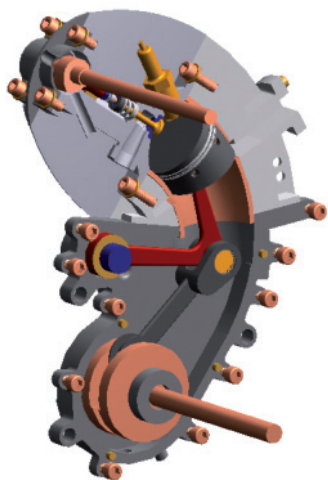


Diseño de un nuevo motor de explosión de dos tiempos con etanol como combustible



Rubén Lostado-Lorza*

Pedro María Villanueva-Roldán**

Doctor Ingeniero Industrial

Doctor Ingeniero Industrial

* UNIVERSIDAD DE LA RIOJA. Dpto. de Ingeniería Mecánica. Avenida de la Paz, 93 - 26006 Logroño. Tel: +34 941 299527. ruben.lostado@unirioja.es

** UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA. Dpto. de Proyectos e Ingeniería Rural. Campus de Arrosadia, s/n - 31006 Pamplona. Tel: +34 948 169239. pedro.villanueva@unavarra.es

Recibido: 15/09/2011 • Aceptado: 07/12/2011

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/4383>

DESIGN OF A NEW TWO STROKE ENGINE THAT USES ETHANOL AS FUEL

ABSTRACT

- Currently, most single or multi-cylinder internal combustion engines mounted on commercial vehicles are based on the Crankshaft-Rod-Piston mechanism. This mechanism allows the piston both to rotate with respect to the rod and to friction with the walls of the cylinder as it moves inside. The friction between the piston and the walls of the cylinder may cause excessive wear inside the cylinder or on the piston itself, and in the worst of cases, a binding (or seizure) of the piston in its path. In order to reduce wear and avoid undesirable seizure, the engine requires efficient lubrication circuits, which should provide a long lasting lubricating film between the cylinder walls and the piston. This article shows the design of a new combustion engine that replaces the traditional Crankshaft-Rod-Piston mechanical system (in which the piston moves with alternative rectilinear motion) with a system in which the piston moves with alternative circular motion. In this new system, the piston is jointly attached to the rod in such a way that it eliminates rotation and avoids contact with the inner walls of the cylinder. This restriction on rotation reduces both the wear of the piston and cylinder as well as lubricating oil consumption. The designed motor runs with ethanol, and the thermodynamic cycle is that of a two-stroke engine. In this engine, the air-fuel mixture intake is made by side lights, while a valve located at the top of the hemispherical combustion chamber is used for the exhaust of combustion gases
- **Keywords:** Internal Combustion Engine, Ethanol, 2-stroke thermodynamic cycle.

RESUMEN

Actualmente, el mecanismo en el cual están basados la mayoría de los motores de explosión mono o pluricilíndricos y que montan los vehículos convencionales, es el tradicional mecanismo cigüeñal-biela-pistón.

En este mecanismo, el pistón tiene la posibilidad de girar con respecto a la biela y de friccionar con las paredes del cilindro a medida que éste se desplaza por su interior.

La fricción entre el pistón y las paredes del cilindro puede ocasionar un desgaste excesivo tanto del interior del cilindro como del propio pistón, y, en el peor de los casos, incluso un atascamiento (o gripaje) del pistón en su recorrido o carrera.

Para reducir este desgaste y evitar los indeseables gripajes, los motores requieren de sofisticados circuitos de engrase, los cuales han de proporcionar una película lubricante homogénea y constante entre las paredes del cilindro y las paredes del pistón.

En este artículo, se ha diseñado un nuevo motor de explosión reemplazando el mecanismo cigüeñal-biela-pistón tradicional, en el que el émbolo se desplaza con un movimiento alternativo rectilíneo, por un sistema en el que el émbolo describe un movimiento alternativo circular.

En este nuevo sistema, el pistón está unido rigidamente a la biela mediante pasadores,

suprimiendo el giro del pistón y evitando su contacto con las paredes interiores del cilindro. Esta restricción de giro, reduce tanto el desgaste del pistón y del cilindro como el consumo de aceite lubricante. El motor diseñado funciona con etanol, y su ciclo termodinámico es el de un motor de dos tiempos. En este motor, la admisión de la mezcla aire-combustible se realiza mediante lumbreras laterales y el escape de los gases productos de la combustión a través de una válvula situada en la parte superior de la cámara de explosión hemisférica.

Palabras clave: motor de explosión, etanol, ciclo termodinámico de 2 tiempos.

1. INTRODUCCIÓN

Un concienciamiento cada vez mayor por parte de los usuarios a unas limitaciones legales de emisión de contaminantes cada vez más exigentes (Directiva 98/69/CE) fuerza los fabricantes a producir motores más eficientes y con un menor consumo de aceite y de combustible. La utilización de biocombustibles en lugar de combustibles fósiles ayuda en gran medida a cumplir con estos niveles legales de emisión.

El consumo de etanol reduce la emisión de gases de efecto invernadero entre un 40% y un 80% con respecto a los combustibles fósiles, lo cual lo convierten en un buen candidato como sustituto de los combustibles fósiles. Este biocombustible es muy consumido actualmente en Brasil y Estados Unidos, pero en Europa su uso no está tan extendido como puede ser el del biodiesel, a pesar de ser técnica y económicamente viable, como así lo demuestran numerosos estudios (Hernández, 2009; Ventura, 2003).

