

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 827 841**

51 Int. Cl.:

F02B 31/06 (2006.01)
F02B 31/08 (2006.01)
F02B 23/10 (2006.01)
F02D 41/40 (2006.01)
F02D 41/30 (2006.01)
F02D 41/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.08.2018** E 18188801 (7)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.09.2020** EP 3447263

54 Título: **Motor, dispositivo de inyección de combustible para el motor, método de control del motor, método de control del dispositivo de inyección de combustible, dispositivo de control y producto de programa informático**

30 Prioridad:

25.08.2017 JP 2017161685

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

24.05.2021

73 Titular/es:

**MAZDA MOTOR CORPORATION (100.0%)
3-1 Shinchi, Fuchu-cho, Aki-gun
Hiroshima 730-8670, JP**

72 Inventor/es:

**MATSUMOTO, KOTA;
URUSHIHARA, TOMONORI;
SUEOKA, MASANARI;
MARUYAMA, KEIJI;
MIYAMOTO, TORU;
KOSHIRO, YUDAI y
PAK, GYETAE**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 827 841 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

Motor, dispositivo de inyección de combustible para el motor, método de control del motor, método de control del dispositivo de inyección de combustible, dispositivo de control y producto de programa informático

Campo técnico

- 5 La presente descripción se refiere a un motor y a un dispositivo de inyección de combustible para un motor. Además, la invención se refiere a un método de control de un motor, un método de control de un dispositivo de inyección de combustible, un dispositivo de control y a un producto de programa informático.

Antecedentes de la descripción

- 10 El documento JP 2009 – 108 778 A describe un dispositivo de inyección de combustible que causa que el combustible dé vueltas y se difunda en un flujo en forma de remolino para formar un gas de mezcla estratificado. Específicamente, en la etapa final de la carrera de compresión se realiza una inyección auxiliar en la que se inyecta una pequeña cantidad de combustible . Al hacer que el combustible de vueltas y se difunda en el flujo en forma de remolino, el gas de mezcla estratificado se forma alrededor de una bujía, y el gas de mezcla estratificado se enciende para causar una inflamación. Durante o después de la combustión de este gas de mezcla, se realiza una

15 inyección principal de combustible. De este modo, se produce con seguridad el encendido por compresión.

Sin embargo, con la configuración descrita en el documento JP 2009 – 108 778 A, no se forma una distribución adecuada de un gas de mezcla dentro de una cámara de combustión.

El documento EP 2 284 381 A1 describe un controlador de inyección de combustible de un motor de combustión interna aplicable en un motor diésel de conducto común.

- 20 El documento EP 0 875 672 A2 describe un motor de encendido por inyección directa de combustible en el que se forma una cavidad en la parte superior de un pistón.

- 25 El documento WO 2018 / 096 746 A1 es un documento publicado a posteriori y describe un dispositivo de control de motor para un motor que tiene una bujía que enciende una mezcla de combustible - aire en un momento de encendido prescrito de modo que la mezcla de combustible - aire no quemada experimenta una combustión a través del autoencendido después de que la combustión de la mezcla combustible - aire ha sido iniciada mediante el encendido.

La tesis doctoral de Slavey Tanov describe la investigación de la combustión premezclada parcialmente en un motor óptico. Las actas de la conferencia técnica de primavera de 2012 de la división de motores de combustión interna de ASME describen el impacto de la relación de remolino y la presión de inyección en el mezclado de combustible - aire en un motor diésel de uso liviano.

- 30 Por lo tanto, la presente descripción tiene como objetivo proporcionar un dispositivo de inyección de combustible para un motor, que forma una distribución de gas de mezcla adecuada dentro de una cámara de combustión.

Este objetivo se obtiene mediante las características de las reivindicaciones independientes. Se definen desarrollos adicionales en las reivindicaciones dependientes.

Compendio de la descripción

- 35 Por ejemplo, si las secciones con diferentes concentraciones de combustible (secciones gruesas y delgadas) se dispersan y se forma un gas de mezcla no uniforme, no se puede realizar una combustión adecuada. Esto aumenta el ruido de combustión, eleva excesivamente una temperatura de combustión y genera NO_x, y un encendido se vuelve inestable y la combustión estable se vuelve difícil.

- 40 Los presentes inventores han establecido una técnica para formar una distribución de gas de mezcla adecuada dentro de una cámara de combustión utilizando adecuadamente un flujo en forma de remolino. Aquí, "distribución de gas de mezcla" significa una distribución de gas de mezcla que contiene combustible y gas (que contiene principalmente aire, también puede contener gas quemado).

