



# Termodinámica y Revolución Industrial (y II)

LAS MÁQUINAS de la firma Boulton & Watt amparadas en la patente conseguida en 1769 dominaron el mercado británico de los ingenios de vapor hasta 1800, fecha en que vencía la patente. James Watt fue un celoso vigilante de la patente y se ocupó de que no se pudiera fabricar ningún artefacto que incluyera el condensador separado, clave de la mejora del rendimiento respecto a las antiguas máquinas de Newcomen. Entretanto las máquinas empezaron a usarse no sólo para la extracción de agua de las minas, sino también para mover muy diferentes tipos de industrias y muy especialmente la poderosa industria textil, una de las claves del desarrollo de la Inglaterra del siglo XIX. Las máquinas sustituyen con ventaja el trabajo animal y sobre todo el humano, provocando muy hondas transformaciones sociales que no corresponde aquí comentar.

La máquina de Watt era, en definitiva, una máquina atmosférica. Esto quiere decir que los émbolos se movían por la diferencia de presiones entre la atmósfera y el vacío parcial producido al condensarse el vapor. Un modo obvio de aumentar el rendimiento era que, en lugar de la atmósfera, se usara vapor a alta presión, cosa que podía conseguirse usando el propio vapor a más alta temperatura. Sin embargo Watt bloqueó todos los intentos de desarrollar ingenios de ese tipo amparándose en los derechos que le otorgaba su patente. Al parecer, las razones para ese bloqueo era que consideraba peligroso que las máquinas trabajaran a alta presión. La historia demuestra que no le faltaba algo de razón.

En 1800 vence la patente de Watt, y tanto Boulton como él ceden su participación en la empresa a sus respectivos primogénitos. Watt, continuará con su carrera de inventor con diferentes aparatos, entre los que llama la atención uno destinado a reproducir esculturas. Morirá en 1819 en Heathfield, cerca de Birmingham.

A partir de 1800 empieza la carrera para poner en marcha máquinas que trabajaran a alta presión. Las ventajas de estas eran evidentes, por cuanto no sólo podían mejorar el rendimiento (por entonces como máximo un 5%), sino que se podía reducir conside-

rablemente el tamaño de las estructuras de Newcomen y Watt, que en la práctica eran pequeños edificios. Con la disminución del tamaño se abría la puerta a que la máquina pudiera ser móvil, y es precisamente éste hecho el que perseguía el también británico Richard Trevithick (1771-1833) cuando consiguió diseñar y hacer que funcionara una máquina con alta presión que servía para propulsar un primitivo tren para el transporte, como no, de carbón. Sin conocer los trabajos de Trevithick, Oliver Evans, en Estados Unidos, realizaría un diseño similar (1802). Con el tiempo estos hechos darían lugar al ferrocarril que transformaría drásticamente la vida humana, al hacerse por primera vez posible que las personas pudieran moverse de un modo rápido, seguro y en buena medida barato. Piénsese que hasta el siglo XIX, en términos generales, sólo viajaban los ricos, y las naciones eran esencialmente un conjunto de pueblos y ciudades esencialmente desconectados.

## Termodinámica

Las máquinas aumentaban su rendimiento y la industria exigía que ese crecimiento continuara. En 1811, los propietarios de las minas de Cornualles empezaron a publicar informes sobre el rendimiento de sus máquinas, para estimular su aumento. Se vio que cada máquina tenía una relación de conversión del carbón en trabajo diferente y esta relación descendía a medida que las máquinas eran más modernas se mejoraban. Por lo tanto, cabía preguntarse si existía un límite para esta relación de conversión, o por el contrario sería posible el movimiento continuo. ¿Sería posible conseguir construir una máquina que una vez que comenzara a funcionar permaneciera siempre en movimiento sin requerir más combustible? Esa era de alguna forma la pregunta a la que conducían los progresos en el primer cuarto del siglo XIX, y su respuesta provocó en cierto modo el nacimiento de la ciencia de la Termodinámica de la mano del francés Sadi Carnot.

Permítaseme un inciso relacionado con un personaje de nuestra tierra, el ingeniero

Agustín de Betancourt. Nacido en el Puerto de la Cruz y con una vida asombrosa que le llevó a terminar sus días como responsable de los ferrocarriles del Imperio Ruso, permaneció una parte de su vida en Francia. Allí hizo, al menos dos contribuciones importantes a la historia de las máquinas. La primera, con un extenso informe a la Academia de Ciencias sobre los descubrimientos de Watt (¡que provocaría que éste le acusara de espionaje industrial!), con el que ayudó sobremanera en la introducción de ese tipo de máquinas en Francia, y la segunda con un trabajo sobre la fuerza expansiva del vapor que sería citado por Carnot en su trabajo fundamental: las "Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego...". De 1924.

