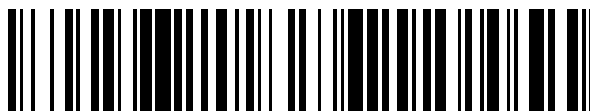


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 666 416**

51 Int. Cl.:

F02D 19/06 (2006.01)

F02D 41/34 (2006.01)

F02D 41/40 (2006.01)

F02B 17/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.12.2010 PCT/US2010/060194**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.08.2011 WO11100027**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.12.2010 E 10845954 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.02.2018 EP 2534352**

54 Título: **Control de la combustión de un motor mediante estratificación de la reactividad del combustible**

30 Prioridad:

11.02.2010 US 703808

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.05.2018

73 Titular/es:

**WISCONSIN ALUMNI RESEARCH FOUNDATION
(100.0%)
614 Walnut Street
Madison, WI 53705, US**

72 Inventor/es:

**REITZ, ROLF, DENEYS;
HANSON, REED, M.;
SPLITTER, DEREK, A. y
KOKJOHN, SAGE, L.**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 666 416 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Control de la combustión de un motor mediante estratificación de la reactividad del combustible

Campo de la invención

Este documento se refiere a una invención relativa, en general, a motores de ignición por compresión (diésel) y, más específicamente, a métodos de optimización de la combustión para motores diésel.

Antecedentes de la invención

Los motores diésel (ignición por compresión) se encuentran entre los motores más eficientes energéticamente disponibles, con una salida de potencia admirablemente alta por consumo de combustible. Desgraciadamente, los motores diésel también están entre los motores más "sucios" disponibles, siendo los motores diésel comunes (en el momento de la preparación del presente documento) propensos a una elevada producción de óxidos de nitrógeno (denominados normalmente NOx), lo que resulta en efectos adversos tales como smog y lluvia ácida, y partículas (a menudo simplemente llamadas "hollín"), que se ven en ocasiones como el humo negro emitido por un vehículo diésel cuando acelera desde parado.

Debido al impacto de estas emisiones en el medio ambiente, los Estados Unidos y muchos otros países han impuesto estrictos estándares de emisiones sobre la utilización de motores diésel en vehículos, y se han desarrollado numerosas tecnologías que intentan reducir las emisiones del diésel. Como ejemplo, el NOx se asocia, en general, con las condiciones del motor a alta temperatura y, por lo tanto, se puede reducir mediante la utilización de medidas tales como la recirculación de los gases de escape (EGR – Exhaust Gas Recirculation, en inglés). En EGR, el aire de admisión del motor se diluye con el relativamente inerte gas de escape (en general, después de enfriar el gas de escape), reduciendo con ello el oxígeno en la cámara de combustión y reduciendo la temperatura máxima de la combustión. Como ejemplo adicional, el hollín se asocia, en general, con una combustión incompleta y, por lo tanto, puede ser reducido aumentando las temperaturas de combustión, o proporcionando más oxígeno para favoreciendo la oxidación de las partículas de hollín. Desgraciadamente, las medidas que reducen la producción de NOx en un motor tienden a aumentar la producción de hollín, y las medidas que reducen la producción de hollín en un motor tienden a aumentar la producción de NOx. Este efecto se denomina a menudo el "compromiso hollín - NOx".

El NOx y el hollín también pueden ser tratados después de que salen del motor (por ejemplo, en la corriente de escape), pero tales métodos de "tratamiento posterior" tienden a ser costosos de instalar y de mantener. Como ejemplos, la corriente de escape puede ser tratada con catalizadores y/o inyecciones de urea u otros agentes reductores/reactivos para reducir las emisiones de NOx. Alternativa o adicionalmente, el combustible puede ser inyectado periódicamente y encenderse en la corriente de escape para quemar el hollín recogido en "trampas de partículas". Estos enfoques requieren considerables gastos y complejidad y, en el caso de las trampas de partículas, tienden a reducir la eficiencia del combustible de un vehículo.

Otras tecnologías se han centrado más fundamentalmente en cómo reducir la generación tanto de NOx como de hollín del proceso de combustión, y obtener con ello emisiones más limpias de la "salida del motor" (es decir, emisiones que salen directamente del motor, antes del tratamiento posterior del escape o de medidas similares). Estos enfoques incluyen modificar los tiempos, la velocidad y/o la forma de las cargas de inyección de combustible, modificando la forma de la cámara de combustión, y/o modificar otros factores para tratar de conseguir la combustión completa de todo el combustible (y, por lo tanto, menos hollín) a la vez que se controla la temperatura de combustión (controlando, por lo tanto, los NOx). Muchas de estas tecnologías proporcionan mejoras de emisiones, pero son difíciles de implementar y controlar, particularmente en toda la gama de velocidades y cargas sobre las que deben funcionar los motores de vehículos diésel habituales. Además, muchas de estas tecnologías todavía requieren medidas tales como el tratamiento posterior del escape para alcanzar los objetivos de emisiones, lo que lleva a los problemas anteriormente mencionados con el coste y la eficiencia del combustible.

Debido a las dificultades para cumplir con los estándares de emisiones y, al mismo tiempo, proporcionar la eficiencia del combustible, el coste y el rendimiento que los consumidores buscan, muchas empresas de automoción simplemente han cambiado su enfoque de los motores diésel a la utilización de motores de gasolina. Desgraciadamente, los motores de gasolina tienen una menor eficiencia energética, y sus emisiones también son preocupantes. (Para el lector que tiene una familiaridad limitada con los motores de combustión interna, la principal diferencia entre los motores de gasolina y los motores diésel es la manera en la que se inicia la combustión. Los motores de gasolina, también conocidos normalmente como de ignición por chispa o motores "SI" (Spark Ignition, en inglés), proporcionan una mezcla de aire y combustible relativamente rica en combustible a un cilindro del motor, encendiendo, por lo tanto, con una chispa la mezcla para impulsar el pistón hacia el exterior del cilindro para generar trabajo. En los motores diésel, también conocidos como motores de ignición por compresión, el combustible es introducido en un cilindro del motor a medida que el pistón comprime el aire en su interior, encendiendo, a continuación, el combustible, bajo las condiciones de alta presión / alta temperatura de compresión para impulsar el pistón hacia el exterior del cilindro para generar trabajo).