Los ciclos termodinámicos en los cuales están basados la mayor parte de los motores actuales, tanto si utilizan combustibles fósiles o biocombustibles, son: el ciclo de cuatro tiempos, desarrollado por **Nikolaus August Otto** en 1876 y el ciclo de dos tiempos, desarrollado unos años después por **Dugald Clerk** en 1881. Estos ciclos termodinámicos normalmente se realizan en motores que funcionan con el mecanismo tradicional cigüeñal-biela-pistón. En 1924 **Felix Wankel** desarrolló un motor rotativo (*Wankel*) de cuatro tiempos, que supuso un cambio sustancial en el mecanismo tradicional cigüeñal-biela-pistón, utilizado hasta entonces desde las antiguas máquinas de vapor.

Hoy en día, la mayor parte de los motores actuales basan su funcionamiento en el mecanismo cigüeñal-biela-pistón y en los ciclos termodinámicos de dos y cuatro tiempos sin apenas haber sufrido cambios sustanciales en su diseño original, a pesar de haber sido desarrollados hace más de un siglo.

En este artículo se muestra el proceso de diseño y de desarrollo de un nuevo tipo de motor que funciona con un ciclo termodinámico de dos tiempos. En este nuevo motor, el sistema clásico alternativo cigüeñal-biela-pistón ha sido reemplazado por un sistema alternativo - rotativo a fin de

reducir el desgaste y el consumo de aceite. El motor diseñado, a pesar de ser un motor de dos tiempos, utiliza etanol como combustible en lugar de una mezcla de combustible y aceite lubricante como así ocurre en los motores de dos tiempos convencionales.

2. PROCESO DE DISEÑO DEL MOTOR

El proceso que se siguió para diseñar el nuevo motor fue el siguiente: en primer lugar, se estableció una cilindrada y un número de vueltas máximas de eje cigüeñal habituales para motores de pequeña y media cilindrada. Seguidamente, se estudiaron los ciclos termodinámicos de dos y cuatro tiempos a fin de seleccionar el más apropiado para un motor que funcionase con etanol y con las características técnicas previamente establecidas. A partir de un cálculo termodinámico teórico, se determinaron las presiones y temperaturas teóricas en la cámara de explosión en función de los grados de eje cigüeñal girados. Estas presiones y temperaturas teóricas obtenidas fueron utilizadas como condiciones de contorno en cálculos posteriores.

Seguidamente, se plantearon varias condiciones de funcionamiento (en régimen transitorio y en régimen permanente), considerando siempre el número de vueltas de eje cigüeñal máximo de diseño.

A continuación, se generó un primer modelo de mecanismo de motor alternativo - rotativo que contemplaba todas las condiciones de funcionamiento establecidas. Este modelo se analizó en un *software* de simulación de dinámica multicuerpo (*Multibody Dynamics*).

De este primer modelo, se obtuvieron las resultantes de fuerzas que actúan sobre cada una de las piezas que componen el motor. Estas fuerzas son el resultado de la combinación de las fuerzas de inercia, de las fuerzas de reacción entre piezas y de las fuerzas exteriores sobre el propio motor (presión sobre el pistón). A partir de estas resultantes de fuerzas, se analizaron todas las piezas del motor con un *software* de elementos finitos. De este análisis se obtuvieron básicamente las tensiones, las deformaciones y las temperaturas.

Algunas de las piezas del motor (culata, pistón, camisa y cilindro) fueron analizadas mediante simulaciones Térmico-Estructurales acopladas al considerar que estaban sometidas a un campo de temperaturas lo suficientemente elevado como para afectar a su estado tensional. El resto de piezas (biela, biela en uve y cigüeñal) fue analizado mediante un análisis estructural, ya que las temperaturas alcanzadas por estas piezas fueron mucho más inferiores.

Una vez analizadas todas las piezas que componen el motor, y ajustadas las principales geometrías del mismo (carreras, diámetros de cilindro, dimensiones de válvula de escape y dimensiones de las lumbreras de admisión), se estudió el proceso de llenado por las lumbreras y el proceso de descarga de los gases de escape por la válvula de la cámara de explosión. En este estudio, se utilizó *software* de simulación de dinámica de fluidos computacional (*Computational Fluid*

Dynamics CFD) y se centró básicamente en el proceso de llenado y vaciado de los gases del cilindro.

En los siguientes apartados del artículo, se detalla el proceso de diseño y desarrollo seguido. El artículo finaliza con una comparativa entre el nuevo motor de etanol diseñado y un motor convencional de gasolina, citándose las ventajas e inconvenientes más significativas.

3. DISEÑO DE DETALLE DEL MOTOR

Las dimensiones generales del motor fueron el punto de partida para esta fase de diseño de detalle. En este caso, se optó por una velocidad máxima de eje cigüeñal de 4000 R.P.M, una cilindrada media de 154 c.c., un diámetro del pistón de 60 mm, una longitud de carrera de 54,5 mm., y un volumen de cámara de explosión de 19,5 c.c. De estas dimensiones básicas se deduce que la relación de compresión es de 9.

3.1. ELECCIÓN DEL CICLO TERMODINÁMICO MÁS APROPIADO

En este punto, se estudiaron los ciclos termodinámicos de dos y cuatro tiempos y se seleccionó el mejor de ellos a fin de que funcionase en un motor con las características generales establecidas (dimensiones generales y etanol como combustible).

