

## Sadi Carnot

Todos los estudiantes de física conocen o han oído hablar del ciclo de Carnot, pero lo que no saben que este físico, considerado como el “padre de la termodinámica”, fue un precursor de desarrollos físicos que se elaborarán un cuarto de siglo después, anticipando el segundo principio de la termodinámica, el concepto de trabajo físico, e incluso la ley de Hess, y todo ello con una única publicación, que estuvo olvidada durante 15 años.



Retrato de Sadi Carnot al ingresar en la Escuela Politécnica

Nicolás Leonard Sadi Carnot, mas conocido por Sadi<sup>1</sup>, nace en París el 1 de junio de 1796 en el palacio Petit Luxemburgo, donde vivía su padre como ministro de Francia. Era el hijo mayor de Lazare Carnot<sup>2</sup>, ministro de la guerra con Napoleón, que se retiró de la vida pública en 1807, debido a los cambios políticos ocurridos, dedicándose a la educación de sus hijos, Sadi e Hippolyte, que destacaron en matemáticas, ciencias naturales, idiomas y música.

Sadi se preparó después en el Liceo Carlomagno de París, y con 16 años pasó el ingreso en la Escuela Politécnica de Paris, que formaba ingenieros militares y que se había creado 2 años antes, en la que enseñaban Gay Lussac, Poisson, Ampère, Arago, Lagrange, Fourier y Berthollet entre otros; esto es la élite de la ciencia francesa.

En 1813, escribió una carta a Napoleón<sup>3</sup>, en nombre de sus compañeros de estudios, pidiendo permiso para incorporarse a filas, para luchar contra los invasores de Francia, lo cual hizo en Vicennes al año siguiente. Pese a ello terminó 6º en sus estudios, en octubre de 1814, siendo enviado a la École du Génie en Metz, como segundo teniente, en grado de alumno.

Durante los 100 días, con el regreso de Napoleón, Lazare Carnot, fue nombrado ministro del interior, pero todo ello terminó en octubre de 1815, con el padre de Sadi, exilado, y él graduándose como segundo teniente en la guarnición de Metz, dedicándose después a la inspección de fortificaciones y elaboración de planes de defensa. En 1819, aprueba un concurso para oficial del Estado Mayor, instalándose en París en el antiguo piso de su padre aprovechándolo para seguir varios cursos en la Sorbonne, Collège de France, École de Mines y en el Conservatoire des Arts et Métiers, donde aprenderá mecánica aplicada a las máquinas de vapor, con el profesor Clément.

En 1821, hace un alto en sus estudios para visitar a su padre y hermano, exilados en Magdeburgo. El padre, fallece en agosto de 1823, e Hippolyte, se va a vivir con su hermano mayor, y la primera tarea que le encomienda es leer el manuscrito del su famoso trabajo:

“*Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*” (Reflexiones sobre la potencia motriz del calor y sobre las máquinas idóneas para desarrollar esta potencia), que será publicado el 12 de junio de 1824. Dos días después lo presentó en la Academia de las Ciencias, y el 26, apareció la crítica muy favorable.

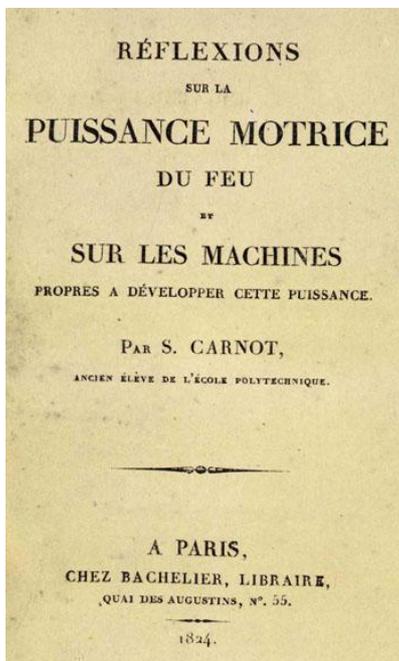


Retrato de Sadi Carnot (17 años) por Luis Leopoldo Builly, en 1813

<sup>1</sup> El nombre de Sadi, le fue puesto por su padre, gran admirador del poeta persa Saadi Musharif ed Din.

<sup>2</sup> Era matemático y físico y en 1803 había escrito un libro sobre las máquinas “*Principios fundamentales en el equilibrio y movimiento*”, en el que sustentaba con firmeza que no podían existir los móviles perpetuos.

<sup>3</sup> La carta estaba escrita en los siguientes términos: “*Señor: el país necesita de todos sus defensores. Los alumnos de la École Polytechnique, fieles a su lema, solicitan les sea permitido dirigirse con prontitud a las fronteras para compartir la gloria de los bravos hombres que están entregando sus vidas a la salvación de Francia. El batallón orgulloso de haber contribuido a la derrota del enemigo, volverá a la escuela a cultivar las ciencias y a prepararse para nuevos servicios*”. Napoleón concedió el permiso en 1814, pero nuestros héroes no consiguieron su propósito, y los ejércitos enemigos entraron en París.