Debido a las preocupaciones actuales sobre el suministro de combustible / energía, y sobre el impacto ambiental de las emisiones de los motores, existe una importante necesidad de que los motores proporcionen eficiencia diésel (o mejor) a la vez que cumplen o mejoran los estándares de emisiones actuales. Un ejemplo de un motor de combustible dual que se dirige a mejorar el proceso de combustión se muestra en el documento US-2002/0157619.

5 Compendio de la invención

La invención, que está definida mediante las reivindicaciones expuestas al final de este documento, está dirigida a los motores y a los métodos de combustión del motor que, por lo menos parcialmente, alivian los problemas mencionados anteriormente. Se puede obtener una comprensión básica de algunas de las características de las versiones preferidas de la invención a partir de una revisión del siguiente breve compendio de la invención, proporcionándose más detalles en otro lugar de este documento. Para ayudar a la comprensión del lector, la siguiente revisión hace referencia a los dibujos adjuntos (que están revisados brevemente en la sección "Breve descripción de los dibujos" que se encuentra a continuación de esta sección de Compendio de este documento).

En un motor diésel (de ignición por compresión), una carga de combustible inicial que tiene una primera reactividad, correspondiendo, en general, el término "reactividad" al índice de cetano - pero que se explica en mayor detalle en otro lugar de este documento - es suministrada a la cámara de combustión durante la admisión y/o la carrera de compresión, preferiblemente lo suficientemente pronto, para que la carga de combustible inicial se premezcle altamente con el aire en la cámara de combustión durante la mayor parte de la carrera de compresión. Una o más cargas de combustible posteriores de diferente reactividad son suministradas posteriormente a la cámara de combustión de tal manera que se produce una distribución estratificada de la reactividad del combustible en el interior de la cámara de combustión, con regiones distintas de reactividad de combustible mayor o menor. Más específicamente, las cargas de diferente reactividad posteriores están temporizadas y diseñadas para distribuir las cargas de diferente reactividad, que preferiblemente se introducirán en una "matriz" altamente premezclada de aire y combustible de primera reactividad - de tal manera que el gradiente de reactividad en el interior de la cámara de combustión (1) proporciona un tiempo y una velocidad de inicio de la combustión deseados (un tiempo/velocidad que resulta en una liberación controlada de calor que da como resultado una entrada de trabajo superior al pistón), mientras que (2) evita incrementos rápidos de la presión y altas temperaturas (que favorecen la producción de NOx y reducen el ahorro de combustible), y mientras que (3) quema completamente todo el combustible (o casi todo) en el interior de la cámara de combustión para reducir los hidrocarburos no quemados. La combustión tiende a comenzar en una o más regiones de mayor reactividad (estas regiones se generan mediante la introducción del material de mayor reactividad), y se extiende desde allí mediante la liberación de energía volumétrica y/o la propagación de la llama hasta que se consume el combustible de todas las cargas. Por lo tanto, la adaptación de la distribución de reactividad en el interior de la cámara de combustión puede permitir la adaptación de la naturaleza del proceso de combustión. Una mayor estratificación/gradación en la reactividad tiende a dar como resultado una menor velocidad de combustión. Por el contrario, una menor estratificación/gradación en la reactividad (mayor uniformidad de reactividad en toda la cámara de combustión) tiende a producir una mayor velocidad de combustión, ya que cada ubicación en el interior de la cámara tiene aproximadamente la misma probabilidad de inflamarse primero, y las que no se inflaman primero serán inflamadas rápidamente por sus vecinas.

Las diferentes cargas de combustible, con sus diferentes reactividades, pueden ser combustibles convencionales suministrados al motor desde tanques convencionales separados, por ejemplo, combustible diésel (que tiene una mayor reactividad) desde un tanque, y la gasolina (que tiene menor reactividad) desde otro tanque. Alternativa o adicionalmente, el combustible de un solo tanque puede modificar su reactividad entre niveles superiores e inferiores mediante la adición de un modificador de reactividad apropiado. Como ejemplo, una carga inicial de baja reactividad podría contener simplemente gasolina o combustible diésel, y una posterior carga de combustible de mayor reactividad podría contener gasolina o diésel con una pequeña cantidad de peróxido de butilo di-terciario (DTBP), 2-etil hexil nitrato, u otro mejorador del cetano. Una disposición de esta naturaleza es útil ya que muchos modificadores de la reactividad solo son necesarios en cantidades muy diluidas y, por lo tanto, podría proporcionarse un tanque más pequeño para contener un modificador de reactividad en un vehículo junto con una disposición de tanque de combustible convencional. También se puede proporcionar una disposición de medición que mezcle una cantidad deseada de modificador de la reactividad en el conducto de combustible (o en un conducto de combustible de alta reactividad por separado de un conducto de combustible de baja reactividad) según sea apropiado. Para ilustrar, un vehículo diésel convencional con un tanque suplementario de 1 a 2 cuartos que contiene DTBP solo requeriría ser rellenado cada 3000 a 6000 millas más o menos, que es aproximadamente la frecuencia recomendada para un cambio de aceite y, de este modo el tanque modificador de la reactividad podría ser rellenado cuando se cambia el aceite del vehículo.

