AÑO XVII
DE LA PUBLICACION.

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

AÑO VII
DE LA SEGUNDA SÉRIE.

MADRID, 15 DE ABRIL DE 1869.

TOMO XVII.

NÚM. 8.°

TERMODINÁMICA.

CAPÍTULO II.

Segundo principio: igual rendimiento.

(Continuacion).

56. El principio anterior, que es en el que se funda la segunda ley de la Termodinámica, deja mucho que desear. Desde luégo ocurre que el *axioma* en que la demostracion estriba, no es tal axioma: Thomson lo establece como tal; en este concepto muchos físicos lo aceptan, pero otros lo rechazan; y en verdad que no se presenta al espíritu con el carácter de evidencia que todo axioma debe llevar consigo. Cierto es que en la práctica, para que se desarrolle un trabajo mecánico mediante el empleo del calor, es necesario: 1.°, un foco á alta temperatura (el hogar de una máquina); 2.°, otro á temperatura menor (el condensador, ó bien la atmósfera); 3.°, que cierta cantidad de calor pase del primero al segundo; y de aquí resulta una pérdida de calor precisamente en aquel foco. Pero si esto es lo que la práctica nos enseña; si toda generacion de trabajo supone una *caida*, digámoslo así, de calor de un foco elevado á otro á menor temperatura; si nunca es el foco inferior el que pierde calórico, y todo esto da fuerza al principio anunciado, es en el concepto de *principio empírico*, y no en el de verdad teórica y racional.

Tanto es así, que los mismos que lo consideran como axioma se esfuerzan por aclararlo con pruebas y demostraciones que luégo resultan ser, ó falsas ó incompletas, y que exigen nuevos y más extensos desarrollos. Sirvan de comprobacion á lo dicho, los grandes esfuerzos que el distinguido Mr. Hirn ha hecho para dar carácter racional al principio que nos ocupa, sin que, por desgracia, lo haya conseguido.

De todas maneras, y ya que no pueda aceptarse como principio racional, puede considerarse sin escrúpulo como una proposicion empírica plenamente comprobada en numerosas experiencias. Pero hay más: no sólo es incompleta la demostracion de este segundo principio, sino que aun suponiéndolo cierto, no es tan claro en su esencia, tan sencillo y tan directo, como el de la trasformacion del calor en trabajo. Hay en dicha proposicion algo de forzado y artificial; hay complicacion en su enunciado; y no adivina el que por primera vez estudia esta teoria, ni cuál es su importancia, ni cómo se enlaza tan directamente con la Termodinámica, que viene á constituir nada ménos que uno de los dos principios fundamentales de esta ciencia. Por ahora no nos es posible insistir más sobre este punto, que en ocasion oportuna nos esforzarémos por aclarar.

57. Hemos demostrado que en el cuadrilátero fundamental de la figura 8.ª, se tiene

$$\frac{Q_1}{Q_0} = F(t_1, t_0);$$

pero se puede ir más léjos y determinar en cierto modo la forma de la funcion F.

En efecto, concibamos un foco intermedio de calor á la temperatura t, es decir, que se tenga

$$t_1 > t > t_0,$$

y hagamos funcionar al cuerpo que escojamos como vehículo del calor, primero entre t_1 y t, y despues entre t y t_0: el resultado debe ser el mismo que si funcionase directamente entre t_1 y t_0, ó al ménos esto es lo que hoy parece, miéntras una teoria más exacta no venga á desvanecer las dudas que á cada paso asaltan en esta novísima é imperfecta ciencia.

Funcionando entre (t_1) y (t), debe tenerse la relacion

$$\frac{Q_1}{Q} = F(t_1, t):$$

funcionando entre (t) y (t_0), se tendrá asimismo

$$\frac{Q}{Q_0} = F(t, t_0):$$

y funcionando, por último, de una vez entre t_1 y t_0,

$$\frac{Q_1}{Q_0} = F(t_1, t_0)$$

Multiplicando las dos primeras relaciones, ó igualando los segundos miembros de la que resulta y de la tercera, tendrémos:

$$F(t_1, t_0) = F(t_1, t) . F(t, t_0) \qquad (1),$$

que debe verificarse independiente del valor de t.

Veamos si de esta relacion podemos deducir alguna consecuencia relativa á la forma de F.