- 45 Según un aspecto de la presente descripción, se proporciona un motor formado con una cámara de combustión que tiene una superficie inferior formada mediante un pistón para reciprocarse dentro de un cilindro a lo largo de un eje central del mismo. El dispositivo incluye una válvula de inyección de combustible configurada para inyectar combustible en la cámara de combustión, una válvula de control de remolino configurada para generar un flujo en forma de remolino inclinado dentro de la cámara de combustión que fluye oblicuamente con respecto al eje central, y una unidad de control configurada para controlar la válvula de inyección de combustible. La válvula de inyección de combustible inyecta una pluralidad de partes de combustible que incluye al menos una primera parte de combustible

50 y una segunda parte de combustible cuyas pulverizaciones alcanzan el flujo en forma de remolino generado mediante la válvula de control de remolino. Cuando una posición en la que la pulverización de la primera parte de combustible alcanza el flujo en forma de remolino es una primera posición y una posición en la que la pulverización de la segunda parte de combustible alcanza el flujo en forma de remolino es una segunda posición, la pulverización

de la primera parte de combustible alcanza la primera posición y después se aleja de la primera posición mediante el flujo en forma de remolino antes de que la pulverización de la segunda parte de combustible alcance la segunda posición. La válvula de inyección de combustible inyecta el combustible de forma dividida en dos inyecciones en la carrera de admisión y la pulverización de la primera parte de combustible se fusiona con la pulverización de la segunda parte de combustible.

Según esta configuración, en la cámara de combustión en la que se genera el flujo en forma de remolino, se inyectan una pluralidad de partes de combustible (que incluye al menos la primera parte de combustible y la segunda parte de combustible) cuyas pulverizaciones alcanzan el flujo en forma de remolino. El flujo en forma de remolino es un flujo en forma de torbellino (vórtice lateral) formado sustancialmente ortogonal al eje central del cilindro. La tasa de flujo del flujo en forma de remolino es relativamente estable incluso cuando cambia un volumen de la cámara de combustión y el estado operativo del motor.

La pulverización de la primera parte de combustible alcanza la primera posición en tal flujo en forma de remolino, y después la pulverización de la segunda parte de combustible alcanza la segunda posición del flujo en forma de remolino. La pulverización de la primera parte de combustible se aleja de la segunda posición mediante el flujo en forma de remolino antes de que la pulverización de la segunda parte de combustible alcance la segunda posición. Es decir, cuando la pulverización de la segunda parte de combustible alcanza la segunda posición, la primera parte de combustible que alcanzó el flujo en forma de remolino anteriormente se alejó de la segunda posición durante esa diferencia de tiempo y se alejó más lejos mediante el flujo en forma de remolino. Ya que el flujo en forma de remolino viaja constantemente, aunque la primera y segunda partes de combustible que se mueven a lo largo del flujo en forma de remolino pueden encontrarse entre sí al difundirse con el tiempo, no se cruzan estrechamente. Se difunden a lo largo del flujo en forma de remolino desde diferentes posiciones entre sí y de este modo se vuelve uniforme una concentración de combustible.

De esta manera, los combustibles inyectados se esparcen adecuadamente usando el flujo en forma de remolino, y se forma un gas de mezcla homogéneo. Usando el flujo en forma de remolino para cambiar la pulverización de combustible a lo largo del tiempo, se forma una distribución de gas de mezcla adecuada dentro de la cámara de combustión en un momento dado después de la inyección de combustible.

La válvula de control de remolino puede generar un flujo en forma de remolino en una relación de remolino de aproximadamente 4 o superior.

Aquí, una relación de remolino puede ser un valor que se obtiene midiendo la velocidad angular lateral del flujo de admisión para cada elevación de válvula, integrando estos valores, y dividiendo este valor integrado por la velocidad angular del motor. La velocidad angular lateral del flujo de admisión se puede medir usando una prueba de banco.

Cuando la relación de remolino es de aproximadamente 4 o superior, es posible situar el combustible inyectado en el flujo en forma de remolino para moverse en un intervalo amplio dentro de la cámara de combustión, de este modo se forma un gas de mezcla más homogéneo. Por lo tanto, la distribución de gas de mezcla dentro de la cámara de combustión se controla con mayor precisión.

En el dispositivo de inyección de combustible, la unidad de control puede controlar la válvula de inyección de combustible para inyectar la primera parte de combustible y la segunda parte de combustible a una presión entre aproximadamente 30 MPa y aproximadamente 120 MPa.

Si la presión de inyección del combustible cae por debajo de aproximadamente 30 MPa, el combustible puede fallar parcialmente en alcanzar el flujo en forma de remolino. Si la presión de inyección del combustible excede aproximadamente 120 MPa, el flujo del combustible inyectado puede penetrar el flujo en forma de remolino. Con la presión de inyección entre aproximadamente 30 MPa y aproximadamente 120 MPa, el combustible inyectado se sitúa adecuadamente en el flujo en forma de remolino, de este modo se forma el gas de mezcla más homogéneo. Por lo tanto, la distribución del gas de mezcla dentro de la cámara de combustión se controla con mayor precisión.