Esta memoria aportó conceptos fundamentales a la incipiente ciencia térmica y aún utilizando el concepto de calórico, sentó las bases de la Termodinámica macroscópica, que Carnot captó claramente. Constató que, desde principios del siglo XVIII, cuando Savery comercializó su primera máquina de fuego en 1702, hasta la mitad del siglo XIX, los ingenieros habían desarrollado la máquina térmica, sin comprender sus fundamentos teóricos. Así, en su memoria, la introducción decía:

*El descubrimiento importante no es el primer intento, sino los sucesivos mejoramientos. Hay una distancia casi tan grande entre el primer aparato en que se usó la fuerza expansiva del vapor y una máquina actual, como entre una balsa y un moderno navío. El honor de ese primer desarrollo pertenece a Inglaterra: Savery, Newcomen, Smeaton, Watt, Woolf, Trevithick y otros.*

*A pesar del trabajo que se realizó sobre todos los tipos de máquina de vapor, su teoría es muy poco comprendida y los intentos para mejorarla todavía están orientados casi exclusivamente por el azar.*

*Se ha planteado a menudo la cuestión de si la energía motriz del calor no tiene fin, si las posibles mejoras a las máquinas de vapor tienen un límite previsible, un límite que la naturaleza de las cosas no permitirá superar por ningún medio, o bien si, por el contrario, estas mejoras pueden ser lleva-*

*das a cabo indefinidamente.*

Prosiguiendo más adelante:

*La producción de movimiento por la máquina de vapor está acompañada siempre de una circunstancia que debemos señalar en particular. Esta circunstancia es el paso de calórico desde un cuerpo cuya temperatura es más o menos elevada otro donde es más baja...*

*...La potencia motriz del calor es independiente de los agentes empleados para desarrollarla; su cantidad viene determinada solamente por la temperatura de los cuerpos entre los cuales, como resultado final, ocurre la transferencia de calórico.*

Carnot pensó, por analogía con una rueda hidráulica, que la potencia motriz dependía tanto de la cantidad de calórico transferida como del salto de temperaturas entre las que se transfería. Después de considerar el calórico como un fluido transferido por diferencias de temperatura (Black, 1760) la idea parece totalmente evidente, pero sólo Carnot en 100 años (hasta Clausius y Kelvin) lo vio claramente, o al menos lo supo expresar. Introdujo el concepto de ciclo ideal recorrido en principio por cualquier sustancia, pero que aplicó al gas ideal. El ciclo podía invertir su funcionamiento, con lo que introdujo la idea de reversibilidad. Llegó además a la conclusión que, para una diferencia de temperaturas dadas y fijada una cantidad de calórico, ningún ciclo podía dar más potencia motriz que su ciclo reversible, estableciendo con claridad el límite del rendimiento y la imposibilidad del móvil perpetuo.

Este principio de Carnot sirvió además, como ya hemos visto en otros artículos, para que Lord Kelvin solucionase el problema del significado de la temperatura, definiendo la escala absoluta en 1851, y todavía se emplea hoy como una de las formulaciones de la 2ª ley de la Termodinámica.

Y es la Termodinámica la ciencia que, finalmente, al dilucidar la naturaleza del calor y su relación con el trabajo, permitió el posterior desarrollo práctico de la técnica y la tecnología de las subsiguientes máquinas hasta nuestros días.

Luis Vega  
Universidad de La Laguna



Nicolás L. Sadi Carnot./ CEDIDA

## Nicolas Léonard Sadi Carnot (Paris 1796-1832)

Hijo de Lazare Carnot, un ingeniero francés intensamente involucrado en la Revolución Francesa y en la restauración Napoleónica, y tío de Marie François Sadi Carnot, que llegó a ser Presidente de la República Francesa, Sadi Carnot estudió en la Escuela Politécnica de París, donde tuvo entre otros profesores a Lagrange y Laplace.

Posteriormente realizó una breve carrera militar, pero trató de aprovechar todas las oportunidades para proseguir su educación. Siguió cursos en el Collège de France, la Sorbona, la École des Mines y la Bibliothèque. Durante el período de 1819 a 1824 realizó investigaciones sobre gases y vapores, que en la época eran conceptos esencialmente distintos, y prosiguió sus estudios científicos. Sus contemporáneos reconocieron su alto nivel científico y fue designado miembro de la Association Polytechnique.

En 1824 publicó sus "Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego y sobre las máquinas adecuadas para desarrollar esta

potencia", en donde expuso los dos primeros principios de la termodinámica, ciencia en la que es considerado pionero. Estos trabajos, poco comprendidos por parte de sus contemporáneos, fueron más tarde conocidos en Alemania por Rudolf Clausius, que fue quien los difundió y William Thomson (lord Kelvin) en el Reino Unido.

La revolución de 1830 interrumpió su investigación porque tuvo que incorporarse al servicio militar. Terminadas sus obligaciones militares, volvió a dedicarse a su tarea científica, quedando su endeble salud resentida por el esfuerzo. Escribió a sus amigos diciendo que tenía "inflamación de los pulmones", a la que siguió la escarlatina. Cuando se estaba recuperando de su grave enfermedad, sufrió París una epidemia de cólera. Murió a causa de la misma a los treinta y seis años.

Como Carnot murió de cólera, la mayoría de sus papeles fueron quemados para evitar la posibilidad de contagio; sin embargo, quedaron algunas notas manus-

critas, redactadas probablemente entre 1830 y 1832, que fueron encontradas por su hermano en 1871 y publicadas en 1878. En esas notas se puede comprobar que Carnot abandonó la teoría del calórico en la que creía en 1819, pues escribió:

El calor no es otra cosa que la potencia motriz o más bien el movimiento que ha cambiado de forma. Es éste un movimiento en las partículas de los cuerpos. Donde quiera que hay una destrucción de potencia motriz, hay, al mismo tiempo, producción de calor en cantidad exactamente proporcional a la cantidad de potencia motriz destruida. Recíprocamente, en cualquier parte en que haya destrucción de calor, hay una producción de potencia motriz. Se puede entonces establecer como tesis general que la potencia motriz es una cantidad invariable en la naturaleza y que hablando con propiedad no puede nunca producirse ni destruirse. En verdad ella cambia de forma, es decir produce tanto un tipo de movimiento como otro, pero jamás es aniquilada.