Se sabe, que la utilización de etanol como combustible, presenta una serie de ventajas e inconvenientes con respecto a los combustibles convencionales derivados del petróleo. Básicamente, las ventajas son:

- Disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero (CO_2 , SO_2).
- Relación de compresión de 9 para los motores de etanol. En los motores de gasolina, la relación de compresión puede variar entre 6 y 12 en función de las prestaciones del motor y del aditivo antidetonante añadido al combustible. Este aumento en la relación de compresión, frente a algunos de los motores que funcionan con gasolina, supone un aumento del η térmico (rendimiento térmico) del motor y, por consiguiente, del η global (rendimiento global).
- Una temperatura de autoinflamación inferior con respecto a la gasolina, lo cual hace mucho más segura su manipulación y almacenamiento (la temperatura de inflamación de la gasolina de $232,2^\circ\text{C}$ frente a la del etanol que es de $423,8^\circ\text{C}$).

En cuanto a los inconvenientes más importantes:

- Un poder calorífico inferior con respecto al de los combustibles derivados del petróleo.
- Imposibilidad de disolver aceites lubricantes a fin de lubricar piezas móviles como sucede en los motores de ciclo termodinámico de dos tiempos con el engrase del eje cigüeñal y la biela.

Como se ha mencionado, el etanol tiene un poder calorífico inferior al de los combustibles derivados del

petróleo. Este inconveniente supone que para el motor de etanol planteado (con una cilindrada de 154 c.c.) la mejor opción, a fin de obtener una mayor potencia por ciclo y por masa del motor, es la de desarrollar un ciclo termodinámico de dos tiempos en lugar de cuatro tiempos. Es bien conocido que un motor con un ciclo termodinámico de dos tiempos genera aproximadamente el doble de potencia por ciclo que un motor con un ciclo termodinámico de cuatro tiempos de la misma cilindrada.

Todos los motores actuales de ciclo termodinámico de dos tiempos de gasolina funcionan con una mezcla de aceite-combustible (normalmente, al 2%). Una parte del aceite lubricante disuelto en el combustible lubrica las piezas del motor (cigüeñal, biela y pistón) y, otra parte, es quemado en cada una de las explosiones del motor. El etanol, al contrario que en todos los combustibles derivados del petróleo, es incapaz de disolver este aceite lubricante, por lo que no es posible lubricar el motor mediante aceite disuelto en el combustible.

La alternativa propuesta para lubricar este nuevo motor es la de almacenar el aceite lubricante en un cárter estanco (como en los motores de cuatro tiempos) y no disuelto en el combustible (como en los motores de dos tiempos). El cigüeñal, biela y pistón se lubrican por salpicadura con el aceite del cárter, y el árbol de distribución se lubrica con el aceite bombeado con una bomba de engranajes situada en la parte inferior del cárter. El ciclo de compresión del motor de etanol se realiza en el exterior con un compresor de lóbulos.

3.2. PLANTEAMIENTO DEL MECANISMO ALTERNATIVO-ROTATIVO

Una vez seleccionado un ciclo termodinámico de dos tiempos como el ciclo más apropiado para este motor y para este combustible, se propone un mecanismo alternativo y rotativo como una variante del antiguo mecanismo cigüeñal-biela-pistón. En la Figura 1a, se muestra el conjunto motor diseñado, y se aprecia el cilindro, los cárteres y el mecanismo alternativo y rotativo. Así mismo, la Figura 1b muestra una vista explosionada del conjunto de piezas que componen este mecanismo.

Este mecanismo está formado por un elevado número de piezas que interactúan de la siguiente manera:

La palanca (J) está ligada en un extremo a un punto fijo del cárter (L) sobre el cual puede girar y, en su otro extremo, está unida rigidamente con el pistón (O) mediante dos bulones (N). A su vez, esta palanca (J) está unida en su punto medio a la biela (E) mediante el bulón apoyo palanca (G). La unión de esta biela (E) con el cigüeñal (A) se realiza mediante el bulón cabeza de biela (B).

Tal y como se ha diseñado este mecanismo, el pistón se ve obligado a describir un movimiento alternativo circular por el interior del cilindro del motor en torno a un eje fijo (L). La palanca realiza un movimiento de giro en torno a este mismo eje (L) y la biela está ligada al cigüeñal (A) y a la palanca (J) permitiendo su giro sobre estos dos puntos.

Se puede deducir que este nuevo mecanismo planteado

evitaría los indeseables cabeceos del pistón a lo largo de su trayectoria en el interior del cilindro, ya que gira solidario con la biela, consiguiendo de esta forma que el cilindro y el pistón nunca estén en contacto mecánico. La eliminación de este contacto supondría una disminución considerable en el desgaste y en las pérdidas de energía por fricción del motor, evitando las graves averías de “gripados” o agarrotamientos del motor.

La incorporación de una nueva biela (o palanca según la Figura 1b) en el motor planteado, tiene el inconveniente de aumentar el número de piezas móviles y, por lo tanto, su complejidad mecánica. No obstante, este aumento en la complejidad mecánica del motor es suplido por la reducción del contacto mecánico entre las paredes del pistón y de la camisa del cilindro.