La válvula de inyección de combustible puede tener aproximadamente de ocho a diez puertos de boquilla en un intervalo uniforme en una dirección circunferencial de la misma. La válvula de inyección de combustible puede inyectar el combustible de modo que la pulverización del mismo se esparce radialmente oblicuamente hacia abajo desde un centro radial de una parte del techo de la cámara de combustión. Un ángulo de inyección de cada uno de los puertos de boquilla con respecto a un eje de inyección de la válvula de inyección de combustible puede estar entre aproximadamente 30 y aproximadamente 60 grados.

La válvula de inyección de combustible puede inyectar además una tercera parte de combustible y una cuarta parte de combustible cuyas pulverizaciones alcanzan el flujo en forma de remolino generado mediante la válvula de control de remolino. Después de que la pulverización de la tercera parte de combustible alcanza el flujo en forma de remolino, la pulverización de la cuarta parte de combustible puede alcanzar la posición en la que la pulverización de la tercera parte de combustible se mueve mediante el flujo en forma de remolino.

En este caso, después de que la pulverización de la tercera parte de combustible alcanza el flujo en forma de remolino, la pulverización de la cuarta parte de combustible alcanza la posición en la que la pulverización de la

tercera parte de combustible se mueve mediante el flujo en forma de remolino, es decir, donde se ubica la pulverización de la tercera parte de combustible. Como resultado, la tercera parte de combustible se fusiona con la cuarta parte de combustible para formar un gas de mezcla rico con una concentración de combustible alta. Este gas de mezcla rico se mueve sustancialmente a lo largo del flujo en forma de remolino mientras que se difunde con el estado rico mantenido. Por lo tanto, la distribución del gas de mezcla dentro de la cámara de combustión se controla con mayor precisión.

Las técnicas según los aspectos descritos anteriormente son aplicables a un motor que realiza una combustión de SPCCI descrita más adelante. Aquí, el "motor" puede ser un motor de cuatro tiempos que se opera mediante una cámara de combustión que repite la carrera de admisión, la carrera de compresión, la carrera de expansión y la carrera de escape.

Específicamente, se proporciona un dispositivo de inyección de combustible para un motor formado con una cámara de combustión que tiene una superficie inferior formada mediante un pistón para reciprocarse dentro de un cilindro a lo largo de un eje central del mismo, que causa que el gas de mezcla inicia la combustión de encendido por chispa (SI) a través de la propagación de llama y después el gas de mezcla no quemado realiza la combustión de encendido por compresión (CI) mediante autoencendido. El dispositivo incluye una bujía configurada para encender sustancialmente en una parte central de la cámara de combustión, una válvula de inyección de combustible configurada para inyectar el combustible en la cámara de combustión, una válvula de control de remolino configurada para generar un flujo en forma de remolino dentro de la cámara de combustión, y una unidad de control configurada para controlar la bujía y la válvula de inyección de combustible. La unidad de control controla la válvula de inyección de combustible para inyectar el combustible en un momento de inyección dado después de la generación del flujo en forma de remolino, y controla la bujía para encender en un momento de encendido dado después de la inyección de combustible. La válvula de inyección de combustible, cuando inyecta el combustible en el momento de inyección, inyecta una pluralidad de partes de combustible que incluye al menos una primera parte de combustible y una segunda parte de combustible cuyas pulverizaciones alcanzan el flujo en forma de remolino generado por la válvula de control de remolino. Cuando una posición en la que la pulverización de la primera parte de combustible alcanza el flujo en forma de remolino es una primera posición y una posición en la que la pulverización de la segunda parte de combustible alcanza el flujo en forma de remolino es una segunda posición, la pulverización de la primera parte de combustible alcanza la primera posición y después se aleja de la segunda posición mediante el flujo en forma de remolino antes de que la pulverización de la segunda parte de combustible alcance la segunda posición.

En la combustión de SPCCI realizada mediante el motor, la combustión de CI es la combustión causada mediante el encendido por compresión. Por lo tanto, si la concentración de combustible varía, no se puede realizar una combustión de CI estable. Se requiere un gas de mezcla homogéneo en la combustión de CI. A este respecto, con este dispositivo de inyección de combustible, se forma el gas de mezcla homogéneo que usa el flujo en forma de remolino como se describió anteriormente.

Una distribución de gas de mezcla en el momento de encendido también se controla con precisión usando el flujo en forma de remolino, de este modo se realiza una combustión estable de SPCCI. Por lo tanto, se obtiene una combustión con un NO_x bajo y un consumo de combustible bajo.