Para revisar con mayor detalle la estratificación de la reactividad, la carga inicial de combustible de primera reactividad es suministrada a la cámara de combustión lo suficientemente antes del punto muerto superior (PMS - Top Dead Center, en inglés), en el que la carga de combustible inicial se premezcla, por lo menos parcialmente (se dispersa homogéneamente) dentro de la cámara de combustión antes de que la siguiente inyección se realice o las siguientes inyecciones se realicen. La carga inicial puede ser introducida en la cámara de combustión mediante inyección directa (preferiblemente a baja presión) en el cilindro, y/o suministrándola a través de la entrada de admisión de la cámara de combustión, inyectando o introduciendo de otro modo la carga en el colector de admisión, y/o en una corredera de admisión que se extiende desde el mismo. La carga de combustible posterior es

suministrada preferiblemente a la cámara de combustión por inyección directa entre el punto muerto inferior ((PMI - Bottom Dead Center, en inglés) o 180 grados antes del PMS) y 10 grados antes del PMS. Más preferiblemente, se suministran dos o más cargas de combustible siguientes a la cámara de combustión en diferentes momentos durante este rango de ángulos del cigüeñal. Las figuras 1A a 1D ilustran esquemáticamente una disposición preferida a modo de ejemplo, que utiliza una carga inicial de baja reactividad y múltiples cargas de alta reactividad posteriores. Inicialmente, la figura 1A representa la cámara de combustión cerca del PMI, en el momento en que se cierra la entrada de admisión, y después de que se ha introducido una primera carga de combustible de baja reactividad (por ejemplo, a través de la entrada de admisión). El combustible de baja reactividad se muestra altamente premezclado dentro de la cámara en este momento, tal como se prefiere, aunque este nivel de premezcla no necesariamente se debe completar para este momento y no se logrará hasta más tarde (en general, como mucho a la mitad de la carrera de compresión, es decir, 90 grados antes del PMS como máximo).

A continuación, una primera carga de combustible de alta reactividad posterior es suministrada a la cámara de combustión durante aproximadamente la primera mitad de la carrera de compresión, preferiblemente entre el momento en que se cierra la entrada de admisión y aproximadamente 40 grados antes del PMS. Más particularmente, para una cámara de combustión típica que está parcialmente limitada por una cara del pistón con un recipiente central, tal como se representa en las figuras 1A a 1D, la primera carga de combustible posterior es introducida preferiblemente en un momento tal (y con una presión tal) que, por lo menos una parte principal de la primera carga de combustible posterior se dirige hacia una región exterior (de aplastamiento) situada en o cerca de un radio exterior de la cara del pistón. Más específicamente, la primera carga de combustible posterior se dirige hacia una región situada fuera de un tercio exterior del radio de la cara del pistón. Esto se ejemplifica en la figura 1B, que muestra la cámara de combustión aproximadamente a 60 grados antes del PMS, y con una inyección dirigida por el inyector hacia la región de aplastamiento. No obstante, en todos los casos, la inyección se proporciona preferiblemente a presiones que evitan o minimizan la carga de choque en las superficies de la cámara de combustión, ya que dicha compresión tiende a potenciar la producción de hollín.

A continuación, una segunda carga de combustible de alta reactividad es suministrada a la cámara de combustión. La figura 1C representa una inyección de este tipo que se realiza aproximadamente a 30 grados antes del PMS, estando una porción principal de la inyección dirigida por lo menos hacia una región interna (recipiente) separada hacia el interior del radio exterior de la cara del pistón. Más específicamente, por lo menos una porción principal de la segunda carga de combustible posterior es inyectada preferiblemente hacia una región situada dentro de un cuarto exterior del radio de la cara del pistón (es decir, es inyectada hacia una región definida por el 75% interno del radio del orificio). Mientras tanto, la primera carga de combustible posterior ha comenzado a difundirse desde la región de aplastamiento, y a mezclarse con el combustible de baja reactividad desde la carga de combustible inicial hasta formar una región de reactividad intermedia en o cerca de la región de aplastamiento.

A continuación, la figura 1D ilustra la cámara de combustión de la figura 1B aproximadamente a 15 grados antes del PMS, teniendo el combustible en la cámara un gradiente de reactividad que varía desde regiones de mayor reactividad en el recipiente hasta regiones de menor reactividad en el diámetro exterior de la cámara, y en la corona del recipiente. La combustión puede comenzar aproximadamente en este momento, comenzando en la región o las regiones de mayor reactividad, y propagándose a continuación a las regiones de menor reactividad con el tiempo.

Básicamente, el mismo mecanismo de combustión resulta si las reactividades de las cargas de las figuras 1A a 1D están invertidas, es decir, si una o más cargas iniciales de mayor reactividad son seguidas por una o más cargas siguientes de menor reactividad: comienza la ignición en las regiones de mayor reactividad y se propaga a las regiones de menor reactividad. El inicio y la duración de la combustión pueden ser controlados mediante los tiempos y las cantidades de las cargas de combustible, lo que afecta al grado de estratificación alcanzado. Para una salida de trabajo óptima, es deseable que las cargas de combustible sean suministradas a la cámara de combustión para alcanzar la presión máxima del cilindro en o después del punto muerto superior (PMS), más preferiblemente entre el PMS y 20 grados DPMS (después del PMS), y más preferiblemente entre 5 y 15 grados DPMS. En aspectos similares, CA50 (es decir, el 50% de la masa de combustible total quemado) se produce preferiblemente entre aproximadamente 0 a 10 grados de DPMS. También es útil suministrar las cargas de combustible de tal manera que la velocidad del aumento de presión no sea superior a 10 bar por grado de rotación del ángulo del cigüeñal, ya que un mayor aumento de la presión puede generar un ruido no deseado y un desgaste más rápido del motor, y también favorece temperaturas más altas (y, por lo tanto, un mayor consumo de combustible, debido a las pérdidas por transferencia de calor, así como a la producción de NOx).

