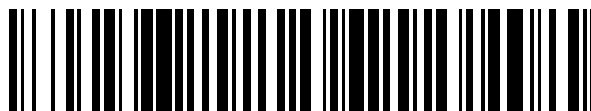


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 432 566**

51 Int. Cl.:

**F02B 23/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.12.2006 E 06835916 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.07.2013 EP 2100014**

54 Título: **Dispositivo para reducir las emisiones de hollín en un motor de combustión interna de un vehículo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**04.12.2013**

73 Titular/es:

**VOLVO LASTVAGNAR AB (100.0%)  
405 08 Göteborg, SE**

72 Inventor/es:

**EISMARK, JAN y  
BALTHASAR, MICHAEL**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 432 566 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**

Dispositivo para reducir las emisiones de hollín en un motor de combustión interna de un vehículo

## 5 CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un dispositivo para controlar el proceso de combustión en un motor de combustión interna. La invención especialmente se refiere a un dispositivo de ese tipo para reducir las emisiones de hollín en motores de combustión interna en los cuales la mezcla de combustible/gas del cilindro se enciende por el calor de compresión generado en el cilindro.

## ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Las partículas de hollín (o particulados) son un producto el cual, durante la combustión, tanto se pueden formar como oxidar a continuación en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). La cantidad de partículas de hollín medida en los gases del escape es la diferencia neta entre el hollín formado y el hollín oxidado. El proceso es muy complicado. La combustión con combustible pesado, esto es una mezcla rica combustible/aire con un mezclado pobre a una elevada temperatura produce una alta formación de hollín. Si las partículas de hollín formadas pueden ser llevadas junto con las sustancias que oxidan, tales como los átomos de oxígeno (O), moléculas de oxígeno ( $\text{O}_2$ ), hidróxido (OH), a una temperatura suficientemente alta para una buena velocidad de oxidación, entonces una mayor parte de las partículas de hollín se pueden oxidar. En un motor diesel, el proceso de oxidación se considera que está en el mismo orden de magnitud que la formación, lo cual significa que la producción neta de hollín es la diferencia entre la cantidad formada de hollín y la cantidad oxidada de hollín. La emisión neta de hollín por lo tanto puede estar influida en primer lugar por la reducción de la formación de hollín y en segundo lugar por el incremento de la oxidación del hollín. Las emisiones de monóxido de carbono (CO) y las emisiones de hidrocarburo (HC) normalmente son muy bajas a partir de un motor diesel. Todavía los porcentajes se pueden elevar si combustible sin quemar termina en regiones relativamente frías. Regiones de este tipo son, en particular, zonas con una refrigeración intensa colocadas cerca de la pared del cilindro. Otro ejemplo es la cavidad entre el pistón y la camisa del cilindro.

Los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) se forman a partir del contenido de nitrógeno en el aire en un proceso térmico el cual tiene una fuerte dependencia de la temperatura y depende del tamaño del volumen calentado y la duración del proceso.

Un proceso de combustión en el cual el combustible es inyectado directamente en el interior del cilindro y se enciende por la temperatura y la presión incrementadas en el cilindro generalmente es referido como el proceso diesel. Cuando el combustible se enciende en el cilindro, los gases de la combustión presentes en el cilindro sufren un mezclado turbulento con el combustible que quema, de modo que se forma una llama de difusión de la mezcla controlada. La combustión de la mezcla combustible/gas en el cilindro da lugar a la generación de calor, la cual causa que el gas en el cilindro se expanda y lo cual de ese modo causa que el pistón se mueva en el cilindro. Dependiendo del número de parámetros, tales como la presión de inyección del combustible, la cantidad de gases de escape recirculados hacia el cilindro, el tiempo de inyección del combustible y la turbulencia que prevalece en el cilindro, se obtienen diferentes rendimientos y valores de las emisiones del motor.

Más adelante en este documento siguen dos ejemplos de instalaciones del estado de la técnica que intentan disminuir tanto el hollín como las emisiones de  $\text{NO}_x$  controlando la llama e intentando romper el muy conocido "intercambio" entre emisiones de hollín y emisiones de óxido de nitrógeno, el cual es típico del motor diesel e "intercambio" el cual es difícil de influir. La mayoría de las medidas las cuales reducen las emisiones de hollín incrementan las emisiones de óxido de nitrógeno.

El documento EP 1216347 muestra una instalación para controlar el proceso de combustión en un motor de combustión controlando la llama de la combustión, con el propósito de disminuir las emisiones de hollín y de  $\text{NO}_x$ . El combustible es inyectado en el interior de la cámara de combustión con una energía cinética suficientemente alta (alta presión de inyección) de modo que se suministra energía cinética a la pulverización de tal modo que se consigue el proceso de mezclado interior en la pulverización y el proceso de mezclado global a gran escala entre el combustible y el gas del cilindro, manteniendo de ese modo las emisiones de hollín por debajo de un nivel seleccionado. La proporción del gas del escape del circulado se selecciona de tal modo que las emisiones de óxido de nitrógeno se mantengan por debajo de un nivel seleccionado.

El documento US 6732703 muestra una instalación para hacer mínimas las emisiones de  $\text{NO}_x$  y las partículas de hollín. En este caso, la pulverización del combustible choca en la sección interior del suelo del cubilete durante la inyección a fin de enfriar la combustión disminuyendo de ese modo la creación de  $\text{NO}_x$ . El combustible es inyectado con alta presión y el pistón está conformado para mantener el impulso en la estela de la pulverización y la mezcla de combustible/aire de modo que un mezclado bueno del oxígeno disponible y el hollín ocurra tarde en el proceso de combustión. Gran cantidad de impulso se pierde cuando la estela de la pulverización choca con la sección interior del suelo del cubilete.

Los documentos JP 2002 276375, EP 0 849 448, JP 2001 115844 y JP 8296442 exponen ejemplos adicionales de la técnica anterior que describen cada uno de ellos las prestaciones como se definen en el preámbulo de la reivindicación 1.

- 5 Debido a la próxima legislación futura sobre emisiones para los motores de combustión existe la necesidad de reducir adicionalmente los niveles de emisión de hollín a fin de cubrir las próximas demandas.

Es, por lo tanto, un objeto de la presente invención superar las deficiencias de la técnica anterior y proporcionar un motor de combustión interna que contenga una instalación de cámara de combustión diseñada para reducir  
10 emisiones de hollín indeseables suficientemente como para cumplir con los nuevos límites regulados. Por lo tanto, un objetivo importante de la invención sujeto es minimizar la cantidad de hollín promoviendo una combustión eficaz del combustible en el interior de la cámara de combustión asegurando el completo quemado/oxidación del hollín formado durante el proceso de combustión.

15 Otro objeto de la presente invención es proporcionar un motor en el que la forma, posición y dimensiones de las diversas características de la instalación de la cámara de combustión, incluyendo el cubilete del pistón y el ángulo de pulverización de la inyección, causen que la pulverización/llama incidan sobre y en contacto con la superficie del cubilete del pistón en la sección exterior del cubilete y que la forma curvilínea de dicha sección exterior del cubilete sea tal que el ángulo de reflexión de dicha incidencia de dicho eje central sea negativo durante por lo menos el inicio  
20 de la inyección a fin de incrementar el equilibrio entre los movimientos tangencial y vertical dirigido hacia arriba de la pulverización/llama.

Todavía otro objeto de la presente invención es proporcionar un motor diesel capaz de funcionar con mejoras significantes en la emisión de hollín comparadas con por ejemplo un motor US02, mientras satisface también las limitaciones del diseño mecánico para un motor comercialmente aceptable.  
25

Un objeto más específico de la presente invención es proporcionar un motor que incluya una instalación de cámara de combustión que tenga dimensiones y unas relaciones dimensionales para asegurar la oxidación de una cantidad suficiente de hollín durante la combustión para minimizar el hollín disponible para la descarga al sistema del escape.  
30 Esto se puede realizar sin incrementar la creación de NO<sub>x</sub>.

