



NATURALIS

BOLETÍN DE LA COORDINACIÓN DE
FÍSICA Y QUÍMICA

No. 23

Abril de 2016

DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS



Contenido

1 Cinética química. Parte 1

Rogelio Soto Ayala

Alfredo Velásquez Márquez

5 La termodinámica en los motores de combustión interna alternativos (MCIA). Parte 1

Alejandro Rojas Tapia

Cinética química. Parte 1

Introducción.

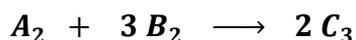
En el equilibrio químico, se estudia el problema de la predicción de las cantidades de productos y reactivos cuando se alcanza el equilibrio en las reacciones químicas; en tales casos, es posible predecir con buena exactitud dichas cantidades en casos no muy complicados; sin embargo, ese estudio no da información acerca de la rapidez a la cual ocurre la reacción química, esto corresponde a la cinética química. Por lo anterior, el objetivo de la cinética química es el estudio de la rapidez a la cual ocurren las reacciones químicas, y de los factores de los que depende dicha rapidez. De estos factores, los más importantes son la concentración, la temperatura y la presión.

Haciendo un estudio sistemático de los efectos de estos factores sobre la rapidez de la reacción se puede obtener información muy valiosa sobre el mecanismo íntimo que está involucrado en la reacción química.

La rapidez de una reacción química puede expresarse de diversas maneras, pero una muy usual es medir el cambio en la concentración que experimenta una sustancia que interviene en la reacción, en función del tiempo. El concepto de que la rapidez de una reacción química a una cierta temperatura depende de la concentración fue generalizada por Guldberg y Waage quienes, en 1863, establecieron la Ley de Acción de Masas, la cual menciona que

la rapidez a la cual se produce una reacción química es proporcional a la concentración de cada uno de los reactivos. Esta ley proporciona una base cuantitativa para llevar a cabo investigaciones en el área de la cinética química.

Es importante resaltar que la rapidez de una reacción química puede tener un valor numérico diferente según la manera como se la defina y se la mida. Por ejemplo, en la siguiente ecuación química:



Por cada molécula de A_2 , se forman 2 moléculas de C_3 , esto implica, entonces, que la rapidez de formación de C_3 , es el doble de la rapidez con la cual desaparece A_2 ,

$$rapidez_{C_3} = \frac{d[C_3]}{dt} = -2 \frac{d[A_2]}{dt} = 2rapidez_{A_2}$$

Como se observa, se debe anteponer un signo negativo a la expresión cuando la sustancia desaparece, pero la rapidez es positiva ya sea que se forme o desaparezca una sustancia. Por otra parte, la rapidez de desaparición de B_2 , corresponde al triple de la rapidez de desaparición de A_2 , por lo tanto,

$$rapidez_{B_2} = -\frac{d[B_2]}{dt} = -3 \frac{d[A_2]}{dt} = 3rapidez_{A_2}$$

En algunas reacciones químicas las rapidezces son proporcionales a las concentraciones de los reactivos elevadas a una potencia

determinada; en tales casos, es conveniente hablar del orden de una reacción. Por ejemplo, si la rapidez es proporcional a la concentración, $[c]$, de una sustancia elevada a la primera potencia,

$$rapidez = k[c]$$

Se dice, entonces, que la reacción es de primer orden y k recibe el nombre de constante de rapidez de la reacción.

Si la reacción fuese de segundo orden, se tendría lo siguiente:

$$rapidez = k[c]^2$$

Y así sucesivamente para otros órdenes de reacción

En términos generales, si la rapidez de una reacción es proporcional a la concentración de diferentes sustancias (A , B , etc.), elevadas a las potencias α , β , etc., entonces, la rapidez de la reacción se expresaría como:

$$rapidez = k[A]^\alpha[B]^\beta \dots$$

y el orden total de la reacción sería:

$$n = \alpha + \beta + \dots$$

Es importante comentar que la información sobre el orden de una reacción se obtiene estrictamente a partir de mediciones experimentales. Nunca se debe intentar obtener dicha información a partir del

conocimiento de la estequiometría de la reacción.

