a ambos extremos de la superficie en K. La diferencia de temperaturas en °C o en K son iguales, por lo que pueden ponerse en °C

Por contra, la [resistencia térmica](#) R mide la oposición al paso de calor de un material, de un espesor determinado. Por lo tanto es inversamente proporcional a la conductividad térmica. Sus unidades son m²·K/W

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL

Una pared de un edificio separa y aísla el interior de las viviendas. La pared se compone de distintos materiales, cada uno con un espesor y un coeficiente de conductividad propio. Entre el interior y el exterior hay una diferencia de temperatura y por lo tanto, como has visto anteriormente, habrá una transferencia de calor. Esa transmisión se produce por las tres formas que acabas de ver y en la práctica, los tres medios de transmisión se producen simultáneamente, y no pueden disociarse.

En el caso de una pared compuesta, suponiendo que la temperatura interior t_i sea mayor que la exterior t_e , el flujo calorífico se transmite de las siguientes formas:

- Por convección y radiación de la temperatura del aire con la superficie interior de la pared a t_i .
- Por conducción de la temperatura t_i de la cara interior del muro hasta la temperatura exterior t_e a través del muro compuesto.
- Por convección y radiación del aire con la superficie exterior de la pared a t_e .

Para hacer cálculos resulta mucho más útil calcular la resistencia que ofrece cada capa de la pared. Esa resistencia total será la suma de las resistencias de cada uno de los componentes de la pared más la resistencia a uno y otro lado por convección-radiación.

Si llamamos R_{si} y R_{se} a las resistencias térmicas de las superficies interior y exterior de la pared, podremos expresar el valor de la resistencia total de la pared compuesta como...

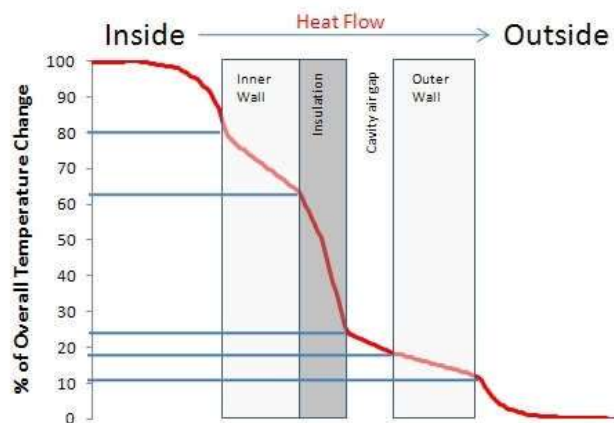
$$R_{total} = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_{se}$$

Sustituyendo, tenemos:

$$R_{total} = R_{si} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} + \dots + R_{se}$$

GRADIENTE DE TEMPERATURA

Se puede observar como la temperatura de la cara interna de la pared es algo más fría que la temperatura del aire interior y cómo la temperatura de la cara externa es algo más caliente que la temperatura del aire exterior



Variación de la temperatura en un muro

TRANSMITANCIA

La transmitancia térmica (U) mide la capacidad que tienen los cuerpos de transmitir el calor. Es la inversa de la resistencia total.

$$U = \frac{1}{R}$$

$$\dot{Q} = \frac{S}{R} \cdot (t_1 - t_2) = U \cdot S \cdot (t_1 - t_2)$$

La transmitancia se mide en $W/m^2 K$.

Como puedes observar en la tabla, el Código Técnico de la Edificación pone como límite unos valores máximos de transmitancia. Ello implica que exige unos aislamientos mínimos con el fin de ahorrar energía. Además es más exigente con las zonas más desfavorables. Hace una clasificación en 6 zonas dependiendo de la severidad climática, desde las más cálidas, α y A, hasta la más fría, E.

CODIGOTÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN

Valores límite de *transmitancia térmica*, U_{lim} [W/m²K]

(Envolvente)

Elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_s , U_M)	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_c)	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U_T) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la <i>envolvente térmica</i> (U_{MD})	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
<i>Huecos</i> (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U_H)*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%	5,7					

*Los *huecos* con uso de escaparate en *unidades de uso* con actividad comercial pueden incrementar el valor de U_H en un 50%.

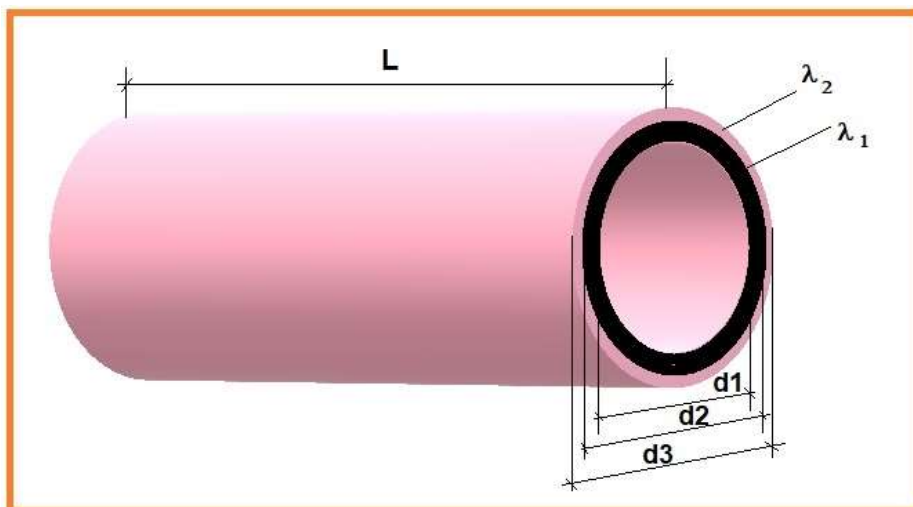
Transmitancia térmica límite de particiones interiores, U_{lim} [W/m²K]

Tipo de elemento		Zona climática de invierno					
		α	A	B	C	D	E
Entre unidades del mismo uso	Particiones horizontales	1,90	1,80	1,55	1,35	1,20	1,00
	Particiones verticales	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	1,00
Entre unidades de distinto uso Entre unidades de uso y zonas comunes	Particiones horizontales y verticales	1,35	1,25	1,10	0,95	0,85	0,70

Valores de transmitancia según el Código Técnico de la Edificación

CONDUCTOS

El cálculo de la transmisión de calor en conductos cilíndricos (tuberías) se realiza analíticamente mediante la siguiente fórmula. No obstante, el cálculo del espesor del aislamiento necesario suele hacerse mediante la reglamentación correspondiente, como veremos en unidades didácticas posteriores.



Geometría de un tubo para el cálculo de su flujo térmico

$$\dot{Q} = \frac{\pi \cdot L \cdot \Delta t}{R_{si} + \frac{\ln \frac{d_2}{d_1}}{2 \cdot \lambda_1} + \frac{\ln \frac{d_3}{d_2}}{2 \cdot \lambda_2} + \dots R_{se}}$$

Debes conocer

Logaritmos Neperianos

- Los **logaritmos naturales** o **logaritmos neperianos** son los que tienen **base e**. Se representan por **ln (x)** o **L(x)**
- El **logaritmo neperiano** de **x (ln x)** es la **potencia** a la que se debe elevar **e** para obtener **x**.
- **e = 2,718281828...**

Para saber más

El Código Técnico de la Edificación es un documento de referencia técnica y legal para todo lo concerniente a la eficiencia energética en los edificios. El Ministerio del ramo ha impulsado una página web que tiene como objetivo la difusión del Código Técnico de la Edificación, de las herramientas complementarias para su aplicación, así como de otros contenidos considerados de interés en relación con la reglamentación. La reglamentación está sujeta a procesos de actualización y modernización constantes, por lo que conviene disponer de las últimas modificaciones.



Ejercicio resuelto

1. Calcula la resistencia térmica de un muro exterior compuesto de un ladrillo de 30 cm y $\lambda = 0,7$ W/mK y un aislante de 3 cm y $\lambda = 0,08$ W/mK. Ten en cuenta las resistencias superficiales del CTE

Mostrar retroalimentación

$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + R_{se} = 0,13 + 0,2/0,7 + 0,03/0,08 + 0,04 = 0,831 \text{ m}^2\text{K/W}$$

2. Averigua a qué zona climática pertenecen las siguientes ciudades y, en consecuencia, cuáles serán las transmitancias límites de los muros exteriores de una vivienda en cada emplazamiento:

- Murcia
- Pamplona
- Monforte de Lemos (Lugo)
- Colmenar Viejo (Madrid)
- Denia (Alicante)
- Sevilla

En primer lugar, debemos localizar la tabla en la que nos dan referencias para la clasificación de cada localidad, en función de su ubicación y altitud. Para ello, en el CTE, Documento Básico HE Ahorro de energía, con comentarios Anejo B. Zonas climáticas encontramos la tabla siguiente:

Tabla a-Anejo B. Zonas climáticas

Provincia	Altitud sobre el nivel del mar (h)																											
	≤ 50 m	51 - 100 m	101 - 150 m	151 - 200 m	201 - 250 m	251 - 300 m	301 - 350 m	351 - 400 m	401 - 450 m	451 - 500 m	501 - 550 m	551 - 600 m	601 - 650 m	651 - 700 m	701 - 750 m	751 - 800 m	801 - 850 m	851 - 900 m	901 - 950 m	951 - 1000 m	1001 - 1050 m	1051 - 1100 m	1101 - 1150 m	1151 - 1200 m	1201 - 1250 m	1251 - 1300 m	≥ 1301 m	
Albacete	C3														D3										E1			
Alicante/Alacant	B4						C3										D3											
Almería	A4		B4			B3			C3								D3											
Araba/Álava	D1														E1													
Asturias	C1	D1										E1																
Ávila	D2										D1										E1							
Badajoz	C4								C3		D3																	
Balears, Illes	B3						C3																					
Barcelona	C2						D2				D1								E1									
Bizkaia	C1						D1																					
Burgos	D1										E1																	
Cáceres	C4										D3										E1							
Cádiz	A3			B3						C3			C2					D2										
Cantabria	C1		D1										E1															
Castellón/Castelló	B3		C3								D3		D2								E1							
Ceuta	B3																											
Ciudad Real	C4								C3		D3																	
Córdoba	B4		C4								D3																	
Coruña, A	C1				D1																							
Cuenca	D3										D2										E1							
Gipuzkoa	D1										E1																	
Girona	C2		D2								E1																	
Granada	A4		B4						C4				C3				D3				E1							
Guadalajara	D3														D2		E1											
Huelva	A4		B4		B3				C3								D3											
Huesca	C3				D3				D2						E1													
Jaén	B4								C4								D3						E1					
León	E1																											
Lleida	C3		D3										E1															
Lugo	D1										E1																	
Madrid	C3										D3										D2		E1					
Málaga	A3		B3				C3								D3													
Melilla	A3																											
Murcia	B3		C3										D3															
Navarra	C2		D2				D1						E1															
Ourense	C3				C2		D2										E1											
Palencia	D1										E1																	
Palmas, Las	α3						A2								B2				C2									
Pontevedra	C1						D1																					
Rioja, La	C2				D2										E1													
Salamanca	D2										E1																	
Santa Cruz de Tenerife	α3						A2								B2				C2									
Segovia	D2														E1													
Sevilla	B4				C4																							
Soria	D2										D1		E1															
Tarragona	B3		C3								D3																	
Teruel	C3										C2		D2										E1					
Toledo	C4										D3																	
Valencia/València	B3		C3								D2										E1							
Valladolid	D2										E1																	
Zamora	D2										E1																	
Zaragoza	C3				D3										E1													