Según la invención, los objetos anteriores y otros objetos más detallados se pueden conseguir proporcionando un motor con una instalación de cámara de combustión que tenga unas ciertas combinaciones previamente determinadas de los parámetros de diseño de la cámara de combustión, incluyendo las dimensiones y las relaciones dimensionales específicas de la cámara de combustión. Por ejemplo, en la forma de realización preferida un motor con una cámara de combustión comprende: un cuerpo del motor que incluye un cilindro del motor, una culata del cilindro que forma una cara interior de la cámara de combustión y por lo menos un puerto de admisión formado en la culata del cilindro para dirigir el aire de la admisión al interior de la cámara de combustión sin o con poco efecto de turbulencia durante el funcionamiento; un pistón colocado para el movimiento alternativo en dicho cilindro del motor entre una posición de punto muerto inferior y una posición de punto muerto superior, dicho pistón incluyendo una cabeza del pistón que comprende una cara superior encarada a la cámara de combustión, dicha cabeza del pistón comprendiendo un cubilete del pistón formado por una cavidad de abertura hacia fuera, dicho cubilete del pistón comprendiendo una parte que se prolonga que tiene un extremo distante y una sección interior del suelo del cubilete que se extiende hacia dentro a un ángulo del suelo interior del cubilete negativo ( $\alpha$ ) desde un plano perpendicular al eje del movimiento alternativo del pistón, dicho cubilete del pistón adicionalmente comprendiendo una sección exterior del cubilete acampanada hacia fuera que tiene una forma curvilínea cóncava en sección transversal; un inyector montado en el cuerpo del motor adyacente a dicha parte que se prolonga de dicho cubilete del pistón para inyectar combustible en el interior de la cámara de combustión con una alta presión de inyección, dicho inyector comprendiendo una pluralidad de orificios dispuestos para formar estelas de pulverización del combustible, las cuales eventualmente se convierten en llamas y en el que cada uno de dicha pluralidad de orificios tiene un eje central orientado a un ángulo de pulverización negativo desde un plano perpendicular al eje del movimiento alternativo del pistón suficiente para causar que la pulverización/llama incidan en dicha sección exterior del cubilete. Una forma de realización preferida de la invención está caracterizada porque la forma curvilínea de dicha sección exterior del cubilete es de tal tipo que un ángulo de reflexión, definido por dicho eje central (30) y una línea normal a la superficie tangente imaginaria en un punto de dicha incidencia de dicho eje central de dichos orificios, es negativo durante por lo menos el inicio de la inyección a fin de incrementar el equilibrio entre los movimientos tangencial y vertical dirigidos hacia arriba de la pulverización/llama y conservar la energía de mezclado tarde en el ciclo para una oxidación incrementada del hollín y en el que la forma curvilínea de dicha sección exterior del cubilete tiene un radio en la gama adimensional de 0,054 hasta 0,117 y números de la gama adimensional por los cuales se puede proporcionar una gama en la medición de la longitud para un motor con un volumen del cilindro del motor específico multiplicando dichos números adimensionales por dicho radio con un volumen del cilindro de dicho motor específico y elevado a un tercio y en el que dicho ángulo de reflexión de dicha incidencia está en la gama de  $<0$  hasta  $-50$  grados cuando dicho pistón está en la posición del punto muerto superior.  
60

65 En una forma de realización desarrollada adicional de la invención dicho inyector está instalado para inyectar combustible con una presión de inyección promedio en la gama de 1000 hasta 3000 bar. En una forma de

realización preferida adicional dicha presión de inyección promedio está en la gama de 1500 hasta 2500 bar.

En una forma de realización preferida adicional de la invención dicho eje central está dispuesto para incidir en dicha sección exterior del cubilete durante toda la inyección.

5 En una forma de realización más preferible de la invención dicho radio está en la gama de 0,066 hasta 0,101. El procedimiento de escalado adimensional se describe adicionalmente más adelante en este documento.

10 En otra forma de realización preferida de la invención el ángulo de reflexión ( $\gamma$ ) está en la gama de  $-10 > \gamma > -35$  grados en la posición del punto muerto superior.

15 En todavía otra forma de realización preferida de la invención dicho ángulo de reflexión de dicha incidencia está en la gama de  $<0$  hasta  $-50$  grados durante el inicio de la inyección y la parte más larga de dicha inyección y ese dicho ángulo de reflexión es ligeramente negativo durante el final de la inyección. En otra forma de realización preferida de la invención el ángulo de reflexión ( $\gamma$ ) está en la gama de  $-10 > \gamma > -35$  grados durante el inicio de la inyección.

20 En todavía otra forma de realización preferida de la invención dicho ángulo de reflexión de dicha incidencia está en la gama de  $<0$  hasta  $-50$  grados durante la inyección completa y ese dicho ángulo de reflexión es ligeramente negativo durante el final de la inyección. En otra forma de realización preferida de la invención el ángulo de reflexión ( $\gamma$ ) está en la gama de  $-10 > \gamma > -35$  grados durante la inyección completa.

En otra forma de realización preferida de la invención el número de dichos orificios es 4 o más y en una forma de realización adicional de 5 hasta 7.

25 En otra forma de realización preferida adicional de la invención dicho efecto de turbulencia resultando en una relación de turbulencia en la gama de 0,0 hasta 0,7.

30 En otra forma de realización preferida adicional de la invención la geometría de la sección interior del suelo del cubilete en relación con el eje de la pulverización está dispuesta de tal manera que exista suficiente volumen y distancia entre la sección el suelo interior del cubilete y el eje de la pulverización (30) de modo que se limite el contacto perturbador entre la parte próxima a la boquilla sin encender de la pulverización y la sección interior del cubilete.

35 En otra forma de realización preferida adicional de la invención dicho combustible inyectado, cuando es inyectado, se dispone para que forme una mezcla con dicho aire de admisión en dicha cámara de combustión y esa dicha propia mezcla se enciende cuando es comprimida por dicho pistón.

40 En otra forma de realización preferida adicional de la invención dicho motor está instalado para añadir una parte previamente determinada del gas del escape recirculado a dicho aire de admisión, dicha parte estando adaptada de modo que las emisiones de óxido de nitrógeno que emergen de dicha combustión se mantengan por debajo de un nivel bajo seleccionado.

Formas de realización ventajosas adicionales de la invención se pondrán de manifiesto a partir de las reivindicaciones subordinadas de la patente a continuación de la reivindicación 1 de la patente.

45 **BREVE DESCRIPCIÓN DEL DIBUJO**

50 La presente invención se describirá con mayor detalle más adelante en este documento con referencia a los dibujos adjuntos los cuales, para el propósito de ejemplificación, muestran formas de realización preferidas adicionales de la invención y también los antecedentes técnicos, y en los cuales:

La figura 1 muestra esquemáticamente una vista en corte de un pistón y un cilindro en un motor de combustión de una forma de realización de la invención.

55 La figura 2a muestra esquemáticamente la mitad derecha del pistón de la figura 1 con el ángulo de reflexión del eje central geométrico de la pulverización según la invención.

60 La figura 2b muestra un diagrama sobre la relación entre la posición del pistón y el ángulo de reflexión del eje geométrico central de la pulverización de una forma de realización de la invención.

La figura 3 muestra esquemáticamente una vista desde arriba del pistón de la figura 1 con los flujos de la pulverización/llama según una forma de realización de la invención.

65 La figura 4 muestra esquemáticamente una vista lateral correspondiente de los flujos de la pulverización/llama de la figura 3.

Las figuras 5a hasta 5i muestran tridimensionalmente y esquemáticamente un pistón según la invención con un cilindro en nueve diferentes cuentas en el acto durante una inyección de combustible en una secuencia de combustión.

5 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Para comprender las características físicas únicas de la cámara de combustión 7 según la invención, la atención inicialmente se dirige a las figuras 1 y 2a que ilustran las diversas características físicas o parámetros que se requieren para conseguir las ventajas de la reducción de las emisiones inesperadas de la presente invención.