A este fin, hagamos $t = t_0$, y resultará

$$F(t_1, t_0) = F(t_1, t_0) . F(t_0, t_0):$$

ó bien dividiendo por $F(t_1, t_0)$,

$$1 = F(t_0, t_0).$$

Hagamos ahora $t_1 = t_0$, y hallarémos

$$F(t_0, t_0) = F(t_0 t) . F(t, t_0);$$

ó bien

$$1 = F(t_0, t) . F(t, t_0),$$

de donde

$$F(t, t_0) = \frac{1}{F(t_0, t)};$$

y sustituyendo este valor en la ecuacion fundamental (1),

$$F(t_1, t_0) = \frac{F(t_1, t)}{F(t_0, t)}.$$

El segundo miembro es caso particular de esta nueva forma más general:

$$F(t_1, t_0) = \frac{f(t_1)}{f(t_0)} \qquad (2)$$

en la que f es completamente arbitraria, y nada presupone respecto á la forma de F.

Pero muy bien pudiera ser esta nueva forma demasiado general é incompatible con la condicion (1). Para averiguarlo, introducirémos este resultado en dicha ecuacion (1), y si se reduce á una identidad, podrémos admitir la forma (2), al paso que deberémos rechazarla si resultan nuevas condiciones para f.

Tendrémos, pues,

$$F(t_1, t_0) = \frac{f(t_1)}{f(t_0)}; \; F(t_1, t) = \frac{f(t_1)}{f(t)}; \; F(t, t_0) = \frac{f(t)}{f(t_0)};$$

y sustituyendo en la (1),

$$\frac{f(t_1)}{f(t_0)} = \frac{f(t_1)}{f(t)} . \frac{f(t)}{f(t_0)} = \frac{f(t_1)}{f(t_0)}.$$

De aquí se deduce que en virtud de las condiciones físicas de la cuestion, la forma F está comprendida en esta otra forma:

$$F(t_1, t_0) = \frac{f(t_1)}{f(t_0)};$$

y por lo tanto, el teorema fundamental del (N. 55) se expresa así:

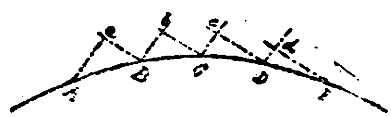
$$\frac{Q_1}{Q_0} = \frac{f(t_1)}{f(t_0)} \text{ ó bien } \frac{Q_1}{f(t_1)} = \frac{Q_0}{f(t_0)}:$$

la funcion $f(t)$ de la temperatura es la misma para todos los cuerpos de la naturaleza.

De aquí se deduce que pues siempre es la misma, basta conocerla para *uno solo*, con lo cual quedará determinada en general.

58. ***Generalizacion del teorema fundamental.*** Ante todo observemos que á la curva A B C D E (Fig. 9.ª), descrita por el punto representativo de un cuerpo, se puede sustituir otra cualquiera A a B b C c D d E infinitamente próxima.

Fig. 9.ª



Un cuerpo se pone en contacto con una serie de focos Q, Q'. . . continuos ó discontinuos, que esto poco importa; al mismo tiempo la presion exterior aumenta ó disminuye segun cierta ley, y de aquí resulta, como vimos en el N. 33, que el punto representativo describe la línea A B C D E. Si en vez de ponerse en contacto con los focos Q, Q'. . . se pone en comunicacion con otra serie de focos, poco distinta de la anterior, Q_1, Q'_1. . ., y la nueva ley de las presiones tampoco difiere sensiblemente de la precedente, el punto representativo describirá una curva que, para fijar las ideas, supondrémos que sea la A a B b C c D d E infinitamente próxima á la primitiva.

Pero, ¿qué significa esto de sustituir á uno de los contornos el otro? Significa que en uno y en otro caso, es decir, ya describa el punto el primer contorno, ya recorra segundo, el cuerpo pasará próximamente por los mismos estados sucesivos, y podrémos siempre sustituir á los *volúmenes, presiones, temperaturas, trabajos mecánicos, y cantidades de calor cedidas ó tomadas* correspondientes á un caso ó contorno, todas las cantidades de estos cinco grupos que se refieren al segundo contorno.

En efecto, las presiones y volúmenes son próximamente iguales, puesto que ambos elementos están representados por las ordenadas y abscisas de las curvas A B C D. . ., A a B b C c. . . con relacion á los ejes O p, O v, y estas curvas están por hipótesis infinitamente próximas. Ademas, puesto que las temperaturas son funciones de p y v, la igualdad de estas últimas trae consigo la de la variable t.