Teniendo en cuenta la altitud de todas estas ciudades, buscadas en Internet, tenemos que, las zonas climáticas son:

- a) Murcia (43m) → B3 → $U_{lim} = 0,56 \text{ W/m}^2\text{K}$
- b) Pamplona (449m) → D2 → $U_{lim} = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$
- c) Monforte de Lemos (360m) → D1 → $U_{lim} = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$
- d) Colmenar Viejo (878m) → D3 → $U_{lim} = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$
- e) Denia (22m) → B4 → $U_{lim} = 0,56 \text{ W/m}^2\text{K}$
- f) Sevilla (7m) → B4 → $U_{lim} = 0,56 \text{ W/m}^2\text{K}$

4.2.- Convección

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONVECCIÓN

Es la **transmisión de calor que se produce en un medio líquido o gaseoso**. Si calentamos un líquido en un recipiente, la masa que está en la parte inferior se calienta en primer lugar y su densidad disminuye, por lo que tiende a ir hacia arriba desplazando al líquido que está más frío, que por su mayor densidad se va al fondo. De este modo, se establece una circulación del líquido. En la calefacción por medio de emisores (radiadores) sucede algo parecido con el aire de la habitación. El aire que está en contacto con el emisor se calienta y por densidad va hacia arriba, desplazando al aire frío que desciende. Se crea una circulación de aire por toda la habitación. Ello lo habrás comprobado en el experimento propuesto al inicio de este apartado con el programa Energy2D.

Si nos referimos a la transmisión a través de un cuerpo sólido, por ejemplo el muro de una vivienda o las paredes de una cámara frigorífica, tendremos que tener en cuenta la convección de la película de aire cercana a esos cerramientos. El fenómeno de la convección es muy complejo, tal como puede verse en las simulaciones que podemos realizar en el programa Energy2D. La siguiente fórmula, en apariencia simple, no lo es tanto. El coeficiente de convección no sólo depende del tipo de fluido, sino de las condiciones en las que se produce, que van variando de forma irregular e inestable.

Se calcula

$$\dot{Q}_{convección} = h_c \cdot S \cdot (t_1 - t_2)$$

Siendo:

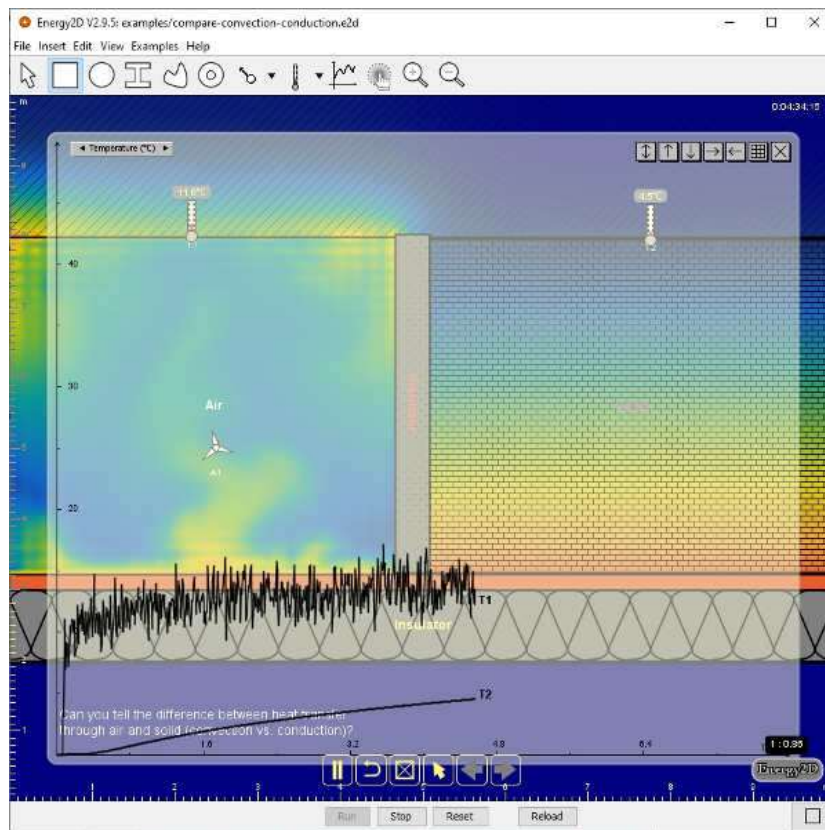
h_c = Coeficiente de convección, en el aire oscila entre 5 W/m²K y 25 W/m²K en convección natural y entre 25 W/m²K y 250 W/m²K en forzada

El resto de valores son similares al caso de conducción, siendo las temperaturas, las existentes entre la superficie caliente y el fluido (aire) que la rodea

Como se ha dicho, es muy complejo calcular el valor h_c ya que depende de muchos factores: temperatura del cerramiento y del aire, forma del cerramiento, velocidad del aire, etc. Es por ello que se emplean valores empíricos fruto de la experiencia.

Para saber más

Utilizando el programa Energy2D, podemos comparar el proceso de transmisión del calor por conducción y convección. Seleccionando en Examples el botón de Conduction y posteriormente el de Comparing Natural Convection and Conduction, obtenemos un resultado similar al del dibujo. En él vemos que el termómetro al final de cada medio (aire y pared sólida) marca temperaturas diferentes, a pesar de que tenemos una misma fuente de calor. Esto hay que tenerlo en cuenta en las instalaciones de suelo radiante, ya que el calor tarda más en salir y, también, en desaparecer. Los sistemas de control, en los que se tenga en cuenta esta inercia térmica, son importantes.



[Charles Xie](#), Simulación Energy2D ([CC BY](#))

4.3.- Radiación

TRANSMISIÓN DE CALOR POR RADIACIÓN

La tercera forma de transmisión de calor es la radiación. Sentimos a diario su efecto al ponernos al sol. El fundamento es una radiación emitida por un cuerpo a gran temperatura que se transmite en todas direcciones y únicamente se manifiesta al chocar con un cuerpo. Los rayos solares que sentimos han atravesado el espacio y la atmósfera hasta impactar en nuestra piel.

Su cálculo es similar al de convección:

$$\dot{Q}_{\text{radiación}} = h_r \cdot S \cdot (t_1 - t_2)$$

Donde:

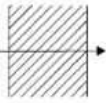
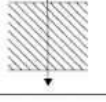
h_r es el **coeficiente de radiación** en $\text{W/m}^2\text{K}$

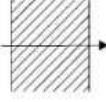
S es la sección perpendicular al flujo en m^2

$(t_1 - t_2)$ es el salto térmico en K o $^{\circ}\text{C}$ (numéricamente es el mismo valor en la diferencia en K o en $^{\circ}\text{C}$)

En la práctica los coeficientes de convección y de radiación se unifican en un único coeficiente de convección-radiación (h_{r-c}), o lo que es lo mismo, en una resistencia térmica superficial R_s definida por el Código Técnico con los valores R_{se} y R_{si} . Podemos plantearnos el coeficiente h_{r-c} como el valor equivalente a la transmitancia U en el ámbito de la convección-radiación. De este modo, $h_{r-c} = 1/R_s$

CODIGOTÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN

Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior [$\text{m}^2\cdot\text{K/W}$]			
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R_{se}	R_{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^{\circ}$ y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^{\circ}$ y flujo ascendente (techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (suelo)		0,04	0,17

Resistencias térmicas superficiales de particiones interiores [$\text{m}^2\cdot\text{K/W}$]			
Posición de la partición interior y sentido del flujo de calor		R_{se}	R_{si}
Particiones interiores verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^{\circ}$ y flujo horizontal		0,13	0,13
Particiones interiores horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^{\circ}$ y flujo ascendente (Techo)		0,10	0,10
Particiones interiores horizontales y flujo descendente (Suelo)		0,17	0,17

Estos valores de la tabla nos indican que los valores de h_{r-c} oscilan entre $5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ (en la superficie interior, ya que no existe viento) y $25 \text{ W/m}^2\text{K}$ (donde nos aproximamos a una convección forzada, debido a la existencia de aire en movimiento e, incluso viento).

Para saber más

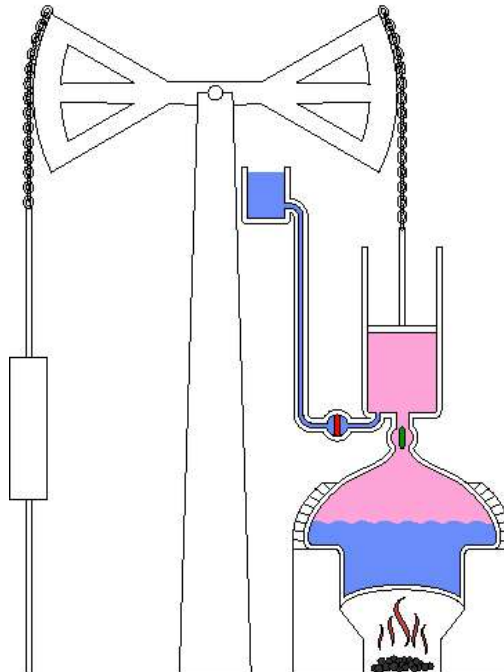
Todos los cuerpos irradian energía. La radiación se produce en forma de ondas de longitud variable dependiendo de la temperatura del cuerpo emisor. Esto es muy importante como verás cuando estudies la Energía Solar Térmica. Si quieres conocer como se produce la radiación consulta:

[Ley de Stefan-Boltzmann.](#)

5.- Termodinámica. Gases perfectos

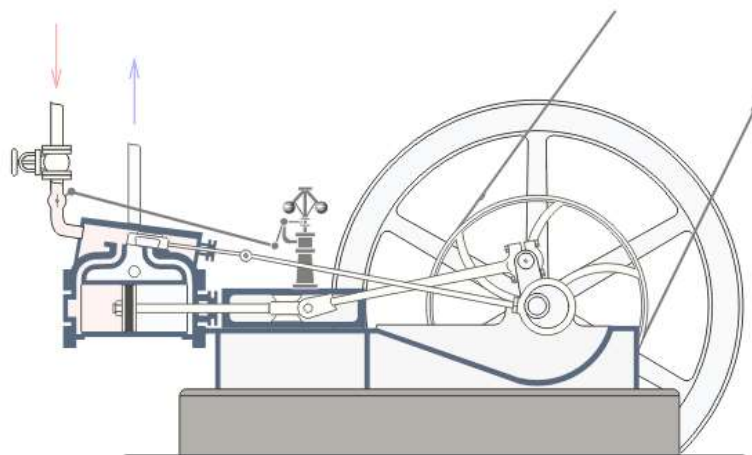
Caso práctico

Las máquinas de vapor han influido determinadamente en el desarrollo industrial que se produjo en el siglo XIX y que tuvo sus inicios en Inglaterra. Esto es, la Primera Revolución Industrial. Durante este periodo se vivió el mayor conjunto de transformaciones económicas, tecnológicas y sociales de la historia de la humanidad desde el Neolítico y transformó una economía rural basada fundamentalmente en la agricultura, la ganadería y el comercio en una economía de carácter urbano, industrializada y mecanizada. Una de las primeras máquinas industriales de vapor fue la de [Newcomen](#), utilizada para sacar el agua de las minas.



