

# Sobre las unidades de energía

## POR FAVOR, LLÁMEME JULIO

**Álvaro Pérez de Laborda**  
Ingeniero Industrial

En el estudio de los procesos químicos o, en general, de los industriales, se realizan habitualmente balances de masa y energía en los que se determinan los flujos de la energía y sus transformaciones.

Los balances energéticos se emplean también a otra escala para estudiar la utilización de la energía a nivel regional o nacional.

Ya se trate de un caso o del otro, un balance de energía se debe realizar en un sistema coherente de unidades. De este modo se facilita el intercambio de información, reduciéndose la posibilidad de errores al evitarse arrastrar coeficientes engorrosos y, en definitiva, simplificando el trabajo. Sin embargo, debido a la inercia de la práctica técnica, aún hoy se usa una diversidad de unidades en este campo que no siempre se pueden considerar como coherentes.

### Trabajo y energía

Los balances energéticos se basan en el primer principio de la Termodinámica, la ley de Conservación de la energía. La Termodinámica es una ciencia que tiene sus orígenes en la primera mitad del siglo XIX, en el estudio de las transformaciones del calor en trabajo al comienzo del desarrollo de las máquinas térmicas.

El trabajo es una forma de energía. Es, en realidad, una medida de la energía que un sistema transfiere a otro por medio de una fuerza en movimiento. El calor es otra forma de transferir energía de un sistema a otro, partiendo de una diferencia de temperaturas entre ambos. Calor y trabajo representan variaciones de la energía contenida en los sistemas y se miden por lo tanto en unidades de energía.

Históricamente, hubo en el comienzo del estudio de la Termodinámica una cierta ambigüedad en el uso del término "calor" ya que se empleaba tanto para designar la energía interna de un sistema como para el intercambio de energía entre dos sistemas. En la primera mitad del s. XIX, **S. Carnot** enunció el *primer Principio de la Termodinámica*, según el cual el trabajo aportado a un sistema adiabático debía ser proporcional al incremento de su "contenido en calor". El factor de proporcionalidad "A" se denominó "equivalente mecánico del calor". **J. P. Joule** determinó para A un valor de  $1 \text{ kcal} = 4,152 \text{ kJ}$ .

Fueron posteriormente **R. Clausius** y **Lord Kelvin** los que empezaron a emplear el concepto de energía interna. Sin embargo, definieron la energía interna a partir del intercambio de calor y de trabajo. Ya entrado el s. XX, se definió el calor a partir del primer Principio como una magnitud derivada, como suma del trabajo realizado por un sistema y la variación de la energía interna. El concepto de

equivalente mecánico del calor perdió entonces su sentido al pasarse a usar las mismas unidades para calor y trabajo.

### Empleo de unidades de energía

Sin embargo, se ha seguido desde entonces arrastrando el empleo de unidades de un modo que podríamos calificar como decimonónico.

Un caso práctico para los que trabajamos en el campo de la energía es el del Real Decreto 2818/1998 que regula la autogeneración. En él se establece un fórmula mediante la cual se debe determinar el rendimiento eléctrico equivalente de una instalación de cogeneración que desee obtener ciertas primas económicas en la venta de la energía eléctrica producida. Se indica en esta norma que, para realizar este cálculo, la energía eléctrica se debe expresar como energía térmica empleando el factor de conversión  $1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$ . Se está suponiendo, por lo tanto, que la cantidad de energía térmica aportada estará definida en múltiplos de la caloría,





y no en vatios por hora o en julios, como correspondería al Sistema Internacional de Unidades (SI) que es el sistema que debería ser empleado. Por otro lado, el factor de 860 es inexacto, por lo que se está introduciendo una inexactitud, aunque pequeña, donde no tiene por qué haberla.

### Unidades de energía

La unidad de energía del SI es el julio, cuyo símbolo es "J", que se define a partir de las unidades básicas del SI como  $\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$ . Sin salir de este sistema de unidades y dado que el julio es una unidad pequeña, se emplean normalmente sus múltiplos (kJ, MJ, etc.), además de otras unidades de energía que son producto de unidades de potencia y de tiempo. Un ejemplo es el kWh, que equivale a 3.600.000 julios.

La caloría ha sido definida de muchas maneras a lo largo de la historia y es, aproximadamente, la cantidad de energía necesaria para elevar un grado un gramo de agua a una temperatura de 15 °C y a la presión atmosférica. La caloría "internacional" se definió en 1956 de manera exacta como 4,1868 J. Por lo tanto, se puede considerar que hoy en día la calo-

ría no es más que un múltiplo del Julio, por lo que no se define a partir del calor específico del agua, sino a partir de tres cantidades fundamentales: el kilogramo, el metro y el segundo.