La utilización de la metodología anterior tiende a resultar en temperaturas máximas de combustión mucho más bajas - hasta 40% más bajas - que en los motores diésel convencionales, debido al mayor control sobre el proceso de combustión. Esto evita la formación de NOx y, además, aumenta la eficiencia del motor porque se produce menos pérdida de energía desde el motor debido a la transferencia de calor. Además, las reactividades, cantidades y tiempos de las cargas de combustible pueden adaptarse para optimizar la combustión de manera que quede menos combustible no quemado al final de la carrera de expansión (y, por lo tanto, perdido en el escape), mejorando con ello la eficiencia del motor, y también generando menos hollín.

Una versión experimental de la invención que funciona con combustible diésel y gasolina ha resultado en lo que se cree que es el motor de combustión interna más eficiente en combustible actualmente conocido, que también es

capaz de cumplir con los límites gubernamentales de las emisiones de hollín, los límites de las emisiones de NOx, y los límites de consumo de combustible para el año 2010, sin la necesidad de un tratamiento posterior de los gases de escape. En cuanto a las emisiones, el motor puede alcanzar fácilmente los estándares EPA (Agencia de protección medioambiental de los Estados Unidos) (tal como se definieron el 1 de enero de 2010 en la Parte 1065 del Título 40 del Código de Regulaciones Federales de los Estados Unidos), incluidos los estándares de emisión de la EPA para el procedimiento de prueba federal (FTP – Federal Test Regulations, en inglés) de transitorio de alta carga (por ejemplo, emisiones de NOx de menos de 1,0 g/kWh y emisiones de hollín de menos de 0,1 g/kWh). Se pueden reducir aún más las emisiones si se implementan medidas tales como el tratamiento posterior del escape. Considerando la eficiencia térmica indicada como una medida de la eficiencia del combustible (la eficiencia térmica indicada es una medida de la cantidad de combustible convertida en potencia de salida por el motor, en lugar de perderse por transferencia de calor, escape u otras variables), el motor ha demostrado una eficiencia térmica neta de hasta el 53% y una eficiencia térmica bruta de aproximadamente el 56%. (La eficiencia térmica neta tiene en cuenta la producción de trabajo durante todo el ciclo del motor, mientras que la eficiencia térmica bruta solo tiene en cuenta las carreras de expansión y compresión, con una diferencia de aproximadamente 3% entre los dos). Por el contrario, en el momento de la preparación de este documento, el motor diésel convencional promedio tiene una eficiencia térmica de aproximadamente el 42%, y el motor de gasolina promedio tiene una eficiencia térmica de aproximadamente del 25% al 30%. Por lo tanto, la invención puede permitir beneficiosamente una reducción efectiva del consumo de combustible de aproximadamente el 20%, cumpliendo con los estándares de emisiones de los Estados Unidos (por lo menos para el año 2010) sin la necesidad de modificaciones engorrosas y costosas del motor y/o de sistemas de tratamiento posterior para el hollín y/o la reducción de NOx. Es interesante observar que, aunque la invención funciona utilizando ignición por compresión (es decir, principios de funcionamiento diésel), una eficiencia excepcional se alcanzó utilizando más gasolina que combustible diésel: la gasolina representó aproximadamente el 75% al 90% de la masa total del combustible suministrado al motor (a altas cargas), reduciéndose el porcentaje de gasolina hasta aproximadamente el 50% a cargas bajas. Por lo tanto, un motor diésel logró un rendimiento mejorado utilizando principalmente combustible no diésel. Se espera que, en general, los motores más comunes que implementan la invención utilicen una mayor proporción de combustible de baja reactividad que combustible de alta reactividad.

Otras ventajas, características y objetivos de la invención serán evidentes a partir del resto de este documento junto con los dibujos asociados.

Breve descripción de los Dibujos

Las figuras 1A a 1D ilustran esquemáticamente el área de sección transversal de una cámara de combustión de un motor diésel (de ignición por compresión) cuando su pistón se desplaza desde una posición en o cerca del punto muerto inferior (figura 1A) a una posición en o cerca del punto muerto superior (figura 1D), que muestra un método de combustión del motor que ejemplifica la invención, en el que una primera carga de combustible de baja reactividad ya está, por lo menos sustancialmente, dispersa homogéneamente dentro de la cámara en la figura 1A, una primera carga de combustible de alta reactividad es inyectada en la cámara de la figura 1B, y una segunda carga de combustible de alta reactividad posterior es inyectada en la cámara en la figura 1C.

Las figuras 2 a 4 muestran parámetros de funcionamiento y resultados de funcionamiento a modo de ejemplo de una versión a modo de ejemplo de la invención que funciona a 5,5 bar de presión efectiva media indicada (IMEP – Indicated Mean Effective Pressure, en inglés), 2300 RPM, una carga de combustible inicial de gasolina y una única carga de combustible diésel posterior (siendo el combustible global 80% de gasolina y 20% de combustible diésel en volumen), sin EGR, en donde:

la figura 2 muestra las emisiones de hidrocarburos (HC) no quemados y de monóxido de carbono (CO) frente a diversos ángulos de cigüeñal en los que se ajustó el inicio de la inyección (SOI – Start Of Injection, en inglés) para la siguiente carga de combustible diésel, así como los ajustes de penetración de la pulverización (es decir, las presiones de inyección) establecidos para estas inyecciones;

la figura 3 muestra el consumo de combustible específico indicado (ISFC – Indicated Specific Fuel Consumption, en inglés) neto alcanzado en los ángulos del cigüeñal de la figura 2 para el inicio de la inyección (SOI) de la siguiente carga de combustible diésel;

la figura 4 representa esquemáticamente la estratificación entre gasolina y combustible diésel para dos de los ángulos del cigüeñal de la figura 2 para el inicio de la inyección (SOI) de la siguiente carga de combustible diésel.