10 En la figura 1, se muestra una vista esquemática de un motor de combustión 1 el cual está diseñado para trabajar según el proceso diesel. El motor 1 comprende un cilindro 2 y un pistón 3, el cual tiene un movimiento alternativo en el cilindro 2 y está conectado a un cigüeñal 4, de modo que el pistón 3 está dispuesto para invertir el movimiento en el cilindro 2 entre una posición de punto muerto superior y punto muerto inferior. Como es también común, un extremo de la cavidad del cilindro está cerrado por una culata del cilindro del motor 14. El pistón 3 está provisto en su superficie superior 5 con un cubilete del pistón 6, el cual forma una cámara de combustión 7 junto con la superficie interior 21 de la culata del cilindro 14 y las paredes del cilindro 2. En la culata del cilindro 14 están instalados uno o más puertos de inducción 9. La conexión entre un puerto de inducción respectivo 9 y el cilindro 2 puede ser abierta y cerrada con una válvula de inducción 10 dispuesta en cada puerto de inducción 9. Dispuestos en la culata del cilindro también hay uno o más puertos de escape 11. La conexión entre un puerto de escape respectivo 11 y el cilindro 2 puede ser abierta y cerrada con una válvula de escape 12 dispuestas en cada puerto de escape 11. La abertura y el cierre de las válvulas 10 y 11 se puede conseguir mediante una leva mecánica o un sistema de accionamiento hidráulico o bien otro sistema motor en una secuencia cuidadosamente controlada en el tiempo con el movimiento alternativo del 3.

25 En la culata del cilindro 14 está instalado por lo menos un inyector de combustible 13, a través del cual se inyecta combustible en el interior del cilindro 2 como un pulverizado de combustible de modo que el combustible se mezcla con gas comprimido en el cilindro 2 para formar una mezcla de combustible/gas, la cual se enciende por el calor de compresión generado en el cilindro 2. La parte encendida del pulverizado forma una llama. Durante la inyección una parte del pulverizado más cerca del inyector con el combustible nuevamente inyectado todavía no ha empezado a quemar. El combustible preferiblemente se inyecta con una alta presión. El inyector 13 incluye una pluralidad de pequeños orificios de inyección (no representados), formados en el extremo inferior del conjunto de la boquilla del inyector 13 para permitir que el combustible a alta presión fluya desde la cavidad de la boquilla del inyector 13 en el interior de la cámara de combustión 7 con una presión muy alta para inducir a través del mezclado del combustible con la misma temperatura, una carga comprimida de aire en el interior de la cámara de combustión 7. Se debe entender que el inyector 13 puede ser cualquier tipo de inyector capaz de inyectar combustible a alta presión a través de una pluralidad de orificios de inyección en el interior de la cámara de combustión 7 de la manera descrita más adelante en este documento. Además, el inyector 13 puede incluir un émbolo mecánicamente accionado alojado en el interior del cuerpo del inyector para la creación de alta presión durante una carrera de avance del conjunto de émbolo. Alternativamente, el inyector 13 puede recibir combustible a alta presión desde una fuente de alta presión aguas arriba tal como un sistema de boquilla en línea con la bomba que incluya una o más bombas de alta presión o un acumulador de alta presión o un distribuidor de combustible. El inyector 13 puede incluir una válvula de control de la inyección accionada electrónicamente la cual suministra combustible a alta presión al conjunto de la válvula de la boquilla para abrir un elemento de la válvula de la boquilla, o controlar el drenaje de combustible a alta presión desde la cavidad de la válvula de la boquilla para crear un desequilibrio de presión en el elemento de la válvula de la boquilla causando de ese modo que el elemento de la válvula de la boquilla se abra y se cierre para formar un evento de inyección. Por ejemplo, el elemento de la válvula de la boquilla puede ser un elemento de la válvula de la boquilla cerrado por desviación por resorte convencional accionado por la presión del combustible. El inyector de combustible 13 preferiblemente está dispuesto centralmente en la culata del cilindro de modo que el eje central del inyector de combustible coincide con un eje central geométrico 15 del cilindro, eje central geométrico el cual es el eje del movimiento alternativo del pistón 3, como se representa en la figura 1. El motor de combustión 1 representado en la figura 1 trabaja según el principio de las carreras de cuatro tiempos. El motor 1 preferiblemente comprende una pluralidad de cilindros 2, cada uno provisto de un pistón 3, en el que cada pistón 3 está conectado a un cigüeñal común 4 a través de una biela de conexión y causando de ese modo que el pistón se mueva alternativamente a lo largo de una trayectoria rectilínea en el interior del cilindro 2 a medida que gira el cigüeñal del motor 4.

60 La figura 1 ilustra la posición del pistón 3 hacia unos 45 grados antes de la posición del punto muerto superior (TDC). Una posición del punto muerto superior se consigue cuando el cigüeñal está colocado para mover el pistón hacia la posición más alejada alejándolo del eje de giro del cigüeñal. De una manera convencional, el pistón se mueve desde la posición del punto muerto superior hasta la posición el punto muerto inferior (BDC) cuando avanza a través de las carreras de admisión y de potencia. Para los propósitos de esta exposición, las palabras "arriba" y "hacia arriba" corresponden a la dirección alejándose del cigüeñal del motor y las palabras "abajo" y "hacia abajo" corresponden a la dirección hacia el cigüeñal del motor o la posición del punto muerto inferior del pistón.

65

En la posición más elevada, punto muerto superior, el pistón 3 acaba de completar su carrera de compresión hacia arriba durante la cual el aire de la carga que se permite que entre en la cámara de combustión 7 desde el puerto de inducción 9 es comprimido elevando de ese modo su temperatura por encima de la temperatura de encendido del combustible del motor. Esta posición se considera en este caso como la posición de 360 grados en la que comienza la carrera de expansión/combustión de la carrera completa de cuatro tiempos de 720 grados del ciclo del pistón 3. La cantidad de aire de carga que se hace que entre en las cámaras de combustión se puede incrementar proporcionando un exceso de la presión de admisión sobre la técnica en el colector de admisión del motor. Este exceso de la presión de admisión Solano esférica puede estar provisto, por ejemplo, por un turbo cargador (no representado) accionado por una turbina activada por el escape del motor, o puede estar accionado por el cigüeñal del motor.

El motor de la presente invención incluye componentes y características de la cámara de combustión dimensionados, conformados o colocados uno con relación a los otros, como se describe más adelante en este documento, para reducir ventajosamente la materia en partículas (PM) hasta niveles en o por debajo de la normativa reguladora mientras se mantiene una aceptable economía de combustible. La invención se dirige específicamente para reducir las emisiones de hollín. El hollín es una fracción de la materia en partículas.

Específicamente, las dimensiones, forma o colocación relativa de los componentes y las características de la cámara de combustión son de tal tipo que el impulso de la pulverización del combustible/llama de gas en el cilindro que quema se conserva durante tanto tiempo como es posible de este modo a partir del inyector en una dirección ligeramente hacia abajo que sigue la forma de la sección interior del suelo del cubilete 19 y la sección exterior del cubilete 20 y adicionalmente hacia arriba hasta que ocurre la incidencia con la superficie interior 21 de la culata del cilindro, asegurando de ese modo una oxidación suficiente del hollín más tarde en el evento de la combustión. Adicionalmente, las dimensiones, forma o colocación relativa de los componentes y las características de la cámara de combustión son de tal tipo que se consigue un nivel previamente determinado del equilibrio entre el impulso vertical (principalmente hacia arriba) y tangencial (dirigido en un plano perpendicular al eje 15, de la pulverización/llama de combustible. Según la invención este equilibrio es importante de alcanzar a fin de poder conseguir niveles de emisión de hollín muy bajos. Los parámetros que controlan el equilibrio se seleccionan de tal modo que la pulverización/llama después de que haya incidido en la sección exterior del cubilete 20 principalmente se dirija en una dirección hacia arriba hacia la superficie interior 21 de la culata del cilindro, a fin de minimizar las pérdidas de impulso.