Reacciones de orden cero.

Si la reacción:



Es de orden cero, la expresión de la rapidez de la reacción con respecto a A se reduce a:

$$\text{rapidez} = -\frac{d[A]}{dt} = k[A]^0 = k = \text{constante}$$

Al integrar la ecuación, se obtiene,

$$[A] = [A_0] - kt$$

En la que $[A]$, es la concentración del reactivo en cualquier tiempo, $[A_0]$, es la concentración inicial del reactivo, y t , es el tiempo que ha transcurrido en la reacción.

Reacciones de primer orden.

Si la reacción:



Es de primer orden, la expresión de la rapidez de la reacción con respecto a A es:

$$\text{rapidez} = -\frac{d[A]}{dt} = k[A]$$

y la integración de esta ecuación da lugar a:

$$[A] = [A_0]e^{-kt}$$

Aplicando el logaritmo neperiano, se obtendría:

$$\ln \frac{[A_0]}{[A]} = kt$$

Las reacciones de primer orden son muy comunes, ya que se presentan tanto en reacciones que se llevan a cabo en disolución, donde el disolvente es uno de los reactivos, como en fase gaseosa. Sin embargo, su campo

de aplicación va mucho más allá, como es el caso, por ejemplo, de procesos de descomposición radiactiva.

Reacciones de segundo orden.

Las reacciones de segundo orden también se presentan con cierta frecuencia sobre todo en química orgánica. Si la siguiente reacción:



es de segundo orden, la rapidez de la reacción con respecto a A , está dada por:

$$\text{rapidez} = -\frac{d[A]}{dt} = k[A]^2$$

Al integrar, se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{[A]} = kt + \frac{1}{[A_0]}$$

Tiempo de vida media.

Un parámetro muy importante que suele determinarse cuando se llevan a cabo estudios de cinética química, es el tiempo de vida media de la reacción. Se define como el tiempo en el cual la mitad de la concentración del reactivo se ha transformado en productos. De acuerdo con esta definición, el tiempo de vida media para una reacción de orden cero es:

$$t_{1/2} = \frac{[A_0]}{2k}$$

Lo que significa que el tiempo de vida media de la reacción, en una reacción de orden cero, depende de la concentración inicial del reactivo.

El tiempo de vida media en una reacción de primer orden es:

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

Observe, en este caso, que el tiempo de vida media de la reacción es independiente de la concentración inicial del reactivo.

En una reacción de segundo orden, el tiempo de vida media corresponde a:

$$t_{1/2} = \frac{1}{k[A_0]}$$

Determinación del orden de la reacción.

Los dos métodos más comunes, que se utilizan para determinar el orden de una reacción, son los siguientes:

1) Los datos experimentales que se obtienen, se sustituyen totalmente en cada una de las expresiones de las rapidezces hasta que se encuentre un caso donde se obtengan valores prácticamente constantes de k (la constante de rapidez).

2) Se emplean los valores experimentales obtenidos, para determinar el factor de correlación de los modelos siguientes:

a) Para una reacción de orden cero,

$$[A] = f(t)$$

b) Para una reacción de primer orden,

$$\ln \frac{[A_0]}{[A]} = f(t)$$

c) Para una reacción de segundo orden,

$$\frac{1}{[A]} = f(t)$$

El modelo con el factor de correlación más cercano o igual a 1, corresponde al tipo de reacción que se está llevando a cabo.

En este punto, es importante mencionar que existen órdenes de reacción mayores de 2, e incluso fraccionarios; sin embargo, para fines de comprender la cinética de una reacción en un curso de química general para Ingenieros, es más que suficiente lo descrito en este artículo. Finalmente, en un próximo artículo se presentarán algunos ejemplos para determinar el orden de una reacción.

Referencias

- 1.- Raymond Chang, Kenneth A. Goldsby. Química. Undécima Edición, McGraw Hill, 2013.
- 2.- Keith J. Laidler. Cinética de Reacciones. Editorial Alhambra, 1979.
- 3.- J.L. Latham, A.E. Burgess. Elementos de Cinética de Reacciones. El Manual Moderno, 1980.