La Figura 2a muestra el conjunto motor visto desde el exterior. En esta figura se aprecia la culata, el cilindro y los cárteres, así como las aletas de refrigeración que rodean el cilindro. En la Figura 2b se observa una vista seccionada del conjunto del motor. Se puede apreciar además del mecanismo alternativo - rotativo, la distribución y la válvula de escape situada en el centro de la cámara hemisférica.

Como se ha mencionado anteriormente, este nuevo motor de dos tiempos no funciona con una mezcla de aceite-combustible como lo hacen los motores de dos tiempos convencionales, sino que el etanol es puro 100% libre de aceites y mezclas con otros combustibles. La combustión de una mezcla de aire y etanol libre de aceites lubricantes supone una reducción drástica en las emisiones de gases de efecto invernadero y de un ahorro económico importante.

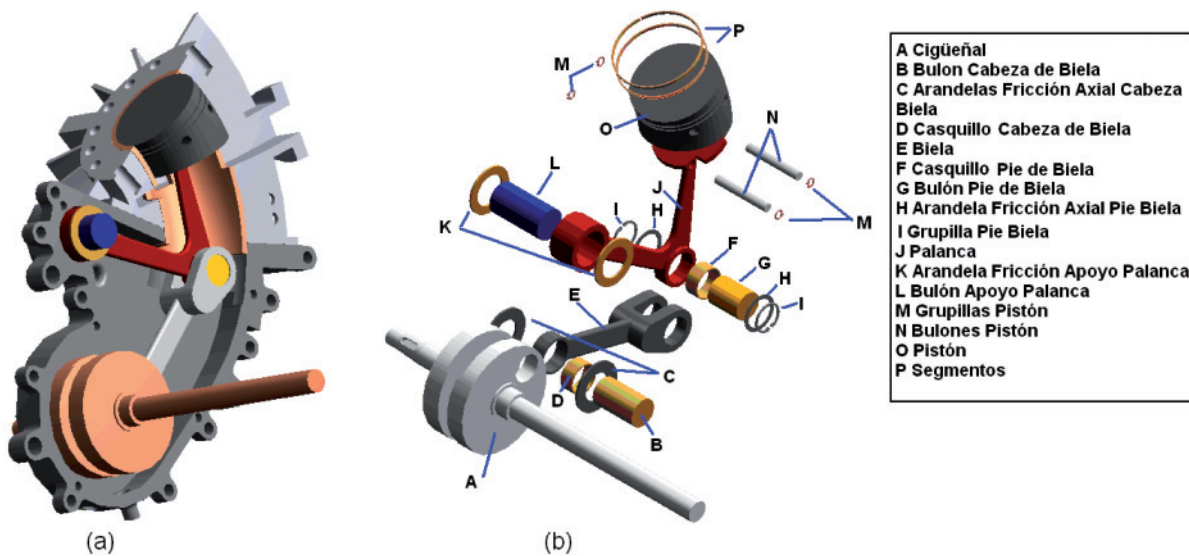


Figura 1: Vista de las principales componentes del nuevo motor planteado

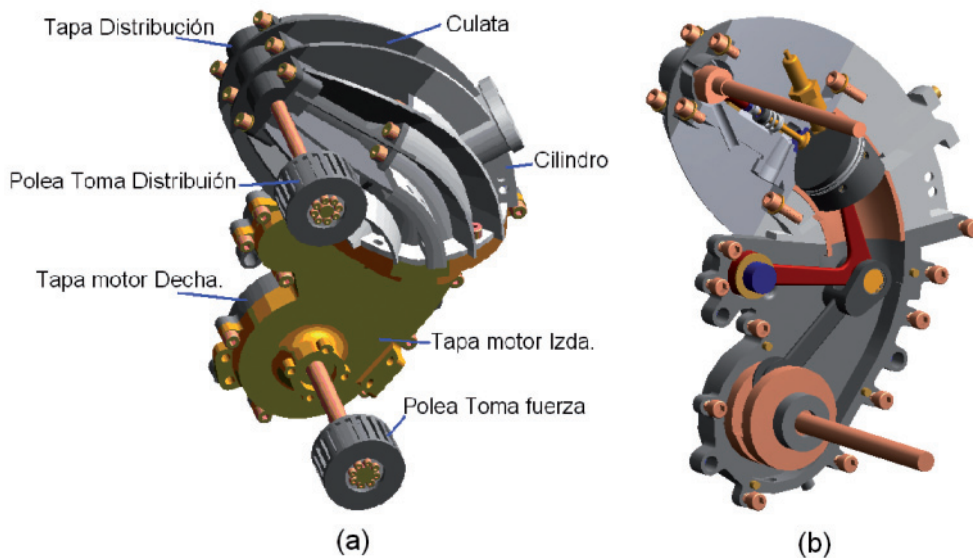


Figura 2: Motor alternativo-rotativo planteado con ciclo termodinámico 2T, vista exterior de conjunto

3.3. SECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR PLANTEADO

En la Figura 3 siguiente, se muestra la secuencia de funcionamiento del nuevo motor diseñado. La Figura 3a corresponde con la posición del punto muerto superior del motor (P.M.S.). En esta figura se observa como la parte superior del pistón está enrasado con la parte superior del cilindro. Es en esta posición en la cual, el volumen de la mezcla queda reducido al volumen de la cámara de explosión. En la Figura 3b, se observa como el pistón se ha desplazado por el interior del cilindro y ha alcanzado una posición intermedia entre el P.M.S. y la posición de apertura de admisión. Un poco antes de que el pistón abra las lumbreras de admisión (Figura 3c), comienza la apertura de la válvula de escape para reducir la presión del interior del motor y favorecer el llenado del mismo con la mezcla.