[Emoscopecs](#), Máquina de Newcomen (CC BY)

Su perfeccionamiento dio paso a la máquina de vapor de [Watt](#), en la que se empleaba una válvula de regulación centrífuga, tal como puede verse en la siguiente animación:



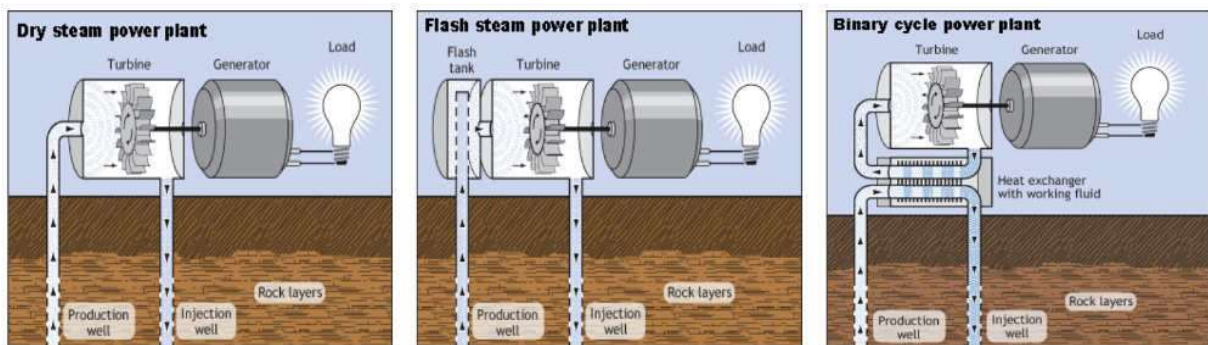
[Panther](#), Máquina de vapor (CC BY)

Finalmente, y ya en la Segunda Revolución Industrial, apareció una de las máquinas más utilizadas para transformar energía térmica en trabajo mecánico y, posteriormente, obtener electricidad: la **turbina de vapor**. Observa este vídeo sobre su funcionamiento, el cual está basado en muchos de los conceptos vistos y que se rigen por las Leyes de la Termodinámica que vamos a ver en este apartado.

La **Termodinámica** es una de las ciencias más antiguas. Desde siempre el hombre ha estado interesado en la transmisión del calor, en un principio de forma pasiva y posteriormente mediante máquinas térmicas. Las máquinas de Newcomen y Watt fueron pasos necesarios y previos al desarrollo de otras máquinas, primero de vapor, posteriormente eléctricas o con carburantes derivados del petróleo, hasta llegar a los coches, trenes, aviones e incluso naves espaciales. El mayor problema de muchas de estas máquinas térmicas es su bajo rendimiento. Su imposibilidad teórica de superar, en muchos casos, rendimientos del 50%, tiene como consecuencia la pérdida de energía ¿Sabías que el rendimiento de un coche diesel o de gasolina de los más modernos no supera el 40%? Es decir, el 60% de la energía química del combustible se pierde ¿Y sabes a dónde va a parar? Efectivamente, se degrada en calor de difícil recuperación.

Caso práctico: Energía geotérmica

Existen **diferentes métodos para convertir en electricidad la energía térmica** existente en el subsuelo de la Tierra. Básicamente, consiste en inyectar un fluido a la profundidad suficiente para que el calor, que todavía existe en el núcleo de nuestro planeta, se transfiera al fluido, aumentando su entalpía. La entalpía del agua a 50 °C y presión atmosférica normal es mucho menor que la que tiene el vapor de agua a 400 °C y altas presiones. Por ello, se introduce el fluido a cierta profundidad, que depende de las características del terreno, para que éste adquiera mayor entalpía y podamos introducirlo en una turbina para extraer la energía térmica que ha absorbido del calor de la tierra. El vapor caliente, y a alta presión, impacta contra los sucesivos discos de álabes, generando movimiento y, por tanto, energía mecánica que se transmitirá a un generador eléctrico. El vapor choca contra los álabes y pierde presión y temperatura sucesivamente, conforme la turbina gira. A la salida de la turbina el fluido tiene una menor entalpía, que habrá que aumentar nuevamente introduciendo el fluido, mediante bombas, en el terreno. Esto sería una **máquina térmica** funcionando según un ciclo termodinámico que se denomina **ciclo de Rankine**.



[US Department of Energy](#), Geothermal Energy (Dominio público)

Para saber más

Para profundizar en las diferentes cuestiones tratadas en este apartado, se puede acceder a la magnífica web de la profesoras Teresa Martín Blas y Ana Serrano Fernández de la EUIT Forestal - Universidad Politécnica de Madrid

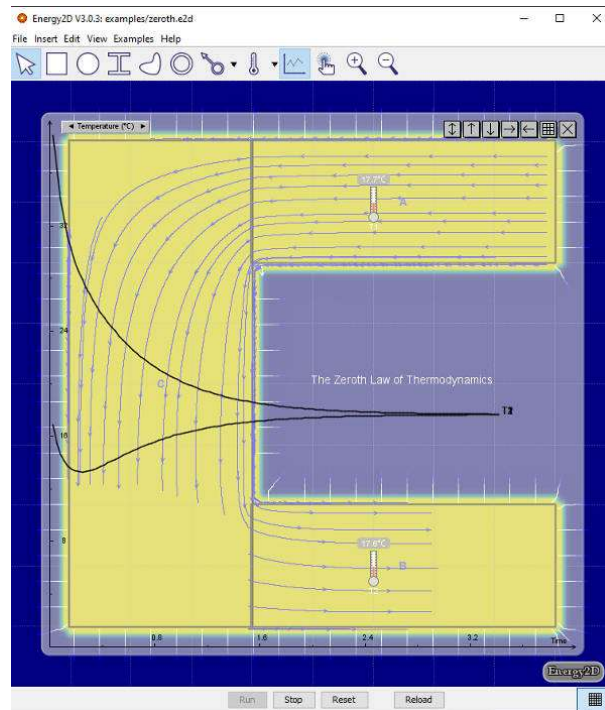


[Martín y Serrano, Universidad Politécnica de Madrid](#), Curso de Física Básica (Todos los derechos reservados)

5.1.- Principios y Leyes de la Termodinámica

PRINCIPIO CERO DE LA TERMODINÁMICA.

La Temperatura. El equilibrio térmico se alcanza cuando los cuerpos tienen la misma temperatura. Podemos visualizar este principio en el programa Energy2D



[Charles Xie \(CC BY\)](#)

PRIMERA LEY O PRIMER PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA.

La Energía es una magnitud conservativa. Probablemente es una de las leyes más conocidas de la física, debido a un enunciado rotundo: "**La energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma**". Lo que esta ley nos dice es que en cualquier proceso en el que haya una transferencia de energía siempre hay una fuente de energía que va a perder esa energía y otra que la va a ganar a costa de la primera. Es decir si se gana energía, debe ser a costa de algo, y si se pierde, debe ir a algún sitio. No se puede crear energía (salvo de la propia materia: $E=1/2mv_c^2$).

Sea un sistema en el que se introduce una cierta cantidad de calor Q y produce un trabajo exterior W . Si Q es mayor que W , la diferencia ($Q-W$) permanece en el sistema y se invierte en incrementar la energía interna, ΔU del mismo. Es decir:

$$Q - W = \Delta U \rightarrow Q = \Delta U + W$$

En esta nueva formulación, Q sería positivo si entra en el sistema y W es positivo si sale del sistema (por eso aquí tenemos en la fórmula $-W$, **Todas las magnitudes deben ir en las mismas unidades**. Esta Primera Ley es en la que se basan todos los análisis de balance energético en instalaciones.

SEGUNDA LEY O SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA.

Restricciones en procesos térmicos. Irreversibilidad. El Primer Principio de la Termodinámica establece que la energía interna puede aumentar porque se realiza un trabajo sobre el sistema o porque se introduzca calor en él. Desde este punto de vista calor y trabajo son equivalentes energéticamente. Sin embargo, la experiencia diaria nos muestra que no es así, ya que existe una diferencia esencial entre ambos procesos de transferencia de energía. **Podemos transformar todo el trabajo en calor, pero no podemos transformar todo el calor en trabajo.** Por ejemplo, si una estufa eléctrica calienta una habitación, no podemos invertir el proceso y recuperar toda la energía eléctrica invertida a partir del mayor calor de la habitación.

Igualmente, la experiencia nos muestra que existe una dirección en el que ocurren los fenómenos. Sabemos que el calor va de los cuerpos calientes a los fríos y no al revés; que un gas tiende a expandirse ocupando todo el volumen posible, y no a contraerse; que por consecuencia de la fricción los cuerpos se paran, no se aceleran. Este sentido de evolución de los sistemas no está contenido en el primer principio de la termodinámica, sino que requiere un principio adicional, conocido como Segundo Principio de la Termodinámica.

La Segunda Ley nos dice que el calor fluye de forma natural de los cuerpos a mayor temperatura, a los de menor. Si queremos invertir ese proceso, necesitamos aplicar energía. Las máquinas frigoríficas son un ejemplo, necesitamos una máquina que consume energía para extraer calor desde un foco frío a otro caliente. Esta Segunda Ley nos dice, también, que la entropía de un sistema es siempre creciente. Esta segunda Ley también se conoce como la ley de la entropía creciente.

Pero, ¿qué es la entropía?. Es una variable de estado y no es un valor absoluto. Se mide calculando la diferencia de la entropía inicial de un sistema (S_i) y la entropía final (S_f). Por lo tanto la entropía de un sistema sólo se puede calcular si este último ha sufrido variaciones en las condiciones normales del sistema. La entropía posee el símbolo S y mide el nivel de desorden o degradación de la energía.

Algunos sistemas podrían revertir los cambios que se hubieran realizado, a esto se le llama proceso reversible, cuya variación de entropía es cero. En cambio si el cambio de las condiciones en el sistema no puede volver a la normalidad se habla de un proceso irreversible, donde su entropía sería mayor que cero. En la naturaleza sólo se han visto procesos irreversibles. Por lo tanto se concluye que los sistemas tienden al desorden, en otras palabras, a aumentar su entropía. Otra consecuencia que podemos extraer de esta Segunda Ley es que no existe ningún proceso de transformación de energía 100% eficiente. En todas las máquinas vamos a tener unas pérdidas de energía en forma de calor que no se va a poder aprovechar.

