

Historia de los motores de combustión interna

*Jorge Enrique Gaviria Ríos**, *Jorge Hernán Mora Guzmán***
y *John Ramiro Agudelo****

(Recibido el 3 de agosto de 2001)

Resumen

En este artículo se hace un recuento cronológico de las tecnologías y eventos que influyeron en la evolución del motor de combustión interna, por medio de la observación de los trabajos realizados por científicos, empíricos e ingenieros, cuyos valores técnico y conceptual motivaron a otras personas para la búsqueda de un mejor desarrollo en ese campo de ingeniería.

----- *Palabras clave:* motor de combustión interna, evolución, máquina de vapor, historia, combustión, ambiente, polución, smog.

Internal combustion engines history –a review

Abstract

In this article, a chronological analysis of the technologies and events that any way influenced in the evolution of the internal combustion engine is done, everything it through the observation of the works carried out for scientific, empiric and engineers whose technical and conceptual value meant the motivation of other people for the search of a better development in this engineering field.

----- *Key words:* Internal combustion engine, evolution, steam engine, history, combustion, environment, pollution, smog.

* Profesor de la Facultad de Ingeniería (ejegr916@udea.edu.co).

** Ingeniero mecánico (ejhmg293@udea.edu.co).

*** Profesor de la Facultad de Ingeniería (radian@udea.edu.co).

Uno de los retos más importantes de la ingeniería es la transformación de las fuentes energéticas, que de manera tan pródiga nos ofrece la naturaleza, en aquellas formas que sean más fácilmente aprovechables para el hombre.

Desgraciadamente, la naturaleza suministra la energía en forma tal que se requiere de una serie de transformaciones básicas antes de poder contar con la energía disponible que habrá de brindar la posibilidad de efectuar un trabajo.

De esta manera, el hombre se ve forzado a utilizar y aprovechar la enorme reserva natural contenida en algunas sustancias como energías química o nuclear, las que pueden ser transformadas directamente en energía térmica. Este calor se aprovecha por algún mecanismo que participa en la transformación energética que, por medio de elementos de transmisión, lo convierten en trabajo; esos dispositivos son las máquinas térmicas.

A pesar del alto grado de complejidad y de la gran variedad de las máquinas existentes hoy día, sus principios elementales tienen aún como base los mismos de las máquinas fundamentales; esto es, la palanca, la rueda, el eje, la polea, la cuña y el tornillo. Estas seis máquinas elementales, que fueron inventadas hace miles de años, se repiten como componentes de las máquinas contemporáneas una y otra vez, pudiéndose asegurar que, en su parte mecánica, las máquinas modernas son básicamente la yuxtaposición repetida y congruente de las seis máquinas mencionadas.

Ahora bien, el camino hacia la máquina más compleja hubo de pasar por otras conquistas no menos importantes en la historia del conocimiento humano, como fueron el dominio del metal y su moldeado, hecho que se dio hacia el año 500 antes de Cristo en India, China y el Imperio Romano, cuando empezó a producirse el acero de una manera empírica [1].

Ese avance tecnológico en la historia trajo consigo el descubrimiento y la aplicación de los propulsores primarios: la rueda hidráulica primero, y un siglo más tarde el molino de viento (véase

se figura 1), que fueron las primeras máquinas complejas con las cuales el hombre empezó a producir trabajo mecánico en gran escala y ejemplificó los primeros intentos para un aprovechamiento racional de la energía natural.

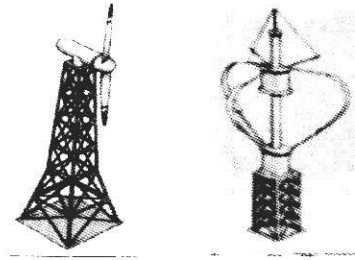


Figura 1 Modelos de molinos de viento [2]

El molino de viento fue conocido en Europa sólo en el siglo XII. Estos molinos, conocidos como molinos de poste, eran casetas de dos aguas apoyadas sobre un poste central de madera, cuyo cuerpo estaba provisto de aspas que encaraban el viento para girar. Los molinos de poste se difundieron rápidamente, debido a la escasez de mano de obra y de las necesidades de producción, especialmente para triturar granos, aserrar madera, cardar lana, preparar la seda y en trabajos de minería, entre otros. Los molinos de poste evolucionaron primero hacia los llamados de torre, de forma cilíndrica y fabricados de piedra o ladrillo, con techo cónico giratorio y, ya en el siglo XIX, hacia los diseñados por Halland Standard, con aspas metálicas y un timón que tenía la función de encarar automáticamente las aspas al viento [1].

Los impulsores mecánicos y las principales fuentes de energía alternativa fueron complementados durante la edad media, lográndose la fabricación de molinos tanto de harina como de minerales, sierras y filtros rústicos para la fabricación de papel, entre otros. Su eficiencia no era buena, pero fueron la base para mejorar y adquirir la tecnología que hoy día se domina.