Según la invención, la válvula de control de remolino forma un flujo en forma de remolino inclinado que fluye oblicuamente con respecto al eje central.

El flujo en forma de remolino inclinado es un flujo en forma de remolino que incluye un componente que da vueltas. El componente que da vueltas no influye enormemente en el flujo de un componente de remolino del flujo en forma de remolino inclinado. De este modo, la distribución del gas de mezcla se controla en las direcciones radiales del cilindro. Causando que el flujo en forma de remolino esté inclinado, se extiende su distancia de flujo dentro de la cámara de combustión. Por lo tanto, el combustible se mueve más lejos usando el flujo en forma de remolino, de este modo la distribución del gas de mezcla se controla con mayor precisión.

La válvula de inyección de combustible puede estar dispuesta sustancialmente en la parte central de la cámara de combustión y tener al menos un primer puerto de boquilla y un segundo puerto de boquilla cuyas direcciones de inyección son diferentes en una dirección circunferencial de la válvula de inyección de combustible. La primera parte de combustible y la segunda parte de combustible se pueden inyectar simultáneamente desde el primer puerto de boquilla y el segundo puerto de boquilla, respectivamente.

En este caso, la pluralidad de partes de combustible se inyecta simultáneamente desde sustancialmente la parte central de la cámara de combustión para esparcirse radialmente. Ya que el flujo en forma de remolino está inclinado, la distancia y el tiempo para que cada una de las partes de combustible alcance el flujo en forma de remolino son diferentes dependiendo del puerto de boquilla. Por lo tanto, usando la diferencia en la distancia y el tiempo, el momento para que la pulverización de cada una de las partes de combustible alcance el flujo en forma de remolino se ajusta mediante las inyecciones simultáneas de la válvula de inyección de combustible única.

También en este dispositivo de inyección de combustible, la válvula de control de remolino puede generar un flujo en

forma de remolino en una relación de remolino de aproximadamente 4 o superior. Además, la unidad de control puede controlar la válvula de inyección de combustible para inyectar la primera parte de combustible y la segunda parte de combustible a una presión entre aproximadamente 30 MPa y aproximadamente 120 MPa.

5 En cualquier caso, por la misma razón descrita anteriormente, la distribución del gas de mezcla dentro de la cámara de combustión se controla con mayor precisión.

10 La válvula de inyección de combustible, cuando inyecta el combustible en el momento de inyección, puede inyectar además una tercera parte de combustible y una cuarta parte de combustible cuyas pulverizaciones alcanzan el flujo en forma de remolino generado mediante la válvula de control de remolino. Después de que la pulverización de la tercera parte de combustible alcanza el flujo en forma de remolino, la pulverización de la cuarta parte de combustible puede alcanzar la posición en la que la pulverización de la tercera parte de combustible se mueve mediante el flujo en forma de remolino.

15 También en este caso, por la misma razón descrita anteriormente, se forma el gas de mezcla rico con una concentración de combustible alta. Este gas de mezcla mejora la estabilidad de encendido, lo que es ventajoso para la combustión de SI. Ya que se forma la distribución del gas de mezcla que incluye el gas de mezcla ventajoso para la combustión de SI y el gas de mezcla ventajoso para la combustión de CI dentro de la cámara de combustión, se mejora la estabilidad de la combustión de SPCCI.

20 El momento de inyección se puede establecer en una pluralidad de momentos. La unidad de control puede controlar la bujía y la válvula de inyección de combustible de modo que un centro de gravedad de una distribución de gas de mezcla formado mediante el combustible inyectado en cada uno de la pluralidad de momentos se ubica sustancialmente en la parte central de la cámara de combustión en el momento de encendido.

25 En este caso, ya que se establece la pluralidad de los momentos de inyección, las distribuciones de gas de mezcla mediante la pluralidad de partes de combustible se forman dentro de la cámara de combustión. Estas distribuciones de gas de mezcla se mueven dentro de la cámara de combustión mediante el flujo en forma de remolino y los centros de gravedad de los mismos se controlan para ubicarse en la parte central de la cámara de combustión, es decir, la posición de la bujía, en el momento de encendido. Por lo tanto, mediante estas distribuciones de gas de mezcla que se superponen entre sí, se forma en el momento de encendido una distribución de gas de mezcla estratificada, homogénea, en la que la concentración de combustible es alta en la parte central de la cámara de combustión y baja en una parte circunferencial de la cámara de combustión.

30 Como resultado, en la parte central de la cámara de combustión, se mejora la estabilidad de encendido y se realiza la combustión de SI estable. Además, en la parte circunferencial de la cámara de combustión, ya que la combustión por autoencendido se inicia en un momento adecuado mediante el calor y la presión de la combustión de SI, se realiza la combustión de CI estable. Por lo tanto, la combustión de SPCCI se realiza de forma estable.