La Figura 3d corresponde con la posición de punto muerto inferior del motor. Es en esta posición en la que las lumbreras de admisión están totalmente abiertas a fin de producir un llenado completo del cilindro y de la cámara de explosión. En la Figura 3f se observa de nuevo la posición de P.M.S. Es a partir de este punto donde comienza un nuevo ciclo del motor.

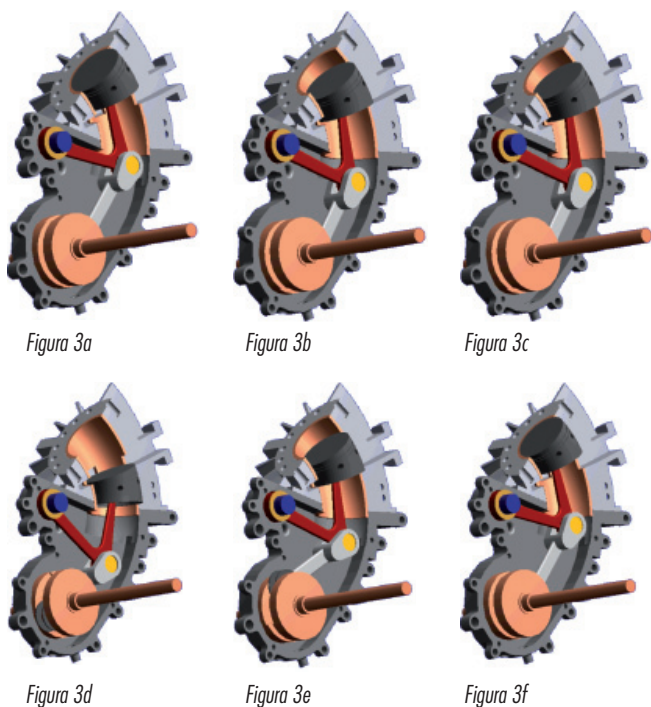


Figura 3: Secuencia de funcionamiento del motor planteado

3.4. DISEÑO DE LA CÁMARA DE EXPLOSIÓN DEL MOTOR

A fin de conseguir un vaciado más eficiente de los gases generados por la combustión en el interior del cilindro y en la cámara de explosión, se opta por diseñar esta cámara en forma hemisférica y posicionar la válvula de escape en el centro de la misma. Según (Giacosa, 2000; Payri, 2004) son

este tipo de cámaras de explosión hemisféricas en las que la válvula de escape se encuentra totalmente centrada, las que presentan un mayor rendimiento de barrido de los gases de escape. En la Figura 4 se muestra un diagrama en el que se aprecian los coeficientes de barrido y de llenado para cámaras de explosión hemisféricas y las diferentes posiciones de las válvulas de escape en el motor.

El sistema de accionamiento de la válvula de escape está basado en él de una leva clásica, aunque en diseños futuros y para motores de mayor cilindrada sería recomendable el diseño de un sistema de accionamiento electrónico de esta válvula con el que se obtendría un mayor rendimiento, un menor consumo y mejor funcionamiento del motor.

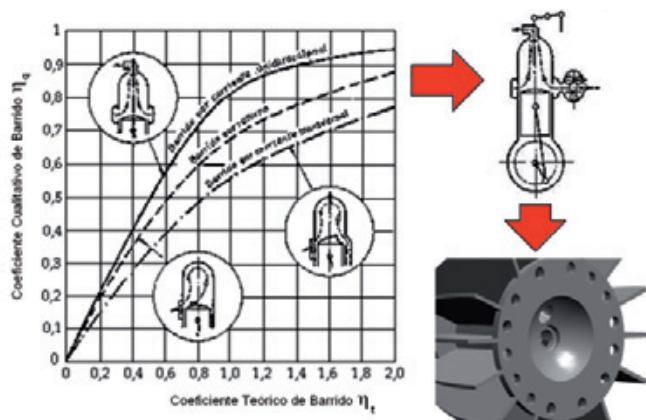


Figura 4: Elección de la cámara de explosión hemisférica con válvula de escape

En la Figura 5 se observa el sistema accionamiento de la válvula de escape diseñado para este primer prototipo de motor. En esta Figura se observa la válvula de escape, el muelle de retorno, dispositivo de regulación de la válvula y el taqué de la válvula.

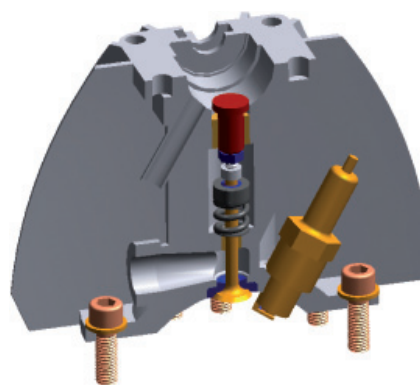


Figura 5: Detalle del sistema de accionamiento de la válvula de escape (válvula de escape, muelle, dispositivo de regulación y taqué empujador)

Así mismo, la Figura 6 muestra el sistema de accionamiento de la válvula de escape planteado mediante un árbol de levas clásico.