Rogelio Soto Ayala

rsoto54@hotmail.com

Alfredo Velásquez Márquez

velasquez777@yahoo.com.mx

Profesores de Carrera en la División de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería de la UNAM

La termodinámica en los motores de combustión interna alternativos (MCIA). Parte 1

Introducción.

Los motores de combustión interna alternativa (MCIA) actuales, tienen ya más de un siglo de historia. Si hubiera que escoger una fecha que marcara el nacimiento de los MCIA (tal como los conocemos actualmente), esa sería el año de 1876, cuando el alemán Nicolaus Otto solicitó la patente titulada “Gasmotor”, obteniendo el nombre de la Gasmotorenfabrik Deutz AG con el número DE 532.

Si bien el motor de Otto fue, a buen seguro, resultado de una evolución continua, basada a su vez en numerosos antecedentes, hay que atribuirle el mérito de haber establecido la estrategia de los desarrollos futuros de los MCIA en una dirección con respecto a la cual iban a existir pocas desviaciones en lo sucesivo.



Fig. 1 Motor de combustión interna actual.

Los MCIA no empiezan (ni terminan) con el motor de Otto, aunque éste constituye uno de los hitos más importantes de su historia. Los primeros antecedentes de los MCIA fueron, sin duda, las máquinas de vapor desarrolladas en el siglo XVIII, durante la primera revolución industrial, de la que, en buena parte, fueron artífices. Las máquinas de vapor se pueden considerar los primeros ingenios capaces de producir, con rendimientos aceptables energía mecánica no natural. Es decir, la que no produce del aprovechamiento de energía existente en la naturaleza, como la hidráulica o la eólica. Todos los motores térmicos actuales se derivan, en mayor o menor medida, de las máquinas de vapor. Los MCIA tienen en común con éstas, una de sus principales características, que consiste en ser máquinas volumétricas o de desplazamiento positivo, lo que significa que el fluido de trabajo está contenido dentro de un recinto delimitado por paredes móviles que al desplazarse, modifican el volumen de la masa de fluido que evoluciona por el motor.

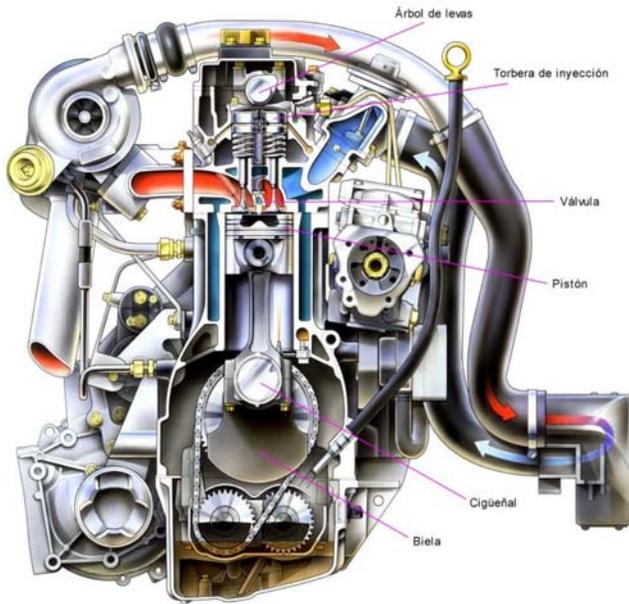


Fig. 2 Elementos constructivos de un motor de combustión interna alternativo (MCI).

Esa circunstancia confiere a las máquinas volumétricas la propiedad de que su funcionamiento se puede comprender de manera intuitiva ya que, hasta cierto punto, es sencillo imaginar lo que sucede cuando un gas se expande o se comprime dentro de un cilindro por medio del movimiento de un émbolo o pistón. Esa aproximación intuitiva permitió que las máquinas de vapor (y, en buena medida, también los MCI) se desarrollasen de manera esencialmente empírica, sin la existencia de una base que explicara su funcionamiento con método científico.

La similitud existente entre los procesos que tienen lugar en las máquinas de vapor y en los MCI queda reflejada en el diagramas presión-volumen (P-V) de ambas máquinas. El diagrama (P-V), también conocido como

diagrama del indicador, es de gran importancia, como se verá oportunamente, en el estudio de los MCI.