Descripción detallada de versiones preferidas de la invención

Antes de revisar la invención adicionalmente, inicialmente es útil explicar el concepto de "reactividad" en mayor detalle. En el contexto de este documento, el término "reactividad" corresponde, en general, al índice de cetano de una sustancia, y/o al inverso del índice de octano de una sustancia. El índice de cetano mide la velocidad a la que un combustible (u otra sustancia) comienza a autoinflamarse (arde espontáneamente) en condiciones de funcionamiento diésel, es decir, bajo altas presiones y temperaturas. En un motor diésel, un combustible con mayor reactividad (es decir, un mayor índice de cetano) se inflamará más rápidamente que un combustible con menor

reactividad. Por el contrario, el índice de octano, una medida normalmente utilizada para combustibles de motor de gasolina en lugar de diésel, es una medida de la resistencia de una sustancia a la autoignición. En general, los combustibles diésel tienen alta reactividad (alto índice de cetano / bajo índice de octano) y las gasolinas tienen baja reactividad (bajo índice de cetano / alto índice de octano).

5 Tal como se explicó anteriormente, la invención configura y multiplica las cargas de combustible de menor y mayor reactividad para controlar el inicio y la velocidad de liberación de calor (el inicio y la duración de la combustión) para conseguir una mayor salida de trabajo. En la mayoría de los motores diésel diseñados para una mayor eficiencia de combustible y menores emisiones, la combustión comienza durante la carrera de compresión, se incrementa rápidamente (debido a la combustión que ocurre casi simultáneamente en toda la cámara de combustión), para
10 alcanzar su máximo alrededor del punto muerto superior (PMS) y, a continuación, disminuye. Esto da como resultado un trabajo negativo, ya que los gases de combustión en expansión trabajan contra el pistón durante la compresión, así como un mayor ruido del motor, debido al rápido aumento de la presión y al mayor consumo de combustible. Aquí, un objetivo es proporcionar una distribución estratificada de la reactividad del combustible en el interior de la cámara de combustión - es decir, proporcionar regiones distintas de mayor y menor reactividad de
15 combustible - que tiene un tiempo de ignición y una velocidad de combustión que resultan en una mejor salida de trabajo, comenzando la ignición, más preferiblemente, ligeramente antes (o posiblemente poco después) del PMS, y quemándose a continuación a una velocidad controlada para proporcionar una alta salida de trabajo antes de que el pistón sea movido demasiado hacia el exterior en el cilindro.

Diferentes condiciones de velocidad / carga del motor requerirán diferentes tiempos de combustión / duraciones. Para diferentes condiciones de velocidad / carga, los tiempos de liberación máxima del calor de combustión (y, por lo tanto, la entrada máxima de trabajo al pistón) pueden ser programados para el tiempo apropiado - en general, en el punto muerto superior o inmediatamente después del mismo - estableciendo los tiempos y dosificando adecuadamente las cantidades de las cargas de diferente reactividad, alcanzando de este modo el tiempo de inicio y la duración deseados de la liberación de calor. En general, el tiempo de liberación de calor se controla mediante la inflamabilidad de la región de alta reactividad generada a partir de la carga de alta reactividad, mientras que la
25 duración se controla mediante las proporciones de combustibles de mayor y menor reactividad y su distribución en el interior de la cámara de combustión (conduciendo una gran estratificación a una liberación de calor más lenta). Si la liberación de calor tiene lugar demasiado tarde, la proporción del material de mayor reactividad puede ser aumentada con respecto al material de menor reactividad. Si la liberación de calor tiene lugar demasiado pronto, se puede utilizar el enfoque opuesto. A medida que cambian las condiciones de velocidad / carga, los tiempos, los números, las cantidades netas y las relaciones de contenido de alta y el baja reactividad de las cargas (así como parámetros tales como las presiones de inyección, etc.) pueden ser ajustados apropiadamente por los sistemas de control / ordenadores del automóvil, recogiendo mediciones de los sensores del motor y referenciando tablas de consulta con valores almacenados derivados de resultados experimentales, o procedentes de simulaciones;
30 derivando valores de fórmulas, o de simulaciones de motor informatizadas sobre la marcha; y/o por otros medios. Las redes neuronales u otros sistemas expertos / de aprendizaje también se pueden utilizar para obtener valores óptimos para una velocidad, carga y otras condiciones, particulares, y para aplicar estos valores cuando corresponda.

Las figuras 2 a 4 ilustran resultados a modo de ejemplo obtenidos de un motor diésel General Motors para trabajo ligero en el Centro de investigación de motores de la Universidad de Wisconsin-Madison. Primero, se desarrolló una estrategia de mezcla e inyección de combustible utilizando una carga inicial de combustible de baja reactividad (gasolina) y una única carga de combustible de alta reactividad posterior (combustible diésel), mediante la utilización de modelos de motor informatizados que simulaban el rendimiento del motor en cuestión. Los algoritmos "genéticos", que buscaban encontrar las variables óptimas para el rendimiento del motor (en particular, que buscaban lograr una
45 combustión completa en fases para proporcionar la máxima salida de trabajo), se implementaron para proporcionar cantidades propuestas de carga de combustible, tiempos de inyección y presiones. Estos fueron implementados a continuación y ajustados en el motor. Las figuras 2 y 3 muestran, por lo tanto, el efecto del tiempo de inicio de la inyección (SOI) en las emisiones de hidrocarburos (HC) y monóxido de carbono (CO) (siendo estas una medida de la combustión incompleta) y la penetración de la pulverización al final de la inyección (expresada como fracción del diámetro del orificio). Curiosamente, un pico en HC e ISFC, así como una meseta (aproximada) en CO, se produjo en un SOI de aproximadamente 40 grados APMS. Para el motor en cuestión, que tiene una cámara de combustión de forma aproximada tal como en la figura 1 - esto corresponde a una penetración de la punta de pulverización del 63% del diámetro del agujero, que está cerca del borde del recipiente en el pistón. En tiempos de inyección posteriores a 40 grados APMS, la combustión ocurre demasiado temprano en el ciclo - CA50 (50% de la liberación de calor) ocurre antes del PMS - lo que aumenta el consumo de combustible y las emisiones de NOx (aunque las altas temperaturas ayudan a la oxidación del HC). No obstante, cuando el tiempo de inyección avanza más de 40
50 grados APMS, se observa una reducción drástica en HC, CO e ISFC a medida que el motor entra en un nuevo régimen de combustión, en el que la estratificación entre regiones de alta reactividad y regiones de baja reactividad produce una combustión más óptima (alcanzado cuando la penetración de la punta de pulverización inyectada es mayor de aproximadamente el 70% del diámetro del orificio, generando con ello una región de alta reactividad de autoignición en aproximadamente el tercio superior de la cámara de combustión). La figura 4 proporciona más detalles, que ilustran la distribución (calculada) de gasolina y de combustible diésel, en la que la carga de combustible de alta reactividad es inyectada a 40 y 60 grados APMS. Para las condiciones de funcionamiento
60