Preferiblemente, los movimientos vertical y tangencial de la llama forman un modelo a modo de abanico (véase también la figura 5d, explicada más adelante en este documento) justo después de la incidencia con la sección exterior del cubilete 20, en donde aproximadamente 1/3 de los movimientos de la llama se dirigen hacia arriba, como se indica mediante Y en la figura 4 y el resto se dirigen en dirección tangencial, como se indica con  $X_R$  para las partes de la llama que giran hacia la derecha y con  $X_L$  para las partes de la llama que giran hacia la izquierda en la figura 3. Las dimensiones, forma o colocación relativa de los componentes y las características de la cámara de combustión como se describe más adelante en este documento resultan en una cámara de combustión capaz de formar, dirigir, controlar y crear un modelo de combustible inyectado y la mayor parte de toda la mezcla de combustible que quema/gas del cilindro (llama) en el interior de la cámara de combustible 7 tanto durante las etapas iniciales de la inyección de combustible como durante la iniciación de la combustión y la expansión de los gases resultantes durante la carrera de potencia del pistón 3 y después del final de la inyección de modo que se consigue una reducción muy alta de las emisiones de hollín.

Más particularmente, la parte superior del pistón 3 puede ser referida como la cabeza del pistón 16. La cabeza del pistón 16 incluye la superficie superior 5 que parcialmente forma la cámara de combustión 7 y un cubilete del pistón 6 formado por una cavidad de abertura hacia arriba. El cubilete del pistón 6 incluye una parte que se prolonga 17 preferiblemente colocada en o cerca del centro del cubilete 6. La parte que se prolonga 17 incluye un extremo distante 18 colocado, en la forma de realización preferida representada en la figura 1, en el centro del cubilete del pistón 3 y de ese modo colocada a lo largo del eje del movimiento alternativo 15 del pistón 3. La parte que se prolonga 17 incluye también una sección interior del suelo del cubilete 19 que se extiende desde la parte que se prolonga 17 hacia abajo en un ángulo del suelo interior del cubilete  $\alpha$  desde un plano perpendicular al eje del movimiento alternativo del pistón 3 como se representa en la figura 1.

El cubilete del pistón 6 incluye también una sección exterior del cubilete acampanada hacia arriba 20 que tiene una forma curvilínea globalmente cóncava en sección transversal diametral. La sección exterior del cubilete 20 eficazmente conforma y dirige el flujo de la mezcla de combustible/aire o la llama en el interior de la cámara de combustión.

La figura 2a muestra esquemáticamente la mitad derecha de la forma de cubilete del pistón de la figura 1 con un ángulo de reflexión  $\gamma$  y del eje central geométrico 30 de la pulverización (más adelante designado eje de la pulverización) y un ángulo del eje de la pulverización  $\beta$  (más adelante designado ángulo de la pulverización). La sección exterior del cubilete 20 está diseñada con un radio particular  $R_1$  y con una colocación particular para el centro de radio  $CR_1$ .  $D_1$  adicionalmente indica la distancia entre el extremo distante 18 y el punto de cruce C de los diversos ejes de la pulverización en el inyector 13. La distancia  $D_2$  indica la duración de la inyección y el

cambio/movimiento del punto de incidencia del eje de la pulverización durante el movimiento hacia abajo del pistón 3. La posición del inicio y el fin de  $D_2$  depende de la duración en el tiempo (cantidad de combustible que se va a inyectar) y la temporización de la inyección.  $R_2$  indica un radio en el labio o borde que conecta el cubilete exterior 20 con la superficie superior 5 del pistón 3. El centro del radio  $R_2$  está indicado como  $CR_2$ .  $R_3$  indica el radio del cubilete del pistón. Mientras la forma general de la cámara de combustión tiene antecedente en la técnica anterior, es la configuración específica, y más importante, las dimensiones críticas y las relaciones dimensionales descritas más adelante en este documento las cuales resultan en el comportamiento funcional mejorado de la presente invención.

Según la invención el ángulo de la pulverización  $\beta$  se debe seleccionar de tal modo que el eje de la pulverización 30 incida en la sección exterior del cubilete 20 por lo menos durante el inicio de una inyección. Al mismo tiempo los parámetros  $R_1$  y el radio del cubilete del pistón  $R_3$  que deciden la forma de la sección exterior del cubilete se deben seleccionar de tal modo que el ángulo de reflexión  $\gamma$  sea negativo por lo menos durante el inicio de la inyección y preferiblemente durante la mayor parte de la duración de la inyección siguiente.  $R_3$  es en una gama dimensional (véase la explicación más adelante en este documento) de 0,33 hasta 0,39, preferiblemente desde 0,35 hasta 0,37. Preferiblemente el ángulo de reflexión  $\gamma$  se puede escoger en la gama de  $0 > \gamma > -50$  grados durante el inicio de la inyección. El solicitante ha encontrado que un ángulo de reflexión dentro de la gama de  $0 > \gamma > -50$  grados durante la inyección completa proporciona los niveles más bajos de emisión de hollín. Según una forma de realización de la invención el ángulo de reflexión puede ser negativo durante la mayor parte de la inyección y positivo sólo únicamente y cerca del final de la inyección. En una forma de realización preferida adicional de la invención el ángulo de reflexión está en la gama de  $-10 > \gamma > -35$  grados.

En la figura 2b se muestra un ejemplo de cómo varía el ángulo de reflexión  $\gamma$  durante un periodo de inyección. El eje x muestra un ángulo del cigüeñal CA del motor. SOI indica el inicio de la inyección y EOI indica el final de la inyección. En el ejemplo representado el inicio de la inyección ocurre cerca de los 356 grados, esto es 4 grados antes del punto muerto superior y el final de la inyección ocurre aproximadamente a los 382 grados. En el ejemplo representado el ángulo de reflexión es aproximadamente 29 grados al inicio de la inyección y aumenta hasta un máximo de 31 grados en el punto muerto superior antes de que la curva gire hacia abajo terminando con un ángulo de reflexión de 10 grados al final de la inyección. Según la invención un ángulo de reflexión negativo durante una inyección minimiza la pérdida de impulso del flujo de pulverización/llama cuando fluye a lo largo de la sección exterior del cubilete 20. Un ángulo de reflexión más cerca del límite superior de la gama proporciona en general una pérdida inferior en el impulso de la pulverización/llama cuando la pulverización/llama es forzada a cambiar de dirección debido a la incidencia con la sección exterior del cubilete 20. El valor del ángulo de reflexión durante una inyección depende en gran medida de la selección de los diversos parámetros geométricos, tales como  $D_1$ ,  $R_1$ ,  $\beta$  y el radio del cubilete del pistón  $R_3$  además de la temporización de la inyección y la duración de la inyección.

Como se ha indicado antes el combustible debe ser inyectado con una alta presión de inyección. Un promedio preferible del intervalo de la presión de inyección es de 1000 hasta 3000 bar y en una gama preferible adicional desde 1500 hasta 2500 bar. La presión de inyección es un parámetro importante para asegurar un alto impulso en el flujo de la pulverización/llama a través del movimiento a lo largo de la sección interior del suelo del cubilete, la sección exterior de flujo del cubilete, la incidencia con la superficie interior de la culata del cilindro y en particular los movimientos del gas del cilindro que siguen al final de la inyección.

Otro parámetro de la cámara de combustión para controlar las emisiones es la relación de turbulencia del flujo de aire que es generada por los puertos de inducción 9. La relación de turbulencia SR es la relación de la velocidad tangencial del aire que gira alrededor de la cámara de combustión 7 dividida por la velocidad del motor. Esto es, la relación de turbulencia es una medición del movimiento tangencial del aire cuando entra en el cilindro del motor desde los puertos de inducción 9 de la culata del cilindro 14. Con más precisión, el término relación de turbulencia se refiere al promedio de la velocidad angular en el cilindro del aire en la válvula de admisión que se cierra dividida por la velocidad angular del pistón del cilindro. Por ejemplo, un motor que funcione a 1800 revoluciones por minuto con una culata del cilindro que genera un movimiento del aire con una relación de turbulencia de 2 implica que el aire en el cilindro en la válvula de admisión que se cierra está girando con una velocidad angular promedio de 3600 revoluciones por minuto. Cuanto más alta es la relación de turbulencia, mayor es el efecto de la turbulencia del aire o de la mezcla de aire y combustible, mientras cuanto más baja es la relación de turbulencia, más bajo es el efecto de la turbulencia. El efecto de la turbulencia es un movimiento globalmente tangencial que en el momento de la compresión por el pistón 3 crea turbulencia y ayuda en el proceso de combustión. Según la invención, para ser capaz de asegurar el control del movimiento de la pulverización/llama durante la combustión completa, el impulso creado por la presión de inyección debe ser perturbado tan poco como sea posible. Por lo tanto, según la invención una baja turbulencia es preferible para ser capaz de conseguir la máxima ventaja de la presente invención. En esta descripción una turbulencia por debajo de 1,0 se considera una baja turbulencia. El solicitante ha encontrado que una relación de turbulencia por debajo de 0,7 es preferible e incluso más preferible es una relación de turbulencia por debajo 0,5 y bajando hasta cero.