Nacimiento de la Termodinámica.

En 1824, el francés Nicola Sadi Carnot publicó el libro *“Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego y sobre las máquinas adecuadas para desarrollar esa potencia”*. Todavía faltaba una década para la formulación del primer principio de la Termodinámica y dos décadas para el cálculo del equivalente mecánico del calor. Los científicos de la época usaban la teoría del calórico, que postulaba que la transmisión del calor se debía a un fluido invisible y sin peso, que pasaba de un cuerpo a otro cuando existía un desequilibrio entre sus temperaturas.

La obra de Carnot se sitúa, pues, en un contexto histórico en el que aún no se habían definido ni la naturaleza ni la extensión de los procesos de intercambio de masa y energía entre sistemas térmicos diferentes. Carnot sienta las bases de una disciplina completamente nueva: la **Termodinámica** que no existía con tal nombre, nombre que acuñaría Lord Kelvin a mediados del siglo XIX. La motivación de Carnot era entender el funcionamiento de las máquinas de vapor y así lo dice en las primeras páginas de su libro, al escribir:

Si el honor de su descubrimiento pertenece a la nación en la que ha adquirido su crecimiento, todos sus desarrollos, ese honor no podría aquí negarse a Inglaterra: Savery, Newcomen, Smeathon, el célebre Watt, Woolf, Trevetick y algunos otros ingenieros ingleses son los auténticos creadores de la máquina de fuego; A pesar de los trabajos de todo tipo emprendidos sobre máquinas de fuego, a pesar del estado satisfactorio que ha alcanzado hoy día, su teoría está muy poco avanzada y los ensayos de mejora que se intentan sobre ella están dirigidos casi al azar.

El libro de Carnot tenía 118 páginas y únicamente cinco figuras al final del texto, que representan esquemáticamente diversas posiciones de un pistón dentro de un cilindro. La redacción de Carnot es de una claridad prístina, pero su escrito es relativamente difícil de leer porque renuncia deliberadamente al lenguaje algebraico, cuyo uso circunscribe a algunas notas a pie de página. El propio Carnot se lamenta de las dificultades de redacción y escribe: *Siendo la materia aquí tratada completamente nueva, nos vemos forzados a emplear expresiones todavía inusitadas y que quizás no tengan toda la claridad deseable.* Algo más adelante, insiste: *Por lo demás, dicho sea de paso, los principales fundamentos sobre lo que reposa la teoría del calor necesitarían un examen muy atento. Varios hechos de experiencia parecen poco menos que*

inexplicables según el estado actual de esa teoría.

Posiblemente Carnot se refería a la teoría del calórico, que usó a pesar de que no le debía de convencer.

Las reflexiones son de una claridad magistral. Por ejemplo, Carnot describe la reversibilidad en un ciclo: *...Por nuestras primeras operaciones, había a la vez producción de potencia motriz y transporte de calórico del cuerpo A al cuerpo B; por las operaciones inversas, hay a la vez consumo de potencia motriz y retorno de calórico del cuerpo A al cuerpo B. Pero si se actúa de una parte y de otra sobre la misma cantidad de vapor, si no tiene lugar ninguna pérdida de potencia motriz y retorno de calórico, la cantidad de potencia motriz producida en el primer caso será igual a la que se habrá gastado en el segundo, y la cantidad de calórico que pasa, en el primer caso, del cuerpo A al cuerpo B, será igual a la que retorna, en el segundo, del cuerpo B al cuerpo A...*

Más adelante reflexiona sobre las irreversibilidades térmicas: *...Todo cambio de temperatura que no se debe a un cambio de volumen o a una acción química, se debe necesariamente al paso directo de calórico de un cuerpo más o menos caliente a un cuerpo más frío. Ese paso tiene lugar al poner en*

contacto cuerpos de temperaturas diferentes: ahora bien, ese contacto debe evitarse en la medida de lo posible. No puede evitarse completamente, sin duda; pero por lo menos hay que hacer de suerte que los cuerpos puestos en contacto unos con otros difieran poco entre ellos de temperatura...

