

TERMODINÁMICA.

CAPÍTULO II.

Primer principio: trasformacion del calor.

(Continuacion.)

Observacion.—Notemos antes de continuar que no basta poner á un cuerpo, durante períodos perfectamente fijos, en contacto con una série de focos, para que la curva de la figura 4.ª quede determinada: será preciso además que establezcamos la ley de variacion de las presiones ó de los volúmenes. Y en efecto, mil ejemplos pudiéramos poner en apoyo de esta verdad: si la presion exterior es constante, la curva se convertirá en una paralela al eje de las v ; si el volumen lo es, la línea del punto representativo será una paralela al eje de las p ; y á cada ley de variacion para p ó v corresponderá otra para el punto variable y una nueva curva sobre el plano $p v$.

En resumen:

- 1.º Una série de focos y una série de presio. nes determinan la curva en cuestion.
- 2.º Una série de focos y otra de volúmenes la determinan igualmente.
- 3.º Una série de presiones y volúmenes, ó lo que es igual, una curva dada, corresponde á una série determinada de focos, es decir, de temperaturas.

Hay, por decirlo así, dos sistemas variables independientes y uno que es funcion; ó de otro modo, tres sistemas variables enlazados entre sí.

En cada problema y en cada caso uno será el principal, el que merecerá toda nuestra atencion, y en el que nos fijaremos de preferencia; pero entiéndase que otro varía al mismo tiempo que él, segun cierta ley que no hace al caso expresar.

37. El trabajo elemental $p dv$ que, con arreglo á la convencion del N. 2.º será positivo ó negativo segun el signo de dv , representa el área de un rectángulo cuya altura es p y dv la base, luego no es otra cosa que el elemento $m n n' m'$, fig. 4.ª, del área correspondiente á

la curva $P_0 P P_1$ que engendra el punto representativo. Y como otro tanto puede decirse para cualquier valor de p y de v , resulta este

Teorema.—Al poner un cuerpo en contacto sucesivamente con una série de focos de calor, el trabajo que desarrolle por sus cambios de volumen será igual al área de la curva que describe el punto representativo de dicho cuerpo. Este trabajo será positivo mientras v crezca, negativo cuando disminuya esta variable.

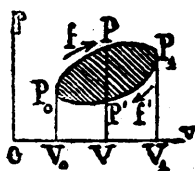
Por ejemplo, en la fig. 4.ª el trabajo engendrado es igual en valor numérico al área $V_0 P_0 P_1 V_1$.

Del mismo modo en la fig. 5.ª el trabajo engendrado por el calor, al pasar este de los focos $T, T', T'', \dots$ al cuerpo, es igual al área $V_0 P_0 m' P_1 V_1$. En general la expresion del trabajo será

$$\int_{v_0}^{v_1} p dv$$

representando por v_0 y v_1 los volúmenes extremos; pero esta integral no puede efectuarse mientras se ignore la ley que enlaza á p con v , es decir, qué funcion de v , $p = f(v)$, hay que sustituir bajo el signo integral.

Figura 6.ª



P_0 á P_1 por P , despues retroceda segun otra rama $P_1 P' P_0$ hasta el punto primitivo de partida.

Mientras el punto va de P_0 á P_1 , el cuerpo está en contacto con una série continua ó discontinua de focos de calor $T, T', T'', \dots T^{(n)}$; mientras recorre el arco inferior $P_1 P' P_0$ se pone asimismo en contacto con otra série de focos $S, S', S'', \dots S^{(n)}$: estudiemos cuál es la modificacion que el cuerpo experimenta; cuál es el trabajo desarrollado, y cuál es la alteracion que sufren los focos $T, T' \dots S, S' \dots$

1.º Claro es que el cuerpo no experimenta

rá alteracion final en su estado calorífico. En efecto, el punto generador vuelve á P_0 , y por lo tanto el volúmen, la presion y la temperatura al fin del movimiento serán los mismos que al principio: volviendo, pues, p, v, t , á sus primitivos valores, y siendo estas tres variables las que caracterizan cada estado particular (al ménos esto es lo que hoy supone la ciencia), el cuerpo volverá tambien al mismo estado que tenia.