Por ejemplo, si mezclamos 4 litros de agua a 20°C con 8 litros de agua a 80°C, obtenemos 12 litros de agua a 60°C; pero no podemos obtener otra vez (sin aportar energía extra) los 4 y 8 litros de agua a las temperaturas iniciales.

La entropía, matemáticamente se define mediante la expresión.

$$S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ}{T} \quad \rightarrow \quad \Delta S = S_2 - S_1 = \frac{Q_2}{T_2} - \frac{Q_1}{T_1} \geq 0$$

$\Delta S = 0 \rightarrow$ Procesos ideales reversibles
 $\Delta S > 0 \rightarrow$ Procesos reales irreversibles

En donde:

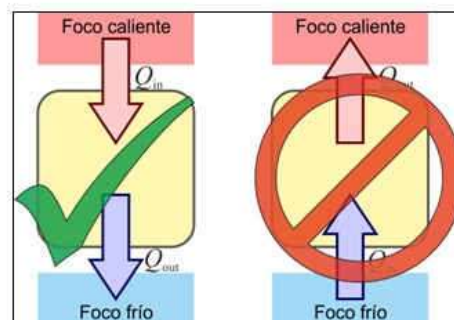
S: Entropía, en las unidades del SI J/K (ya que su definición matemática es un calor-energía dividido entre una temperatura. Sería la variación de **entropía** que experimenta un sistema cuando absorbe el calor de 1 Julio a la temperatura de 1 Kelvin.

T₂: Temperatura final en K

T₁: Temperatura inicial en K

Q: Calor aportado o cedido en el proceso en J

Otra manera de expresar el Segundo Principio de la Termodinámica es el denominado [Enunciado de Clausius](#). El enunciado de Clausius del Segundo Principio de la Termodinámica prohíbe la existencia de refrigeradores ideales. Es imposible un proceso que tenga como único resultado el paso de calor de un foco frío a un foco caliente.



Enunciado de Clausius

TERCERA LEY O TERCER PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA.

Imposibilidad de alcanzar el cero absoluto $0\text{ K} = -273^{\circ}\text{C}$. Para alcanzar el 0 K hacía falta aplicar una energía infinita. Dicho de otro modo, era imposible alcanzar esta temperatura. Es algo parecido a la velocidad de la luz, que no se puede superar. Se demuestra que, conforme un objeto se acerca a la velocidad de la luz, se requiere más y más energía, hasta necesitarse una energía infinita. O sea, que esta velocidad nunca se puede superar. Lo mismo ocurre con el cero absoluto.

Recientemente, y después de 100 años de debate, alcanzar **el cero absoluto ha sido declarado matemáticamente imposible**. Después de más de 100 años de debate entre científicos, los físicos finalmente han ofrecido una demostración matemática de la tercera ley de la termodinámica, que establece que la temperatura de 0 K no se puede lograr físicamente porque es imposible que un sistema tenga cero de entropía.

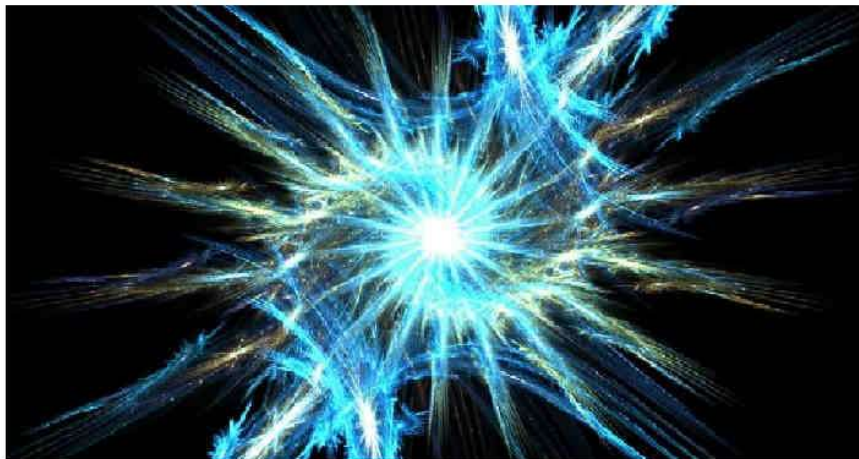
After 100 Years of Debate, Hitting Absolute Zero Has Been Declared Mathematically Impossible

The third law of thermodynamics finally gets its proof.

BEC CREW 15 MAR 2017

After more than 100 years of debate featuring the likes of [Einstein himself](#), physicists have finally offered up mathematical proof of the third law of thermodynamics, which states that a temperature of absolute zero cannot be physically achieved because it's impossible for the entropy (or disorder) of a system to hit zero.

While scientists have [long suspected](#) that there's an intrinsic 'speed limit' on the act of cooling in our Universe that prevents us from ever achieving absolute zero (0 Kelvin , -273.15°C , or -459.67°F), this is the strongest evidence yet that our current laws of physics hold true when it comes to the lowest possible temperature.



[Bec Crew](#), *Science alert*

Para saber más

A lo largo de la historia ha habido personas que han intentado desafiar los principios de las leyes que acabas de estudiar. Estos visionarios trataron de crear máquinas que funcionaran sin aporte de energía, entre ellas el móvil perpetuo. Si quieres informarte de esas propuestas visita:

[El móvil perpetuo.](#)

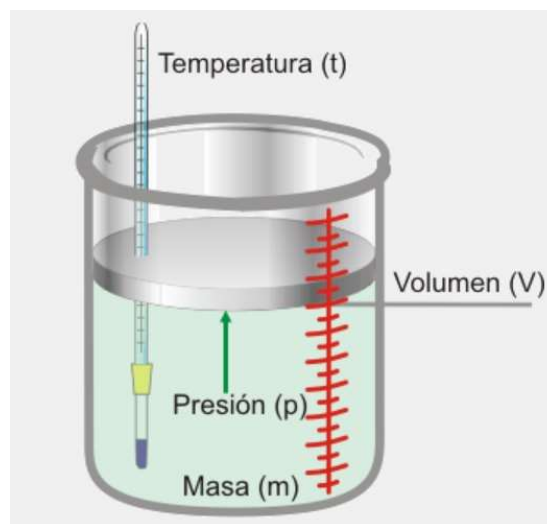
5.2.- Comportamiento de los gases

VARIABLES TERMODINÁMICAS.

Las variables termodinámicas o variables de estado son las magnitudes que se emplean para describir el estado de un sistema termodinámico. Dependiendo de la naturaleza del sistema termodinámico objeto de estudio, pueden elegirse distintos conjuntos de variables termodinámicas para describirlo. En el caso de un gas, estas variables son:

- **Masa (m):** Es la cantidad de sustancia que tiene el sistema. En el Sistema Internacional se expresa respectivamente en kilogramos (kg) o en número de moles (mol).
- **Volumen (V):** Es el espacio tridimensional que ocupa el sistema. En el Sistema Internacional se expresa en metros cúbicos (m^3). Si bien el litro (l) no es una unidad del Sistema Internacional, es ampliamente utilizada. Su relación, ya sabemos que es: $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ litros}$.
- **Presión (p):** Es la fuerza por unidad de área aplicada sobre un cuerpo en la dirección perpendicular a su superficie. En el Sistema Internacional se expresa en pascuales (Pa). La atmósfera, el bar, y el mca (metro de la columna de agua) son unidades comúnmente utilizadas y que hemos visto sus equivalencias en apartados anteriores.
- **Temperatura (T ó t):** A nivel microscópico la temperatura de un sistema está relacionada con la energía cinética que tienen las moléculas que lo constituyen. Macroscópicamente, la temperatura es una magnitud que determina el sentido en que se produce el flujo de calor cuando dos cuerpos se ponen en contacto. En el Sistema Internacional se mide en Kelvin (K), aunque la escala Celsius se emplea con frecuencia. La conversión entre las dos escalas ya sabemos que es $T (\text{K}) = t (^\circ\text{C}) + 273$.

En la siguiente figura se ha representado un gas encerrado en un recipiente y las variables termodinámicas que describen su estado.



Experimento

Los gases están constituidos por moléculas que están en un movimiento continuo y desordenado. Esto hace que ocupen todo el volumen del recipiente que los contiene. La presión que ejerce un gas sobre una superficie es debida a los choques de las moléculas del gas contra esa superficie. **El estado de un gas**, de una determinada masa, se caracteriza, especialmente, por las **tres variables** siguientes: **presión, temperatura y volumen**. En este ciclo formativo vas a trabajar con distintos tipos de fluidos: agua, refrigerantes, glicoles, aire, gases combustibles, etc, pero básicamente los podemos clasificar en dos grandes grupos: líquidos y gaseosos. En este apartado vas a estudiar las leyes básicas que rigen el comportamiento de los gases.

ECUACIÓN DE LOS GASES PERFECTOS

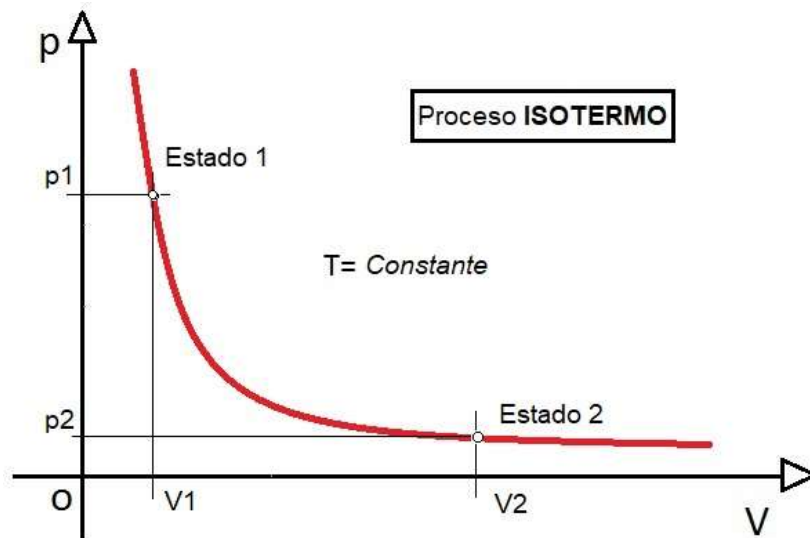
No existe una única ecuación de estado que describa el comportamiento de todas las sustancias para todas las condiciones de presión y temperatura. La ecuación de estado que describe el comportamiento de un gas ideal, a temperaturas y presiones no excesivamente altas o bajas, se llama ecuación de estado de un gas ideal y cumple las denominadas leyes de Boyle y de Charles.

