

TERMODINÁMICA.

CAPÍTULO II.

(Continuacion.)

Coefficientes específicos.

27. Desde luego se prevé que la resolución de todos, ó de la mayor parte de los problemas de la Termodinámica, dependerá de la determinación de estos seis coeficientes específicos. Y en efecto, ellos expresan la ley de los incrementos ó en general de las variaciones de p , v , t , al dar ó sustraer calor al cuerpo que se considere: es decir, que por medio de estos coeficientes podremos seguir paso á paso, y elemento por elemento, los cambios que experimenten las tres variables fundamentales p , v , t , y por lo tanto podremos hallar los valores finales que adquieran bajo la influencia del calor.

Verdad es que dichos coeficientes solo expresan la ley de las variaciones infinitamente pequeñas, es decir, la ley diferencial; pero el cálculo enseña cómo se pasa de los incrementos á los valores finitos, y de las ecuaciones diferenciales á las ecuaciones ordinarias: además, sustituyendo á incrementos infinitamente pequeños, incrementos muy pequeños, son suficientes á veces las ecuaciones diferenciales para la resolución práctica de los problemas.

Por otra parte, desde el momento en que conozcamos cómo varían en una serie de cambios de estado la presión y el volumen, podremos conocer (N. 20) el trabajo estérno, luego en último análisis la determinación de dichos seis coeficientes nos permite calcular los efectos mecánicos debidos al calor.

28. Relaciones entre los seis coeficientes.

Los seis coeficientes C_p^p , C_v^p , C_t^p , C_p^v , C_p^t , C_v^t , no son independientes: por el contrario, siempre es posible expresar cuatro de ellos en función de los otros dos, con tal que se conozca la relación general $p = f(v, t)$. Y en efecto, dos

de ellos, por ejemplo C_v^t , C_t^v , bastan para determinar los valores sucesivos de v , t , y la ecuación $p = f(v, t)$ los de p , luego todos los coeficientes restantes están implícitamente determinados. Detengámonos sobre este punto.

1.º Sabemos que C_v^t , expresa la cantidad de calor necesaria para que un cuerpo, cuya temperatura es constante, reciba en su volumen el incremento 1; y que por lo tanto al incremento $d v$ corresponderá la cantidad de calor

$$d Q = C_v^t d v.$$

Pero como v y p están enlazadas por la ecuación fundamental $p = f(v, t)$, al incremento $d v$, y suponiendo t constante, corresponderá el incremento $d p$ de presión, determinada por

$$d p = \frac{d p}{d v} d v,$$

en que $\frac{d p}{d v}$ representa la derivada parcial de $p = f(v, t)$ con relación á v .

Es decir, en resumen, que la cantidad de calor Q ó $C_v^t d v$ al mismo tiempo que produce un incremento $d v$ en el volumen, determina un aumento $d p$ en la presión, luego el calor necesario para aumentar la presión en 1, siendo constante la temperatura, será

$$\frac{C_v^t d v}{d p} = \frac{C_t^v}{d v}$$

Ahora bien, esta cantidad es precisamente la que hemos designado por C_p^t , luego tendremos

$$C_p^t = \frac{C_v^t}{\frac{d p}{d v}}. \quad (1)$$

Dicha ecuacion determina el coeficiente C_p^t en funcion de C_p^v y de la derivada principal $\frac{dp}{dv}$. Segun las notaciones de Saint-Robert seria

$$P = M \frac{1}{\frac{dp}{dv}}.$$

2.º Análogamente, puesto que C_t^v expresa la cantidad de calor que seria necesaria para aumentar la temperatura del cuerpo en 1 unidad si la ley constante de crecimiento fuese la del primer instante, resulta que para aumentar dicha temperatura en dt será preciso que

$$dQ = C_t^v dt.$$

Pero siendo v constante no puede variar t sin que varíe p , luego dQ producirá un aumento de presion dp deducido por la diferenciacion de $p = f(v, t)$; así

$$C_p^v = \frac{C_t^v dt}{dp} = \frac{C_t^v}{\frac{dp}{dt}}; \quad (2)$$

ó segun la notacion de Saint-Robert

$$X = N \frac{1}{\frac{dp}{dt}}.$$

3.º Supongamos que la presion p permanece constante y que el volumen aumenta la cantidad dv : para ello se necesitará comunicar al cuerpo la cantidad de calor

$$dQ = C_p^v dv,$$

y el cuerpo habrá pasado de la presion p y el volumen v , á la misma presion p con otro volumen distinto $v + dv$ (variando naturalmente la temperatura). Pero al estado definido por p y $v + dv$ podemos pasar tambien por dos cambios sucesivos: 1.º, suponiendo que p pasa á $p + dp$, y v á $v + dv$, quedando t constante; 2.º, suponiendo que $p + dp$ vuelve á p , quedando $v + dv$ constante, para lo cual será preciso que t se convierta en $t + dt$.