2.º Mientras el punto generador va de P_0 á P_1 , segun marca la flecha f , el volúmen crece de $O V_0$ á $O V_1$, bajo la influencia de los focos T, T', T'' . . . luego el cuerpo desarrolla por su expansion un trabajo representado por el área $V_0 P_0 P P_1 V_1$: tendremos, pues. trabajo positivo desarrollado en

$$P_0 P P_1 = \text{área } V_0 P_0 P P_1 V_1.$$

Al retroceder el punto generador de P_1 á P_0 , describiendo la curva $P_1 P' P_0$, y poniéndose en contacto con los focos S, S', S'' . . . el volúmen disminuye de $O V_1$ á $O V_0$, y la contraccion del cuerpo dá origen á un trabajo negativo representado por el área $P_1 V_1 V_0 P_0 P_1$: de donde se deduce trabajo negativo desarrollado en

$$P_1 P' P_0 = \text{área } P_1 V_1 V_0 P_0 P_1.$$

Así, pues, en la evolucion completa del cuerpo *se ha desarrollado* un trabajo total cuyo valor será la diferencia de los trapecios $V_0 P_0 P P_1 V_1$ y $V_0 P_0 P' P_1 V_1$, es decir, el área rayada de la figura:

$$\text{trabajo total desarrollado} = \text{área } P_0 P P_1 P' P_0.$$

3.º El efecto que la evolucion calorífica del cuerpo habrá ejercido sobre los focos, será tomar calor en unos para dar á otros: ó dicho brevemente, *alterar la distribucion del calor en todos ellos*.

En el caso particular que consideramos los focos T, T', T'' habrán perdido cierta cantidad de calor que habrá pasado á los focos S, S', S''

39. Aquí aparecen ya dos distintas hipótesis y dos diversas teorías de los efectos mecánicos del calor. Ó se supone que la cantidad de calor tomada por el cuerpo á los focos T, T', T'' es igual á la que este mismo cuerpo en su evolucion cede á los focos S, S', S'' ; ó se supone, por el contrario, que son diferentes. Representando por Q la cantidad de calor que de los focos superiores T pasa al cuerpo, y por Q' la que del cuerpo pasa á los focos inferiores S , las dos hipótesis estarán representadas por las siguientes condiciones analíticas:

$$1.ª \text{ hipótesis. . . . } Q = Q'$$

$$2.ª \text{ hipótesis. . . . } Q > Q'$$

La *primera hipótesis* es la de Sadi-Carnot.

La *segunda* es la que constituye la teoría moderna del calor.

En una y otra es preciso explicar este hecho notable: *la creacion de cierto trabajo mecánico $P_0 P P_1 P'$ por la evolucion calorífica de un cuerpo en contacto sucesivo con una série de focos, y volviendo al terminar dicha evolucion á su estado primitivo.*

Decimos *este hecho*, porque el hecho existe, y no es una simple hipótesis. Como hipótesis no tendria fuerza ni valor, como hecho bien puede servir de base á una teoría. Decimos, que como hipótesis no tendria importancia, porque no es evidente *a priori* que exista el área $P_0 P P_1 P'$: pudiera muy bien suceder que al llegar el punto representativo á P_1 , volviese por el mismo camino que trajo, es decir, describiendo la línea $P_1 P P_0$ en sentido contrario á la flecha f , en cuyo caso el área, y por lo tanto el trabajo creado en la evolucion del cuerpo, serian nulos: pudiera aun suceder que siendo distinta de $P_0 P P_1$ la nueva rama $P_1 P' P_0$, y aun tomando infinitas formas, cortase siempre una ó más veces á $P_0 P P_1$, determinando áreas positivas y negativas, y que estas se destruyeran dando en todos los casos un resultado igual á cero.