La parte más interesante de la Reflexiones, para un estudioso de motores, es aquella en la que se describe lo que se conoce como “ciclo de Carnot”, que es la sucesión de una compresión isotérmica, una compresión isentrópica, una expansión isotérmica y una expansión isentrópica.

Carnot no podría haber dibujado su ciclo en un diagrama (T-s), como actualmente se utiliza, ya que el concepto de entropía fue desarrollado por el alemán Rudolph Clausius años después, en 1865. En realidad, tampoco lo dibujó en un plano (P-V), aunque resulta sencillo hacerlo siguiendo las indicaciones de su libro. Fue el francés Émile Clapeyron, quién, en 1834, dos años después de la muerte de Carnot, publicó su artículo en el Journal de l'École Royale Polytechnique, en el que mostró como podían formularse matemáticamente y gráficamente las ideas de Carnot, y dibujó por primera vez el ciclo en el diagrama (P-V). Hasta la fecha las reflexiones habían pasado prácticamente inadvertidas.

Carnot expresó de este modo la igualdad entre el trabajo útil y la diferencia entre el trabajo de expansión y el de compresión.

...A igual volumen, es decir para posiciones semejantes del émbolo, la temperatura es mayor durante los movimientos de dilatación que durante los de compresión. En los primeros, la fuerza elástica del aire es mayor y por consiguiente la cantidad de potencia motriz producida por los movimientos de dilatación es mayor que la consumida para producir los movimientos de compresión. Así, se obtendrá un excedente de potencia motriz, excedente del que se podrá disponer para diversos usos...

Sobre el rendimiento de la obtención de energía mecánica, escribe:

.....La potencia motriz del calor es independiente de los agentes puestos en juego para realizarla; su cantidad depende únicamente de las temperaturas de los cuerpos entre los que se efectúa en última instancia el transporte del calórico.....

La frase anterior muestra una comprensión intuitiva de los fenómenos que llevaría a Kelvin y Clausius, concedores ambos de la obra de Carnot, a formular el Segundo principio de la Termodinámica.

En 1832, Carnot ingresó en una casa de salud con un diagnóstico de delirio generalizado. En los libros de registro de esta casa una

anotación indica: curado de su manía, muerto de cólera el 24 de agosto de 1832. Sus efectos personales fueron quemados como medida de precaución y el fuego que había movido sus *Reflexiones* fue tal vez responsable de la destrucción de los trabajos acometidos tras la publicación de su obra.

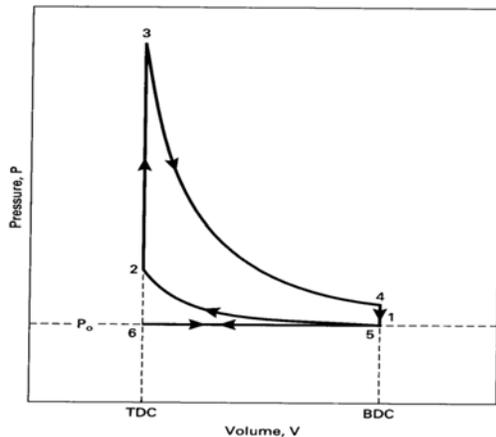


Fig 3 Diagrama P-V para el ciclo de Otto.

Motores de combustión Interna Alternativos (MCIA).

En su libro, Carnot ya describía su ciclo con aire como fluido de trabajo. No era, por tanto, necesario, en empleo de un fluido condensable como el vapor de agua, y esta idea dio el nacimiento de los denominados motores de aire caliente, que coexistieron con las máquinas de vapor en la segunda mitad del siglo XIX, que eran también motores de combustión externa, aunque de fluido no condensable. Algún motor de aire caliente, como el del escocés Robert Stirling (1790-1878), ha subsistido hasta nuestros días. Pero los motores de aire caliente no influyeron de modo decisivo en la génesis de los MCIA, cuya

historia empieza realmente con el motor de Lenoir.

El motor sin compresión previa de la carga: Lenoir.