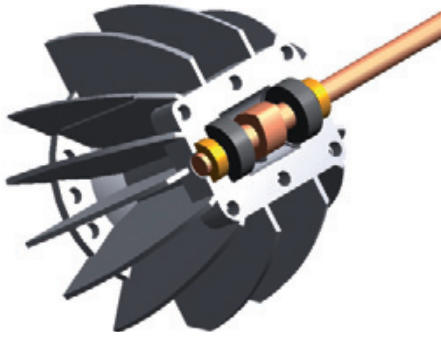


Figura 6: Detalle de la leva de accionamiento de la válvula de escape

3.5. SECUENCIA DE LLENADO Y DE VACIADO DEL MOTOR

El llenado del cilindro y la evacuación de los gases de escape se realiza a través de lumbreras de admisión ubicadas en los laterales de la camisa del cilindro. Estas lumbreras han de garantizar un llenado total y homogéneo de la mezcla aire-combustible en la cámara de explosión, barriendo por completo los gases de escape del ciclo anterior. El dimensionamiento de estas lumbreras se realiza de manera que la velocidad de la mezcla aire-combustible no sea muy elevada, evitando así turbulencias en el flujo de entrada de la mezcla y consiguiendo un barrido y un llenado óptimo (Giacosa, 2000; Elvira, 1972; Lamas, 2011). Los gases producto de la combustión son expulsados del cilindro a través de la válvula de escape situada en el centro de la cámara de explosión hemisférica.

En la Figura 7, se muestra la camisa del cilindro y su montaje en un bloque motor de aluminio dividido en dos mitades. Esta camisa está construida con un material sinterizado (carburo de silicio).

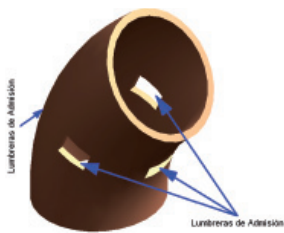


Figura 7a

Figura 7b

Figura 7: Grupo térmico del motor. Detalle de la camisa en el interior del cilindro desmontable

Así mismo, la Figura 8 recoge la secuencia completa de llenado y de barrido de los gases de escape en el motor. En la Figura 8a se observa el salto de la chispa producido en la bujía unos pocos grados antes de que el pistón alcance la posición

del punto muerto superior (P.M.S.). Si la inflamación de la mezcla aire-combustible sucede un instante de tiempo antes de que el pistón alcance el P.M.S. asegura que la onda de presión alcance la superficie superior del pistón cuando éste se encuentre en la posición P.M.S. (y evitar así adelantos o retrasos del encendido, falsas explosiones, etc.). De las Figuras 8b a 8c se aprecia como el frente de llama se propaga por toda la cámara de explosión, aumentando rápidamente la temperatura de los gases de combustión, y la presión en la cámara de explosión, provocando de esta forma el desplazamiento del pistón en el interior del cilindro.

En la posición mostrada en la Figura 8d, el pistón se ha desplazado hasta alcanzar una posición anterior a la de “apertura de admisión”. Es a partir de este punto donde comienza a abrirse la válvula de escape para reducir la presión interior del cilindro, y facilitar así la admisión por las lumbreras con la mezcla de aire-combustible. En la Figura 8h la válvula de escape está totalmente abierta y los gases de escape salen a través de ella a gran velocidad hacia la atmósfera. En esta figura se observa como una mezcla renovada de aire y combustible entra por las lumbreras expulsando en su recorrido los gases de combustión que no han podido ser evacuados del cilindro y de la cámara de explosión.

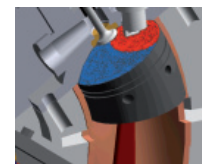
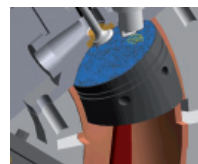


Figura 8a

Figura 8b

Figura 8c

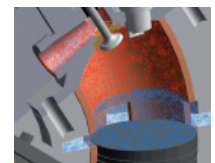
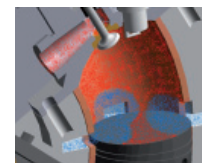
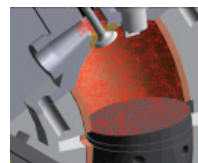


Figura 8d

Figura 8e

Figura 8f

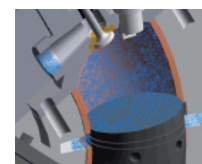
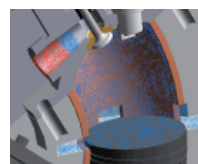


Figura 8g

Figura 8h

Figura 8i

Figura 8: Secuencia del llenado y barrido de los gases del interior del cilindro: mezcla de aire y combustible (Color Azul) y gases de combustión (Color Rojo)

En la Figura 8f, el pistón se encuentra en la posición de su punto muerto inferior (P.M.I.). En esta figura se observa como la mezcla renovada de aire y combustible sigue entrando por las lumbreras y expulsando los gases de escape. En la Figura 8g, la válvula de escape está totalmente cerrada, el pistón ya ha comenzado su movimiento ascendente (ciclo