Respecto á trabajos mecánicos, como están representados por las áreas de una serie de trapecios, y las diferencias de estas áreas son los triángulos infinitamente pequeños de segundo órden A a B, B b C. . ., se deduce que todavía podemos suponer iguales estos nuevos elementos.

Por último, las cantidades de calor que pasen de los focos Q. . . al cuerpo en los arcos A B, C D. . ., sólo podrán diferir de las análogas para los focos Q_1. . . y los arcos A a B, B b C. . . en cantidades infinitamente pequeñas de segundo órden, puesto que son proporcionales á los triángulos A a B, B b C. . .

Basta para convencerse de ello considerar los contornos cerrados A a B, B b C. . .

59. Establecido este principio, imaginemos una curva cerrada $a\ b\ c. . .\ c'\ b'\ a$ (Fig. 10), descrita

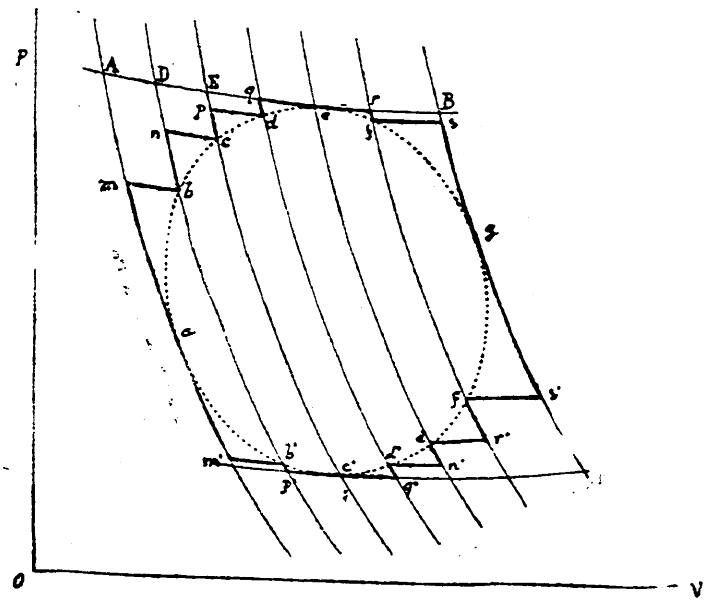


Fig. 10.

por el punto representativo de un cuerpo la ponerse en contacto con una serie de focos Q, Q′, Q″. . ., variando al mismo tiempo sus presiones ó sus volúmenes, segun cierta ley.

Imaginemos asimismo en el plano de las $p\ v$ una serie infinita de curvas térmicas de primera clase $m\ m'$, $n\ b'$, $p\ p'$. . . y otra serie de arcos de segunda clase $m\ b$, $n\ c$, $p\ d$. . . $m'\ b'$, $b'\ p'$, $c'\ q'$, $d'\ n'$. . . y formemos un contorno $a\ m\ b\ n\ c\ p\ d\ q\ r\ f\ s\ s'\ f'\ r'\ e'\ n'\ d'\ q'\ c'\ p'\ b'\ m'\ a$ con curvas de una y otra clase, que se aproxime tanto como queramos al contorno dado $a\ b\ c. . .\ c'\ b'\ a$. *Aquél* será, por decirlo así, la variable auxiliar del sistema; *éste* la cantidad fija á la cual se aproxima indefinidamente dicha variable.

Hemos probado que, elemento por elemento, podemos sustituir á un contorno otro, en todo lo que se refiere á presiones, volúmenes, temperaturas, trabajos desarrollados y cantidades de calor tomadas de los focos Q, Q′. . . ó cedidas á dichos focos, sustituyendo á estos últimos la serie Q_1, Q'_1. . . de focos correspondientes al contorno quebrado.

Tendrémos, segun esto:

calor cedido por los focos Q... *en el arco* a b = *calor cedido por los focos* Q_1... *en el contorno* a m b;
calor cedido en el arco b c = *calor cedido en el contorno* b n c.

. . . .

Pero en cada uno de estos contornos hay dos arcos térmicos: por ejemplo, en el $b\ n\ c$ tenemos el arco $b\ n$ de primera clase, y el $n\ c$ de segunda; y miéntras el punto recorre el arco $n\ b$, ni toma ni recibe calor; luego sólo queda el arco efectivo *n c*, y como lo mismo podriamos decir de *a b*, *c d*, *d e*. . . resultará:

calor correspondiente á	a b =	*calor correspondiente á*	m b
id.	b c =	*id.*	n c
id.	c d =	*id.*	p d
id.	d e =	*id.*	q e
. . . . . .		. . . . . .	
id.	c' d' =	*id.*	c' q'
id.	b' c' =	*id.*	b' p'
id.	a b' =	*id.*	m' b'

Por otra parte, cada dos arcos *m b*, *m' b'*; *n c*, *b' p'*; *p d*, *c' q'*;. . . corresponden á un cuadrilátero *m b b' m'*, *n c p' b'*, *p d q' c'*. . . análogo al de la figura 8.ª, y por lo tanto podrémos aplicar á las cantidades de calor correspondientes el teorema del N. 57.