Es sorprendente que, aunque ya se generaba energía mecánica a partir de las corrientes de

aire y de agua, como era lógico debido a su simpleza, se produjera energía mecánica partiendo de los combustibles fósiles sin tener unas bases sólidas en el estudio de la termodinámica, en las cuales se profundizó sólo en el siglo XIX [3].

Así, Herón de Alejandría fabricó hacia el siglo I (?) antes de Cristo la primera máquina térmica (véase figura 2), la cual consistía en una vasija de cobre llena de agua que al ser calentada liberaba vapor, el cual pasaba por un tubo hasta un globo hueco y salía a través de dos tubos dispuestos tangencialmente a éste, produciendo la rotación del mismo ante la sorpresa de los presentes. Esta fue una concepción adecuada para el principio motor de la turbina de vapor.

A pesar de la aparente simplicidad para el desarrollo de las turbomáquinas, no sorprende que

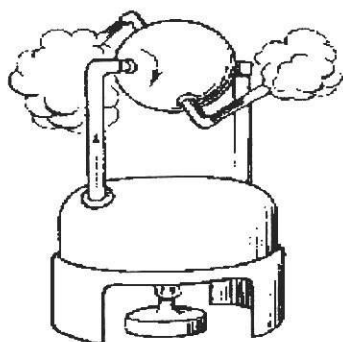


Figura 2 Descubrimiento de Herón de Alejandría (eolipila) [4]

hayan sido las máquinas de émbolo las que se construyeron primero sin el conocimiento de las leyes de la termodinámica; esto debido a que las primeras requerían mayor base científica que la existente en ese entonces. Por ejemplo, se dieron intentos como el de Giovanni de Branca (siglo XVII) quien trató de mover una rueda de paletas con un chorro de vapor procedente de una marmita, y el de Blasco de Garay (siglo XVI), marino español, que quiso impulsar una embarcación con un eolipila de gran tamaño, ambos con resultados negativos [3].

El advenimiento de nuevos inventos durante la Edad Media, trae consigo el conocimiento del vapor, de sus propiedades de expansión y del vacío que deja al condensarse en un recipiente cerrado. Lo que lleva al hombre al desarrollo práctico de las primeras máquinas térmicas, construidas con fines de trabajo y generación de energía.

La teoría del vapor había sido ya tratada por Galileo Galilei, Torricelli, Morland y Gauss, entre otros, durante el siglo XVII [5]. Por ejemplo existen documentos que indican que, hacia 1685, el físico Holandés Jan Christian Huyghens (1639-1695) y su ayudante francés, Denis Papín trataron de construir una máquina de combustión interna usando pólvora como combustible (véase figura 3); su invención incluía el mecanismo de pistón y cilindro, y además un elemento de suma utilidad como fue la válvula de seguridad [6]. Este invento duró casi un siglo y puede decirse que se constituyó en el primer intento de máquina térmica de combustión interna, pero lamentablemente la dificultad asociada con la renovación de la carga después de cada explosión y la falta de continuidad en el trabajo mecánico que se obtenía de esta máquina, hicieron que los esfuerzos se centraran más en el vapor como fluido de trabajo.

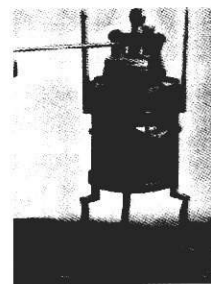


Figura 3 Descubrimiento de Denis Papín

El curso de la historia obliga a realizar un recorrido cronológico (que a efectos del objeto de este artículo será breve) por el vapor como motor del desarrollo humano, antes de entrar en el de los motores de combustión interna. Fue el inglés Thomas Savery quien a finales del siglo XVII

construyó la primera máquina de vapor, patentada en 1698 (véase figura 4). La máquina de Savery consistía de una bomba de succión provista de un cilindro, destinada a drenar las aguas de las minas de carbón. En realidad, ésta era una máquina muy simple, constaba de un tanque cerrado, que al ser llenado de vapor y condensado, por medio de agua, producía un vacío, mediante el cual el agua de las minas era succionada a un tanque para luego ser vaciada.

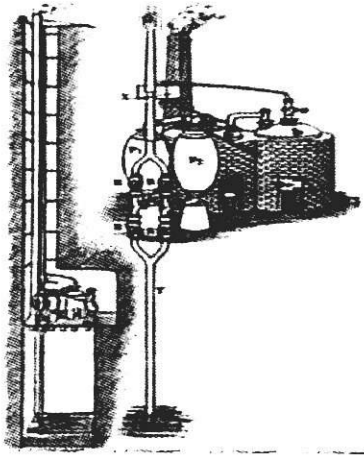


Figura 4 Máquina de Thomas Savery [7]

La limitación fundamental de esta máquina era la propia presión atmosférica, que era su límite máximo de acción (diez metros de columna de agua aproximadamente).