Según un aspecto adicional, se proporciona un método de control de un dispositivo de inyección de combustible para un motor que comprende las etapas de:

35 generar un flujo en forma de remolino inclinado dentro de una cámara de combustión del motor que fluye oblicuamente con respecto al eje central de un cilindro del motor; y

inyectar una pluralidad de partes de combustible dentro de dicha cámara de combustión, donde dicha pluralidad de partes de combustible incluye al menos una primera parte de combustible y una segunda parte de combustible cuyas pulverizaciones alcanzan el flujo en forma de remolino, y

40 en donde, cuando una posición en la que la pulverización de la primera parte de combustible alcanza el flujo en forma de remolino es una primera posición y una posición en la que la pulverización de la segunda parte de combustible alcanza el flujo en forma de remolino es una segunda posición, la pulverización de la primera posición de combustible alcanza la primera posición y después se aleja de la primera posición mediante el flujo en forma de remolino antes de que la pulverización de la segunda parte de combustible alcance la segunda posición. La válvula de inyección de combustible inyecta el combustible de forma dividida en dos inyecciones en la carrera de admisión y la pulverización de la primera parte de combustible se fusiona con la pulverización de la segunda parte de combustible.

Según un aspecto adicional, se proporciona un dispositivo de control que comprende una unidad de control configurada para realizar cualquiera de los métodos mencionados anteriormente.

50 Según otro aspecto adicional, se proporciona un producto de programa informático que comprende instrucciones legibles por ordenador, que cuando se carga y ejecuta en un sistema adecuado, puede realizar las etapas de cualquiera de los métodos mencionados anteriormente.

Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 es un diagrama que ilustra una configuración de un motor, en el que un lado de admisión está en el lado

izquierdo y un lado de escape está en el lado derecho de la hoja de dibujo.

La Fig. 2 es un diagrama que ilustra una estructura de una cámara de combustión, en la que la parte superior es una vista en planta de la cámara de combustión y la parte inferior es una vista en sección transversal de II-II.

5 La Fig. 3 es una vista en planta que ilustra las estructuras de la cámara de combustión y un sistema de admisión, en el que el lado de admisión está en el lado derecho y el lado de escape está en el lado izquierdo de la hoja de dibujo.

La Fig. 4 es un diagrama de bloques que ilustra una configuración de un dispositivo de control del motor.

La Fig. 5A es un gráfico que ilustra los intervalos operativos del motor.

La Fig. 5B es un gráfico que ilustra una apertura de una válvula de control de remolino en cada intervalo operativo del motor.

10 La Fig. 6 muestra gráficos que ilustran un momento de inyección de combustible, un momento de encendido, y una forma de onda de combustión en cada intervalo operativo.

La Fig. 7 es un gráfico conceptual que ilustra una relación entre una cantidad de generación de NO_x y la A/F en la combustión.

15 La Fig. 8 muestra diagramas conceptuales que ilustran un control de una distribución de gas de mezcla que usa un flujo en forma de remolino.

Las Figs. 9A y 9B son diagramas conceptuales que ilustran un cambio en el flujo a lo largo del tiempo de la distribución de gas de mezcla que usa el flujo en forma de remolino.

La Fig. 10 muestra gráficos que ilustran un resultado de analizar una influencia de la intensidad del flujo en forma de remolino sobre la estabilidad de encendido.

20 La Fig. 11 es un diagrama que ilustra un dispositivo de prueba de banco para medir una relación de remolino.

La Fig. 12 es un gráfico que ilustra una relación entre una relación de apertura de un conducto secundario y la relación de remolino.

La Fig. 13 muestra gráficos que ilustran un resultado de analizar una influencia de una velocidad del motor en la estabilidad del encendido.

25 La Fig. 14 muestra diagramas que ilustran un ejemplo de análisis realizado cuando se busca un momento de inyección.

La Fig. 15 muestra gráficos que ilustran un momento de inyección y un número de veces de inyecciones de combustible en cada uno de un segmento de carga baja (alta), un segmento de carga baja (media) y un segmento de carga baja (baja).

30 Las Figs. 16A a 16C son diagramas conceptuales que ilustran la distribución de gas de mezcla en cada segmento del intervalo de carga baja.

La Fig. 17 muestra gráficos que ilustran una modificación del control dentro del segmento de carga baja (baja).

La Fig. 18 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso de control del motor.

Descripción detallada de la descripción

35 De aquí en adelante, las realizaciones de la presente descripción se describen en detalle con referencia a los dibujos anexos.