Llamando á dichas cantidades de calor Q_0 y Q'_0; Q_1 y Q'_1; Q_2 y Q'_2. . . y representando por t_0, t_1, t_2. . . las temperaturas de los focos, tendrémos:

para el cuadrilátero *m b b' m'*. . . . $\dfrac{Q_0}{f(t_0)} - \dfrac{Q_0}{f(t'_0)} = 0;$

id. . . . . *n c p' b'*. . . . $\dfrac{Q_1}{f(t_1)} - \dfrac{Q'_1}{f(t'_1)} = 0;$

id. . . . . *p d q' c'*. . . . $\dfrac{Q_2}{f(t_2)} - \dfrac{Q'_2}{f(t'_2)} = 0;$

. . . .

Sumando todas estas ecuaciones, resultará:

$$\frac{Q_0}{f(t_0)} + \frac{Q_1}{f(t_1)} + \frac{Q_2}{f(t_2)} + \dots - \frac{Q'_0}{f(t'_0)} - \frac{Q'_1}{f(t'_1)} - \frac{Q'_2}{f(t'_2)} \dots = 0,$$

en la que Q_0, Q_1, Q_2. . . son las cantidades de calor cedidas al cuerpo ó recibidas de él por los focos Q, Q', Q''. . . al ponerse en comunicacion con ellos.

Si convenimos en dar el signo + á las cantidades de calor que los focos ceden al cuerpo, y el signo — á las que el cuerpo cede á los focos, podrémos expresar abreviadamente la ecuacion anterior, de este modo:

$$\Sigma \frac{Q}{f(t)} = 0.$$

De lo expuesto se deduce el siguiente

Teorema.—*Cuando un cuerpo se pone en contacto con una serie de focos de calor á temperaturas diversas* t_0, t_1, t_2. . .; *y de ellos recibe, ó bien les cede, cantidades de calor* Q_0, Q_1, Q_2. . ., *si el cuerpo vuelve á su estado inicial, la suma de los cuocientes que resultan de dividir cada cantidad de calor por una funcion constante*, f, *de la temperatura correspondiente, es igual á cero.*

José Echegaray.

CANALIZACION
EN EL ISTMO DE SUEZ.

(*Continuacion.*) (1).

Trazados directos.

La cortadura directa del istmo entre las radas de Suez y Pelusio, á pesar de llenar cumplidamente, segun verémos, todas estas condiciones, nunca se ha hecho, y áun puede decirse que no se ha estudiado hasta los tiempos modernos. Esto á primera vista no deja de ser una anomalía que merece explicarse.

En tiempo de los Faraones, de los reyes Persas y de los Ptolomeos, el comercio entre la Europa y el Oriente era de escasísima importancia, así como de mucha el de Egipto con éste. Nada más natural, por lo tanto, que el canal enlazára el Nilo con el mar Rojo, sin que se pensára siquiera en el trazado directo. Poco variaron las condiciones comerciales hasta la venida de los Césares, que, por lo mismo, no sintieron la necesidad de otro canal que del antiguo.

El fanatismo religioso cegó despues á los Califas, y si Amrú se atreve á proponer á Omar el canal directo, éste se lo niega, temeroso de proteger con él la causa de los cristianos, y le manda, como sabemos, restaurar el de los Césares. Por último, ideas inexactas sobre la localidad y sobre las conveniencias políticas de Egipto ciegan tambien á los autores de los trazados indirectos modernos.

Vemos, pues, justificado el predominio del trazado indirecto sin oscurecer ninguna de las ventajas del directo.

El primero que se ocupó del canal directo fué Amrú, pero sin estudiarlo sériamente. No volvió á tocarse esta cuestion hasta el siglo pasado, en que Mustafá III demandaba las noticias necesarias á Mr. Tott y á cuantos comisarios habian recorrido el Egipto. El Sultan se proponia emprender

---

(1) Véase el croquis del núm. 6.