Pocos años más tarde, en 1705, el herrero Thomas Newcomen orientó sus trabajos de perfeccionamiento hacia un tipo de máquina nueva más versátil, la llamada “máquina de balancín” [8].

En la máquina de vapor de Newcomen (véase figura 5), el vapor, generado en una caldera situada bajo el cilindro de potencia, se introducía en éste, elevando el pistón hasta su máxima altura vertical. En este momento, se provocaba la condensación del vapor mediante una inyección de agua fría en el interior del cilindro, de modo

que por la acción de la presión atmosférica aplicada en la otra cara del pistón (de ahí el nombre de motor atmosférico), éste realizaba la carrera descendente de trabajo.

Las características de desempeño de esta máquina eran aproximadamente las siguientes [9]:

- 16 carreras por minuto.
- 6 caballos de vapor de potencia.
- Rendimiento térmico aproximadamente igual al 0,5%, que posteriormente con las mejoras introducidas por Smeaton subió hasta el 1%.

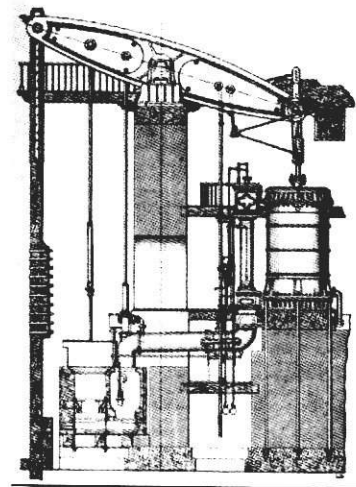


Figura 5 Máquina de Thomas Newcomen [10]

Con las bases teóricas de Papín y las aportaciones prácticas de Savery y Newcomen, el ingeniero y mecánico escocés James Watt, entre 1769 y 1800, realizó grandes modificaciones que redundaron en las mejores prestaciones de su máquina. Sus innovaciones consistieron en aprovechar el doble efecto de la presión del vapor, instalando a cada lado del cilindro una cámara de condensación y un compartimiento; en éste se realizaba el vacío provocado por la subida del pistón [5]. Entre las grandes aportaciones que hizo Watt al desarrollo de la ingeniería está la implementación de dispositivos de medición y la innovación de sistemas de control (véase figura 6).