LEY DE BOYLE. La ley de Boyle (1662) da una relación entre la presión de un gas y el volumen que ocupa a **temperatura constante**. Dicha ley establece que el producto de la presión por el volumen de un gas a temperatura constante es constante. Matemáticamente:

$$p \cdot V = \text{Constante} \rightarrow p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = \text{Constante}$$

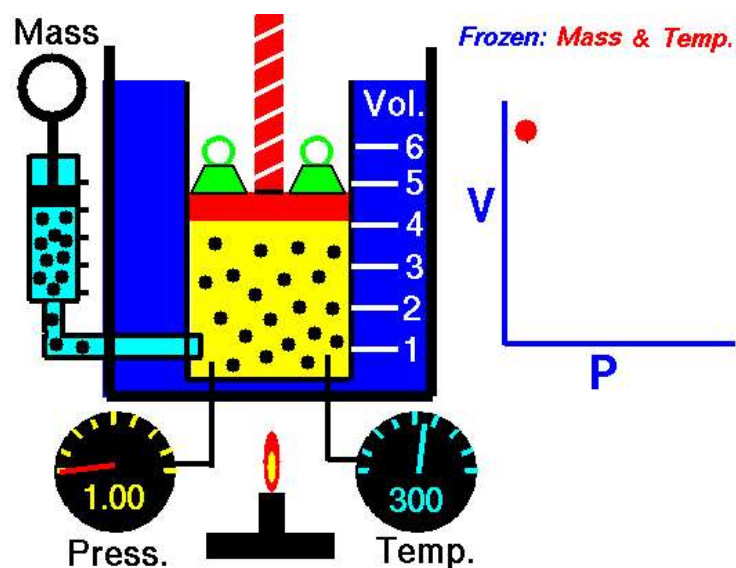
Esta ley se cumple para un gas perfecto que pasa de un estado 1 (p_1, V_1) a un estado 2 (p_2, V_2). Los valores de p y V deben ir cada cual en las mismas unidades.

Si representamos esta ecuación en un sistema de coordenadas pV , obtenemos una hipérbola para la temperatura correspondiente T , tal como se ve en el gráfico, donde un gas a alta presión y pequeño volumen, se expande hasta ocupar un volumen mayor y una presión menor (Estado 1 $\rightarrow$ Estado 2):



Representación de variables en proceso isotermo

Lo singular de una hipérbola es que tiene dos asíntotas, una horizontal y otra vertical. Una asíntota es esencialmente una línea a la que se acerca una curva mientras se dirige al infinito. La explicación física de la existencia de estas asíntotas es el hecho de que no importa cuánto aumente la presión, el volumen nunca puede ser cero. Del mismo modo, la presión nunca puede ser cero, ya que esto significaría un volumen infinitamente grande. La siguiente animación muestra el proceso

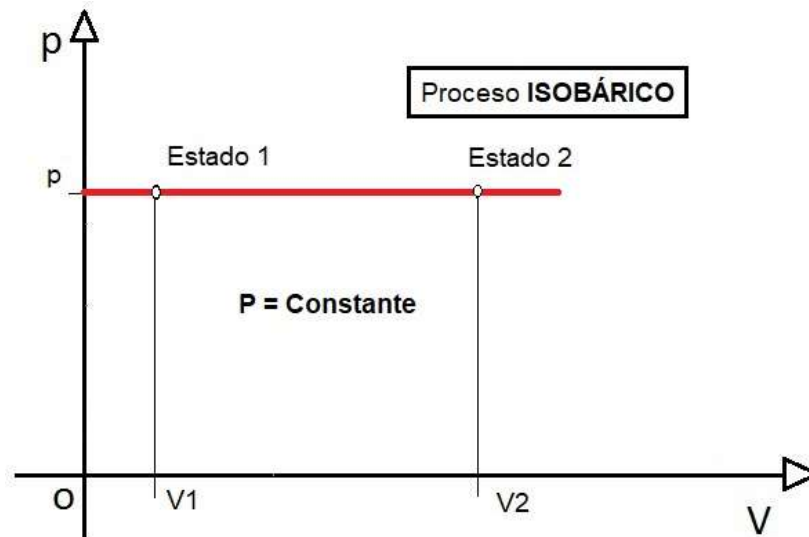


NASA. Ley de Boyle (Dominio público)

LEY DE CHARLES. La ley de Charles (1787) establece que, a **presión constante**, el cociente entre el volumen que ocupa un gas y su temperatura, expresada en Kelvin, es una constante. En este caso, se cumple la ecuación:

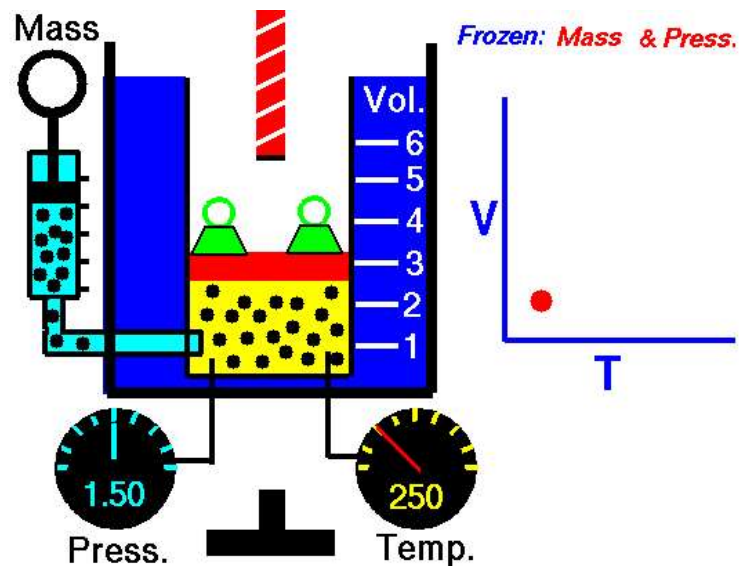
$$\frac{V}{T} = \text{Constante} \rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \text{Constante}$$

La representación gráfica en un diagrama P-V es como sigue, donde el volumen aumenta debido al aumento de temperatura (Estado 1 → Estado 2).



Representación de variables en proceso isobárico

En la siguiente animación, podemos ver el comportamiento de un gas en el que la presión permanece constante. En la representación gráfica, se han relacionado T y V en el gráfico cartesiano.

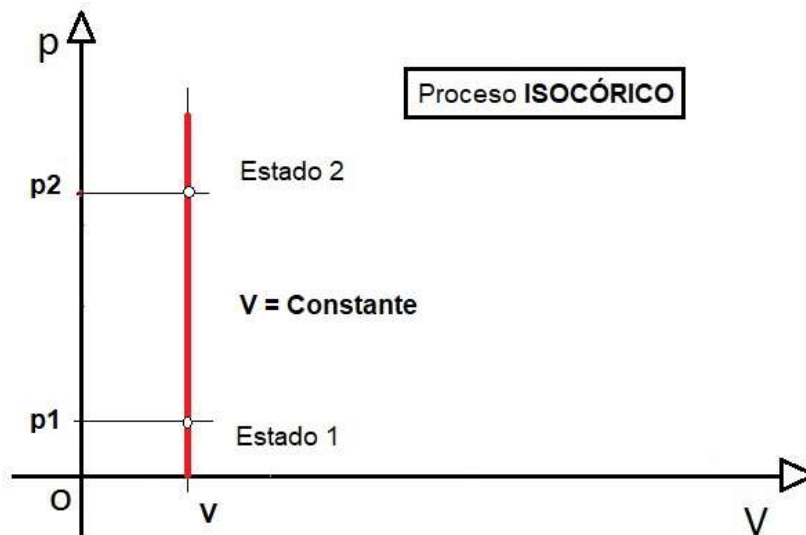


NASA. Ley de Charles-Lussac (Dominio público)

LEY DE GAY LUSSAC. Esta ley establece que, a volumen constante, la presión de un volumen fijo de un gas, es directamente proporcional a su temperatura. Su ecuación es la siguiente:

$$\frac{p}{T} = \text{Constante} \rightarrow \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \text{Constante}$$

Y su representación gráfica, donde vemos que la presión aumenta al aumentar la temperatura y permanecer el volumen constante. Es el caso de una olla a presión.:



Representación de variables en proceso isocórico

ECUACIÓN DE LOS GASES PERFECTOS. Combinando las anteriores ecuaciones, obtenemos la llamada Ecuación de los Gases Perfectos, que nos dice que existe la siguiente relación constante entre los dos estados de un gas perfecto (muchos gases, sobre todo en instalaciones térmicas, podemos suponer que se aproximan al comportamiento de los gases perfectos):

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{Constante} \rightarrow \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = \text{Constante}$$

Este valor constante que aparece en la anterior fórmula, se demuestra que equivale al producto de una constante R por la masa del gas en moles. Con lo que la ecuación de los gases perfectos se puede expresar, de forma general, del siguiente modo:

$$\text{Constante} = n \cdot R \rightarrow \frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R \rightarrow p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Siendo:

p_1 y p_2 : Presiones inicial y final del gas, en Pa

V_1 y V_2 : Volúmenes inicial y final del gas, en m³

T_1 y T_2 : Temperaturas inicial y final, en K (observar que no son °C)

n: Número de moles del gas

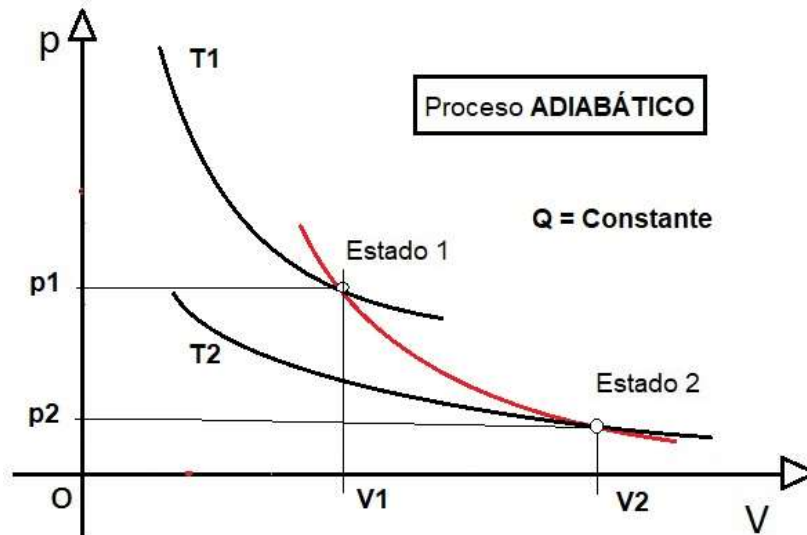
R: Constante universal de los gases perfectos, su valor es 8,31 J/mol·K

TRANSFORMACIÓN ADIABÁTICA. Un proceso termodinámico, en el que varían todas las magnitudes vistas (p, V y T), pero en el que no hay aportación ni cesión de calor, se denomina proceso adiabático. Sería una transformación en la que hay un aislamiento térmico perfecto con el exterior y no hay transferencia de calor (ni entra ni sale calor). En este tipo de transformaciones, la Ecuación de Estado vista adopta la forma:

$$\frac{p \cdot V^\gamma}{T} = \text{Constante} \rightarrow \frac{p_1 \cdot V_1^\gamma}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2^\gamma}{T_2} = \text{Constante}$$

