

La operacion se practica de la siguiente manera: se convierte el combustible en polvo muy fino y se mezcla 1 gramo del polvo con una cantidad de litargirio puro un poco mayor que la que puede ser reducida por el gramo de polvo, ó sea 20 gramos á lo menos y 40 á lo más. La mezcla se introduce en un crisol de barro y se cubre con 20 á 40 gramos de litargirio; se pone la tapa con el crisol, el cual se calienta despacio á fuego de carbon. La masa se pone blanda, entra en ebullicion, y á veces se hincha. Cuando está enteramente fundida, se aviva el fuego por espacio de unos 10 minutos para que el plomo se reuna en una masa. Despues se aparta del fuego el crisol, y cuando se ha enfriado, se rompe y se pesa el régulo de plomo. Comunmente éste no se adhiere al crisol ni á la escoria, y un martillazo basta para desprenderlo. Los experimentos deben repetirse 2 ó 3 veces, y los resultados no han de diferir más que de 0'1 á 0'2 gramos. En vez del óxido de plomo puro *G. Forchhammer* emplea una mezcla de 3 partes de litargirio y 1 de cloruro de plomo (por consiguiente oxiclururo de plomo), que de antemano se ha fundido en un crisol de barro y pulverizado despues del enfrio. El carbon de leña puro calentado con litargirio ú oxiclururo de plomo da 34 veces su peso en plomo metálico, cuya cantidad se eleva con el hidrógeno á 103'7 veces el peso de éste; es decir, el último cuerpo da 3 veces más plomo que el carbon. Con auxilio de estos valores se puede hallar el efecto calorífico absoluto de cualquier otro combustible. Como ahora se admite que 1 parte de carbon puede elevar de 1 grado la temperatura de 8080 partes de agua, y como además, segun el procedimiento de *Berthier*, carbon puro da 34 partes de plomo, corresponde á cada parte en peso de plomo reducido por un combustible $\left(\frac{8080}{34}\right) = 237'6$ calorías. La ley establecida por *Welter* no siempre es exacta, y por ende el método de

Berthier no conviene sino á los combustibles que sólo encierran cortísima cantidad de hidrógeno. Para los combustibles hidrogenados que comienzan á descomponerse á una temperatura inferior al rojo, es inaplicable de todo punto, porque una parte de los gases reductores puede exhalarse sin haber separado la cantidad correspondiente de plomo.

Ejemplo. 1 gramo de turba prensada me dió 17'76 gramos de plomo, que corresponde á 4.124'5 calorías (porque $237'6 \times 17'76 = 4.124'5$); ó en otros términos, 1 kilogramo de turba prensada da 6'300 kilogramos de vapor de agua á 150 grados (pues $\frac{4.124'5}{622} = 6'3$).

Análisis elemental. Por más que recientes investigaciones hayan demostrado que durante la combustion de sustancias orgánicas de igual composicion (ó isómeras) (1), el calor desprendido no está directamente en relacion con la cantidad de oxígeno necesaria para la combustion, y que la misma cantidad de calor puede en circunstancias distintas producir diferentes cantidades de calor, se debe admitir con seguridad que para combustibles análogos pueden deducirse de su composicion conclusiones que, si no son absolutamente exactas, dan útiles indicaciones para la práctica. Cuando se trata de determinar el valor relativo de los combustibles de igual nombre, se puede emplear, pues, con ventaja el análisis elemental, determinando de antemano con un experimento particular la cantidad de ceniza que dejan los combustibles que han de ensayarse.

Ejemplo. 1 gramo de turba prensada sometido al análisis elemental me dió 0'4698 gramos de carbon y 0'0143 de hidrógeno, lo que significa, de consiguiente, 4.228 calorías, pues:

(1) El ácido butírico y el ácido acético tienen la misma composicion representada por la fórmula $C^4H^8O^2$, y el primero da ardiendo 5647 calorías, y el segundo 6292.