El primer motor de combustión interna alternativo con cierto éxito comercial se atribuye al belga, de ascendencia luxemburguesa, Étienne Lenoir, que en 1860 solicitó una patente cuyo título en su versión del privilegio real español ES 2 140 PR era un motor de aire dilatado con la combustión de los gases por medio de electricidad. El motor de Lenoir era un monocilíndrico de dos tiempos sin compresión previa de la mezcla, formada por gas de hulla y aire.

El motor de Lenoir era muy ruidoso y con tendencia a sobrecalentarse y a gripar si no se refrigeraba intensamente. Su rendimiento era bajo por la ausencia de compresión previa y por la pequeña relación de compresión. A pesar de eso, se vendieron cerca de quinientos ejemplares, con potencias comprendidas entre 6 y 20 HP, hasta que nuevos avances los fueron arrinconando.

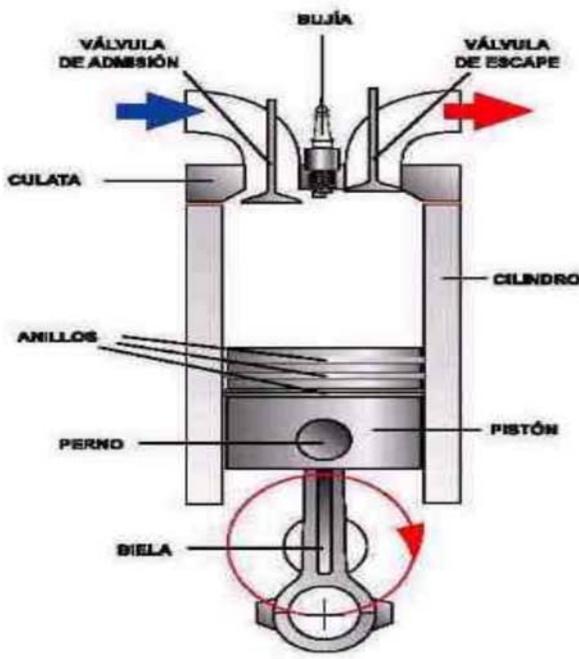


Fig. 4 Elementos constructivos de conjunto pistón-cilindro.

Ciclo teórico del motor de 4T: Beau de Rochas.

El primero en establecer la importancia de comprimir la carga del cilindro antes de la combustión fue el francés Alphonse Eugène Beau de Rochas, que había conocido y compartido estudios con Lenoir en París. En 1862, Beau de Rochas presentó en Francia la solicitud de la patente FR52593, que constaba de 151 páginas manuscritas en las que se trataban, en cuatro capítulos, aspectos tan variados como el misterio de Nilo o la trata de esclavos. El epígrafe ii del capítulo 2 tenía por título *Motor mixto a vapor o a gas. Dispositivo con compresión previa*. En la página 48 de su documento se lee textualmente:

“Así, para un mismo lado del cilindro, se llega naturalmente a ejecutar las siguientes operaciones, en un período de cuatro carreras consecutivas:

- 1° Aspiración durante una carrera completa del pistón.
- 2° Compresión durante la carrera siguiente.
- 3° Inflamación en el punto muerto y expansión durante la tercera carrera.
- 4° Expulsión del gas quemado fuera del cilindro en el cuarto y último retorno”.

Los procesos así descritos por Beau de Rochas conforman lo que actualmente se conoce como **ciclo teórico de volumen constante de cuatro tiempos**. La figura 5 representa las fases centrales de dicho ciclo (compresión, aportación de calor y expansión) dibujadas en un diagrama temperatura-entropía (T-s). En la misma figura se ha superpuesto el ciclo teórico que le correspondería a un motor de Lenoir que evoluciona entre las mismas temperaturas máxima y mínima. Puede apreciarse como la descomposición en ciclos elementales de Carnot conduce a un rendimiento térmico más alto del ciclo de Beau de Rochas que del de Lenoir.