utilizadas para las pruebas, los cálculos mostraron que la combustión completa solo se logra cuando la mezcla de combustible local tiene menos de aproximadamente el 90% de gasolina. En un SOI de 40 grados APMS, el combustible diésel no penetra en la región exterior de la cámara de combustión, lo que da como resultado una región de mayor reactividad por encima del borde del recipiente en el que comenzaría la ignición (y de este modo parecería extenderse más rápidamente al resto de la cámara, debido a la ubicación más central de la ignición). Sin embargo, cuando los tiempos de la inyección avanzan a 60 grados APMS, el combustible más reactivo entra en la región exterior de la cámara de combustión para formar un sitio de ignición, lo que resulta en tiempos y duración de la combustión que producen HC, CO e ISFC más óptimos. Una investigación adicional ha indicado que los tiempos de inyección muy avanzados de más de 40 grados APMS - es decir, la inyección de, por lo menos, la primera carga de alta reactividad en un momento atípicamente temprano - en general arrojarán mejores resultados.

Cabe subrayar que las versiones de la invención explicadas anteriormente son meramente a modo de ejemplo, y la invención puede ser modificada en numerosos aspectos. Como ejemplo, las cargas de combustible de baja y alta reactividad no están limitadas a la utilización de gasolina y diésel, o a la utilización de gasolina o diésel con un aditivo modificador de la reactividad, y en su lugar se pueden utilizar una amplia variedad de otros combustibles (con o sin aditivos). Como ejemplo, el etanol es un combustible (o un aditivo) con baja reactividad, incluso más baja que la de la gasolina (es decir, un índice de cetano más bajo y un índice de octano más alto que la gasolina), y podría ser utilizado para cargas de combustible de baja reactividad junto con cargas de combustible de alta reactividad de combustible diésel o gasolina. Además, cualquiera de estos combustibles puede ser utilizado como aditivo modificador de la reactividad para cualquiera de los otros combustibles (por ejemplo, se puede agregar combustible diésel a la gasolina, etanol o una mezcla de gasolina / etanol para aumentar su reactividad).

La reactividad de un combustible también puede ser modificada por medios distintos a la adición de un aditivo, tal como mediante la alteración de la composición de un combustible, y/o separando un combustible en componentes de menor y mayor reactividad, mediante la utilización de dispositivos a bordo de un vehículo para craqueo, calentamiento, destilación y/o catálisis a lo largo del conducto de combustible de un vehículo. Los factores de tamaño, peso y precio naturalmente se verán afectados por la practicidad de la utilización de tales dispositivos a bordo de un vehículo. Una opción compacta y relativamente rentable es utilizar un reactor de plasma tal como el de la patente de los Estados Unidos 7.510.632 de Denes y colaboradores a lo largo del conducto de combustible. La reactividad también puede ser modificada eficazmente mediante la utilización de EGR (recirculación de los gases de escape) o medidas similares, ya que el gas de escape recirculado puede dificultar la combustión.

Como modificación adicional a modo de ejemplo, la invención no se limita a la utilización de solo dos o tres cargas de combustible, por ejemplo, se podrían utilizar cuatro o más cargas. Además, la invención no está limitada a la utilización de solo dos niveles de reactividad; para ilustrar, cada una de las tres o más cargas de combustible puede tener diferente reactividad que las otras cargas. Además, los combustibles no necesitan ser líquidos en forma, y pueden utilizarse combustibles gaseosos (tales como metano / gas natural). Además, la estrategia de estratificación de reactividad utilizada en la invención no necesita ser utilizada de un ciclo a otro dentro de un motor, por ejemplo, un motor puede cambiar entre el funcionamiento diésel convencional y la operación modificada descrita anteriormente.

La invención también es compatible con EGR (recirculación de los gases de escape), tal como se señaló anteriormente, así como el tratamiento posterior del escape y otras estrategias de manipulación de la combustión y de la reducción de emisiones. Estas estrategias pueden reducir aún más las emisiones y, dado que las emisiones resultantes de la invención se reducen con respecto a las de los sistemas anteriores, el equipo utilizado para implementar las estrategias podría tener una vida útil más prolongada y/o ser modificado por un gasto menor.