A partir de la caloría definida de esta manera, en el mismo año 1956 se adoptó para la equivalencia entre el BTU (unidad del sistema anglosajón de medida de energía) y el julio el factor exacto 1.055,05585262.

Como ya se ha visto, se suele usar como equivalencia entre la caloría y las unidades del SI el factor 860 kcal/kWh. Esta es una relación aproximada que en otra época fue exacta, cuando el vatio no era el que es hoy y la caloría tampoco. El factor de equivalencia exacto hoy en día resulta al dividir 3.600 (es decir, los segundos que tiene una hora) por el anteriormente indicado de 4,1868 kJ/kcal. Sin embargo, el error cometido al considerar el valor de 860 kcal/kWh es, para la generalidad de los cálculos de Ingeniería, despreciable.

Una unidad que ha sido muy usada para medir comercialmente cantidades de gas natural es la termia, que equivale a un millón de calorías. La termia (te) se ha usado en la normati-

va relacionada con el gas natural hasta que, ya metidos en el siglo veintiuno, en el Real Decreto 949/2001, que regula el acceso de terceros a instalaciones gasistas, se ha decidido aplicar el SI y se ha adoptado el kWh como unidad energética de referencia en España en este sector. Desde muy recientemente los usuarios en España de este combustible reciben las facturas con la indicación del consumo en kWh en lugar de termias.

La termia induce además a potenciales confusiones en el ámbito internacional, ya que existe en el sistema anglosajón una unidad con nombre similar (*therm*), que se abrevia como "th" y que vale 100.000 BTU.

Otro campo en el que se ha empleado la caloría es el de la alimentación, con la incongruencia de haberse usado en ocasiones este nombre para denominar una unidad equivalente a 1.000 calorías termodinámicas. Hoy se usan ya los múltiplos del julio, solventándose este problema.

Existen otras unidades que se emplean para determinar cantidades grandes de energía. En las estadísticas de consumo global de energía de los países miembros de la UE recogidas por Eurostat se emplea la tonelada<sup>1</sup> equivalente de petróleo (tep), aunque también se usa el TJ para cuantificar las cantidades de gas natural o biomasa, por ejemplo, y el GWh para la energía eléctrica.

La tep equivale aproximadamente al poder calorífico inferior de una tonelada de petróleo, y se define de manera exacta como  $10^{10}$  calorías. Menos usada en la actualidad es la tonelada equivalente de carbón, que equivale a 0,7 tep.

Cuando se trata de cantidades grandes, el gas natural se mide normalmente en "bcm" (*billion cubic metres*). Siendo en realidad una unidad de volumen, en ocasiones se emplea representar la energía (poder calorífico superior o PCS) contenida en

<sup>1</sup> La tonelada métrica es una unidad de masa que, aunque no pertenece al SI, sí es aceptada por éste. Sin embargo, su uso puede llevar a potenciales confusiones. Equivale a 1.000 kg y se abrevia según el SI como "t", aunque con frecuencia se le designa incorrectamente de otros modos diversos como "ton", "Tm" o "Tn" y en el extranjero como "tonne" o "tons". En el sistema anglosajón de unidades existen otras unidades con el mismo nombre y con magnitud similar a la nuestra. Cuando existe riesgo de confusión, una opción es utilizar el millón de gramos o "Mg" para designar a la tonelada, tal como se suele hacer, por ejemplo, en documentos técnicos alemanes.

mil millones de metros cúbicos de gas en condiciones normales de presión y temperatura, y asignando al gas un PCS de  $41,868 \times 10^6 \text{ J/Nm}^3$  (10 te/Nm<sup>3</sup>).

## Riesgo de error

En esta maraña de unidades es fácil perderse y cometer errores.

Las confusiones en el empleo de unidades son por desgracia frecuentes, por lo que hay que tratar de simplificar su uso para reducirlas. En la comunicación no técnica, por ejemplo en el periodismo, se dan numerosos errores en el empleo de diferentes unidades, pero éstos se dan también en el campo de la técnica, con consecuencias posiblemente más graves. Las confusiones se podrían evitar fácilmente si el empleo del SI fuese generalizado. Un ejemplo espectacular es el fracaso en septiembre de 1999 de una sonda espacial enviada a Marte por la **NASA** debido a errores en la conversión de unidades de longitud, al confundir kilómetros con millas. Esto supuso una pérdida de 125 millones de dólares, cantidad con la que se hubiera podido financiar una parte del paso al SI en los EE UU.