Pero nada de esto se verifica en general, y numerosas experiencias, entre otras las de Mr. Hirn sobre las máquinas de vapor, prueban que en tales evoluciones caloríficas hay un trabajo ganado ó perdido, es decir, cierta área $P_0 P P_1 P'$ positiva ó negativa.

40. En efecto, ¿qué es una máquina de vapor? la evolucion calorífica de cierta masa de agua. Primero se introduce agua en la caldera á la temperatura t de la atmósfera: despues se pone en contacto con un foco de calor, es decir, con el hogar: y por último, convertida esta agua en vapor recorre los tubos de alimentacion, la caja de distribucion, el cilindro motor y llega al condensador donde vuelve á la misma temperatura inicial t . Tenemos, pues, un ciclo cerrado y una evolucion calorífica, ¿y qué nos dice la experiencia? que se produce de este modo cierta cantidad de trabajo.

Hasta aquí la nueva teoría del calor es puramente experimental.

Puesto en evidencia el hecho, sabiendo ya que el área $P_0 P P_1 P'$ de la fig. 6.ª existe; natural es buscar la explicacion.

¿A qué es debida esta creacion de trabajo?

En la hipótesis de Sadi-Carnot se tiene $Q = Q'$, y por lo tanto lo único que ha ocurrido, por decirlo así, en el sistema, la única alteracion que ha experimentado, es el paso de cierta cantidad de calor de los focos T á los focos S : esta debe ser la causa del nuevo trabajo producido. Así suponía Carnot que, *por el paso de cierta cantidad de calor de un foco á otro se creaba trabajo*.

La idea, aunque hoy está probado que es falsa, era ingeniosa, y no podía rechazarse *a priori*. Mas aun: ciertas analogías estaban en su favor.

¿Cómo ejerce su accion y crea trabajo una masa de agua?

Cayendo de un nivel superior á otro inferior.

Pues no parece absurdo que cierta cantidad de calor cayendo de un foco cuya temperatura sea t' á otro foco á temperatura inferior t produzca cierta cantidad de trabajo. Lo que en el ejemplo precedente es la altura de la caída ó el desnivel, es en la teoría de Carnot la diferencia $t' - t$, y la masa de agua es la cantidad de calor $Q = Q'$.

Esta hipótesis es hoy inadmisibile: no solo está en contradiccion con la teoría moderna del calor, segun la cual es este un movimiento y no una sustancia, sino que la experiencia ha probado terminantemente que $Q > Q'$. Es decir, que más calor sale de los focos T que pasa á los S , y que en la evolucion del cuerpo se ha perdido, ó mejor dicho, se ha anulado cierta cantidad de calor $Q - Q'$.

En la nueva hipótesis $Q > Q'$ ¿cómo se explica la anulacion del calor $Q - Q'$ y la creacion del trabajo P, P', P'' ?

Por una trasformacion de calor en trabajo mecánico. El calor $Q - Q'$ desaparece como calor, pero íntegro en su esencia aparece como trabajo; porque nada brota de la nada, ni torna á la nada lo que es. En el gran oleaje de la naturaleza los fenómenos pasan y se trasforman, la esencia íntima de las cosas queda igual á sí misma.

La experiencia comprueba esta teoría y los trabajos de Hirn y de otros físicos prueban que hay proporcionalidad exacta entre *el calor perdido y el trabajo ganado*; como debe suceder en efecto si este procede de aquel, y es, por decirlo así, calor trasformado.

41. Hemos supuesto hasta aquí que el cuerpo sometido á la discusion cambiaba de estado bajo la influencia de uno ó varios focos de calor; pero no es este el único medio de obli-

garle á pasar por estados sucesivos. Los tres elementos, presion, volúmen, temperatura ó calor, están enlazados por la relacion general $f(p, v, t) = 0$, y cuando el calor y la temperatura, que es su manifestacion, cambian, se altera el estado del cuerpo; pero tambien se alterará cuando cambia la presion.