En resumen, la invención no está destinada a limitarse a las versiones preferidas de la invención descrita anteriormente, sino que está destinada a estar limitada solo por las reivindicaciones expuestas a continuación. Por lo tanto, la invención abarca todas las diferentes versiones que caen literalmente o de manera equivalente dentro del alcance de estas reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método de combustión de ignición por compresión para un motor de combustión interna, incluyendo el método incluye las etapas de:
 - a. suministrar una carga de combustible inicial a una cámara de combustión de un motor de combustión interna durante un ciclo del motor,
 - b. posteriormente, suministrar una carga de combustible posterior en la cámara de combustión a 40 o más grados antes del punto muerto superior (PMS) durante el ciclo del motor, teniendo la carga de combustible posterior diferente reactividad que la primera carga de combustible,obteniendo de este modo una distribución estratificada de la reactividad de combustible en el interior de la cámara de combustión, con regiones de mayor reactividad de combustible separadas de las regiones de menor reactividad de combustible al inicio de la combustión, donde:
 - (1) una de la carga de combustible inicial y la carga de combustible posterior contiene un primer combustible; y
 - (2) la otra de la carga de combustible inicial y la carga de combustible posterior contiene una mezcla del primer combustible y un aditivo que altera la reactividad del primer combustible.
2. El método de la reivindicación 1, en el que las regiones están distribuidas en el interior de la cámara de combustión, de modo que una o más de las siguientes condiciones da como resultado:
 - a. el inicio y la duración de la combustión del combustible proporcionan:
 - (1) emisiones de NOx de menos de 1,0 g/kW h, y
 - (2) emisiones de hollín de menos de 0,1 g/kW h;
 - b. el inicio y la duración de la combustión del combustible proporcionan una eficiencia térmica neta indicada del motor superior a 48%; y
 - c. el inicio y la duración de la combustión del combustible proporcionan una eficiencia térmica bruta indicada del motor superior al 51%.
3. El método de la reivindicación 1, en el que las cargas de combustible son suministradas para quemar para alcanzar la presión máxima del cilindro en uno o más de:
 - a. en o después del punto muerto superior (PMS);
 - b. entre el punto muerto superior (PMS) y 20 grados después del PMS; y
 - c. entre aproximadamente 5 y 15 grados después del punto muerto superior (PMS).
4. El método de la reivindicación 1, en el que las cargas de combustible son suministradas para quemar para alcanzar CA50 entre aproximadamente 0 a 10 grados después del punto muerto superior (PMS).
5. El método de la reivindicación 1, en el que la carga de combustible inicial es suministrada a la cámara de combustión de manera suficiente antes del punto muerto superior (PMS) en el que la carga de combustible inicial se dispersa, por lo menos sustancialmente de manera homogénea en el interior de la cámara de combustión cuando la carrera de compresión está a medio completar.
6. El método de la reivindicación 1, en el que la carga de combustible posterior es suministrada a la cámara de combustión durante la carrera de compresión.
7. El método de la reivindicación 1, en el que la carga de combustible posterior es suministrada a la cámara de combustión entre 180 y 10 grados antes del punto muerto superior (PMS).
8. El método de la reivindicación 1, en el que:
 - a. la carga de combustible inicial es suministrada a la cámara de combustión a través de una entrada de admisión;
 - b. la carga de combustible posterior es suministrada a la cámara de combustión mediante inyección directa.
9. El método de la reivindicación 1, en el que dos o más cargas de combustible posteriores son suministradas a la cámara de combustión en momentos diferentes, incluyendo las siguientes cargas de combustible:
 - a. una primera carga de combustible posterior inyectada en la cámara de combustión entre:
 - (1) el cierre de una abertura de la entrada de admisión en la cámara de combustión, y

- (2) aproximadamente 40 grados antes del punto muerto superior; y
- b. una segunda carga de combustible posterior inyectada en la cámara de combustión después de la primera carga de combustible posterior.
- 5 10. El método de la reivindicación 1, en el que dos o más cargas de combustible subsiguientes son suministradas a la cámara de combustión en diferentes momentos, incluyendo las siguientes cargas de combustible:
- a. una primera carga de combustible posterior, en la que, por lo menos una parte principal de la primera carga de combustible posterior es inyectada hacia una región exterior situada en o cerca de un radio exterior de una cara del pistón que limita parcialmente la cámara de combustión;
- 10 b. una segunda carga de combustible posterior suministrada a la cámara de combustión después de la primera carga de combustible posterior, en la que, por lo menos una porción principal de la carga de combustible posterior es inyectada hacia una región interior separada hacia el interior desde el radio exterior de la cara del pistón.
11. El método de la reivindicación 1, en el que dos o más cargas de combustible posteriores son suministradas a la cámara de combustión en momentos diferentes, incluyendo las siguientes cargas de combustible:
- 15 a. una primera carga de combustible posterior, en la que, por lo menos una parte principal de la primera carga de combustible posterior es inyectada hacia una región situada fuera de un tercio exterior del radio de una cara del pistón que limita parcialmente la cámara de combustión;
- b. una segunda carga de combustible posterior suministrada a la cámara de combustión después de la primera carga de combustible posterior, en la que, por lo menos una porción principal de la segunda carga de combustible posterior es inyectada hacia una región situada dentro de un cuarto externo del radio de la cara del pistón.
- 20 12. El método de la reivindicación 1, en el que:
- (1) una de la carga de combustible inicial y la carga de combustible posterior es suministrada desde un primer tanque, y
- (2) la otra de la carga de combustible inicial y la carga de combustible posterior es suministrada tanto desde el primer tanque como de un segundo tanque.
- 25 13. El método de la reivindicación 12, en el que la carga de combustible posterior tiene una reactividad menor que la carga de combustible inicial.

Figura 1A
IVC (CIERRE DE VÁLVULA
DE ADMISIÓN)