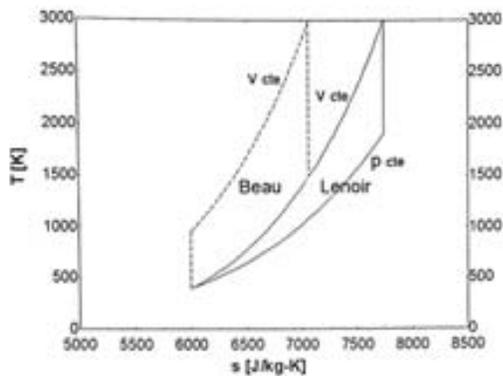


Fig. 5 Diagrama T-s de los ciclo de Beau de Rochas y Lenoir.

Beau de Rochas concebía una compresión sin combustión hasta el punto muerto superior y una autoinflamación instantánea de toda la mezcla en ese punto, anticipando así parte de las ideas que pondría en práctica Diesel más de 30 años después.

Beau de Rochas no llegó a pagar la tasa de publicación de su patente y su difusión se limitó a unos cientos de litografías del manuscrito encargado por él mismo. Tiempo después consagró su atención a otros aspectos como la propulsión a reacción o el transporte de corriente continua a largas distancias. Pero no llegó a llevar a efecto sus ideas sobre el ciclo de cuatro tiempos, vería su primera realización práctica gracias al alemán Nicolaus August Otto.

El primer motor de 4 tiempos: Otto.

Otto comenzó construyendo también motores de gas sin compresión previa. En 1864 se asoció con Eugen Langen y fundó la compañía

GasmotorenfabrickDeutz AG, en la que trabajaron después los también alemanes Gottlieb Daimeler y Wilhelm Maybach.

El motor de cuatro tiempos que se mencionaba en la introducción se patentó en Alemania en 1876 con la referencia DE 532.

La información termodinámica contenida en la patente de Otto resulta exigua, pero en la cuarta reivindicación se describen los procesos del ciclo. En la versión del privilegio real español ES 5479 PR, presentado también en 1876, dice textualmente:

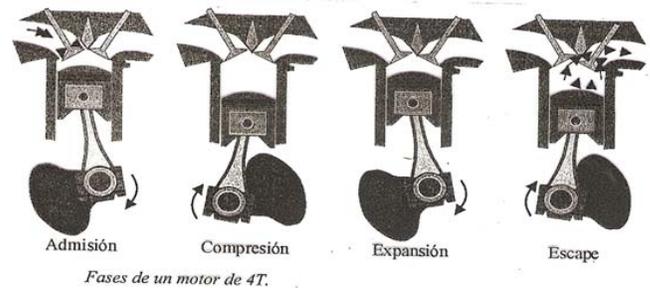


Fig. 6 Motor de cuatro tiempos "Ciclo de Otto".

...4° Establecer la acción del pistón de un motor de gas de llave, de modo que a cada dos vueltas de la llave se presenta de un solo lado del pistón los fenómenos siguientes:

- a) *Aspiración de los gases en el cilindro*
- b) *Su compresión*
- c) *Su combustión y su efecto*
- d) *Su evacuación fuera del cilindro...*

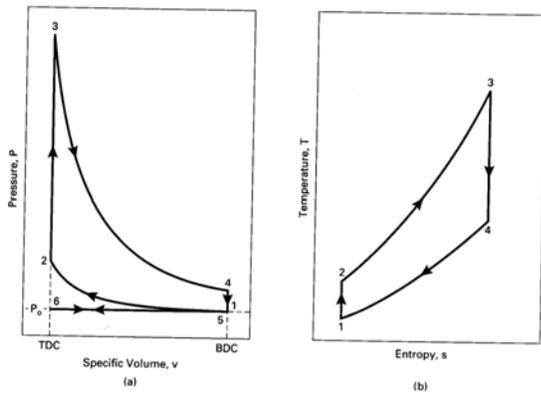


Fig. 7 Diagrama P-V y T-s para el ciclo de Otto.