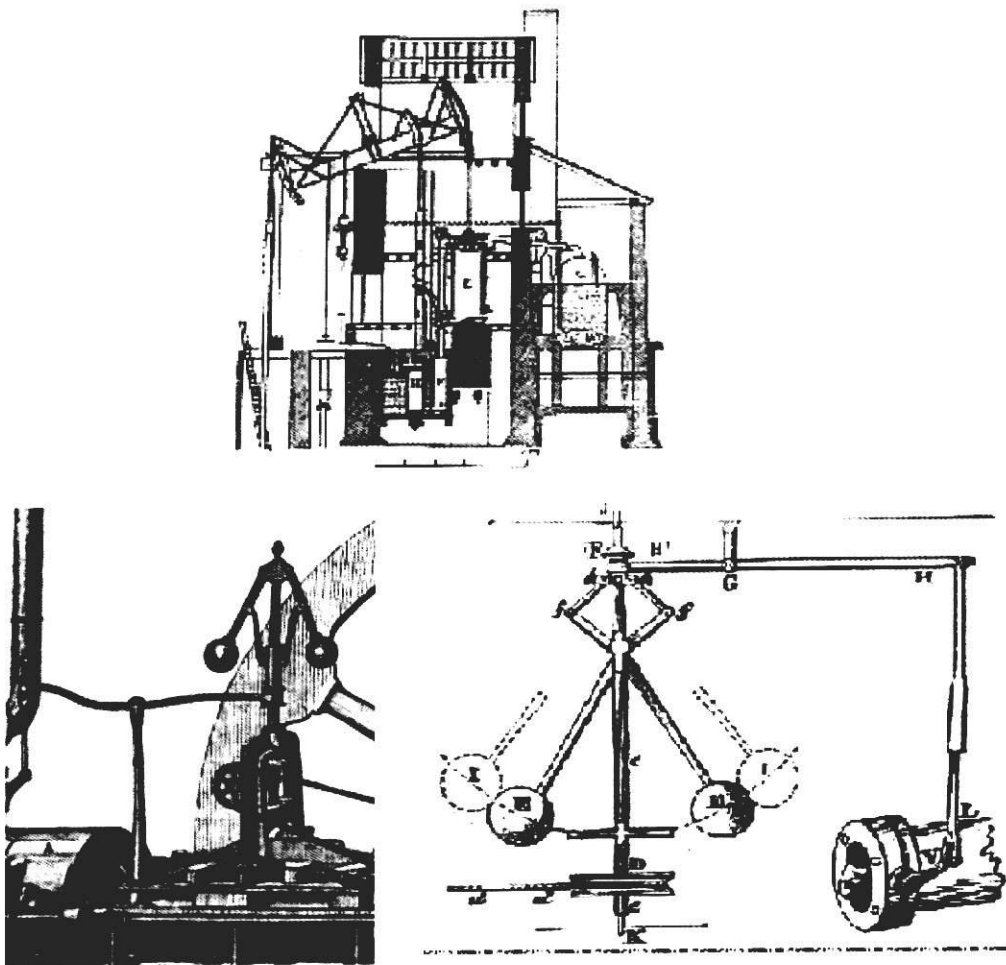


Figura 6 Regulador de Watt

El regulador que Watt adoptó en 1787, bien llamado “gobernador”, (abajo) y la aplicación de este diseño a la máquina de vapor, revisten una gran importancia en la historia de la técnica, ya que este hecho fue el que posibilitó la aparición de una numerosa gama de aparatos de control automático.

Los filósofos naturales del siglo XVIII tenían una curiosidad y una creatividad tan grande que los llevaron a experimentar con un nuevo proyecto de motor de combustión interna, aunque el único combustible conocido, disponible y barato en su tiempo fuera el carbón.

Otros intentos, ya no con el vapor como fluido de trabajo, se registraron en Inglaterra hacia 1794, cuando el mecánico Robert Street intentó construir un motor de explosión que funcionaba con hulla, pero el proyecto terminó sin éxito. Cinco años más tarde, en Francia, el ingeniero Philippe Lebon volvió a tratar de hacer un motor de

combustión interna, con un fracaso análogo al de sus predecesores [5].

La llegada del siglo XIX trajo consigo los primeros inventos del hombre en el terreno del transporte, teniendo como base la máquina de vapor desarrollada por Richard Thravenick en el año 1804 (véase figura 7), luego Thimoty Hackworth y William Hedley construyen una mejor versión y dan pie para la invención del buque de vapor por Robert Fulton, en 1807 [3].

Aunque se tuvo gran éxito con la máquina de vapor, también existieron alternativas diferentes

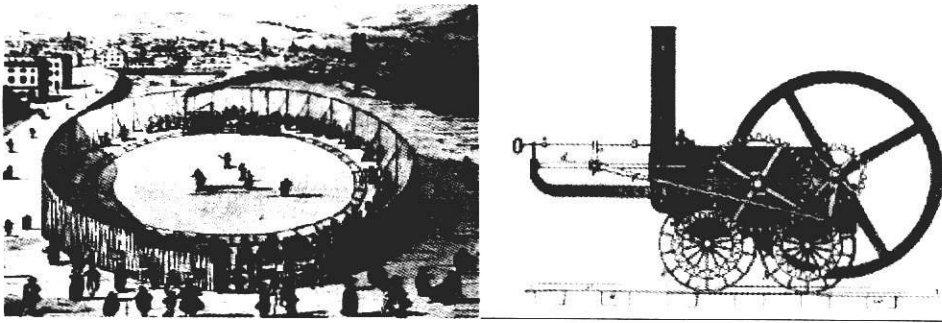


Figura 7 Máquina de vapor de Richard Thravenick [12]

para utilizar el vapor como fluido de trabajo, usando parámetros similares; lo que llevó a desarrollar los llamados motores de aire caliente. Fue así como el motor Stirling, el cual fue inventado por Sir Robert Stirling, fraile escocés, hacia 1816, en sus inicios compitió efectivamente con el motor de vapor, pero perdió interés después del desarrollo del motor de combustión interna, hacia finales del siglo XIX. Este motor está retomando importancia en los últimos años por varias características muy favorables que tiene, en particular:

- Rendimiento: el motor Stirling tiene el potencial de alcanzar el rendimiento de Carnot, lo cual le permite, teóricamente, alcanzar el límite máximo de rendimiento.
- Fuente de calor externa: este motor intercambia el calor con el exterior, por tanto se adapta a una gran gama de fuentes de calor para su operación. Se han construido motores Stirling que usan como fuente de calor la ener-

gía nuclear, la energía solar, los combustibles fósiles, el calor de desecho de procesos, entre otros. Al ser de combustión externa, el proceso de combustión se puede controlar muy bien, por lo cual se reducen las emisiones.

- Ciclo cerrado: el fluido de trabajo opera en un ciclo cerrado y la fuente de calor es externa. Esto hace que este motor tenga un nivel de emisiones potencialmente bajo.

Como contrapartida a esas características favorables, está el hecho de que el fluido de trabajo es gaseoso, lo cual acarrea dificultades operativas; en la práctica, se ha visto que los fluidos de trabajo viables son el hidrógeno y el helio; ambos por sus buenas propiedades termodinámicas.