Combustión de SPCCI

40 Los presentes inventores consideraron un modo de combustión en el que se combinan la combustión de SI (Encendido por Chispa) y la combustión de CI (Encendido por Compresión). La combustión de SI es la combustión anexa a la propagación de llama que se inicia encendiendo forzosamente un gas de mezcla dentro de una cámara de combustión. La combustión de CI es la combustión que se inicia mediante el gas de mezcla dentro de la cámara de combustión auto encendiéndose al ser comprimido. En el modo de combustión que combina la combustión de SI y la combustión de CI, el gas de mezcla dentro de la cámara de combustión se enciende forzosamente para iniciar su combustión a través de la propagación de llama, y el calor generado mediante la combustión de SI y el aumento de presión causan por ello la combustión del gas de mezcla no quemado dentro del cámara de combustión mediante el encendido por compresión. De aquí en adelante, este modo de combustión se denomina como "combustión de SPCCI (Encendido por Compresión Controlado por Chispa).

45

En la combustión causada mediante el encendido por compresión, el momento del encendido por compresión cambia enormemente si la temperatura dentro de la cámara de combustión varía antes de que se inicie la compresión. A este respecto, la variación en la temperatura dentro de la cámara de combustión antes de que se inicie la compresión se puede reducir ajustando la cantidad de generación de calor en la combustión de SI. Por ejemplo, controlando el momento de encendido para ajustar el momento de inicio de la combustión de SI según la temperatura dentro de la cámara de combustión antes de que se inicie la compresión, se controla el momento de encendido por compresión. La combustión de SPCCI controla la combustión de CI con la combustión de SI.

La combustión de SI a través de la propagación de llama causa un aumento de presión relativamente suave comparado con la combustión de CI, reduciendo de este modo el ruido de combustión. Además, la combustión de CI acorta el período de combustión comparado con la combustión de SI, lo que es ventajoso para mejorar la eficiencia de combustible.

Ejemplo específico de motor

La Fig. 1 muestra una configuración general de un motor al que se le aplica la técnica de combustión de esta combustión de SPCCI. Un motor 1 es un motor de cuatro tiempos que se opera mediante una cámara de combustión 17 que repite la carrera de admisión, la carrera de compresión, la carrera de expansión y la carrera de escape. El motor 1 está montado preferiblemente en un automóvil de cuatro ruedas. El automóvil viaja mediante la operación del motor 1. El combustible del motor 1 es gasolina en esta realización. La gasolina puede contener bioetanol, etc. El combustible del motor 1 puede ser cualquier tipo de combustible siempre que sea combustible líquido que contenga al menos gasolina.

El motor 1 incluye un bloque de cilindros 12 y una culata de cilindros 13 situada en el bloque de cilindros 12. El bloque de cilindros 12 está formado dentro del mismo con una pluralidad de cilindros 11. En las Figs. 1 y 2, solo se ilustra un cilindro 11. El motor 1 es un motor multicilíndrico.

Un pistón 3 se inserta de forma recíproca en cada cilindro 11. El pistón 3 está acoplado a un cigüeñal 15 a través de una biela 14. El pistón 3 define la cámara de combustión 17 junto con el cilindro 11 y la culata 13. Tenga en cuenta que la definición de "cámara de combustión" no se limita a un espacio formado cuando el pistón 3 está en un punto muerto superior en la carrera de compresión (CTDC), sino que puede ser amplio. Es decir, "cámara de combustión" puede significar cualquier espacio formado mediante el pistón 3, el cilindro 11 y la culata 13 independientemente de la posición del pistón 3.

Una superficie superior del pistón 3, que es una superficie inferior de la cámara de combustión 17, es plana. El pistón 3 está abollado en su superficie superior para formar una cavidad 31. La cavidad 31 está dispuesta opuesta a un inyector 6 descrito más adelante.

La cavidad 31 tiene una sección convexa 311. La sección convexa 311 está ligeramente desplazada desde un eje central X1 del cilindro 11 hasta un lado de escape. La sección convexa 311 tiene una forma sustancialmente cónica. La sección convexa 311 se extiende sustancialmente hacia arriba a lo largo de un eje de inyección X2 (un eje que pasa a través del centro de inyección del inyector 6) sustancialmente paralela al eje central X1 del cilindro 11, desde el fondo de la cavidad 31. Un extremo superior de la sección convexa 311 está ubicada sustancialmente a la misma altura que la de una superficie superior de la cavidad 31.

Una cara lateral circunferencial de la cavidad 31 se extiende desde una superficie inferior de la cavidad 31 hacia una superficie de apertura de la cavidad 31, inclinada con respecto al eje X2. Un diámetro interior de la cavidad 31 aumenta gradualmente desde la superficie inferior de la cavidad 31 hasta la superficie de apertura de la cavidad 31.