La sección exterior del cubilete 20 está diseñada con un radio particular  $R_1$  y en una colocación particular para el centro del radio  $CR_1$  de modo que se asegure que la estela de la pulverización interactúe con una superficie interior 21 de la culata del cilindro 14 de una manera apropiada para asegurar un mezclado y un quemado apropiados de especialmente el hollín tarde en el proceso de combustión. Específicamente, el radio  $R_1$  se puede seleccionar en la

## ES 2 432 566 T3

gama adimensional de 0,054 hasta 0,117 y preferiblemente dentro de una gama adimensional de 0,066 hasta 0,101. Empezando a partir de la relación entre las escalas de longitud y volumen según la fórmula:

$$(1) \quad \frac{r_1}{r_2} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

5 Se puede proporcionar un factor adimensional  $\varepsilon$  transponiendo los términos de la forma la mencionada a:

$$(2) \quad \varepsilon = \frac{r_1}{V_1^{\frac{1}{3}}} = \frac{r_2}{V_2^{\frac{1}{3}}} = \frac{r_3}{V_3^{\frac{1}{3}}} = \dots \text{etc.}$$

10 Los números de las gamas adimensionales pueden ser transformados a una medición de la longitud, por ejemplo milímetros, escogiendo un motor con un volumen del cilindro del motor específico en milímetros cúbicos, multiplicando por lo tanto dichos números adimensionales por dicho radio con el volumen del cilindro de dicho motor específico y elevado a un tercio, esto es radio = (número adimensional) \* (volumen del cilindro)<sup>1/3</sup>. Por ejemplo el límite superior de la primera gama mencionada, esto es 0,08, proporciona con un volumen del cilindro de 2  
15 litros/cilindro el siguiente radio límite superior:

$$R = \varepsilon \cdot V^{1/3} = 0,08 \cdot (2,0 \cdot 10^6)^{1/3} = 10,1 \text{ mm}$$

20 Del modo correspondiente otros parámetros mencionados en esta descripción pueden ser transformados a partir de las gamas adimensionales mencionadas para los diferentes parámetros para tamaños diferentes del motor.

25 Combinando la magnitud de  $R_1$  y la colocación de  $CR_1$  la presente invención crea una sección exterior del cubilete 20 con un acampanado hacia arriba capaz de controlar el impulso de la estela de la pulverización/llama de modo que siga la sección exterior del cubilete 20 y cambie la dirección hacia arriba hacia la superficie interior 21 de la culata del cilindro. En una forma de realización alternativa la forma de la sección exterior del cubilete 20 no necesita seguir un radio de un círculo. En cambio la forma de la sección exterior del cubilete podría cambiar de radio a lo largo de su perfil.

30 Específicamente, la posición de  $CR_1$  y la magnitud de  $R_1$  aseguran que la llama que corre por el borde superior con el radio  $R_2$  del cubilete del pistón 6 tiene un impulso suficiente para ser dirigida al interior de la culata del cilindro 20 resultando en el grado apropiado de mezclado y oxidación del hollín. La sección exterior del cubilete 20 está específicamente diseñada para evitar un impulso inadecuado de la pulverización/llama el cual podría causar un estancamiento indeseable de la pulverización/llama sin interacción con la culata del cilindro resultando de ese modo en un mezclado y un quemado inadecuado del hollín. Esto se consigue teniendo un  $R_1$  que sea suficientemente  
35 grande que resulte en una curvatura de la sección exterior del cubilete 20 para crear y mantener el impulso en la pulverización/llama. La sección exterior del cubilete 20 también está diseñada para evitar un impulso excesivo en la pulverización/llama en una o varias direcciones lo cual podría causar que la pulverización/llama progresara demasiado en cierta dirección, comparada con las otras direcciones, causando un estancamiento indeseable de la pulverización/llama y dejando atrás de ese modo emisiones de hollín incrementadas.

40 Según la invención debería existir un equilibrio entre las direcciones del movimiento de la pulverización/llama. Por lo tanto,  $R_1$  está diseñado para modular el impulso de la pulverización/llama para asegurar que la pulverización/llama tenga un impulso suficiente para interactuar con la culata del cilindro y reflejar de vuelta o recircular en el interior del espacio abierto de la cámara de combustión 7 en un modelo previamente determinado (véase la figura adicional 5f y  
45 más adelante en este documento). Una  $R_1$  proporcionalmente pequeña tiende a disminuir el impulso de la estela de la combustión.

50 La superficie vertical superior 22 de la sección exterior del cubilete 20 adyacente al borde con el radio  $R_2$  preferiblemente se extiende verticalmente paralela al eje central geométrico del pistón 3, o ligeramente hacia dentro o ligeramente hacia fuera en relación con el eje del movimiento alternativo del motor 15 para influir en la llama hacia la situación de flujo de la culata del cilindro y establecer un proceso adicional de recirculación de la llama. La forma curvilínea de la sección exterior del cubilete 20 puede estar formada mediante una superficie que tenga un radio de curvatura  $R_1$ , el cual termina antes del borde con el radio  $R_2$  mientras una superficie vertical superior 22 de la sección exterior del cubilete 20 se extiende tangencialmente desde la superficie que tiene un radio de curvatura  $R_1$ ,  
55 verticalmente hasta el borde con radio  $R_2$ . Preferiblemente,  $CR_1$  está colocado por debajo de la cara superior 5 y preferiblemente la superficie vertical superior 22 no forma intersección con el borde con el radio  $R_2$  de una manera en la cual dirige los gases hacia fuera hacia las paredes del cilindro 2. De esta manera, un control apropiado de la pulverización/llama y un control de la interacción con la culata del cilindro se mejora mientras se evita la interacción con las paredes del cilindro reduciendo de ese modo el riesgo de la creación de carbono en la camisa del cilindro 2,  
60 debido a que el control de la llama según la invención dirige la mayor parte de la llama hacia dentro, hacia el eje del movimiento alternativo 15.



Como ya se ha mencionado indirectamente antes en este documento un aspecto importante del sujeto de la invención implica la orientación del eje central de cada orificio en un ángulo de pulverización  $\beta$  medido entre un plano perpendicular al eje del movimiento alternativo del pistón y un eje central 30 de cada pulverización (figura 2a) de modo que el eje de la pulverización 30 incide en la sección exterior del cubilete 20 durante por lo menos el inicio de la inyección. La geometría de la sección interior del suelo del cubilete 19 con relación al eje de pulverización 30 es de tal tipo que existe un espacio y una distancia suficientes entre la sección interior del suelo del cubilete y el eje de pulverización 30 de modo que se evita un contacto perturbador entre la parte cerca de la boquilla no encendida de la pulverización y la sección interior del cubilete. Esta acción causa que el eje de la pulverización 30 sea dirigido hacia la sección exterior del cubilete 20 con un contacto mínimo con la sección interior del suelo del cubilete, evitando de este modo la perturbación del encendido de la pulverización. De este modo se contribuye a hacer máxima la conservación del impulso de la pulverización/llama hasta que la pulverización/llama incida en la sección exterior del cubilete. La distancia vertical medida desde el extremo distante 18 de la parte de prolongación 17 hasta un punto de cruce C de varios ejes de la pulverización en el inyector 13 en la figura 2a está indicada por  $D_1$ .