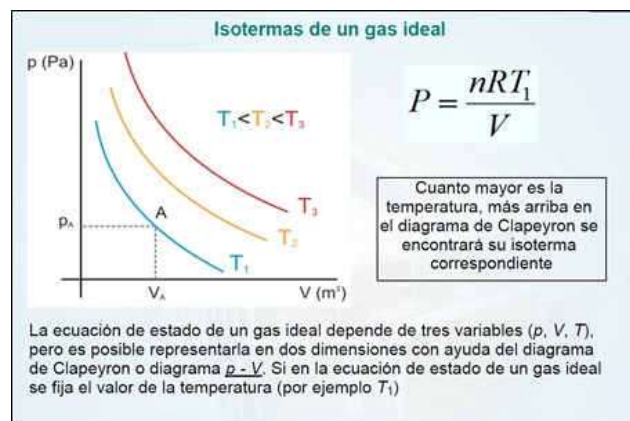
Hay que recordar que γ es el cociente entre el calor específico a presión constante y el calor específico a volumen constante:
 $\gamma = C_p/C_v$

Gráficamente, tenemos el gráfico, en el que vemos que un gas se expande, de una temperatura y presión alta, con un volumen pequeño, hasta una menor temperatura y presión, ocupando un mayor volumen (Estado 1 → Estado 2):



Representación de variables en proceso adiabático

Todos los gases perfectos o ideales responden a la anterior relación de las variables termodinámicas fundamentales:

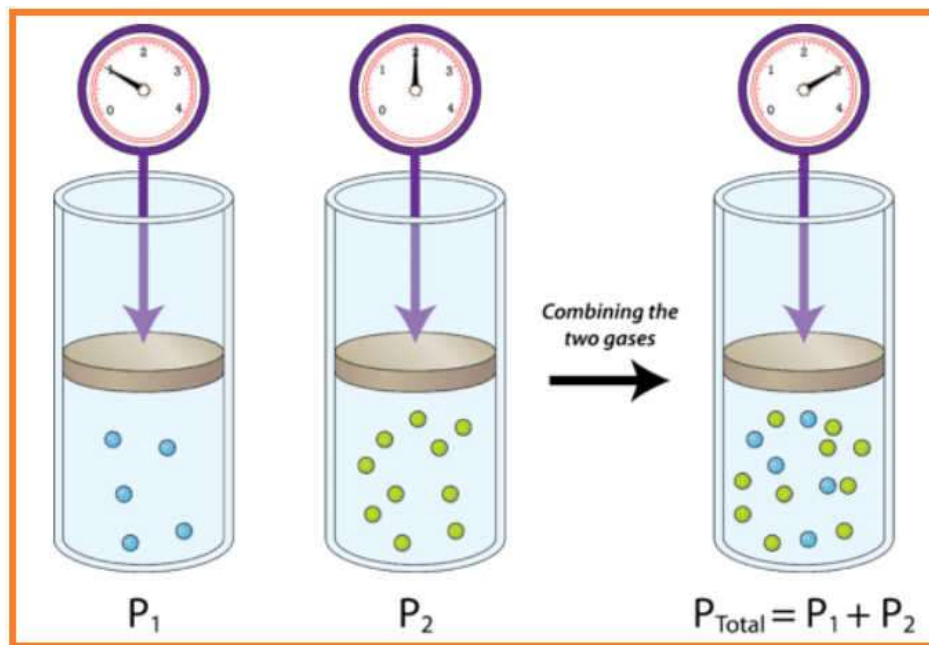


Representación de variables según ecuación de los gases perfectos

Se consideran gases perfectos o ideales aquellos en los que las fuerzas de atracción entre sus moléculas son despreciables, y el tamaño de estas en relación al volumen es infinitamente pequeño. Muchos gases tales como el nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, gases nobles, y algunos gases pesados, tales como el dióxido de carbono (CO₂), pueden ser tratados como gases ideales dentro de una tolerancia razonable. Los gases nobles son un grupo de elementos químicos con propiedades muy similares: por ejemplo, bajo condiciones normales, son gases monoatómicos, incoloros, incoloros y presentan una reactividad química muy baja. Los siete gases son helio (He), neón (Ne), argón (Ar), kriptón (Kr), xenón (Xe), el radiactivo radón (Rn) y el sintético oganesón (Og).

LEY DE DALTON

En una mezcla de gases, cada gas ejerce su propia presión parcial y la suma de todas es la presión total. Del total del aire atmosférico 79% lo constituye el nitrógeno (N₂) y el 21% restante el oxígeno (O₂). Por lo tanto de los 760 mmHg de presión atmosférica el O₂ contribuye con 159 mmHg y el N₂ con 601 mmHg.

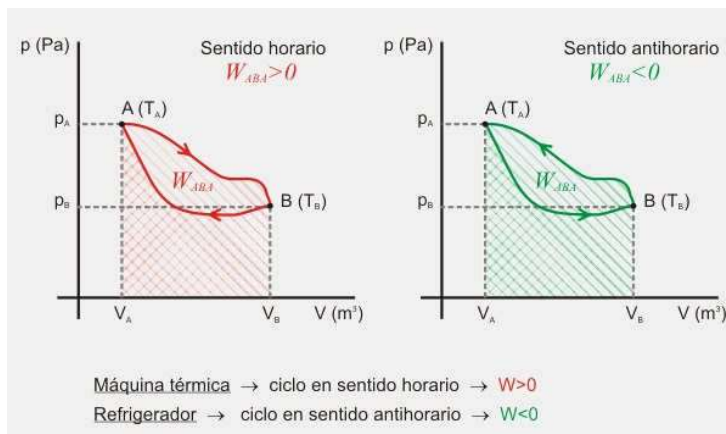


Representación de Ley de Dalton

CICLOS TERMODINÁMICOS

Un tipo de transformación particularmente interesante es la que se denomina **ciclo**, en la que el gas, después de sufrir distintas transformaciones, vuelve a su estado inicial. El interés de este tipo de transformaciones radica en que **todas las máquinas térmicas y refrigeradores funcionan cíclicamente**.

Cuando un ciclo se recorre en sentido horario (ver parte izquierda de la figura), **el trabajo total realizado por el gas en el ciclo es positivo**, ya que el trabajo AB (positivo) es mayor en valor absoluto que el BA (negativo), por lo que la suma de ambos será positiva. Por el contrario, **si el ciclo se recorre en sentido antihorario el trabajo total es negativo**.



El trabajo realizado de A a B se corresponde con el área encerrada entre esta curva y el eje horizontal y, al haber expansión, es positivo. El trabajo realizado de B a A, para cerrar el ciclo, es negativo, al contraerse el gas. La diferencia de ambos trabajos es el trabajo útil al cabo del ciclo y se corresponde con el área encerrada en su interior.

[Martín y Serrano, Universidad Politécnica de Madrid](#), Ciclos (Todos los derechos reservados)

Los ciclos que representan el funcionamiento de máquinas térmicas se recorren siempre en sentido horario (una máquina da trabajo positivo), mientras que los ciclos que representan el funcionamiento de los refrigeradores son recorridos en sentido antihorario (para que un refrigerador funcione, debemos suministrarle trabajo desde el exterior).

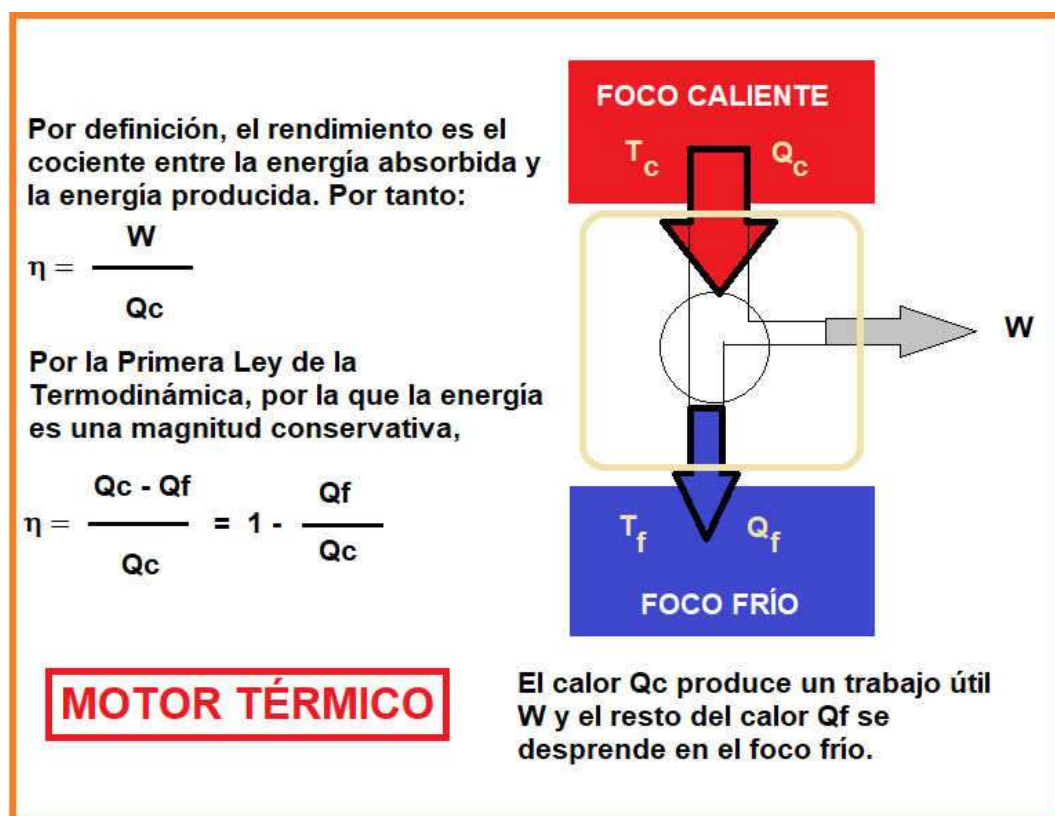
5.3.- Ciclo de Carnot

TEOREMA DE CARNOT

El teorema de Carnot establece que el rendimiento máximo que puede tener una máquina térmica lo da el ciclo de Carnot, que luego veremos. Pero, ¿cuál es ese valor máximo? ¿Ronda acaso el 90 %, el 80 %, el 50 %, el 5 %? La respuesta es que naturalmente, depende. Según varíe el calor y las temperaturas en los focos caliente y frío, así cambiará el rendimiento. Se demuestra que este rendimiento vale:

$$\eta = 1 - \frac{Q_{\text{foco frío}}}{Q_{\text{foco caliente}}} = 1 - \frac{T_{\text{foco frío}}}{T_{\text{foco caliente}}}$$

En la siguiente figura, en el caso de un motor térmico (por ejemplo una turbina, una máquina de vapor o un motor de gasolina), vemos claramente el funcionamiento esquemático y el valor del rendimiento de la máquina. En el caso de que la máquina tuviera un funcionamiento ideal, es decir, que funcionara según un ciclo de Carnot, se demuestra que ese rendimiento se obtiene sustituyendo las energías caloríficas por las respectivas temperaturas de los dos focos. Hay que señalar que **las temperaturas deben ponerse en las unidades del Sistema Internacional, es decir K**.