Carbono	0'4698	\times	8080	=	3795'9
Hidrógeno	0'0143	\times	34462	=	492'8
					4288'7 calorías.

En la turba prensada habia además:

15'5	por ciento de agua higroscópica.	}	=47'34 por 100 de agua.
31'78	» químicamente combinada.		

para cuya vaporacion se necesitan 255'3 calorías; quedan, pues, $4288'7 - 255'3 = 4033'4$ calorías.

Luego, la fuerza evaporatoria de la turba prensada es:

$$\frac{4033'4}{652} = 6'19 \text{ kilogramos ó litros de agua.}$$

Procedimiento de Stromeyer. Segun el procedimiento que propuso *A. Stromeyer* (1861), se quema el combustible con bióxido de cobre, se trata el residuo por el ácido clorhídrico y el percloruro de hierro, que con el cobre metálico producido se convierte parcialmente en protocloruro, cuya cantidad se determina normalizándolo con el permanganato de potasio. Ese procedimiento es totalmente exacto, pero complicado.

Efecto calorífico específico. Con el nombre de *efecto calorífico específico* se designan las cantidades relativas de calor suministradas por volúmenes iguales de diferentes combustibles. Se halla multiplicando el efecto calorífico absoluto por el peso específico del combustible en cuestion.

Efecto calorífico pirométrico. El *efecto calorífico pirométrico* de un combustible está indicado por la temperatura que resulta de su combustion completa. Como ninguno de los pirómetros conocidos da resultados satisfactorios para que pueda expresarse el calor en grados termométricos para poder determinar la potencia calorífica, debemos contentarnos interinamente con determinar de una manera aproximada por el cálculo el efecto calorífico pirométrico. El efecto calorífico pirométrico de un combustible es igual

á su efecto calorífico absoluto, espresado en calorías y dividido por la suma de las cantidades relativas en peso de todos los productos de la combustion de sus elementos, multiplicada cada una de esas cantidades por el calor específico correspondiente. El efecto calorífico pirométrico del carbon es mayor que el de cualquier otro combustible, y el del hidrógeno es el menor. Las partes inflamables de la leña y de la hulla deben, por lo tanto, tener un efecto calorífico pirométrico menos elevado que las sustancias carbonizadas no inflamables, y ese efecto debe ser tanto menos intenso cuanto más se aproxima su composicion á la del carbon, mientras que tocante al efecto calorífico absoluto sucede lo contrario. Eso dimana de absorber el vapor de agua que se forma durante la combustion del hidrógeno, casi cuatro veces tanto calor como el ácido carbónico para adquirir cierta temperatura determinada. La diferencia que existe entre los efectos pirométricos de los combustibles es mucho mayor cuando la combustion se efectúa en el oxígeno que cuando se efectúa en el aire.

A fin de aproximarse en la práctica todo lo posible al efecto calorífico pirométrico hallado teóricamente, es necesario convertir todo el carbon en ácido carbónico, porque la temperatura que resulta de la transformacion del carbon en óxido de carbon, se eleva en el aire solamente á 1.427 grados (con 2.480 calorías), y cuando el carbon está convertido en ácido carbónico, la temperatura se eleva á 2.458 grados (con 8.080 calorías). Esa combustion completa puede obtenerse sometiendo el combustible á con-

veniente tratamiento (por ejemplo, conservando mucho tiempo al abrigo de la humedad el carbon de leña y el cok, prensando la turba para aumentar su densidad, preparando un cok denso, calentando el combustible antes de introducirlo en la hornilla, etcétera), sirviéndose de aire caliente para mantener la combustion, y efectuando á la

vez ésta bajo una presion superior á una atmósfera.