Figura 1B
60° APMS

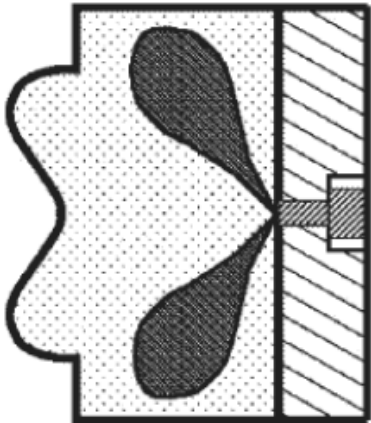


Figura 1C
30° APMS

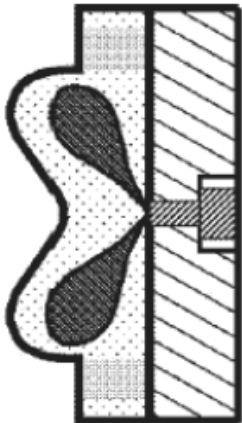


Figura 1D
15° APMS

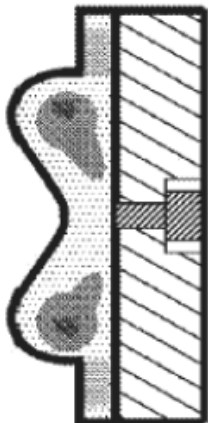


Figura 2

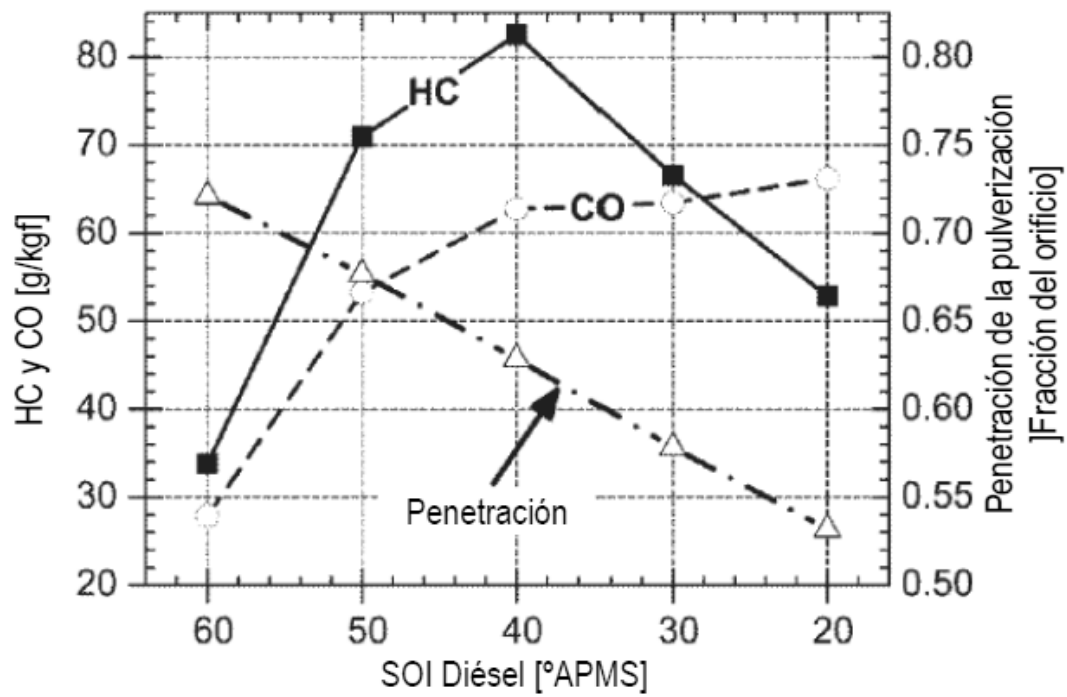


Figura 3

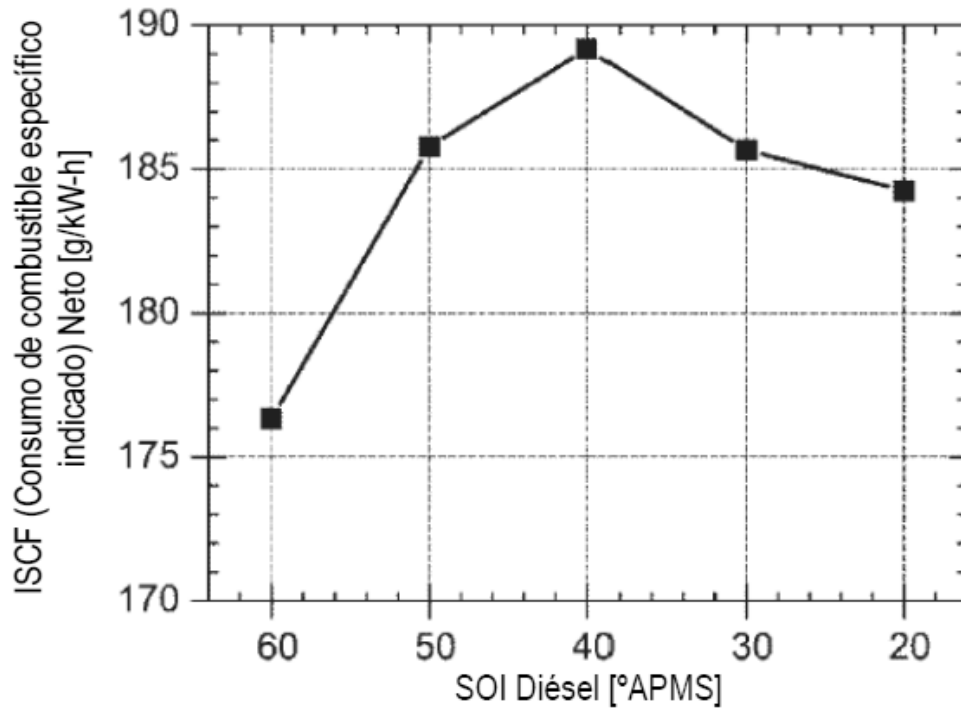
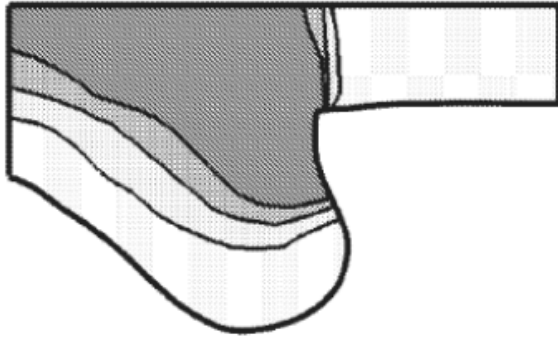


Figura 4

- 70% Gasolina
- 80% Gasolina
- 90% Gasolina

SOI = 40° APMS



SOI = 60° APMS