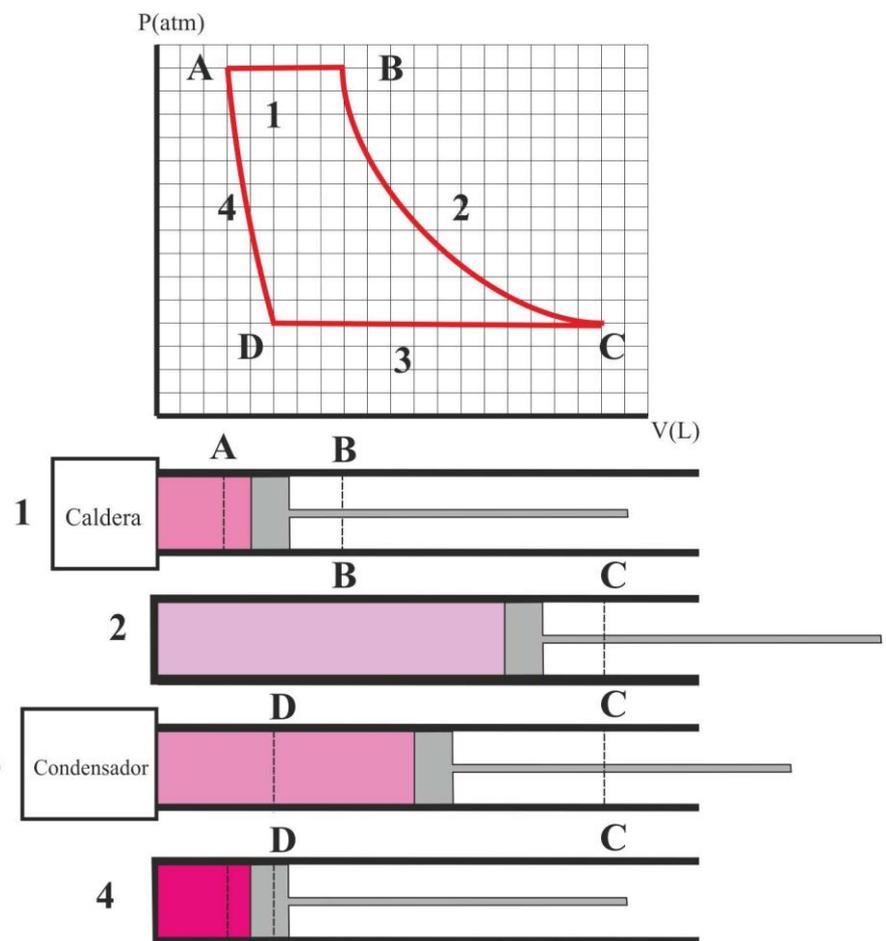


Libro de Sadi Carnot

En el *Réflexions*, en 118 páginas, estudia las máquinas de vapor desde el punto de vista histórico, ponderando el servicio que prestaron en el desarrollo de Inglaterra, analizando que el fracaso que en su pobre rendimiento era debido que la falta de un estudio profundo sobre su funcionamiento.

Carnot publica una serie de 7 teoremas fundamentales precursores de conocimientos posteriores: “La cantidad de calor absorbida o liberada en cambios isotérmicos en el mismo para todos los gases”. “La diferencia entre el calor específico a  $P$  y  $V$  constante es igual para todos los gases”.

Un poco antes, había elaborado un manuscrito de 21 páginas, titulado: “*Recherche d’une formule propre à représenter la puissance motrice de la vapeur d’eau*”<sup>4</sup>. En estas notas<sup>5</sup> aparece por primera vez, el ciclo que se conoce como ciclo de Carnot, y descrito el motor que también lleva su nombre o máquina térmica ideal<sup>6</sup>. La conclusión que sacó fue que “La fuerza motriz del “calorique”<sup>7</sup> (que modernamente se puede traducir por trabajo), es independiente de los agentes empleados para realizarla, dependiendo únicamente de la diferencia de temperaturas de los cuerpos entre los que se efectúa la transferencia de calorías”.



Ciclo de Carnot. Las posiciones y letras en la gráfica PV, corresponden con las de los esquemas de las diferentes fases. Al conectarse el cilindro con una fuente de calor, el gas se expande (fase 1). Al quitar la caldera sigue expansionándose (fase 2), bajando  $P$  y  $T$ . En la fase 3, al conectarse con un cuerpo frío,  $P$   $Y$   $V$  ctes. y en la fase 4, se comprime, aumentando  $P$  y  $T$ .