La temperatura de la combustion no es solamente el producto del acto de la combustion misma, sino que tambien está esencialmente modificada por la accion de los elementos activos del aire durante la combustion. Para arder por completo:

1 kilogramo de carbono	exige	0'7 metros cúbicos de aire á 15 grados centígrados.
1 — de hidrógeno	—	28'0 — — — á 15 — — —

De esos datos pueden deducirse las cantidades de aire que son necesarias para quemar completamente un combustible:

1 kilogramo de leña (con 20 por 100 de agua higroscópica H ² O)	exige	5'2 metros cúbicos de aire.
1 — de carbon leña	—	9'0 — — —
1 — de hulla	—	9'0 — — —
1 — de cok	—	9'0 — — —
1 — de lignito	—	7'3 — — —
1 — de turba	—	7'3 — — —

En la práctica las cantidades de aire halladas teóricamente deben á lo menos doblarse, si ha de efectuarse totalmente la combustion.

5. EQUIVALENTE MECÁNICO DEL CALOR. La ley de la *conservacion de la fuerza* enseña que el calor puede convertirse en trabajo, y viceversa, el trabajo en calor, y que una unidad de calor corresponde á 424 kilográmetros de trabajo. Cada vez que el calor produce trabajo, se consume el primero en la proporcion de 424 unidades de trabajo por 1 unidad de calor. El número 424 es por lo tanto el *equivalente mecánico del calor*. Con el nombre de kilográmetro se designa la fuerza (ó el trabajo) necesaria para elevar 1 kilogramo á 1 metro de altura.

La primera nocion del equivalente mecánico del calor fué debida al fisico inglés *Joule*, que efectuó una série de esperimentos (1846 á 1849) en que comparó la cantidad de calor resultante del rozamiento con la fuerza empleada para su produccion. *Joule* dedujo de sus esperimentos que 1 unidad de calor equivale á un trabajo mecánico de 423'5 kilográmetros. Más adelante *Hirn*,

de Colmar, procuró determinar el equivalente mecánico del calor observando el efecto útil de máquinas de vapor, y halló el número 427, que es menos exacto. No obstante, el número de unos 424 kilográmetros puede tambien deducirse de los datos suministrados por la fisica. Para elevar de 1 grado la temperatura de un metro cúbico de agua (=1000 kilogramos), se necesitan 1000 unidades de calor; para calentar aire en la misma proporcion no se necesitan más que 0'309 unidad de calor (1 metro cúbico de aire puro = $\frac{1000}{770}$ = 1'29 kilogramo; el calor específico del aire = 0'237, y por consiguiente $1'29 \times 0'237 = 0'306$). Esa cantidad de calor sirve en parte para renovar y en parte para dilatar el aire; para calentar simplemente 1'29 kilogramo de aire, se necesita 0'220 unidad de calor, y el resto se emplea en la dilatacion que se eleva á 0'00366 del volumen primitivo. Para determinar el trabajo que se produce con dicha dilatacion, admitiremos que el aire está encerrado en un cilindro de 1 metro cuadrado de base; la altura primitiva de la columna de aire será por

consiguiente de 1 metro, y la dilatacion se elevará á 0'00366 metros. Si entonces se cierra el cilindro con un émbolo móvil de 1 metro cuadrado de seccion, el aire atmosférico ejerce sobre él una presion de 10'330 kilógramos. Y si á causa de la dilatacion del aire el émbolo se levanta de 0'00366 metro, es lo mismo que si un peso de 10'330 kilógramos se hubiese elevado á la altura de 0'00366 metro. El trabajo mecánico así producido se eleva á $10'330 \times 0'00366 = 37'68$ kilográmetros. De consiguiente, 0'089 unidad de calor equivalen á 37'86 kilográmetros,

y una unidad de calor es, por lo tanto, equivalente á $\frac{37'86}{0'089} = 423'5$ kilográmetros.

El desenvolvimiento matemático de la teoria mecánica del calor está basado en la ley establecida por *R. Clausius*, de Bona, en virtud de la cual «cada vez que el calor produce trabajo, una cantidad de calor proporcional al trabajo producido desaparece ó se consume, y recíprocamente, con la produccion de una igual cantidad de trabajo, puede regenerarse la misma cantidad de calor.»