

LAS FORMAS DE ENERGÍA

SEGÚN LAS IDEAS MODERNAS

(CONTINUACIÓN)

Energía eléctrica.

Ninguna forma de energía se presta tanto como la eléctrica á dar energía de forma superior directamente equivalente á energía mecánica. Es su propiedad más preciosa.

La energía eléctrica se obtiene de otras fuentes de energía, superior ó inferior.

En general, se obtiene por medio de un trabajo mecánico ó quemando carbón ó cine.

Una pequeña fracción de la energía eléctrica se pierde siempre, al igual de lo que acontece con la energía mecánica en forma de calor. Es el calor originado por las resistencias al paso de la corriente eléctrica. Pero la energía eléctrica posee la importante y útil propiedad de poder localizar en un punto cualquiera este calor de resistencia, esta degradación de energía, pudiéndose utilizar como se quiera este calor.

Si en una distribución eléctrica disponemos de un voltaje dado y de un aparato ó máquina susceptible de soportar una corriente dada, disponemos, en estas condiciones, de una potencia mecánica cuyo valor es igual al producto de la corriente por el voltaje.

Las distribuciones eléctricas corrientes, efectuándose próximamente á 110 ó 113 voltios, si un aparato toma 5 amperios, dispondremos de 110×5 ó de 113×5 ; es decir, de 550 ó de 565 vatios, que podremos utilizar en la forma de energía que queramos.

Sabido es que la dinamo convierte, casi integralmente, la energía eléctrica en energía mecánica cuando funciona como motor.

El rendimiento de la dinamo en los dos sentidos, mecánico-eléctrico ó viceversa, consecuencia de su preciosa condición de máquina reversible, es resultado de la equivalencia de las energías mecánica y eléctrica, las dos de calidad superior (1).

A continuación, y como complemento de los datos insertos en el cuadro de clasificación de energías, se expresan los valores y definiciones de las principales unidades eléctricas con sus equivalentes mecánicos, no sin hacer constar previamente que todas las magnitudes eléctricas pueden expresarse como función de dos factores de la energía eléctrica, que son: la *cantidad de electricidad* y la *diferencia de potencial*, y que todas las medidas eléctricas concluyen por la determinación de esas magnitudes.

La medida de otras magnitudes derivadas puede conducir, no obstante, al mismo fin, con más facilidad, y para esto recordaremos.

Que la fuerza de una corriente = $\frac{\text{cantidad de electricidad}}{\text{tiempo}}$.

Que la resistencia de ídem = $\frac{\text{diferencia de potencial}}{\text{fuerza de la corriente}}$.

Que la conductividad = $\frac{\text{fuerza de la corriente}}{\text{diferencia de potencial}}$ (inversa de la anterior).

(1) En las buenas dinamos, las pérdidas por histéresis y por las corrientes de Foucault no se elevan á más de 5 ó de 6 por 100. El resto es integralmente convertido en energía útil.

Veamos ahora las unidades prácticas referidas al sistema C. G. S.:

1. Unidad de *intensidad* de corriente. — Es el *amperio*. Es la intensidad de una corriente capaz de depositar gramos 0,001118 de plata por segundo en la electrolisis del AgCl. El amperio vale 10^{-1} de unidad C. G. S.

2. Unidad de *resistencia*. — Es el *ohmio*. — Es la resistencia á 0° C. de una columna de mercurio de un milímetro cuadrado de sección y de 100,3 centímetros de longitud. — Próximamente, es la resistencia de 100 metros de hilo telegráfico de hierro, de 4 milímetros de diámetro. — Un ohmio vale 10^9 unidades C. G. S. — Cuando es atravesado por una corriente de un amperio, desprende por segundo $\frac{1}{J}$ calorías (1).

3. Unidad de *fuerza electromotriz* ó de *diferencia de potencial*. — Es el *voltio*. — Es la fuerza electromotriz desarrollada en un conductor cuya resistencia es de un ohmio, y atravesado por una corriente de un amperio. — Un voltio vale 10^8 unidades C. G. S.

4. Unidad de *cantidad de electricidad* ó de *masa eléctrica*. — Es el *coulomb* ó *culombio*. — Es la cantidad que produce, por segundo, una corriente de un amperio. — El culombio vale 10^{-1} de unidad C. G. S.

5. Unidad de *capacidad*. — Es el *farad* ó *faradio*. — Es la capacidad de un condensador cuyas armaduras toman una diferencia de potencial de un voltio para una carga de un culombio. — El faradio vale 10^{-9} de unidad C. G. S.

6. Unidad de *trabajo*. — Es el *joule* ó *julio*. — Es la energía calorífica desprendida por segundo en una resistencia de un ohmio, atravesada por una corriente de un amperio. El julio vale 10^7 unidades C. G. S. ó 10^7 ergs.