Otro parámetro de la cámara de combustión importante que afecta de forma significativa a las emisiones de hollín es el número de orificios de inyección o de pulverización en el inyector 13. Según la presente invención, se utilizan por lo menos cuatro orificios de inyección para distribuir el combustible a la cámara de combustión 7. Preferiblemente, se pueden utilizar de cinco hasta siete orificios de inyección. El número de orificios de inyección N es crítico para la creación de un equilibrio apropiado, mencionado antes en este documento, entre los movimientos vertical y tangencial de la pulverización/llama. Si existen demasiados orificios de inyección la distancia entre los diferentes puntos de las incidencias de los ejes de la pulverización (con la sección exterior del cubilete) podrían estar demasiado cerca unos de otros de modo que un giro suave alrededor del movimiento (recirculación) de la pulverización en un plano horizontal estaría restringido y el movimiento vertical hacia arriba podría ser demasiado fuerte, lo cual podría resultar en regiones de la pulverización/llama en donde se perdiera sustancialmente todo el impulso, por lo tanto la oxidación posterior del hollín disminuiría. Otro parámetro importante que afecta a la recirculación es la velocidad de alimentación del combustible.

Otro parámetro de la cámara de combustión el cual se puede establecer para ayudar a minimizar el riesgo de pérdida de impulso es una distancia vertical (no representada) medida desde el centro de los orificios de salida de los orificios de inyección en el inyector 13 hasta la superficie interior 21 de la culata del cilindro 14. Esto es, dicha distancia representa la distancia de los orificios de inyección que sobresalen en el interior de la cámara de combustión 7 por debajo de la culata del cilindro 14. Los solicitantes han encontrado que la gama de esta distancia debe ser preferiblemente por lo menos 0,008 (adimensional), a fin de que la distancia de la pulverización/llama desde la superficie de la culata del cilindro 14 durante la etapa inicial de inyección del mismo modo que la pulverización/llama no llegue demasiado cerca de la sección interior del suelo del cubilete 19 (véase la descripción antes en este documento).

Otro parámetro crítico de la cámara de combustión es el radio de curvatura  $R_2$  en el labio o borde del cubilete de combustión 6 como se representa en la figura 2a. Aunque el radio  $R_2$  está representado en la figura 2a únicamente en un punto a lo largo del borde, se debe entender que  $R_2$  está formado a lo largo del borde entero alrededor de la circunferencia del cubilete del pistón 6.  $R_2$  está preferiblemente en la gama adimensional de 0,02 hasta 0,08. El límite superior de 0,08 es importante para mantener el control sobre la dirección del flujo en la llama a medida que fluye fuera de la sección exterior del cubilete 20.

Para incrementar la comprensión del control inventivo de la pulverización/llama las figuras 5a hasta 5i muestran tridimensional y esquemáticamente un pistón 3 según la invención con el cilindro 2 en nueve cuentas diferentes en el acto durante una secuencia de inyección y combustión de combustible, esto es desde aproximadamente 5 grados antes del punto muerto superior hasta tarde un momento en el tiempo en la secuencia de la combustión, esto es bastante después del punto muerto superior. El inicio de un eje de la pulverización 30 de dos pulverizaciones colocadas adyacentes se indica con una línea de puntos en las figuras 5a hasta 5i. A fin de aumentar la claridad de las figuras 5a hasta 5i únicamente se representan dos de las diversas pulverizaciones.

La figura 5a muestran el inicio de la inyección (SOI). Existe un retraso del encendido, el cual ocurre entre el inicio de la inyección y el encendido del combustible.

La figura 5b muestra el inicio de la combustión (SOC). Las áreas blancas indican llamas de gas que queman en el cilindro.

La figura 5c muestra cuando las llamas inciden en la sección exterior del cubilete 20 (llama hacia la pared). La dirección del movimiento de la llama izquierda (corresponde al recuento para la llama derecha) se indica con una flecha. Por lo tanto, las llamas se mueven desde el inyector 13 hacia la sección exterior del cubilete 20.

La figura 5d muestra cuando las llamas se encuentran unas con otras (llama hacia llama). La colisión está indicada mediante dos de las cuatro flechas que señalan unas hacia las otras.

Según la invención se consigue un equilibrio entre los movimientos vertical y tangencial cuando las llamas después de la primera incidencia con la sección exterior del cubilete (figura 5c) se esparcen en un modelo a modo de abanico como se indica en la figura 5d. Esto se consigue seleccionando los parámetros anteriormente mencionados dentro de las gamas mencionadas. Las flechas verticales en la figura 5d corresponden a Y en la figura 4, y la flecha que apunta hacia la derecha en la figura 5d corresponde a  $X_R$  en la figura 3 y finalmente la flecha que apunta hacia la izquierda en la figura 5d corresponde a  $X_L$  en la figura 3.

La figura 5e muestra cuando las llamas inciden en la superficie interior de la culata del cilindro 21 (llama hacia la culata). Esto se indica mediante un área de puntos en las llamas. En el interior de dicha área de puntos las llamas están en contacto con la superficie interior 21 de la culata del cilindro 14. Las dos flechas en la llama izquierda indican los movimientos principales de las llamas a lo largo de dicha superficie interior 21.

La figura 5f muestra la importante, para la invención, recirculación de la llama, la cual es forzada por la interacción llama hacia la culata y llama hacia llama y la cual es el resultado de seleccionar principalmente los parámetros anteriormente mencionados dentro de las gamas mencionadas de modo que se consigue dicho equilibrio entre los movimientos vertical y tangencial de las llamas. Una cierta elección de dichos parámetros controla la temporización y la posición de dicha recirculación de la llama, representado especialmente en la figura 5f, pero también en las figuras 5g hasta 5i. Especialmente una interacción simétrica llama hacia llama crea vértices de recirculación de las llamas útiles. Las flechas indican la dirección del movimiento de la recirculación de las llamas, las cuales son dirigidas de vuelta hacia el interior de la cámara de combustión 7.

La baja turbulencia en este caso es indirectamente una razón para un mezclado más intensivo gracias a la creación dirigida con simetría de los vértices inducidos llama hacia llama. Las llamas adyacentes realmente colisionan y fuerzan unas a otras a moverse eventualmente hacia el eje del movimiento alternativo 15. Con suficiente energía de mezclado dejada (impulso), esta recirculación de la llama contribuye a mezclar y quemar el último combustible inyectado (y que produce hollín) y de ese modo también a oxidar el hollín tarde en la secuencia de combustión.

La figura 5g muestra el final de la inyección (EOI), por lo tanto el impulso a partir de la presión de la inyección ha terminado y los movimientos adicionales del gas en el cilindro dependen principalmente en el impulso proporcionado anteriormente a partir de la presión de la inyección.

La figura 5h muestra la oxidación del hollín y la dilución de la pulverización después del final de la inyección, debido a la potente mezcla de gases/llama en el cilindro. La figura 5i muestra más tarde después del quemado una oxidación rica de la bolsa de hollín, la cual la actual invención tiene por objetivo incrementar con el control de los movimientos de la pulverización/llama con el propósito de conservar el impulso en los gases en el cilindro en tanto en cuanto sea posible después del final de la inyección.

Una ventaja importante de la invención es que puede existir hollín a baja temperatura después de la oxidación sin formación significativa de óxido de nitrógeno ( $NO_x$ ). Las diferentes formas de realización de la invención para la reducción de las emisiones de partículas/hollín ventajosamente se pueden combinar con diferentes instalaciones conocidas para el tratamiento posterior del escape para reducir el  $NO_x$  (y también las trampas de hollín) para reducir las emisiones de  $NO_x$  incluso adicionalmente. La invención ventajosamente también se puede combinar con un dispositivo de recirculación de gases del escape (EGR), mediante el cual se puede controlar el nivel de las emisiones de  $NO_x$  independientemente de las emisiones de partículas/hollín (véase, por ejemplo, el documento EP 1216347).

Combinaciones de los parámetros de la cámara de combustión, descritos antes en este documento, seleccionados dentro de las gamas específicas proporcionan ventajas en la reducción de las emisiones de hollín/partículas en comparación con los diseños convencionales de motores, que incluyen específicamente cumplir las nuevas normas de emisiones con relación especialmente al hollín. La cámara de combustión inventiva 7 específicamente incluye un ángulo de reflexión negativo  $\gamma$ , una baja turbulencia y una alta presión de inyección y los efectos positivos de la invención se pueden aumentar adicionalmente en combinación con una selección correcta de uno o varios de los otros parámetros mencionados antes en este documento.