Para que se verifique el primero de estos cambios será preciso comunicar al cuerpo una cantidad de calor representada por

$$C_p^t dv;$$

para que se verifique el segundo, la cantidad de calor que deberemos comunicar al cuerpo será

$$C_t^v dt;$$

y la cantidad total de calor

$$C_p^t dv + C_t^v dt.$$

Luego el valor de dv y el precedente deben ser iguales, y obtendremos la relacion

$$C_p^v dv = C_p^t dv + C_t^v dt \quad (a)$$

Observemos que dv y dt son variaciones de v y t que corresponden á un valor constante de p , es decir, que deberán satisfacer á la condicion

$$dp = 0 = \frac{dp}{dv} dv + \frac{dp}{dt} dt \quad (b)$$

Dividiendo la ecuacion (a) por dv y sustituyendo por $\frac{dt}{dv}$ el valor deducido de la ecuacion (b), tendremos

$$C_p^v = C_p^t - C_t^v \frac{\frac{dp}{dv}}{\frac{dp}{dt}}, \quad (3)$$

ó segun la notacion de Saint-Robert

$$Y = M - N \frac{\frac{dp}{dv}}{\frac{dp}{dt}}.$$

4.º Por último, un cuerpo dado puede pasar de (t, p) á $(t + dt, p)$ de dos maneras;

primero: comunicándole una cantidad de calor determinada por

$$dQ = C_t^p dt;$$

segundo: haciéndole pasar de (t, v) á $(t, v + dv)$, para lo cual será preciso comunicarle la cantidad de calor $C_p^t dv$, en cuyo caso p se convertirá en $p + dp$; y despues de $(t, v + dv)$ á $(t + dt, v + dv)$ de modo que $p + dp$ vuelva al valor p , para lo que deberemos darle al cuerpo una cantidad de calor $C_t^v dt$.

Como ya por el primer sistema, ya por el segundo se viene á parar al mismo estado final, y además se parte de las mismas condiciones iniciales tendremos

$$C_p^t dt = C_p^t dv + C_t^v dt.$$

Los valores dv y dt corresponden a $dp=0$, de suerte que tendremos

$$0 = \frac{dp}{dv} dv + \frac{dp}{dt} dt.$$

Dividiendo la penúltima ecuación por dt ; despejando de la última $\frac{dv}{dt}$, y sustituyendo en aquella resultará

$$C_p^p = C_v^p - C_v^t \frac{\frac{dp}{dt}}{\frac{dp}{dv}}; \quad (4)$$

ó según las notaciones de Saint-Robert

$$K = N - M \frac{\frac{dp}{dt}}{\frac{dp}{dv}}.$$

29. Las consideraciones precedentes tienen una significación geométrica fácil de interpretar.

Supongamos (fig. 3.^a) tres ejes coordenados

Fig. 3.^a ot, ov, op en que se cuentan las temperaturas, los volúmenes y las presiones, é imaginemos construida la superficie $p = f(v, t)$.

Sea B un punto para el cual se tenga $B'b = p$, $be = v$; $Oe = t$; y tracemos por B un plano paralelo al de las v, t , que cortará a la superficie $p = f(v, t)$, según una línea de nivel BC, cuya proyección representaremos por bc . Demos, finalmente, a v y t los incrementos

$$ba = dt; ac = dv;$$

y sea

$$AD = dp$$

el incremento infinitamente pequeño de p correspondiente a dt .

La ecuación (2) se ha obtenido pasando del punto B al A, y observando que para el valor constante de v , $be = v$, los incrementos $BD = dt$ y $AD = dp$ son simultáneos.

La ecuación (1) se obtiene por consideraciones análogas pasando del punto C al A, ó del B al A', puesto que todo el espacio ABA'C es infinitamente pequeño, y tanto da considerar el punto B como el C.

Las ecuaciones (3) y (4) se obtienen pasando del punto B al C por dos caminos:

Primero, directamente y calculando la cantidad de calor que corresponde a la variación dv ó el que corresponde a dt , siendo siempre p constante;

Segundo, por el contorno BAC; é igualando las cantidades de calor.

30. *Observaciones.* En las consideraciones anteriores hemos sustituido muchas veces a los valores de los coeficientes C, que corresponden a $v + dv$, ó a $t + dt$ los correspondientes a v ó t ; pero esto se sabe por cálculo que es permitido, puesto que $C(v + dv) \times dt$, por ejemplo, se convierte desarrollando C en $C(v) + C'(v) dv$, que solo difiere de $C(v) dt$ en un infinitamente pequeño de segundo orden.

31. Vemos por lo que precede, que de los seis coeficientes C basta conocer dos, C_v^t y C_t^v , por ejemplo, para conocer los otros cuatro por las fórmulas.

$$C_p^t = C_v^t \frac{1}{\frac{dp}{dv}} \dots \dots (1)$$

$$C_p^v = C_t^v \frac{1}{\frac{dp}{dt}} \dots \dots (2)$$

$$C_v^p = C_v^t - C_t^v \frac{\frac{dp}{dt}}{\frac{dp}{dv}} \dots (3)$$

$$C_t^p = C_t^v - C_v^t \frac{\frac{dp}{dt}}{\frac{dp}{dv}} \dots (4)$$

con tal que deduzcamos de

$$p = f(v, t) \quad (5)$$

los valores de las derivadas parciales $\frac{dp}{dv}, \frac{dp}{dt}$.