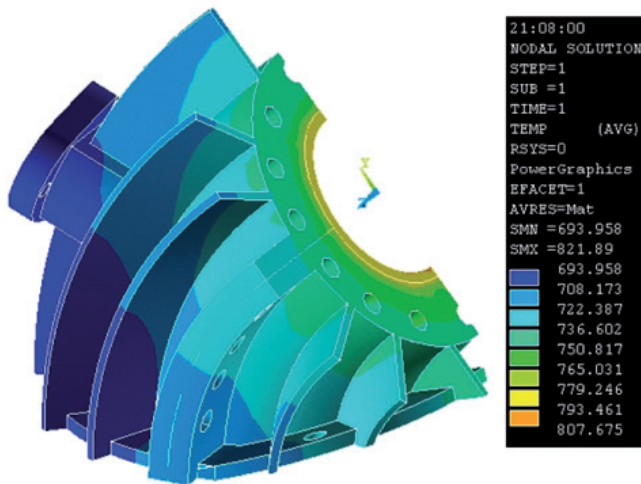


Figura 9a

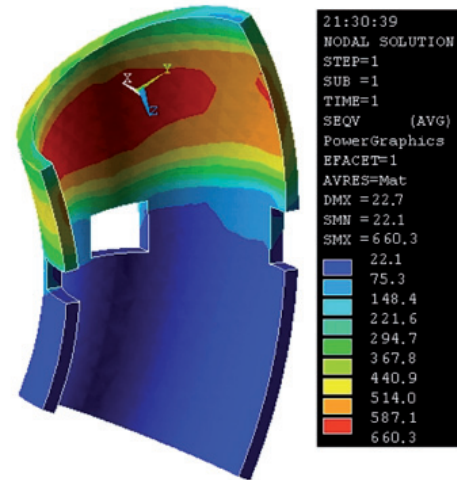


Figura 9b

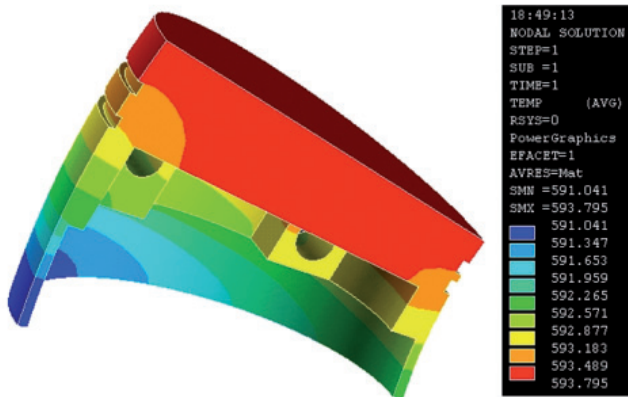


Figura 9c

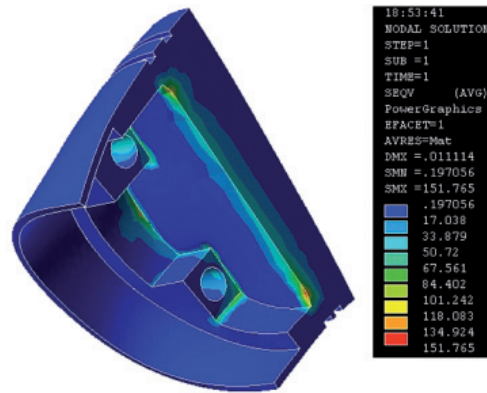


Figura 9d

Figura 9: Análisis Térmico y Térmico-Estructural de diferentes componentes del motor

de compresión), y una pequeña cantidad de mezcla de combustible y aire ha escapado del motor sin combustión (problemático en los motores de dos tiempos si no están bien diseñados). Para finalizar, en la Figura 8i el pistón se encuentra de nuevo en el P.M.S. preparado para comenzar un nuevo ciclo de motor.

3.6 ANÁLISIS TÉRMICO-ESTRUCTURAL POR EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS (M.E.F) DE LAS PIEZAS QUE COMPONEN EL MOTOR

Para garantizar que todos los componentes del motor cumplan con los requisitos de funcionamiento frente a cargas Térmicas y Mecánicas, tanto en régimen estacionario como en régimen permanente, se realizan varios análisis Térmico-Estructurales y Estructurales usando el Método de los Elementos Finitos (M.E.F.) (Mott, 2006). Previo al análisis por

Elementos finitos, es necesario calcular las temperaturas y presiones máximas de la cámara de explosión, así como las reacciones entre las distintas piezas que forman el motor, tal y como se ha mencionado en el punto 3.1 del artículo.

El grupo Térmico del motor, formado por el Cilindro, Culata, Camisa y Pistón, es sometido a un análisis Térmico-Estructural ya que las temperaturas alcanzadas por estas piezas son lo suficientemente elevadas como para afectar a su comportamiento mecánico.

En la Figura 9a se muestra el análisis Térmico del cilindro. La distribución de temperaturas obtenidas en este análisis servirá para dimensionar las aletas disipadoras del calor y hacer un análisis estructural posterior. En la Figura 9b se observa el resultado del análisis Térmico-Estructural de la camisa del cilindro. En primer lugar se ha resuelto el problema Térmico y después se ha superpuesto al análisis Estructural, dando lugar a las tensiones resultantes finales debidas a las cargas térmicas y mecánicas (en este caso,

se muestran las tensiones de *Von Mises* que aparecen en la camisa de carburo de silicio del cilindro). En la Figura 9c y Figura 9d se muestran respectivamente el análisis Térmico y Térmico-Estructural del pistón del motor planteado.

4. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

En este artículo se muestra el proceso de diseño de un nuevo motor de explosión. El motor se caracteriza por utilizar etanol como combustible y por funcionar con un mecanismo diferente al tradicional cigüeñal-biela-pistón.

Evidentemente, las comparaciones realizadas entre este nuevo motor de etanol y las de un motor convencional de gasolina ya existente y con las mismas características técnicas, son meramente cualitativas y requieren de la fabricación y del ensayo de un prototipo a fin de realizar una comparación cuantitativa fiable. No obstante, a continuación se presentan las ventajas e inconvenientes más significativas que presentaría este nuevo tipo de motor.

En primer lugar, el motor ha sido diseñado para funcionar con un combustible como es el etanol. Este biocombustible puede ser obtenido de la fermentación de los azúcares presentes en varios productos vegetales, por lo que lo hacen una fuente inagotable de energía, a la vez que su consumo reduce la emisión de gases de efecto invernadero en al menos un 80%. Además, este combustible tiene una relación de compresión de 9 sin la adición de ningún aditivo, mientras que en un motor convencional que funciona con gasolina sin ningún aditivo, presenta una relación de compresión mínima de 6 o cercana a 6. Esta diferencia en la relación de compresión hace que el rendimiento global del motor de etanol sea algo superior al de los motores de gasolina convencionales.

A diferencia de los motores tradicionales de dos tiempos que funcionan con una mezcla de gasolina-aceite, en el motor planteado el lubricante no se encuentra disuelto en el combustible (etanol), sino almacenado en el cárter estanco como en los motores de cuatro tiempos, por este motivo, aunque el motor presenta un ciclo termodinámico de dos tiempos, no se produce la combustión del aceite lubricante, evitando de esta forma la contaminación ambiental de los motores de dos tiempos. Así mismo, el nuevo mecanismo pivotante con el que se ha diseñado el motor, elimina la fricción del pistón con las paredes de la camisa del cilindro, por lo que el consumo de aceite se reduce considerablemente respecto al consumo de cualquier motor tradicional de dos y cuatro tiempos. A pesar de las ventajas que ofrece este motor, también es importante citar sus inconvenientes.

El etanol tiene un poder calorífico inferior al de la gasolina, por lo que será necesario plantear una alternativa en el diseño de este motor si se quiere obtener un motor con la potencia suficiente como para poder ser competitivo con los motores de gasolina. En este caso, se optó por diseñar un motor con un ciclo termodinámico de dos tiempos. Además, la condición de utilizar etanol como combustible requiere

que no exista un contacto entre el combustible y el aceite lubricante en la etapa de compresión, motivo por el cual es necesario realizar esta etapa en un compresor diferente al cárter del motor como se viene realizando actualmente en los motores de dos tiempos convencionales. En relación al coste de fabricación, habría que decir que es un motor más caro que cualquiera de los motores de dos tiempos actuales, ya que estaríamos hablando de la fabricación de un primer prototipo. Este sobrecoste se vería reducido si se plantease una fabricación en serie del motor.

Finalmente se puede afirmar que el nuevo motor diseñado puede ser una alternativa competitiva y rentable a la de los motores de dos y cuatro tiempos fabricados actualmente, ya que se ha eliminado la fricción existente entre las paredes del pistón y las de la camisa del cilindro, reduciendo de esta forma las pérdidas de energía por fricción del motor, el desgaste de los componentes mecánicos, el consumo de aceite lubricante y el mantenimiento del mismo.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Directiva 98/69/CE del parlamento europeo relativa a las medidas que deben adoptarse contra la contaminación atmosférica causada por las emisiones de los vehículos de motor. Bruselas: CE, 1998.
- Hernandez F, Rodriguez C, Hernandez J. "Análisis Técnico y Económico del Etanol y del Biodiesel como sustitutos de combustibles fósiles para automoción en España. ethanol and biodiesel analysis to replace fossil fuels in the spanish vehicle industry." DYNA Ingeniería e Industria. Noviembre 2009. Vol. 84-8 p.656-664.
- Venturi P, Venturi F. "Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems." Biomass and Bioenergy. 2003. vol 25 p 235-255.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0961-9534\(03\)00015-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00015-1)
- Giacosa D. *Motores endotérmicos*. 14ª edición. Madrid: Ediciones Omega, 2000. 876p. ISBN-13: 9788428208482.
- Payri F, Desantes JM. *Modelado unidimensional de los motores de dos tiempos de pequeña cilindrada*. 1ª edición. Barcelona: Editorial Reverté, 2004. 234p. ISBN: 84-291-4701-2.
- Alvarez JA, Callejón I, Forns S, et al. *Máquinas térmicas motoras*. 1ª edición. Barcelona: Ediciones UPC, 2002. 260p. ISBN: 84-8301-644-3.
- Elvira LM. *Principios fundamentales de los motores y máquinas térmicas*. 1ª edición. Madrid: Ediciones E.T.S de ingenieros de montes, 1972. 232p.
- Lamas M, Rodriguez C, Rodriguez J, et al. "Modelo de mecánica de fluidos computacional para el proceso de barrido en un motor otto de dos tiempos" DYNA ingeniería e industria. Abril 2011. vol. 86-2 p.165-172.
- Mott, RL, *Diseño de elementos de máquinas*. 4ª edición. México D.C: Editorial Pearson Educación, 2006. 944. ISBN:970-26-0812-0.