Las gamas adimensionales provistas en la presente solicitud se pueden aplicar en motores del tamaño para coches de pasajeros y hasta un tamaño de motor de un barco grande.

La invención no se debe considerar que está limitada a las formas de realización descritas antes en este documento, sino que son concebibles una serie de variantes y modificaciones adicionales dentro del ámbito de las siguientes reivindicaciones de la patente.

## REIVINDICACIONES

1. Un motor de combustión interna (1) con una cámara de combustión (7) que comprende: un cuerpo del motor que incluye un cilindro del motor (2), una culata del cilindro (14) que forma una superficie interior (21) de la cámara de combustión (7) y por lo menos un puerto de admisión (9) formado en la culata del cilindro (14) para dirigir el aire de admisión al interior de la cámara de combustión sin o con bajo efecto de turbulencia durante el funcionamiento; un pistón (3) colocado para el movimiento alternativo en dicho cilindro del motor (2) entre una posición de punto muerto inferior y una posición de punto muerto superior, dicho pistón incluyendo una cabeza del pistón (16) que comprende una superficie superior (5) encarada a la cámara de combustión, dicha cabeza del pistón conteniendo un cubilete del pistón (6) formado por una cavidad que se abre hacia fuera, dicho cubilete del pistón comprendiendo una parte que se prolonga (17) que tiene un extremo distante (18) y una sección interior del suelo del cubilete (19) que se extiende hacia abajo en un ángulo negativo del suelo interior del cubilete ( $\alpha$ ) desde un plano perpendicular al eje del movimiento alternativo (15) del pistón (3), dicho cubilete del pistón adicionalmente comprendiendo una sección acampanada hacia fuera del cubilete exterior (20) que tiene una forma curvilínea cóncava en sección transversal; un inyector (13) montado en el cuerpo del motor adyacente a dicha parte que se prolonga de dicho cubilete del pistón para inyectar combustible dentro de la cámara de combustión con una alta presión de inyección, dicho inyector comprendiendo una pluralidad de orificios dispuestos para formar estelas de la pulverización de combustible, las cuales eventualmente se convierten en llamas y en el que cada uno de dicha pluralidad de orificios está provisto de un eje central (30) orientado a un ángulo negativo de la pulverización ( $\beta$ ) desde un plano perpendicular a dicho eje del movimiento alternativo del pistón suficiente para causar que la pulverización/llama incida en dicha sección exterior del cubilete (20) y la forma curvilínea de dicha sección exterior del cubilete es de tal tipo que un ángulo de reflexión ( $\gamma$ ), definido por dicho eje central (30) y una línea normal a una superficie tangente imaginaria en un punto de dicha incidencia de dicho eje central (30), es negativo durante por lo menos el inicio de la inyección a fin de incrementar el equilibrio entre los movimientos tangencial y vertical dirigidos hacia arriba de la pulverización/llama y conservar la energía de la mezcla tarde en el ciclo de combustión para el incremento de la oxidación del hollín y en el que la forma curvilínea de dicha sección exterior del cubilete tiene un radio ( $R_1$ ) en la gama adimensional de 0,054 hasta 0,117 y por la cual los números de la gama adimensional pueden estar provistos en una gama en la medición de la longitud para un motor con un volumen del cilindro del motor específico multiplicando dichos números adimensionales por dicho radio con un volumen del cilindro de dicho motor específico y elevado a un tercio y caracterizado porque dicho ángulo de reflexión ( $\gamma$ ) de dicha incidencia está en la gama de  $<0$  hasta  $-50$  grados cuando dicho pistón (3) está en la posición del punto muerto superior.
2. Un motor de combustión interna según la reivindicación 1 caracterizado porque dicho inyector (13) está instalado para inyectar combustible con una presión de inyección promedio en la gama de 1000 hasta 3000 bar.
3. Un motor de combustión interna según la reivindicación 2 caracterizado porque dicha presión de inyección promedio está en la gama de 1500 hasta 2500 bar.
4. Un motor de combustión interna según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque dicho eje central (30) de dichos orificios está dispuesto para incidir con dicha sección exterior del cubilete (20) durante la inyección completa.
5. Un motor de combustión interna según la reivindicación 1 caracterizado porque la forma curvilínea de dicha sección exterior del cubilete tiene un radio ( $R_1$ ) en la gama adimensional de 0,066 hasta 0,101.
6. Un motor de combustión interna según la reivindicación 4 o 5 caracterizado porque la forma curvilínea de dicha sección exterior del cubilete tiene un radio ( $R_1$ ) que es sustancialmente constante a lo largo de su perfil.
7. Un motor de combustión interna según la reivindicación 4 o 5 caracterizado porque la forma curvilínea de dicha sección exterior del cubilete tiene un radio ( $R_1$ ) que varía a lo largo de su perfil.
8. Un motor de combustión interna según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque dicho ángulo de reflexión ( $\gamma$ ) de dicha incidencia está en la gama de  $<0$  hasta  $-50$  durante el inicio de la inyección y la mayor parte de dicha inyección y porque dicho ángulo de reflexión ( $\gamma$ ) es ligeramente positivo durante el final de la inyección.
9. Un motor de combustión interna según las reivindicaciones 1 hasta 7 caracterizado porque dicho ángulo de reflexión ( $\gamma$ ) de dicha incidencia está en la gama de  $<0$  hasta  $-50$  grados durante la inyección completa.
10. Un motor de combustión interna según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque dicho ángulo de reflexión ( $\gamma$ ) de dicha incidencia está en la gama de  $-10 > \gamma > -35$  grados.
11. Un motor de combustión interna según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque el número de dichos orificios es 4 o más.

## ES 2 432 566 T3

12. Un motor de combustión interna según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque el número de dichos orificios es de 5 hasta 7.
- 5 13. Un motor de combustión interna según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque dicho efecto de turbulencia resulta en un radio de turbulencia en la gama de 0,0 hasta 0,7.
- 10 14. Un motor de combustión interna según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque la geometría de la sección interior del suelo del cubilete (19) con relación al eje de la pulverización (30) está dispuesta de tal modo que existe volumen y distancia suficiente entre la sección interior del suelo del cubilete y el eje de la pulverización (30) de modo que se evita el contacto perturbador entre la parte sin encender la pulverización cerca de la boquilla y la sección interior del cubilete.
- 15 15. Un motor de combustión interna según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque dicho combustible inyectado, cuando se inyecta, se dispone para que forme una mezcla con dicho aire de admisión en dicha cámara de combustión y dicha mezcla se auto enciende cuando es comprimida por dicho pistón.
- 20 16. Un motor de combustión interna según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque dicho motor (1) está instalado para añadir una parte previamente determinada del gas del escape recirculado a dicho aire de admisión, dicha parte estando adaptada de modo que las emisiones de óxido de nitrógeno que emergen de dicha combustión se mantienen por debajo de un nivel bajo seleccionado.