Descripción del ciclo: el ciclo Stirling teórico (véase figura 8) está compuesto por dos evoluciones a volumen constante y dos evoluciones isotérmicas, una a T_C (temperatura del fluido de trabajo en el volumen mínimo) y la segunda a T_F

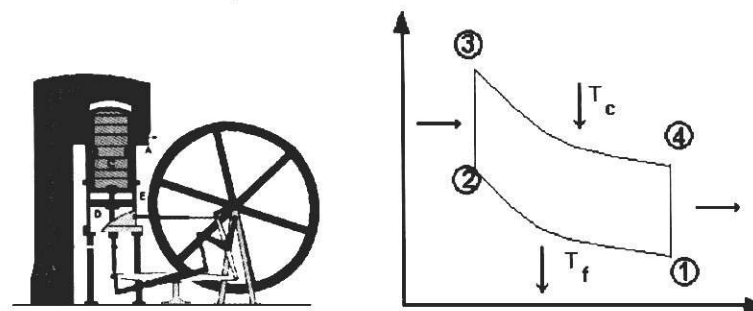


Figura 8 Motor Stirling y ciclo Stirling teórico [13]

(temperatura del fluido de trabajo en el volumen máximo). El fluido de trabajo se supone que es un gas perfecto. En el ciclo teórico hay un aspecto importante, que es la existencia de un regenerador. Este tiene la propiedad de poder absorber y ceder calor en las evoluciones a volumen constante del ciclo.

Si no existe regenerador el motor también funciona, pero su rendimiento es inferior. Hay algunos aspectos básicos por entender en la operación de un motor Stirling:

- El motor tiene dos pistones y el regenerador. El regenerador divide al motor en dos zonas, una caliente y otra fría.
- El regenerador es un medio poroso, capaz de absorber o ceder calor, y de conductividad térmica despreciable.
- El fluido de trabajo está encerrado en el motor, y los pistones lo desplazan de la zona caliente a la fría, o viceversa, en ciertas etapas del ciclo. Por tanto, se trata de un ciclo cerrado.
- Cuando se desplaza el fluido desde la zona caliente a la fría (o al revés), éste atraviesa el regenerador.
- El movimiento de los pistones es sincronizado para que se obtenga trabajo útil.
- Se supone que el volumen muerto es cero y el volumen de gas dentro del regenerador es despreciable, en el caso del ciclo teórico. Como en el ciclo real esto no ocurre, el rendimiento es algo inferior.
- En el ciclo teórico se supone que la eficiencia del regenerador es de 100%. Es decir, devuelve todo el calor almacenado y, además, con recuperación total de temperaturas.

Por consiguiente, si el regenerador es 100% eficiente, el motor Stirling tiene el potencial de alcanzar el rendimiento de Carnot, como ya se mencionó anteriormente.

Durante esta época se da el perfeccionamiento de las herramientas y de las máquinas-herramientas, lo que sumado al conocimiento del petróleo y los combustibles le abre el horizonte al hombre para construir la máquina de combustión de vapor o de combustión externa, que requería de una caldera para su funcionamiento. El tamaño de la caldera limitó las aplicaciones de la máquina de vapor en los medios de transporte.

El automóvil requería un principio más eficiente y práctico, pero el tiempo propicio para los motores de combustión interna no había llegado aún.

Otros intentos posteriores con el principio del motor Stirling los harían W. Lehmann, hacia 1860, quien diseñó un motor sin regenerador y, más tarde, hacia 1876, A. K. Rider desarrollaría otra modificación, separando ambos pistones, los cuales estaban conectados por medio del regenerador.

Con el avance en el estudio de la energía y de las propiedades termodinámicas de los gases, el ingeniero Wilhelm Schmidt, en Alemania, pudo establecer en 1816 las condiciones teóricas y los procesos básicos para el funcionamiento de los motores de combustión interna.

Hacia 1854 el presbítero Eugenio Barsanti y Felipe Matteuci (Italia) presentaban, como invento propio, el primer motor de combustión interna que llegaba a operar en forma permanente y práctica que se recuerde en la historia [8].

Entre 1856 y 1862, el ingeniero Francés Beau de Rochas (1815-1891), siguiendo la gran tradición analítica de los ingenieros de l'Ecole Polytechnique, hace varias investigaciones que publica en un pequeño libro en el que, basándose en los principios de la termodinámica de la época, estableció un ciclo teórico de procesos termodinámicos de un gas en un cilindro rígido, que sería capaz de sustentar el funcionamiento de una máquina de combustión interna de cuatro tiempos, funcionando con gas combustible, que fuera eficiente. De Rochas nunca llegaría a construir dicha máquina.