7. Unidad de *potencia*. — Es el *watt* ó *watio*. — Es la potencia capaz de producir un julio por segundo. — El watio vale 10^7 unidades C. G. S.

Las partículas *mega* y *micro* se emplean para designar unidades secundarias un millón de veces mayores y menores que la unidad principal. Así el *megaohmio* vale 10^6 ohmios y el *microfaradio* vale 10^{-6} faradios.

Para acabar de formarse idea exacta de los valores anteriores, creo muy útiles las dos tablas siguientes de comparación de las unidades de energía y de potencia:

A. — Unidades de energía.

1. El *erg* (2) vale 10^{-7} joules = $1,019 \times 10^{-8}$ kgrm. = $2,4061 \times 10^{-11}$ grandes calorías = $2,4061 \times 10^{-8}$ pequeñas calorías.
2. El *joule* ó *julio* vale 10^7 ergs = 0,1019 kgrm. = $2,4061 \times 10^{-1}$ grandes calorías = 0,24 61 pequeña calorías.
3. El *kilogrametro* vale 981×10^5 ergs = 9,81 joules = $2,3612 \times 10^{-1}$ grandes calorías = 2,3612 pequeña calorías.
4. La *gran caloría* vale 415×10^6 ergs = 4155 joules = 423,4 kgrm. = 1,000 pequeñas calorías.
5. La *pequeña caloría* vale 415×10^5 ergs = 4,155 joules = 0,4235 kilogrametro = 0,901 gran caloría.

B. — Unidades de potencia.

1. La unidad C. G. S. de *potencia* vale 10^{-7} vatios = $1,359 \times 10^{-10}$ caballo de vapor.
2. El *vatio* vale 10^7 unidades C. G. S. = $1,359 \times 10^{-3}$ caballo de vapor.
3. El *caballo de vapor* vale $735,75 \times 10^7$ unidades C. G. S. = 735,75 vatios. Próximamente resulta el caballo-vapor igual á $\frac{3}{4}$ de kilovatio. El Horse Power inglés (HP) es igual á 75,9 kgrm. por segundo; casi igual al caballo francés. En algunas industrias se emplean otras unidades de potencia ó de trabajo: el *kilovatio-hora* (trabajo ejecutado durante una hora por una máquina cuya potencia es de un kilovatio): vale 36×10^{12} ergs = 360000 joules ó 366840 kilogrametros. En fin, el *caballo-hora* que vale 2618×10^{10} ergs = 261870 joules = 270000 kilogrametros.

(1) La letra J es inicial de Joule.

(2) Se recordará que el *erg* es la unidad absoluta de trabajo ó de energía en el sistema C. G. S. Es, muy aproximadamente, el trabajo producido por un miligramo, cayendo de un centímetro de altura. Vale sensiblemente la cienmillonésima parte de un kilogrametro, como se expresa arriba.

Energía química libre.

La energía química en general tiene dos modos ó formas de manifestarse, según las circunstancias en las cuales se exterioriza.

En una de ellas es equivalente á la energía mecánica y á la eléctrica, y, en este caso, es forma superior de energía. En la otra es equivalente á la energía calorífica, siendo en este otro caso de calidad inferior.

La energía potencial química de un cuerpo, susceptible de combinarse con otro ú otros, se compone de dos partes, que son las dos formas de energía acabadas de indicar: una parte es *energía libre*, y otra *no libre*, denominada por Helmholtz *energía ligada*. La primera es *independiente*, en el concepto de que *puede transformarse inmediata ó directamente en energía eléctrica*. La segunda es *dependiente*, porque no es susceptible de esa transformación directa, aunque siempre sea posible medir su equivalencia en calor.

En términos generales puede decirse que la *Electroquímica* nos presenta el caso primero, el de la energía química libre. La *Termoquímica* nos presenta el problema general de equivalencia entre la energía química libre y no libre, ó energía química total y la energía calorífica.

La distinción entre las dos partes mencionadas de energía química no siempre es evidente y fácil; pero en lo relativo á las reacciones verificadas en la pila, utilizables en ella para la producción de la corriente eléctrica, esa distinción es clara é inmediata. Ya lo hemos dicho y expresamente lo repetimos:

«La parte de energía química, transformable, directa é inmediatamente, en energía eléctrica, es, por definición, energía libre.»

«Si una batería de acumuladores cargada puede dar 10 kilovatio-horas, es porque la energía química *libre* que poseen las placas activas, después de la carga es de 10 kilovatio-horas» (1).

El acumulador eléctrico *no acumula electricidad*; lo que acumula es energía química de calidad superior, equivalente á la eléctrica y transformable en ésta en un momento dado.