Otto presentó durante su carrera profesional numerosas patentes relativas a perfeccionamientos de su motor y tuvo que enfrentarse a varios litigios por sus derechos. En 1884, la Asociación de Ingenieros Alemanes publicó en su revista de la patente francesa de Beau de Rochas. Los competidores de Otto usaron esa publicación para solicitar la nulidad de su patente alemana, alegando que el ciclo de cuatro tiempos ya estaba anticipado por el documento de Beau de Rochas y que, por tanto, la invención de Otto carecía de novedad motivo por el cual finalmente, en 1886, la patente alemana DE 532 fue revocada. En otros países, como el Reino Unido y los Estados Unidos, los competidores de Otto también intentaron anular su patente, si bien en estos casos no tuvieron la misma suerte que con la patente alemana. Especialmente significativa fue la decisión norteamericana, amparó a Otto de haber construido realmente el motor de cuatro tiempos. Como ya se ha mencionado, con el de Otto quedaron sentadas

las bases de los MCIAs tal y como los conocemos hoy en día.

Motores de encendido por compresión.

En 1884, Daimler, que se había marchado de Deutz en 1882 (junto con Maybach) por divergencias con Otto, solicitó la patente *Un nuevo motor de gas*, en España se clasificó con el número ES 4 410. La patente describía lo que se conoció más tarde como motor de cabeza caliente, que podría situar a mitad de camino entre Otto y el Diesel (que se estudiará a continuación). Según Daimler, su motor se regía por el siguiente principio de funcionamiento:

...Las paredes del espacio A adquieren, a las pocas repeticiones de dicho juego, una temperatura normal algo elevada, la cual, unida al efecto de la compresión, produce con regularidad la inflamación de la mezcla en, o alrededor del punto muerto superior de la cursa del pistón, según el principio confirmado por la experiencia, de que las mezclas combustibles, las que bajo presión puramente atmosférica no se inflamaría o quemaría con lentitud, al ser comprimidas rápidamente, queman, no solamente con rapidez, sino hacen explosión...

La figura 8 muestra un dibujo de la patente ES 4 410. Se trataba de un motor de encendido por compresión, si bien la compresión tenía lugar sobre la mezcla de aire y combustible,

mientras que Diesel en su motor propuso comprimir solamente aire.

termodinámica en los motores de combustión interna alternativos.

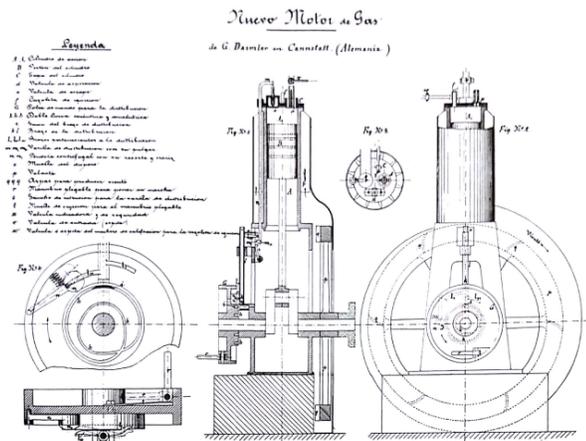


Fig. 8 Dibujos de la patente de Daimler ES 4 410.

En un próximo artículo, seguiremos desarrollando este apasionante tema de la

Referencias

1. F. Payri, J.M. Desantes. Motores de Combustión Interna Alternativos. Universitat Politècnica de Valencia, España 2011.
2. Richard Stone. Introduction to Internal Combustion Engines. 4a Edition. Palgrave macmillan. England 2012.
3. M. David Burghardt. Ingeniería Termodinámica. 2ª Edición. Editorial HARLA.

Alejandro Rojas Tapia

alerota@yahoo.com.mx

Profesor de la División de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería de la UNAM

El amor y la locura son los motores que hacen andar la vida.

Marguerite Yourcenar (1903-1987)

Los motores son como los hijos: uno es obediente y estudia, mientras que otro firma cheques y gasta sin parar

Enzo Ferrari (1898-1988)

La rapidez que es una virtud, engendra un vicio, que es la prisa.

Gregorio Marañón (1887-1960)

El contenido de los artículos publicados en este boletín es responsabilidad exclusiva de los autores.

Dudas o comentarios: velasquez777@yahoo.com.mx

Editor: M. en C. Q. Alfredo Velásquez Márquez