Corresponde al francés Joseph Etienne Lenoir (1822-1900) la fabricación del primer motor de combustión interna, en 1859 (véase figura 9), no era muy eficiente (5%), pero incluía una bujía para el encendido de la mezcla. Este motor era de un solo pistón y un solo tiempo. Para regresar el pistón, había que hacer otra combustión del otro lado del mismo, por lo que necesitaba dos sistemas de ignición, que Lenoir resolvió usando un solo alambre que abarcaba ambos lados del pistón. Este motor, que era movido por gas de carbón mezclado con aire, fue de tipo experimental y dio la pauta para que otros ingenieros profundizaran en los motores de explosión que vendrían después. Sus posibilidades de uso práctico quedaron demostrados al año siguiente (1860), cuando se pudo construir el primer coche sin caballos que usaba un motor de combustión y no un motor de vapor, como el que construyera, en 1767, Joseph Nicolas Cugnot, también en Francia [5].

La ocasión ya estaba madura para volver a intentar la construcción de coches autopropulsados con un motor de combustión interna. En Europa y en Estados Unidos se había generalizado ya el uso de los derivados del petróleo, como combustibles para calderas y lámparas de iluminación. Ya podía pensarse en motores de combustión que

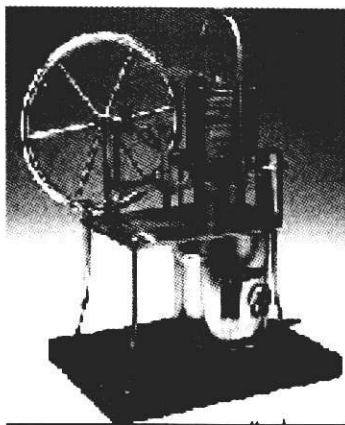


Figura 9 Máquina de Joseph Etienne Lenoir (1822-1900) [5]

usaran kerosene, gasolina u otro derivado del petróleo. En esas condiciones propicias, el mecánico alemán Siegfried Marcus, construyó en 1864 su primer coche con motor de gasolina y lo probó satisfactoriamente, pero que decidió seguir perfeccionando en los años posteriores, hasta 1875, cuando hubo de abandonar esta tarea por falta de recursos financieros.

Hacia 1867, el ingeniero Alemán Nikolaus August Otto (1832-1891), ayudado por su auxiliar mecánico E. Langen, desarrolló un motor de combustión que superaba ligeramente el de Lenoir, aprovechando el movimiento de un pistón libre para generar trabajo, pero seguía siendo un motor de los denominados atmosféricos, ya que no incluían compresión previa de la mezcla. Otto continuó su trabajo de investigación y fue así como logró, en 1876, construir el primer motor de cuatro tiempos de la historia (véase figura 10). Este motor, que utilizaba los principios descritos por De Rochas, admitía en una carrera la carga de aire y gas de carbón, luego, en otra carrera la comprimía, y después de una explosión se producía la carrera de expansión. No obstante haber sido el primero en construir este tipo de motores, su patente fue demandada años más tarde y, en efecto, le fue denegada su validez en Alemania hacia 1884. A pesar de esto, la historia le atribuye los créditos a Otto, justificando este hecho en que fue el primero en construirla.

El interés por hacer y mejorar motores de combustión, había prendido en Francia, Alemania e Inglaterra. George Brayton inventó en Gran Bretaña, en 1873, el motor que lleva su nombre, movido por kerosene. En 1876, el ingeniero escocés Dugald Clark (1854-1932), construyó el primer motor de gas, de dos tiempos, que lleva su nombre [5].

Una variante del motor de combustión interna fue presentada por el ingeniero alemán Rudolf Diesel (1858-1913). Conocido como el motor Diesel, este invento lo desarrolló durante los años 1893 y 1898; consistía en utilizar el calor del aire altamente comprimido para encender una carga de combustible inyectada en el cilindro, lo que