Rendimiento de un motor térmico

Supongamos una máquina que trabaja entre dos focos térmicos: uno es agua en equilibrio con vapor de agua, a 100°C, y el otro es agua en equilibrio con hielo, a 0°C. Para esta máquina

$$\eta = 1 - 273/373 = 0,268 \rightarrow 26,8 \%$$

Es decir, de todo el calor que toma, solo la cuarta parte se aprovecha como trabajo. Las tres cuartas partes restantes se desperdician como calor de desecho. Vemos que el rendimiento máximo puede ser de hecho muy bajo.

Puesto que una máquina real posee factores irreversibles que reducen el rendimiento aun más, podemos llegar a que una máquina térmica, aunque posible, no sea de interés por su bajo rendimiento. Por ejemplo, imaginemos un gran estanque de agua puesto al sol. Podríamos aprovechar la evaporación por la acción del sol para mover una turbina. Esto sería un

generador sencillo de fabricar y además con combustible "gratis". Sin embargo su eficiencia puede ser del 5% o menor, esto es, que se produce como 20 veces más calor de desecho que trabajo útil se saca.

CICLO DE CARNOT

Es el ciclo termodinámico óptimo de una máquina térmica que toma calor de un foco caliente, cuya temperatura es como máximo T_c y vierte el calor de deshecho en el foco frío, situado a una temperatura T_f . Para que el ciclo sea óptimo, todo el calor absorbido debería tomarse a la temperatura máxima, y todo el calor de desecho, cederse a la temperatura mínima. Por ello, el ciclo que estamos buscando debe incluir dos procesos isotermos, uno de absorción de calor a T_c y uno de cesión a T_f .

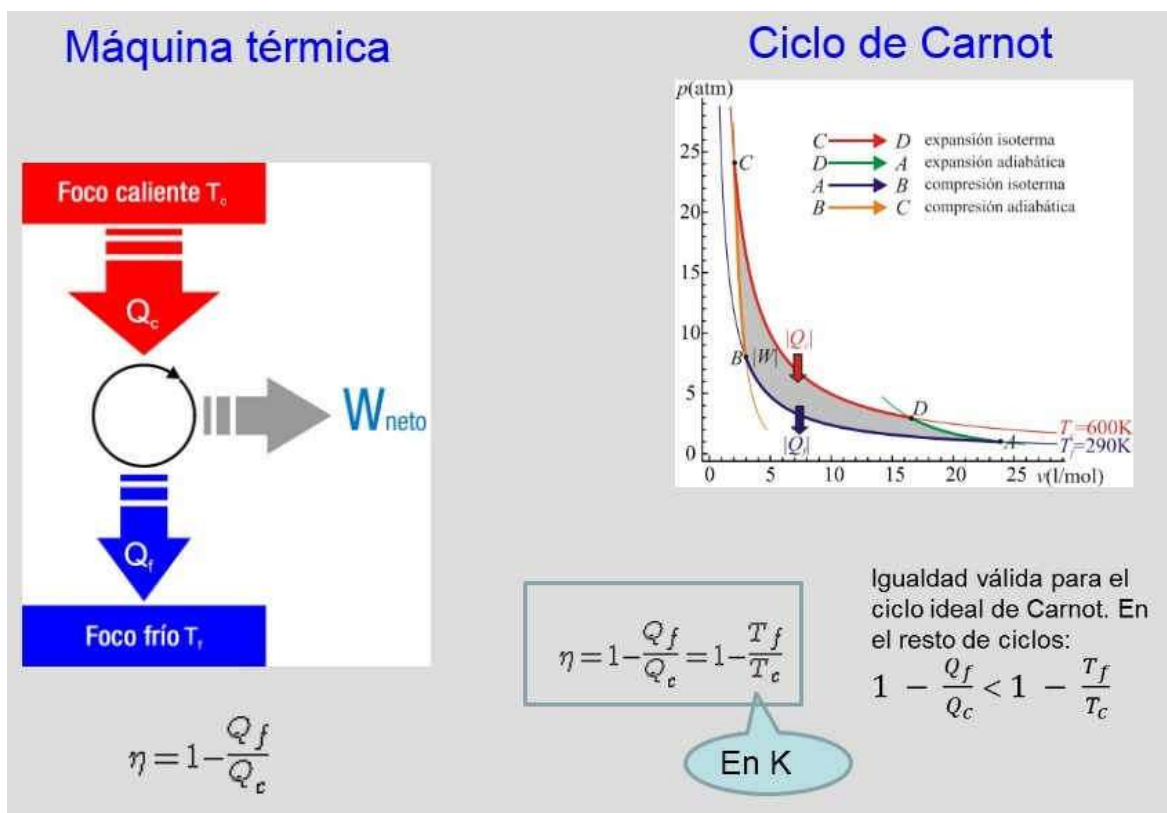
Para conectar esas dos isotermas (esto es, para calentar el sistema antes de la absorción y enfriarlo antes de la cesión), debemos incluir procesos que no supongan un intercambio de calor con el exterior (ya que todo el intercambio se produce en los procesos isotermos). La forma más sencilla de conseguir esto es mediante dos procesos adiabáticos reversibles. Por tanto, nuestra máquina térmica debe constar de cuatro pasos:

C→D Absorción de calor Q_c en un proceso isoterma a temperatura T_c .

D→A Enfriamiento adiabático hasta la temperatura del foco frío, T_f .

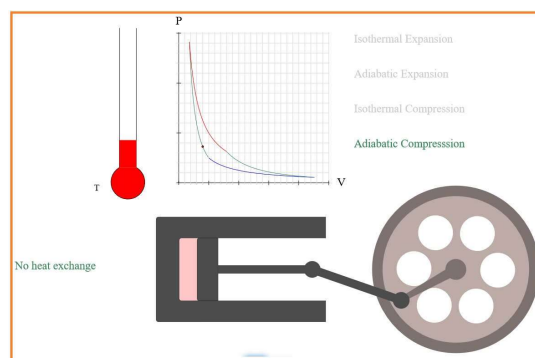
A→B Cesión de calor $|Q_f|$ al foco frío a temperatura T_f .

B→C Calentamiento adiabático desde la temperatura del foco frío, T_f a la temperatura del foco caliente, T_c .



Rendimiento de una máquina de Carnot

Para ver la animación del funcionamiento del Ciclo de Carnot, clicar la imagen:



Animación de máquina de Carnot

5.4.- Calor y trabajo en las distintas transformaciones

Mediante la aplicación de los conceptos vistos y a través de desarrollos matemáticos, unos más simples que otros, se llega al siguiente cuadro, en el que vemos las **fórmulas de Calor, Energía Interna y Trabajo en las diferentes transformaciones** vistas. En todas estas fórmulas, poniendo las distintas magnitudes en unidades del SI, obtenemos el resultado en la correspondiente magnitud del SI.

	Isobara (p cte)	Isócora (V cte)	Isoterma (T cte)	Adiabática (Q=0)
Calor	$Q_{AB} = nC_p(T_B - T_A)$	$Q_{AB} = nC_v(T_B - T_A)$	$Q_{AB} = nRT_A \ln \frac{V_B}{V_A}$	$Q_{AB} = 0$
Energía interna	$\Delta U_{AB} = nC_v(T_B - T_A)$	$\Delta U_{AB} = nC_v(T_B - T_A)$	$\Delta U_{AB} = 0$	$\Delta U_{AB} = nC_v(T_B - T_A)$
Trabajo	$W_{AB} = p_A(V_B - V_A)$	$W_{AB} = 0$	$W_{AB} = nRT_A \ln \frac{V_B}{V_A}$	$W_{AB} = \frac{1}{1-\gamma}(p_B V_B - p_A V_A) = -\Delta U_{AB}$

Las parámetros termodinámicos más usuales, además de los que aparecen en las anteriores fórmulas, son los siguientes:

PARÁMETROS TERMODINÁMICOS USUALES

Temperatura:	T: (K), (°C)	→	Magnitud absoluta
Presión	p: (Pa), (bar)	→	p = F/s
Volumen específico	v: (m³/kg)	→	v = V/m
Densidad	d: (kg/m³)	→	d = m/V = 1/v
Trabajo-Energía	W-E: (J), (kWh)	→	W = F·e = F·v/t
Trabajo-Energía (calorífica)	Q: (J), (cal)	→	Q = m·c·ΔT
Potencia	P: (W), (kW)	→	P = W/t = F·e/t = F·v
Potencia (calorífica)	Ḡ: (W), (kW)	→	Q = ḡ·c·ΔT
Caudal volumétrico	ṽ: (m³/s)	→	ṽ = V/t
Caudal másico	ṁ: (kg/s)	→	ṁ = m/t
Entalpía específica	h: (J/kg); (kJ/kg)	→	h = U + p·ΔV
Entropía específica	s: (J/kg·K); (kJ/kg·K)	→	Δs = ΔQ/T
Título	x: (0 < x < 1)	→	x = m_v/m

Ejercicios resueltos

1. Observa la pegatina que viene en un coche para la presión de los neumáticos.

- ¿En cuántas escalas viene la presión?
- ¿Cuál es el valor en la unidad del SI?
- ¿Cuál es el factor de conversión entre esas unidades?



Mostrar retroalimentación

- Viene en tres unidades: bar, kilopascales y PSI.
- En pascales es 250.000 Pa.
- Un bar es igual a 100 kilopascales y es igual a 14,4 PSI.

2. Un conductor calibró la presión de sus neumáticos a una temperatura de 27 °C. Después de rodar bastante, al calibrar de nuevo la presión vio que el valor era superior en un 20%. Si suponemos que el volumen de los neumáticos no se ha modificado, ¿cuál es la temperatura del aire dentro de la cámara?

Mostrar retroalimentación

Se aplica la ley de Gay-Lussac para una transformación isocórica:

$$P/(273-27) = P \cdot 1,2/T \rightarrow T = 300 \cdot 1,2 = 360 \text{ K} = 87 \text{ °C}$$

3. Un submarinista que está buceando a 45 metros de profundidad deja escapar una burbuja de aire de 20 cm³. ¿Qué volumen tendrá la burbuja al llegar a la superficie.

Mostrar retroalimentación

Suponemos que se hace a temperatura constante, isoterma, y por lo tanto se aplica la ley de Boyle. Esta opción parece lógica, ya que la temperatura del mar no varía mucho, una vez superada la capa superficial.

Cada 10 metros de columna de agua, aproximadamente, ejercen 1 kg/cm² de presión. Por lo tanto 45 metros suponen 4,5 kg/cm². Hay que tener en cuenta, además, que la burbuja de aire está sometida, además de a la presión del agua, a la presión de la capa de aire que hay encima (presión atmosférica). Si consideramos, con bastante aproximación, que la presión atmosférica es de 1 kg/cm² (realmente 1 atm = 1,033 kg/cm²):

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \rightarrow (4,5+1) \cdot 20 = 1 \cdot V_2 \rightarrow V_2 = 110 \text{ cm}^3$$

4. Hallar el trabajo de expansión de un gas desde un volumen inicial de 3 litros a 20 atm hasta un volumen final de 24 litros, permaneciendo constante la temperatura del sistema. Expresar el resultado en J

Mostrar retroalimentación

$$W = p_1 \cdot V_1 \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = (20 \text{ atm} \cdot 101.000 \text{ Pa} / \text{atm}) \cdot (3 \text{ l} \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{l}) \cdot \ln \frac{24 \text{ l}}{3 \text{ l}} = 1,26 \cdot 10^4 \text{ J}$$

5. Una máquina de vapor trabaja entre la temperatura de la caldera de 250° y la del condensador de 50° y desarrolla una potencia de 8 CV. Sabiendo que su rendimiento es del 30% respecto del correspondiente a una máquina térmica ideal que opere entre las mismas temperaturas, hallar la cantidad de calor que se debe comunicar a la caldera en la unidad de tiempo.