La cavidad 31 tiene una sección abollada 312 formada para rodear la sección convexa 311 totalmente. La sección abollada 312 tiene una forma simétrica con respecto al eje de inyección X2. Una cara lateral circunferencial de la sección abollada 312 se extiende desde la superficie inferior de la cavidad 31 hasta la superficie de apertura de la cavidad 31, inclinada con respecto al eje de inyección X2 (es decir, que constituye la cara lateral circunferencial de la cavidad 31). Un diámetro interior de la cavidad 31 en la sección abollada 312 aumenta gradualmente desde la superficie inferior de la cavidad 31 hasta la superficie de apertura de la cavidad 31.

Como se ilustra en la parte inferior de la Fig. 2, una superficie inferior de la culata 13, es decir, una superficie del techo de la cámara de combustión 17, está formada mediante una superficie inclinada 1311 y una superficie inclinada 1312. La superficie inclinada 1311 se inclina hacia arriba hacia el eje X2 desde el lado de admisión. La superficie inclinada 1312 se inclina hacia arriba hacia el eje X2 desde el lado de escape. La superficie del techo de la cámara de combustión 17 tiene la llamada forma de cubierta a un agua.

Tenga en cuenta que la forma de la cámara de combustión 17 no se limita a la ilustrada en la Fig. 2. Las formas de la cavidad 31, la superficie superior del pistón 3, la superficie de techo de la cámara de combustión 17, etc. son adecuadamente modificables. Por ejemplo, la sección abollada 312 de la cavidad 31 se puede omitir. Además, la cavidad 31 puede tener una forma simétrica con respecto al eje central X1 del cilindro 11. Las superficies inclinadas 1311 y 1312 pueden tener una forma simétrica con respecto al eje central X1 del cilindro 11. Como se indica mediante una línea virtual SM de la Fig. 2, la cavidad 31 se puede formar de modo que el lado de admisión sea más pequeño que

el lado de escape. De esta manera, el gas de mezcla es fácilmente transportable alrededor de una bujía 25.

La relación de compresión geométrica del motor 1 se establece entre aproximadamente 13:1 y aproximadamente 20:1, preferiblemente aproximadamente 14:1 o superior. Como se describe más adelante, dentro de algunos intervalos operativos del motor 1, el motor 1 realiza una operación de combustión de SPCCI en la que se combinan la combustión de SI y la combustión de CI. En la operación de combustión de SPCCI, la combustión de CI se realiza utilizando el calor generado por la combustión de SI y el aumento de presión causado mediante la propagación de llama. En este motor 1, no es necesario elevar significativamente la temperatura de la cámara de combustión 17 cuando el pistón 3 alcanza el CTDC, para que el gas de mezcla se auto encienda (es decir, la temperatura final de compresión). Es decir, aunque el motor 1 realiza la combustión de CI, su relación de compresión geométrica se establece relativamente pequeña. Bajar la relación de compresión geométrica es ventajoso para reducir una pérdida de enfriamiento y una pérdida mecánica. Por ejemplo, la relación de compresión geométrica del motor 1 se puede establecer de aproximadamente 14:1 a aproximadamente 17:1 en especificaciones regulares (el octanaje del combustible es aproximadamente 91) y de aproximadamente 15:1 a aproximadamente 18:1 en especificaciones de alto octanaje (el octanaje del combustible es de aproximadamente 96).

La culata 13 está formada por un puerto de admisión 18 para cada cilindro 11. Como se ilustra en la Fig. 3, el puerto de admisión 18 incluye preferiblemente dos puertos de admisión de un primer puerto de admisión 181 y un segundo puerto de admisión 182. El primer puerto de admisión 181 y el segundo puerto de admisión 182 están dispuestos preferiblemente en direcciones axiales del cigüeñal 15, es decir, direcciones delantera y trasera del motor 1. El puerto de admisión 18 comunica con la cámara de combustión 17. Aunque no se ilustra en detalle, el puerto de admisión 18 es preferiblemente un llamado puerto que da vueltas. Es decir, el puerto de admisión 18 tiene una forma tal que se forma un flujo que da vueltas en la cámara de combustión 17.

Una válvula de admisión 21 está dispuesta en el puerto de admisión 18. La válvula de admisión 21 abre y cierra el puerto de admisión 18 a y desde la cámara de combustión 17. La válvula de admisión 21 se abre y se cierra mediante un mecanismo operativo de válvula en un momento dado. Este mecanismo operativo de válvula puede ser un mecanismo de válvula variable que hace un momento de válvula y/o una elevación de válvula variables. En este ejemplo de configuración, como se ilustra en la Fig. 4, el mecanismo de válvula variable tiene preferiblemente un S-VT (momento de válvula secuencial) operado eléctricamente de admisión 23. El S-VT operado eléctricamente de admisión 23 es continuamente variable de una fase rotacional de un árbol de levas de admisión dentro de un intervalo angular dado. De este modo, los momentos de apertura y cierre de la válvula de admisión 21 cambian continuamente. Tenga en cuenta que el mecanismo operativo de la válvula de admisión 21 puede tener un S-VT operado hidráulicamente en lugar del S-VT operado eléctricamente.