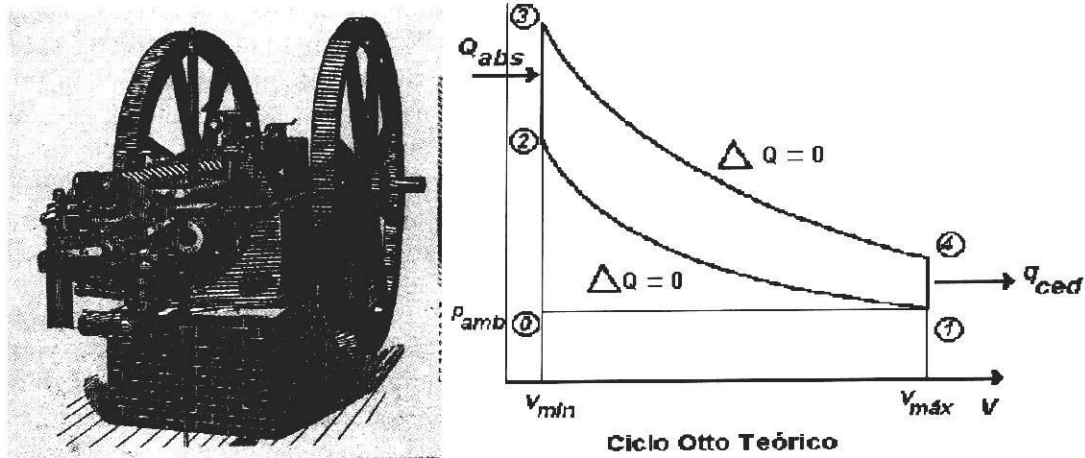


Figura 10 Motor y ciclo de Otto general [14]

permitió doblar la eficiencia por encima de otros motores de combustión interna de la época, mediante relaciones de compresión mayores, sin detonación o golpeteo, que era el problema que tenían hasta entonces los motores tipo Otto, en los cuales no se había logrado superar la relación de compresión de 1:4. Cuando, en 1897, el ingeniero Rudolf Diesel presentó su primer motor práctico, ya se estaba experimentando con motores eléctricos para las locomotoras, pero la potencia de la máquina Diesel poco a poco fue ganando terreno, especialmente en líneas de largo recorrido y escaso tráfico.

Uno de los más recientes desarrollos ha sido el motor de combustión interna rotativo. Aunque una amplia variedad de motores rotativos experimentales han sido propuestos a través de los años, el primer motor de combustión interna rotativo práctico, el Wankel, se probó con éxito en 1957. Ese motor, que evolucionó a través de muchos años de investigación y desarrollo, estaba basado en los planos del inventor alemán Felix Wankel.

Los combustibles también han tenido gran impacto en el desarrollo del motor. Los primeros motores quemaban gas de carbón para generar potencia mecánica. La gasolina y derivados ligeros del petróleo, estuvieron disponibles a fina-

les de 1800. Varios tipos de carburadores fueron desarrollados para vaporizar el combustible y mezclarlo con aire. Antes de 1905 existían pocos problemas con la gasolina y los combustibles de que se disponía eran altamente volátiles, permitiendo un fácil encendido en frío y tenían buen desempeño en el motor; sin embargo, las relaciones de compresión eran muy bajas (cuatro o menos) para reducir el golpeteo, pero impedían aumentar la potencia y la eficiencia del motor. Una seria escasez de petróleo crudo produjo el aumento de la demanda de gasolina entre 1907 y 1915 y la producción de petróleo tuvo que ser incrementada. Por medio del trabajo de William Burton (1865-1954) y la empresa Standard Oil, en Indiana (EE.UU.), se desarrolló un proceso de craqueo térmico, por medio del cual los crudos pesados fueron calentados bajo presión y descompuestos en derivados menos complejos y más volátiles. Este proceso cubrió la demanda de gasolina, pero sus altos puntos de ebullición crearon problemas de arranque en frío. Afortunadamente, en 1912 los encendidos eléctricos hicieron su aparición y fueron la solución para este problema.

El período siguiente a la Primera Guerra Mundial mostró mejoras en los estudios acerca de la forma como los combustibles afectan la com-

bustión, en especial el problema del golpeteo. El efecto antidetonante del tetraetilo de plomo fue descubierto por General Motors, y estuvo disponible comercialmente, como aditivo para la gasolina en Estados Unidos, en 1923. A finales de los años treinta, Eugene Houdry encontró que aceites vaporizados pasados a través de un catalizador activado a una temperatura entre 450-480 °C se convertían en gasolina de alta calidad y superaban la producción por craqueo. Éstos y otros avances permitieron que combustibles con mejores propiedades antidetonantes fueran producidos en grandes cantidades, además, las relaciones de compresión aumentaron notablemente, mejorando la potencia y la eficiencia.

Durante las pasadas tres décadas, han surgido dos nuevos factores que afectan significativamente el diseño y desempeño del motor. Estos factores son:

- El control de las emisiones contaminantes.
- La reducción del consumo de combustible.

El problema de la contaminación del aire apareció en Los Ángeles en los años cuarenta. Se identificó la principal fuente de contaminación del aire en los vehículos, ya que esta ciudad tenía muy poca industria. En 1952, fue demostrado por el profesor A. J. Haagen-Smit que el problema del *smog* (*smoke* + *fog*) era el resultado de las reacciones entre los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos, en presencia de luz solar (contaminantes foto-reactivos).