## El Sistema Internacional de Unidades

El SI emplea el metro, kilogramo y segundo como unidades básicas de longitud, masa y tiempo. El SI fue recomendado en 1954 en la 10ª Conferencia General de Pesas y Medidas para su uso en la ciencia y la técnica. El Sistema Técnico, en el que se basa el SI, empleaba el kilogramo-fuerza o kilopondio como unidad fundamental de fuerza, y una unidad derivada (UTM) como unidad de masa. Esto conducía a la necesidad de arrastrar un factor de 9,80665 (valor numérico de la aceleración normal de la gravedad) en muchas fórmulas fundamentales, por lo que el SI se acabó imponiendo.

Según un estudio realizado por la **U. S. Metric Association** hace algunos años sólo tres países no habían adoptado el SI de Unidades hasta el

Unidad	Equivalencia (exacta)
Julio (J)	1 J (unidad básica)
Terajulio (TJ)	$10^{12}$ J
caloría (cal)	4,1868 J
kilovatio hora (kWh)	3.600.000 J
termia (te)	$4,1868 \times 10^6$ J
tonelada equivalente de petróleo (tep)	$4,1868 \times 10^{10}$ J
tonelada equivalente de carbón (tec)	$2,93076 \times 10^{10}$ J
bcm de gas natural <sup>2</sup>	$4,1868 \times 10^{16}$ J
British Thermal Unit (BTU)	1.055,05585262 J

momento: EE UU, Liberia y Burma. La **Unión Europea** emitió en 1971 y 1980 sendas Directivas para aproximar la legislación de los Estados miembros sobre unidades de medida. En ellas se declara el SI como el Sistema de medida oficial para todos los estados miembros. El uso de este sistema (y su enseñanza) es obligatorio en España según la Ley 3/1985 de 18 de marzo.

El Sistema Métrico, origen del SI, fue adoptado por la **Asamblea Nacional** francesa en 1790, y se hizo obligatorio en Francia a partir de 1837. En España se introdujo oficialmente en virtud de una Ley de 1849. Diversos problemas retrasaron su puesta en práctica, por lo que pasaron más de 30 años hasta que fue hecho obligatorio por un Real Decreto de **Alfonso XII** a partir del 1 de julio de 1880. También en Gran Bretaña estuvo a punto de imponerse en aquella época. Era el año 1871 cuando se propuso en la *House of Commons* el uso del Sistema métrico como único sistema de referencia para todos los ámbitos. La propuesta fue rechazada por tan sólo cinco votos y ha habido que esperar 124 años, hasta 1995, para que, debido a la necesidad de poner en práctica las Directivas Europeas, se haya hecho obligatorio en Gran Bretaña el uso del SI en un primer paso para el etiquetado de las comidas pre-ensadas. Es cuestión de tiempo que el uso del SI se generalice en todo el mundo en las diferentes actividades sociales y, por supuesto, en la técnica. Debido a la inercia de la sociedad y de la mente humana, el cambio no es fácil, como lo demuestra el que, pasado el sesquicentenario de la introducción del

Sistema métrico, los agricultores en España siguen usando múltiples unidades de aquella época para la medida de la superficie agraria.

Antes o después se realizará la transición también en EE UU. El coste de mantener dos sistemas de unidades, la ventaja de adoptar el SI para el comercio exterior y los beneficios para la enseñanza son algunos de los factores que impulsarán el uso del SI hasta que llegue a ser, además de internacional, universal.

A la vista de todo esto, revisemos nuestro ámbito de trabajo para analizar si hay aspectos mejorables en la aplicación del SI de unidades en nuestro entorno técnico. Seguro que rentabilizaremos a medio plazo el tiempo que empleemos en hacerlo.

## Referencias

-Directiva Europea 80/181/CEE relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros sobre las unidades de medida.

-Directivas Europeas 89/617/CEE y 1999/103/CE que modifican a la Directiva 80/181/CEE.

-Eurostat. Principios y métodos de los balances de energía. CA-49-87-785-ES-C.

-ISO 1000 *SI units and recommendations for the use of their multiples and of certain other units*.

-IEEE/ASTM-SI-10 *Standard for Use of the International System of Units (SI): The Modern Metric System*.

-NIST *Special Publication 811 Guide for the Use of the International System of Units (SI)*.

-**Basas Fernández, Manuel**. *Introducción en España del Sistema Métrico Decimal*. Giuffré, 1962. ■

<sup>2</sup> Poder calorífico superior de  $41,868 \times 10^6 \text{ J/Nm}^3$