El valor de la fuerza electromotriz en una pila es el valor de la energía química total de la misma, la cual, si en circunstancias distintas de las realizadas en la pila, puede degradarse, cambiándose en calor, en la pila no se degrada, pudiendo por el contrario, *ser captada* y transformada en energía eléctrica. La energía química es aquí integralmente libre.

Este caso particular se produce en la pila Daniell, ordinaria, de sulfato de cinc y sulfato de cobre.

Pero si se sustituye en esa pila el cinc por el hierro, la fuerza electromotriz no alcanza ya el valor que alcanzó en el caso anterior. Una parte de la energía química de la pila es incapaz de transformación directa en energía eléctrica. De 19.100 calorías de energía, solamente 14.600 corresponden entonces á energía libre, y 4.500 son energía ligada.

El caso inverso se produce también. Si se reemplaza en la misma pila Daniell la solución de sulfato de cinc por otra de potasa, se obtiene una pila cuyo *calor químico* es de 30.200 calorías, y la fuerza electromotriz es, en este

caso, *superior á lo que debía ser*. Esta fuerza vale entonces 1,4 voltios, lo que, multiplicado por el número 23.100 (1), da 32.340 calorías, de lo que resulta que, de 30.200 calorías de energía, tenemos 32.340 calorías de *energía libre*. La energía libre, la energía útil, sobrepasa, en este ejemplo, á la energía, y la energía ligada es *negativa*. El ilustre físico Raoult, el primero que dió á conocer esta categoría de pilas, decía que en éstas el *calor voltaico* es superior al *calor químico*.

La determinación de estos dos calores se ha hecho por medio de experiencias calorimétricas precisas. De ellas resulta que la energía química es energía libre en multitud de casos; la energía química de las combinaciones espontáneas y activas es, en gran parte, energía libre.

De estos hechos parece surgir una paradoja: la posibilidad de que un sistema material produzca más energía libre que energía contiene.

El aire comprimido realiza mejor todavía esta aparente paradoja. Ya se indicó que es un *acumulador* y no un *creador* de energía. Es el caso de la pila (2).

FORMAS INTERIORES DE LA ENERGÍA

Energía química ligada.

Se ha definido la energía química libre y manifestado la abundancia de la misma en multitud de combinaciones espontáneas, aparte las realizadas en la pila, en la que puede estudiarse y medirse muy bien. Ahora vamos á completar esos datos con brevísimas consideraciones.

La *energía química total* (libre y no libre) de una reacción se obtiene, como es sabido, en forma de *calor*. La disposición del aparato empleado ha de ser tal, que no se origine en el mismo ni trabajo ni electricidad. En estas condiciones sólo se recogerá el *calor de la reacción*. La energía química *se degrada* al cambiarse en calor.

Cuando se obtiene un cierto número de *calorías*, éstas pueden siempre expresarse en unidades equivalentes de *trabajo*.

Así decimos que la combinación de 12 gramos de carbón (peso atómico), con 32 gramos de oxígeno (2 átomos), para dar 44 gramos de CO₂ al quemarse (gaseoso), des-arrolla 94.000 pequeñas calorías, equivalentes á 392.920 joules.

Conocidos son los *equivalentes químicos y electroquímicos*. Los primeros son las cantidades que se equivalen en las reacciones químicas. Los segundos son las cantidades que se equivalen en la pila para una misma corriente eléctrica.

La relación entre ambos no puede ser más estrecha, y de esa relación nació la idea de equivalente químico, desde el descubrimiento de las leyes del inmortal Faraday, cuyo enunciado no estará de más recordar:

1.ª Cuando electrolitos iguales, contenidos en distintos vasos electrolíticos, son atravesados por la misma corriente, la cantidad de electrolito descompuesto en cada vaso es la misma en el mismo tiempo.

2.ª La cantidad de electrolito descompuesto en la unidad de tiempo es proporcional á la intensidad de la co-

(1) B. Brunhes.

(1) Veremos más adelante lo que significa ese número.

(2) Pueden leerse en B. Brunhes detalles muy instructivos é interesantes sobre esos puntos, sólo indicados ligeramente aquí.

riente (á la cantidad de electricidad que atraviesa el electrolito).

3.° Cuando una misma corriente atraviesa electrolitos diferentes, las cantidades de electrolitos descompuestos son, entre sí, como sus equivalentes químicos.

Cantidades de calor, cantidades de electricidad y cantidades ponderales de sustancias químicas se substituyen mutuamente siguiendo la ley de equivalencia exacta y obedeciendo al principio de conservación de la energía.

Si los números que expresan las *calorías* de una reacción química se desea expresarlos en números que indiquen *culombios*, tendremos números de calorías 96.300 veces más pequeños.

En efecto, la experiencia ha demostrado que un *culombio* (unidad de cantidad de electricidad producida en un segundo por una corriente de un amperio) descompone $\frac{1}{96300}$ del equivalente electroquímico de un compuesto, ó lo que es igual, pone en libertad $\frac{1}{96300}$ del peso monovalente de un metal.