<sup>4</sup> Se trataba de buscar una expresión matemática para determinar la fuerza motriz o el trabajo desarrollado por una máquina de vapor

<sup>5</sup> Las *Recherches*, nunca fueron publicadas. Son notas (23 hojas) que su hermano Hippolyte aportó mucho después del fallecimiento de Sadi Carnot, el cual al morir por cólera, durante la epidemia que afectó a Francia, tuvo que ser incinerado con todos sus papeles (se supone que fueron escritas, en la misma época que las *Reflèxions*, o quizá un poco antes, sobre 1819, como indicó el profesor Clément). En una de las notas, propone el *Dyname*, como unidad de fuerza motriz (trabajo), que era un kilogramo desplazado un metro (sería acuñado por Dupin en 1823). Otro nuevo manuscrito de las *Reflèxions* fue presentado por Hippolyte en la Academia de Ciencias francesa en 1878.

<sup>6</sup> Consistía en un cilindro y un pistón, con una sustancia que se comporta como gas ideal, y dos depósitos de “calorique”, mantenidos a diferentes temperaturas, con dos isotérmicas y dos adiabáticas. Al final de cada ciclo del motor el gas regresaba a las condiciones iniciales, transfiriendo cierta cantidad de “calorique”, desde el depósito a alta temperatura al de baja. También explicó lo que podría ser un motor de Carnot inverso. Ningún motor podría obtener mayor rendimiento que el descrito.

<sup>7</sup> Se ha traducido el “calorique” del texto en francés, como calor, por unos o como calórico, en consonancia con las teorías de la época anterior, por otros. Realmente Sadi Carnot, por estas fechas había rechazado la teoría del calórico. Escribió: “*El calor no es otra cosa que la potencia motriz, o mejor el movimiento de las partículas de los cuerpos. Donde quiera que hay destrucción de la potencia motriz en las partículas de los cuerpos, hay al mismo tiempo producción de calor en cantidad exactamente proporcional a la cantidad de potencia motriz destruida, recíprocamente dondequiera que hay destrucción de calor hay producción de potencia motriz*”.

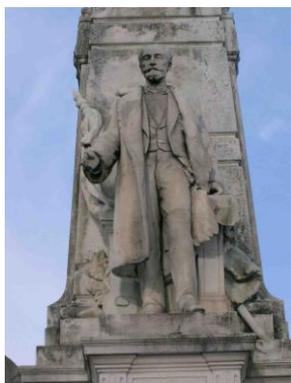
“La caída de calorique produce mas potencia cuando el intervalo de temperatura mas baja se encuentra en lugar mas alto en la escala de temperaturas”<sup>8</sup>.

“La cantidad de calor absorbida liberada por un cuerpo en cualquier proceso depende sólo de los estados inicial y final de dicho cuerpo”. Todas estas premisas permanecieron prácticamente olvidadas hasta los trabajos de Clapeyron en 1834<sup>9</sup>.

En 1827, tuvo que reincorporarse al ejército con el grado de capitán, siendo destinado a las guarniciones de Lyon y Auxone. Después renunció al ejército y regresó a París. Con la revolución de julio, estuvo a punto de ser nominado para la Cámara de los pares, pero decepcionado con el nuevo gobierno, y oponiéndose a la naturaleza hereditaria de dichos nombramientos, no lo aceptó.

En 1830, 2 años después de su retiro del ejército, ayudó a organizar la Reunión Polytechnique Industrielle para promover la colaboración entre los ex alumnos de la Politécnica. También fue un miembro activo de la Asociación Polytechnique, dedicada a la difusión del conocimiento útil entre los segmentos más amplios de la sociedad.

En 1831, comenzó a investigar sobre las propiedades físicas de los gases y vapores, y su relación con la temperatura y la presión.



Monumento a Carnot en Dijon



Monumento a Carnot, en Angulema

En junio de 1832, contrajo la escarlatina, seguido de una “fiebre cerebral”, que lo dejó con la salud muy deteriorada, hasta el punto que el 24 de agosto, fue víctima de la epidemia de cólera que había invadido Francia, falleciendo al día siguiente; tenía 36 años. Fue incinerado con todos sus efectos personales. La noticia de su muerte apareció al día siguiente en primera plana, en el periódico Moniteur con una nota describiendo su libro como “*notable por sus puntos de vista originales*”.

Once años después de su fallecimiento, cuando las memorias de Clapeyron aparecieron en la revista alemana *Annalen der Physik und Chemie*, el mundo científico, tomó conciencia de su importancia.

Actualmente se le ha reconocido el mérito de ser un precursor de la ciencia termodinámica, levantándose varios monumentos en su recuerdo, en los parques franceses.

<sup>8</sup> En su forma original todos los teoremas de Carnot, se consideran actualmente válidos, menos uno, el que consideraba el aumento del calor específico con la expansión de un gas

<sup>9</sup> Los trabajos de Carnot, solo aparecen mencionados dos veces entre 1824 y 1834, cuando Clapeyron publicó una reformulación analítica de las *Réflexions*. Como motivo se apuntó que el lenguaje ingenieril empleado era muy difícil de entender a los físicos del momento. Sin embargo en la segunda mitad del siglo XIX, adquirieron gran relevancia cuando Thomson adoptó en 1851, el teorema de Carnot, como segunda ley de la termodinámica.