Supongamos que se aumenta la presion exterior en una cantidad infinitamente pequeña $d p$: será imposible que v y t sigan siendo lo que eran, y tendrán que variar. Continuando las variaciones de p , continuarán variando dichas cantidades v y t , y el punto representativo describirá cierta curva análoga á la de la figura 4.^a, curva que dependerá de las circunstancias en que se halle el cuerpo. Podrá estar en contacto con un foco á temperatura constante é igual á la que tenía el cuerpo inicialmente: entonces, si el aumento de presion es lento, la temperatura se mantendrá constante tambien, pasando cierta cantidad de calor del cuerpo al foco. Podrán variar el volúmen y la temperatura del cuerpo sin dar este ni recibir calor, como sucedería si en cada instante estuviera en contacto con un distinto foco cuya temperatura fuese igual á la que en ese mismo instante posee el cuerpo. Podrian aun verificarse infinitas otras combinaciones; pero siempre tendremos que el cambio de presion determina alteraciones en el estado del cuerpo, y que su punto representativo describe ciertas y determinadas curvas sobre el plano de las $p v$.

En una palabra, en la primera hipótesis considerábamos á los focos como la causa determinante principal, era el *sistema variable independiente* en que fijábamos nuestra atencion; ahora son las presiones las que cambian, y á ellas sigue en segundo término la série de focos caloríficos; pero entiéndase bien que uno y otro caso son idénticos en el fondo, porque en ambos hay dos *sistemas variables independientes*; á saber, focos y presiones.

Hemos supuesto que la presion aumenta, pero á iguales consecuencias llegaríamos suponiendo que disminuye, ó en general, que cambia segun una ley cualquiera.

Vemos, en resumen, que el contorno representativo de los diferentes estados de un cuerpo puede proceder de dos causas distintas combinadas: cambios en la cantidad de calor del cuerpo, originados por uno ó varios focos caloríficos, y cambios en la presion exterior.

En la fig. 5.^a el cuerpo describe la curva

$P m m' P$, bajo la influencia de tres focos T , T' , T'' , con los que está sucesivamente en contacto, y segun cierta ley de variacion en las presiones, al describir esta curva su punto representativo desarrolla el cuerpo un trabajo útil, igual numéricamente al área $V_0 P_0 m m' P_1 V_1$.

Pues bien; si tomamos al cuerpo en el estado P_1 como estado inicial, es decir, con la presión $P_1 V_1$ y el volumen $O V_1$, y lo comprimimos de manera que su volumen decrezca de $O V_1$ á $O V_0$, siempre podremos hacer que su punto representativo describa el contorno $P_1 m m' P_0$, para lo cual bastará ponerlo en contacto con los focos T'' , T' , T ; en una palabra, deshacer elemento por elemento la primitiva operacion.

Vemos, segun lo dicho, que en el primer caso cierta cantidad de calor pasa de los focos al cuerpo, y al mismo tiempo aparece un trabajo positivo $P_0 V_0 V_1 P_1$; que en el segundo gastamos cierto trabajo en comprimir el cuerpo, lo cual hace que cierta cantidad de calor pase del cuerpo á los focos caloríficos.

En adelante, siempre que trazemos una curva representativa de los varios estados de un cuerpo, supondremos que los cambios han sido originados:

- 1.º Poniendo al cuerpo en contacto con diferentes focos, y
- 2.º Comprimiendo lentamente al cuerpo, lo cual supone un aumento en la presión exterior y un consumo de trabajo; ó bien dejando dilatarse al cuerpo, lo cual supone que la presión exterior disminuye lentamente.

JOSÉ ECHEGARAY.

MEDIOS DE REDUCIR LOS GASTOS DE ESTABLECIMIENTO DE LOS FERRO-CARRILES DE SEGUNDO ORDEN.

Hemos hablado ya en otras ocasiones á nuestros lectores de la *Memoria* sobre el asunto cuyo titulo encabeza estas líneas, redactada por los Ingenieros Sres. Arnao, Vildósola y Rodriguez, en cumplimiento de una Real orden de 1.º de Setiembre de 1866. Esperábamos poder publicar integro dicho trabajo en la coleccion de memorias y documentos de la Revista, pero no siendo esto posible por ahora, vamos á dar en el presente articulo una sucinta idea de las opiniones que los Ingenieros citados profesan sobre cuestion tan importante, consignando las conclusiones á que llegan en su estudio.