A raíz de lo anterior, fue evidente que el automóvil era el mayor contribuyente de emisiones de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno, y también el principal responsable de los altos niveles de monóxido de carbono en las áreas urbanas. Como resultado de estas investigaciones, se introdujeron normas de emisiones para los automóviles inicialmente en California y posteriormente en todo Estados Unidos, Japón y Europa, en estos últimos incluso para motores de combustión in-

terna destinados a otras aplicaciones. Gracias a la implementación de catalizadores en los sistemas de escape y a la normatividad acerca de la gasolina sin plomo, se han logrado reducciones sustanciales en las emisiones de motores de gasolina y diesel. El control de emisiones y estas mejoras en los combustibles han producido significativos cambios en los parámetros de operación y diseño de los motores de combustión interna.

Los motores de combustión interna son también una fuente importante de ruido. Hay varias fuentes de ruido en el motor: el sistema de escape, el sistema de admisión, el ventilador usado para la refrigeración del motor y la culata del motor. El ruido puede generarse por efectos aerodinámicos, puede deberse a fuerzas que resultan del proceso de combustión o como resultado de la excitación mecánica de los elementos del mismo.

Muchas investigaciones sobre el uso de combustibles alternativos al diesel y a la gasolina se están realizando, entre ellos combustibles como el gas natural, el etanol, el metanol, los combustibles no derivados del petróleo (de origen vegetal), la gasolina sintética y el hidrógeno son las posibles opciones [15].

Comentarios

Es interesante ver cómo en los motores de combustión interna, que llevan aproximadamente 125 años desde su invención, no se haya logrado grandes mejoras en su rendimiento (de 11% a máximo 30% para motores de encendido por chispa), a pesar de los avances y desarrollos tecnológicos que existen hoy día, y considerando la cantidad de aplicaciones que se verían beneficiadas por una mejora sustancial en este aspecto; sólo se puede pensar en que han existido factores que hacen que estos avances se den a un ritmo menor del esperado, entre otros:

- *Las legislaciones referentes a los controles de emisiones, ya que éstas han hecho que se le dé más atención a la reducción de*

los niveles de emisión de contaminantes, lo que implica también que las investigaciones en el campo de las mejoras en el consumo de combustible del motor sean aun más difíciles de superar.

- *La irreversibilidad del proceso*, pues el nivel de degradación en el proceso de conversión de energía inherente a la combustión es alto, y sólo hace poco tiempo se ha logrado construir un puente entre la energía química contenida en el combustible y la energía mecánica, sin pasar por la combustión, esto por medio de las denominadas *celdas de combustible*, las cuales realizan dicha transformación energética directamente a energía mecánica a través de reacciones electroquímicas, y llevan a cero el factor de contaminación, debido a que no se quema combustible fósil.
- *La búsqueda de un desarrollo sostenible*, que ha centrado la mirada de la comunidad científica en el desarrollo de fuentes de energía alternativa más limpias que posean características de comportamiento simbiótico entre el ambiente, la naturaleza y el avance tecnológico del ser humano.

Sorprende el proceso de recurrencia que se da actualmente en el desarrollo de la historia de los motores de combustión interna, pues, debido a la situación ambiental que el hombre ha generado desde tiempo atrás, se ha visto en la necesidad de recurrir a la producción de energía por medio de métodos empleados anteriormente, pero utilizando en ellos los avances tecnológicos actuales, como es el caso de los generadores de viento; incluso se están implementando mejoras en el motor Stirling o de aire caliente, que antes había

sido desplazado por el motor de combustión interna, todo con el fin de reducir el deterioro ambiental generado por los productos de la combustión.

Referencias

1. Los grandes inventos. *La gran aventura del ingenio humano*. Colombia: El Colombiano. 1996. pp. 124-126.
2. <http://www.engr.udayton.edu/faculty/jkissock/http/mee301/301main.htm>.
3. Burón J. M. *Evolución histórica de las máquinas y motores térmicos*. ETSII. Universidad Politécnica de Madrid.
4. <http://www.engr.udayton.edu/faculty/jkissock/http/mee301/301main.htm>.
5. Quiroga Arreola, Luis Francisco y Roselló C., Francisco. *Energía y máquinas térmicas*. México: Editorial Limusa. 1983. p. 13.
6. O'Brien, Robert. *Máquinas*. México. 1966. Time. p. 200.
7. <http://www.museoscienza.org/energia/vapore/savery.html>.
8. Poveda Ramos, Gabriel. "Los motores de explosión y su ingreso a Colombia". En: *Revista Ingeniería Mecánica UPB*. Medellín, Colombia: No.17. 1993. p. 11.
9. Burón J. M. *Op. cit.*, p. 26.
10. <http://www.museoscienza.org/energia/vapore/savery.html>.
11. Quiroga Arreola, *Op. cit.*, p. 18.
12. <http://www.uh.edu/engines/epi482.htm>.
13. <http://www.cec.uchile.cl/~roroman/cap10/stirling.html>.
14. <http://www.cec.uchile.cl/~roroman/cap10/mot~otto.html>.
15. Heywood, John. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. Madrid. McGraw-Hill. 1988. pp. 4-5.