Si se designa por E el equivalente electroquímico de un compuesto ó de un metal, suponiendo $H = 1$, la cantidad descompuesta ó depositada por un *culombio* será entonces $\frac{1}{96300} \times E = 0,000010384 \times E$ (1).

Así, obtenemos un nuevo sistema de equivalentes electroquímicos, en el cual ya no es $H = 1$, sino $H = 0,00001038$.

La cantidad m , descompuesta ó puesta en libertad por q *culombios* será, según lo expuesto,

$$m = 0,00001038 \times E \times q.$$

Pero

$$q = i \times t \text{ (2).}$$

Por consiguiente,

$$m = 0,00001038 \times E \times i \times t.$$

Fórmula muy importante que permite calcular y resolver problemas varios relativos á los pesos de metal depositados en relación con las intensidades de las corrientes y con los tiempos de las mismas (3).

Si los números que expresan las *calorías* de una reacción química se desea expresarlos en unidades de trabajo ó energía eléctrica, es decir, en *joules* ó *julios*, obtendremos números 4,18 veces mayores.

En efecto, una pequeña *caloría* vale 4,18 *julios*.

En general, para pasar del número que da en las tablas de calorimetría la energía química de una reacción, en pe-

queñas *calorías* por equivalente, al número que da en *joules* la misma energía química, referida á la cantidad de materia correspondiente á un *culombio*, es preciso dividir el número de pequeñas *calorías* por

$$\frac{96300}{4,18} = 23038 \text{ (1).}$$

La energía química es difícil de definir de un modo general, porque, como dice Ostwald, no podemos medirla directamente ni podemos medir tampoco ninguno de sus factores (2). El único medio de información que sobre ella tenemos, es transformarla en otra energía cuya medida directa nos sea más fácil. Ya lo hemos visto: la medida de las energías eléctrica y calorífica nos proporciona los datos necesarios acerca del valor de la energía química.

Sólo puedo indicar aquí el gran progreso realizado por la feliz aplicación de la Mecánica, de la Termodinámica y de la Cinética especialmente, al estudio de los sistemas químicos, creándose la *dinámica química*, iniciada por Wenzel, en 1777; por Bergmann, químico sueco, en 1780; por Berthollet, en 1803 (3), cuyas leyes son una primera aproximación de las leyes del equilibrio á los sistemas químicos.

Los memorables trabajos de Berthelot y Pean de Saint-Gilles (1850), sobre la *eterificación* de los alcoholes por los ácidos, seguidos poco después de otro importante trabajo de Wilhelmy sobre la *velocidad* de inversión del azúcar, hicieron variar las ideas reinantes, apareciendo en 1867 la teoría expuesta por los sabios noruegos Guldberg y Waage, sobre las *masas* en los fenómenos químicos, teoría matemática conocida con el nombre de *Principio de las masas* ó *Ley de Guldberg y Waage*.

En fin, la brillante resolución de los problemas de *mecánica química* por medio de las sencillas proposiciones del eminente Williard Gibbs, proposiciones deducidas de profundos estudios sobre la *dinámica* de las reacciones químicas, estudios consignados en una serie de *Memorias* de inmensa importancia práctica presentadas desde 1872 á 1878 á la Academia de Connecticut, y, en síntesis, conocidas hoy con el nombre de *Regla de las fases*, señala una era completamente nueva en la historia de la Química y marca el nuevo rumbo seguido en la interpretación de los fenómenos químicos, imposibles de conocer correctamente sin el estudio previo y lo más completo posible de esa admirable y transcendental ciencia, hija de la estrecha unión de la Física y Química tradicionales: de la *Físico-química* ó *Química-física*.

(Continuará).

(1) B. Brunhes: «En lugar del número 96500 he empleado el 96300, sacado de tablas que me merecen confianza.» Ese mismo número ha sido escrito en los cálculos anteriores.

B. Brunhes consigna como resultado de la división $\frac{96500}{4,18}$ la cifra 23100, que es á la que se aludió en una nota anterior al tratar de la energía química libre.

(2) Ostwald: *Abregé de Chimie générale*.

(3) Berthollet: *Essai de statistique chimique*, 1803.

Revista de las principales publicaciones técnicas.

La explotación de los ferrocarriles del Estado belga.

La *Engineering*, del 10 de Febrero, publica numerosos datos acerca de la explotación de los ferrocarriles de Bélgica.

En la actualidad, según las estadísticas oficiales de 1909, posee esta nación 4.322 kilómetros de vías férreas administradas por el Estado, de las cuales 2.046 kilómetros son de doble vía, y 2.276 de vía única. Independientemente de esta red hay 346 ki-