La *Memoria* de que se trata, presentada al gobierno en los primeros dias de Diciembre de 1866, comprende una extensa introduccion y siete capitulos que á continuacion indicamos:

Capítulo 1.º—Consideraciones preliminares.

Cap. 2.º—Producto medio probable de los ferro-carriles secundarios y determinacion de la potencia de trasporte que por regla general deberán tener estas líneas.

Cap. 3.º—Reduccion del radio de las curvas.

Cap. 4.º—Aumento de las inclinaciones.

Cap. 5.º—Reduccion del ancho de la via.

Cap. 6.º—Indicacion de varios medios que pueden contribuir á la disminucion de los gastos, así de establecimiento como de explotacion.

Cap. 7.º—Conclusion general.

En la *Introduccion* los Sres. Arnao, Vildósola y Rodriguez examinan la legislacion vigente de ferro-carriles y de sociedades anónimas, los resultados que ha producido en la práctica y la situacion actual de las compañías españolas. Una reseña de la historia de los ferro-carriles en Francia é Inglaterra, y de la legislacion de estas dos naciones, completa el estudio, del cual deducen los autores de la *Memoria* la conveniencia de adoptar para la ejecucion de las líneas de segundo orden el sistema inglés, con ciertas modificaciones que aconseja hoy el estado de nuestro país, formulando para dicho objeto las bases económicas y administrativas siguientes:

«1.º Abandono por parte del gobierno de la iniciativa para promover la ejecucion de las líneas férreas de segundo orden á los particulares y á las localidades interesadas.

«2.º El gobierno no contribuirá para la ejecucion de estas vias con subvencion alguna, ni otros auxilios que los generales señalados por las leyes á todas las obras de utilidad pública.

«3.º La concesion será perpétua, reservándose el gobierno la facultad de adquirir el ferro-carril, mediante la indemnizacion á la empresa, que se acuerde al otorgar la concesion, ó por regla general para esta clase de líneas.

«4.º La concesion se hará directamente por una ley á los promovedores de la ejecucion del camino de hierro, previa demostracion de la utilidad de la empresa y de la posibilidad de realizarla.

«5.º Los peticionarios formarán con este objeto un proyecto completo, que someterán al examen y aprobacion del gobierno. Este proyecto servirá de base á una informacion escrupulosa, cuyos trámites ofrezcan garantías suficientes para que sea una verdad el estudio de la empresa, considerada bajo todos los puntos de vista, y clara y patente la demostracion de su utilidad. El peticionario, particular ó compañía, depositará en cumplimiento de sus obligaciones una fianza proporcionada. Si fuera una compañía, demostrará además por medios suficientes que la suscripcion de su capital es una verdad y que cuenta con los recursos necesarios.

«6.º Las condiciones técnicas de cada línea quedarán fijadas al otorgar la concesion, con arreglo á las bases que se acuerden en vista de las consideraciones que se presentan en la *Memoria*. No se podrán alterar, como ninguna de las partes esenciales del proyecto, sin una nueva informacion sobre la conveniencia de las alteraciones.

«7.º La empresa estará obligada á cumplir escrupulosamente todas sus obligaciones, y el gobierno tendrá el derecho de vigilar su accion con este objeto, cuando lo crea necesario, procurando embarazarla tan poco como sea posible. Antes de abrirse la línea á la explotacion hará practicar el gobierno un escrupuloso reconocimiento de la via y de sus obras para asegurarse de que están cumplidas las condiciones de la concesion, y de que ofrecen la seguridad conveniente.

«8.º La explotacion se hará con sujecion á una tarifa máxima que se fijará en cada caso por la ley, en vista de las circunstancias de la línea, pero dentro de los limites por esta tarifa fijados, la empresa será libre para modificarla y hacer las combinacio-