Mostrar retroalimentación

$$\eta_{\text{ideal}} = 1 - \frac{T_f}{T_c} = 1 - \frac{50 + 273 \text{ K}}{250 + 273 \text{ K}} = 0,382$$

Lo que significa que el rendimiento o real será :

$$\eta_{\text{real}} = 0,382 \cdot 0,3 = 0,114 \rightarrow 11,4\%$$

La cantidad de calor en la unidad de tiempo es la portencia térmica :

$$P_{\text{entrada caldera}} = \frac{P_{\text{salida caldera}}}{\eta_{\text{real}}} = \frac{8 \text{ CV}}{0,114} = \frac{8 \text{ CV} \cdot 736 \text{ W/CV}}{0,114} = 51,65 \text{ KW} = 12,4 \text{ kcal/s}$$

Ejercicios para resolver

1. La temperatura de 5 kg de N_2 gaseoso se eleva desde 10°C a 130°C . Si se realiza el proceso a presión constante, hallar la cantidad de calor necesaria para ello, el incremento de energía interna y el trabajo exterior realizado por el gas. Calcular también el trabajo y la cantidad de calor necesaria si el proceso se lleva a cabo a volumen constante.

Mostrar retroalimentación

Sol: a) $Q = 149 \text{ kcal}$, $\Delta U = 106 \text{ kcal}$, $W = 43 \text{ kcal}$ b) $W = 0$, $Q = \Delta U = 106 \text{ kcal}$.

2. Se comprime adiabáticamente un volumen de 22,4 l de nitrógeno gaseoso a 0°C y 1 atm, hasta la décima parte de su volumen inicial. Hallar, la presión y temperatura final, así como el trabajo que hay que realizar sobre el sistema.

Mostrar retroalimentación

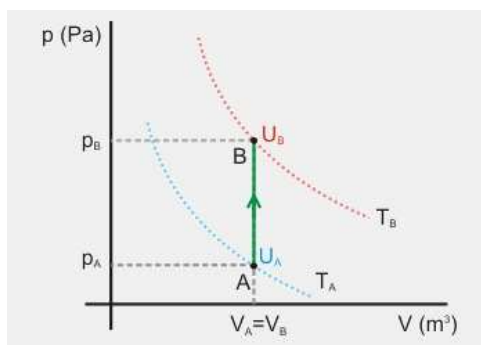
Sol: $p_2 = 25,1 \text{ atm}$; $T_2 = 413^\circ\text{C}$; $W = 8 \text{ 630 J}$

3. Calcular el rendimiento termodinámico ideal de una máquina térmica que funciona entre dos focos a 100°C y 400°C de temperatura respectivamente.

Mostrar retroalimentación

Sol.: $\eta = 44,6 \%$

4. Explicar el proceso termodinámico que se representa en el siguiente gráfico y razonar cómo varían las magnitudes termodinámicas básicas



Mostrar retroalimentación

El proceso que se sigue es del punto A, a una temperatura T_A , a una temperatura T_B (mayor), en la que el volumen se mantiene constante. Por ello, podemos decir que es un proceso isócoro (o isocórico) en el que no se produce trabajo $W = 0$, y su temperatura aumenta debido a que absorbe una determinada cantidad de calor $Q = \Delta U$. En consecuencia, su energía interna aumenta. La presión también aumentará, ya que, si el volumen permanece constante y la temperatura aumenta, la presión también debe hacerlo, según la ecuación de estado de los gases perfectos.

5. Se demuestra que la relación existente entre los calores específicos a presión y volumen constante de los gases monoatómicos y diatómicos, es la reflejada en la tabla. Se trata de obtener el coeficiente γ , necesario en los cálculos de una transformación adiabática, para el oxígeno y el aire.

	Monoatómico	Diatómico
C_v	$\frac{3}{2}R$	$\frac{5}{2}R$
C_p	$\frac{5}{2}R$	$\frac{7}{2}R$

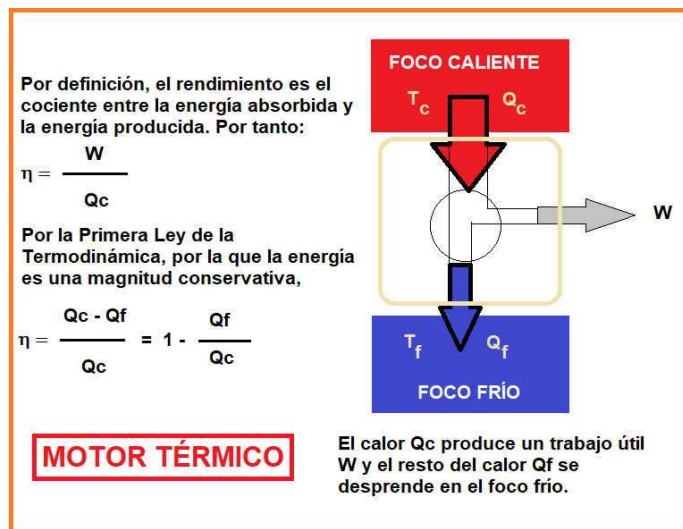
R es la constante universal de los gases perfectos

Mostrar retroalimentación

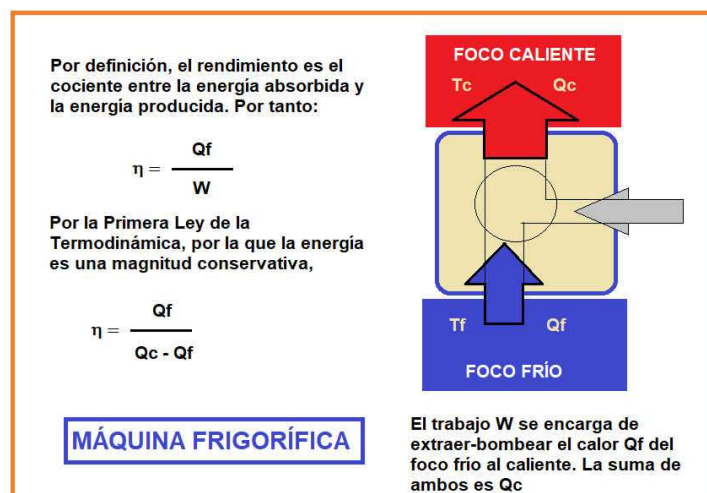
Oxígeno: $\gamma = 1,4$

Aire: $\gamma \approx 1,4$ (ya que está constituido en su mayor parte por dos gases diatómicos: nitrógeno y oxígeno)

6. Observa el esquema del motor térmico y el cálculo de su rendimiento, ¿eres capaz de hacer un esquema similar pero funcionando el sistema como una máquina frigorífica? Pon las flechas en el sentido correcto y obtén el valor del rendimiento. Date cuenta que la energía útil es el calor que extraemos del foco frío.



Mostrar retroalimentación



7. Imagina ahora, que lo que tienes es una máquina térmica en la que utilices el calor del foco caliente como calefacción. Son las denominadas bombas de calor, que en verano funcionan como máquinas frigoríficas (como la vista en la solución del ejercicio anterior), y en invierno se invierte su funcionamiento y la energía eléctrica del compresor bombea el calor extraído de la calle al interior, ¿eres capaz de determinar la fórmula de su rendimiento?

Mostrar retroalimentación

El esquema es el mismo que el del ejercicio anterior, pero en este caso, la energía útil es Q_c y la absorbida es W . Por ello, el rendimiento será:

$$\eta = \frac{Q_c}{W} = \frac{Q_f + W}{W} = \frac{Q_f}{W} + 1$$

Como vemos, en este tipo de máquinas, el rendimiento siempre será mayor del 100%. La explicación es sencilla. La energía W que introducimos, como ya hemos dicho, acabará en forma de calor, por lo que siempre tendremos que sumar al calor extraído del foco frío, el valor del calor W (normalmente energía eléctrica). De hecho, en muchos casos obtendremos rendimientos de más del 200% o del 300%. Ello no significa otra cosa que, con una potencia de, por ejemplo, 1 kW eléctrico, obtendremos 2 kW ó 3 kW de calor. En posteriores unidades desarrollaremos estas ideas.

8. A partir del simulador adjunto, abre las diferentes ventanas y realiza distintos experimentos. Comprueba si se ajustan los resultados a lo que se ha tratado a lo largo de esta unidad. Observa que podemos variar las cuatro magnitudes termodinámicas vistas: Presión, Volumen, Temperatura y masa (moles), por lo que la ecuación que rige el comportamiento del gas introducido es la ecuación de los gases perfectos.

https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties_en.html

Autoevaluación

Señala si es verdadera o falsa cada una de las siguientes afirmaciones. Ten en cuenta que alguna respuesta la deberás buscar fuera del contenido desarrollado en esta unidad:

1. Heron de Alejandría era un ingeniero de hace más de 2000 años, que ya diseñaba máquinas de vapor.

☐ Verdadero ☐ Falso

Verdadero

Es correcto. Aquí podemos ver una animación de uno de sus diseños. Intenta explicar su funcionamiento.

<https://www.youtube.com/embed/WzKhPZi8JuQ>

2. Si la entalpía del vapor que entra en una turbina es de 100 kJ/kg y a la salida el vapor tiene 50 kJ/kg, podemos concluir que la turbina producirá algo menos de 50 kW de potencia mecánica cuando entren 10 kg/s de vapor.

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

Es falsa, ya que la potencia térmica del vapor de entrada es:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot \Delta H = 10 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 50 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 500 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 500 \text{ kW}$$

Observa que la Q , normalmente es energía térmica y, con el punto encima, indica una potencia térmica. Las potencias que no son térmicas, frecuentemente utilizan P .

3. Si calentamos un depósito cerrado que contiene 20 kg de oxígeno a 30 °C, hasta 120 °C, el trabajo realizado será, teniendo en cuenta que el calor específico del oxígeno a volumen constante es de 20,8 J/mol·K, de 289 kJ

☐ Verdadero ☐ Falso

Falso

No es correcto, ya que al no haber desplazamiento, no hay trabajo útil, que es lo característico de cualquier transformación isócara. Es decir $W = 0$

4. El trabajo es positivo cuando lo realiza el gas (expansión) y negativo cuando el exterior lo realiza contra el gas (compresión)

☐ Verdadero ☐ Falso

Verdadero

Es verdadero, ya que $W = F \cdot d$, si hay desplazamiento, el sistema realiza trabajo útil. Por convención, decimos que este trabajo que produce el sistema es positivo, mientras que si realizamos trabajo contra el sistema (como por ejemplo cuando comprimimos el aire para hinchar un balón), este trabajo es negativo.