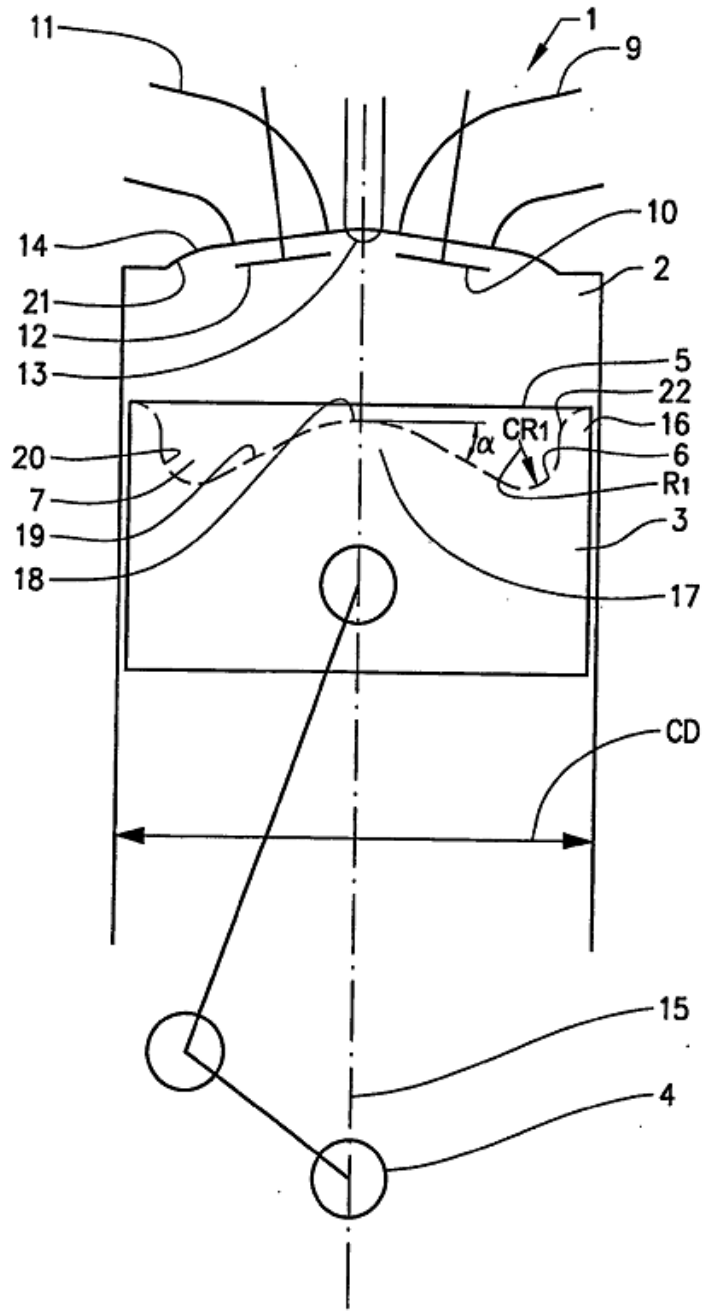


FIG. 1

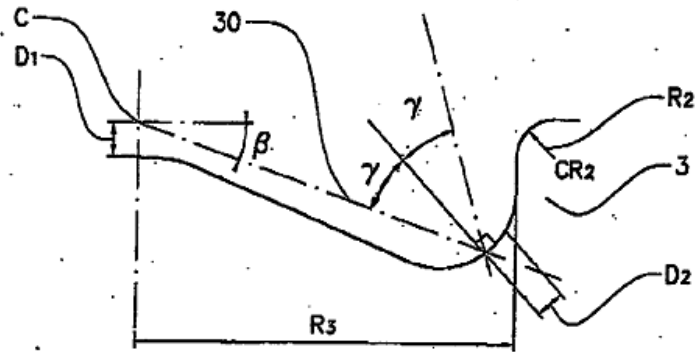


FIG. 2a

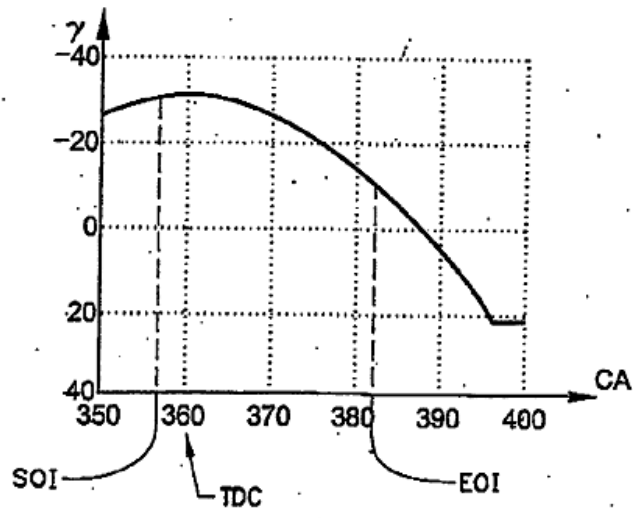


FIG. 2B

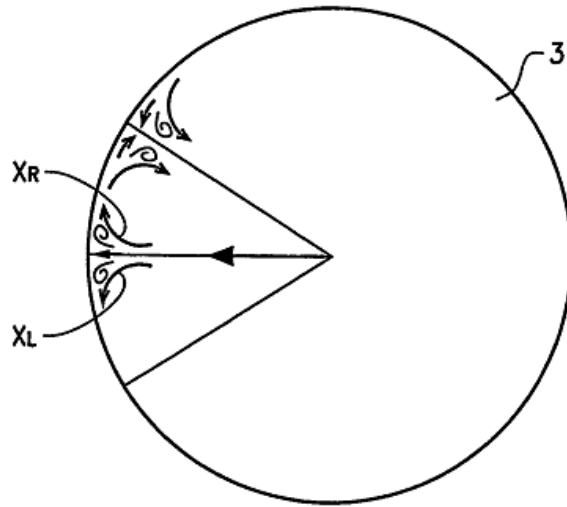


FIG. 3

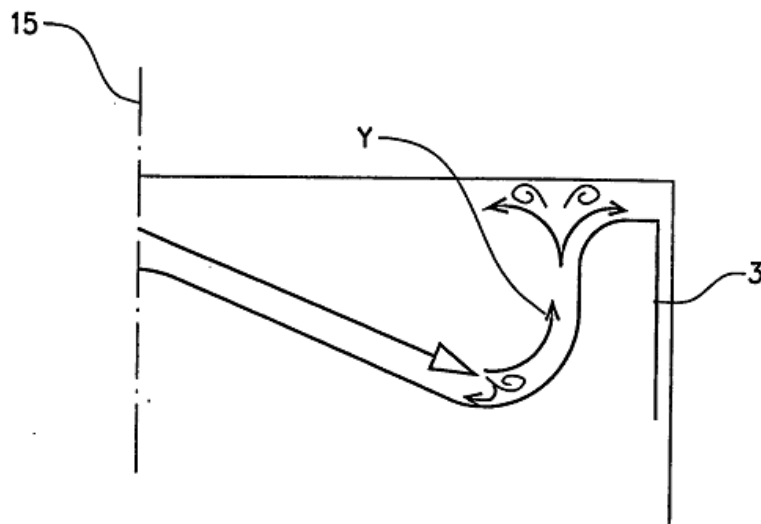


FIG. 4

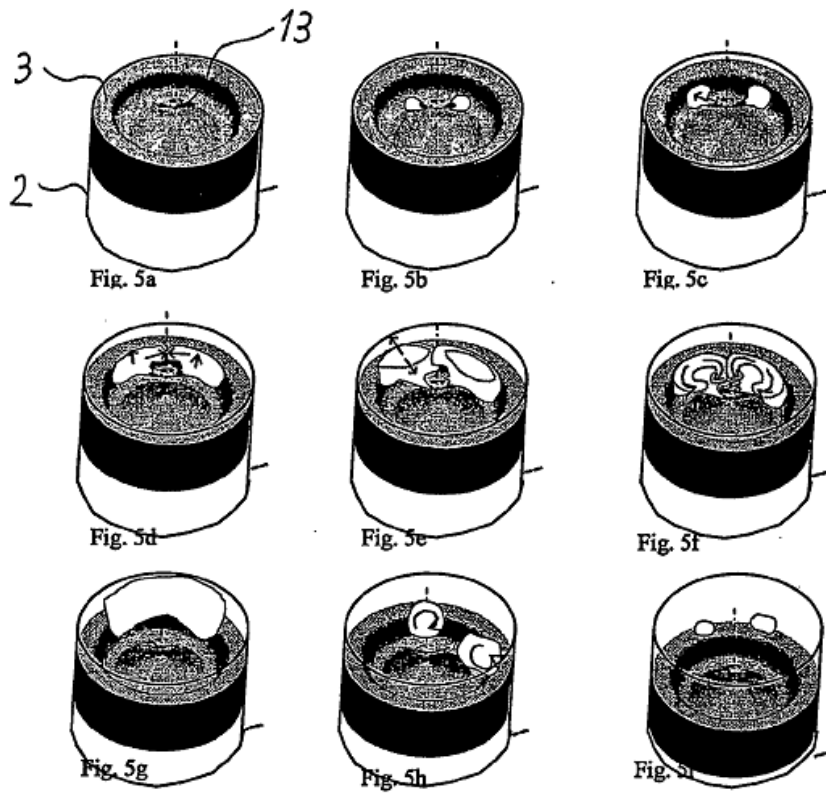


Fig.5