El problema general de la Termodinámica queda reducido a la determinación de dos coeficientes específicos C_v^t, C_t^v ; puesto que conocidos que sean estos, las ecuaciones (1) (2) (3) (4) (5) determinan los restantes.

Pero la determinación de C_v^t y C_t^v supone dos ecuaciones más y estas se deducen de los

dos principios fundamentales de la teoria del calor.

Hé aqui por qué dicen los autores que la Termodinámica parte de *dos principios fundamentales*: cosa que á primera vista no se explica; pues no es fácil preveer si serán dos ó serán más los que se necesiten, al paso que se comprende con facilidad suma por las consideraciones que preceden, por qué son dos, ni más ni menos, los necesarios y suficientes.

En resumen: todos los problemas de la Termodinámica dependen del conocimiento de los coeficientes específicos; estos son *seis*, y cuatro se expresan en funcion de los dos restantes: luego solo quedan dos funciones desconocidas y solo se necesitarán dos ecuaciones y dos principios de que partan dichas ecuaciones.

En rigor no son dos las ecuaciones sino tres, puesto que debemos contar con la relacion general $p = f(v, t)$; pero nada agregaremos por ahora á lo dicho para no anticipar las ideas. Mas adelante insistiremos de nuevo sobre este punto.

J. ECHEGARAY.

PUERTO DEL GRAO DE VALENCIA.

CONTESTACION Á LOS ARTÍCULOS DEL PILOTO SR. LLOVERA, INSERTOS EN LOS NÚMEROS 4 Y 26 DEL MES DE ENERO PRÓXIMO PASADO EN *Las Provincias*, DIARIO DE VALENCIA.

I.

Si la mayor parte de los ramos en que se divide la ciencia del ingeniero presentan graves dificultades en su aplicacion y necesitan profundos estudios, los que se refieren al establecimiento de los puertos son, sin duda alguna, los que ofrecen cuestiones más árduas que resolver. La multitud y complicacion de los diferentes elementos que deben tenerse presentes para obtener una acertada solucion, son tambien causas de que no pueda inspirar gran confianza el buen resultado obtenido en determinadas localidades con cierta disposicion de obras, para tomar esta disposicion como modelo en otras localidades. Efectivamente, por más que á primera vista parezca que hay analogía entre las circunstancias de emplazamiento, suele acontecer que un accidente de la costa, ó algun fenómeno local, á que se diera poca importancia, baste para que, en vez de excelentes resultados, se obtengan otros

desastrosos adoptando las mismas disposiciones. No es, pues, extraño que, en medio de tantas incertidumbres, vacilen los más distinguidos Ingenieros en la formacion de los proyectos de puertos; ni que para una misma localidad se presenten muchos, que suelen diferenciarse esencialmente unos de otros; porque cada autor se preocupa más especialmente de evitar ciertos inconvenientes, que á otro no le parecen tan dignos de figurar en primera línea. Apenas hay puerto algo notable en que no acontezca esto; en el que no se hayan verificado durante el curso de su ejecucion, y á pesar de haber debido su origen á la reunion de conocimientos de los hombres más eminentes en la ciencia del Ingeniero, ciertas modificaciones, más ó ménos radicales; porque la experiencia y los fenómenos imprevistos que se van presentando dan una leccion eminentemente práctica de lo que es más conveniente adoptar.

Si esto ha sucedido, y está sucediendo en los países en donde reconocidamente nos aventajan en estudios de este género, en donde para el establecimiento de los puertos cuentan con una série de observaciones náuticas, meteorológicas ó hidrográficas mucho más numerosas y prolijas que las que nosotros poseemos, nada tendria, pues, de particular, que en el puerto de Valencia, no obstante los concienzudos trabajos que se hicieron, para llegar al proyecto que se ejecuta, sucediese una cosa análoga; nada pasaria que no fuese muy comun si la observacion de lo que ocurre, cuando ya está próxima su terminacion, viniera á demostrar que debia modificarse alguna de sus partes. Su mismo autor modificó el primitivo proyecto, y dejó entrever la posibilidad de alguna otra variacion, y la necesidad, en un plazo más ó ménos largo, de ejecutar otros trabajos. ¿Es este proyecto tal como se aprobó en el año de 1856, pocos dias antes de la muerte de su ilustrado autor, capaz de llenar los fines que se propuso? ó segun manifiesta el Sr. Llovera en los artículos que han aparecido en el periódico *Las Provincias*, preocupándose de una sola de las infinitas circunstancias que deben apreciarse en el establecimiento de aquel puerto, ¿es desastrosa la disposicion adoptada para sus obras, siendo urgentísimo modificarlas segun las ideas que emite?

Esto es lo que nos proponemos discutir con toda lealtad, empleando la cortesía que se merece el público que se ocupa de estas cuestiones con objeto de penetrar la verdad; y que al ver que en una discusion puramente científica