La culata 13 también está formada con un puerto de escape 19 para cada cilindro 11. Como se ilustra en la Fig. 3, el puerto de escape 19 también incluye preferiblemente dos puertos de escape de un primer puerto de escape 191 y un segundo puerto de escape 192. El primer puerto de escape 191 y el segundo puerto de escape 192 están dispuestos preferiblemente en las direcciones delantera y trasera del motor 1. El puerto de escape 19 comunica con la cámara de combustión 17. Una válvula de escape 22 está dispuesta en el puerto de escape 19. La válvula de escape 22 abre y cierra el puerto de escape 19 a y desde la cámara de combustión 17. La válvula de escape 22 se abre y se cierra mediante un mecanismo operativo de válvula en un momento dado. Este mecanismo operativo de válvula puede ser un mecanismo de válvula variable que hace un momento de válvula y/o una elevación de válvula variables. En este ejemplo de configuración, como se ilustra en la Fig. 4, el mecanismo de válvula variable tiene preferiblemente un S-VT operado eléctricamente de escape 24. El S-VT operado eléctricamente de escape 24 es continuamente variable de una fase rotacional de un árbol de levas de escape dentro de un intervalo angular dado. De este modo, los momentos de apertura y cierre de la válvula de escape 22 cambian continuamente. Tenga en cuenta que el mecanismo operativo de la válvula de escape 22 puede tener un S-VT operado hidráulicamente en lugar del S-VT operado eléctricamente.

El motor 1 ajusta la duración de un período de solapamiento de un momento de apertura de la válvula de admisión 21 y un momento de cierre de la válvula de escape 22 mediante el S-VT operado eléctricamente de admisión 23 y el S-VT operado eléctricamente de escape 24. De este modo, el gas quemado caliente se encierra dentro de la cámara de combustión 17. Es decir, el gas de EGR (recirculación de gas de escape) interno se introduce en la cámara de combustión 17. Además, ajustando la duración del período de solapamiento, se barre el gas residual en la cámara de combustión 17.

El inyector 6 está unido a la culata 13 para cada cilindro 11. El inyector 6 inyecta el combustible directamente en la cámara de combustión 17. El inyector 6 está dispuesto en una parte de valle de la cubierta a un agua donde se cruzan la superficie inclinada 1311 en el lado de admisión y la superficie inclinada 1312 en el lado de escape, para estar orientado dentro de la cámara de combustión 17. Como se ilustra en la Fig. 2, el inyector 6 está dispuesto preferiblemente de modo que su eje de inyección X2 está ubicado sustancialmente paralelo al eje central X1 del cilindro. El eje de inyección X2 del inyector 6 coincide sustancialmente con la posición de la sección convexa 311 de la cavidad 31. El inyector 6 está orientado hacia la cavidad 31. Tenga en cuenta que el eje de inyección X2 del inyector 6 puede coincidir con el eje central X1 del cilindro 11. También en este caso, es deseable que el eje de inyección X2 del inyector 6 coincida con la posición de la sección convexa 311 de la cavidad 31.

Aunque no se ilustra en detalle, el inyector 6 está construido mediante una válvula de inyección de combustible de múltiples puertos que tiene una pluralidad de puertos de boquilla. Como se ilustra mediante las líneas de puntos y rayas de doble punteado en la Fig. 2, el inyector 6 inyecta el combustible de modo que se esparce radialmente hacia abajo oblicuamente desde el centro radial de una parte del techo de la cámara de combustión 17. Un ángulo de inyección θ de cada puerto de boquilla con respecto al eje de inyección X2 del inyector 6 está dentro de aproximadamente 30 y aproximadamente 60 grados, preferiblemente aproximadamente 45 grados. En este ejemplo de configuración, el inyector 6 tiene preferiblemente diez puertos de boquilla, y los puertos de boquilla están dispuestos en un intervalo angular uniforme en la dirección circunferencial. Tenga en cuenta que el número de puertos de boquilla no está limitado a diez. Por ejemplo, este número se puede configurar adecuadamente entre aproximadamente 8 y aproximadamente 16.

Los ejes (líneas centrales L5 y L6) de los puertos de boquilla no se superponen circunferencialmente con la bujía 25 descrita más adelante. Es decir, la bujía 25 se intercala entre los ejes L5 y L6 de dos puertos de boquilla adyacentes. De este modo, se previene que la pulverización de combustible inyectada desde el inyector 6 golpee directamente la bujía 25 y humedezca un electrodo.

Un sistema de suministro de combustible 61 está conectado al inyector 6. El sistema de suministro de combustible 61 incluye un tanque de combustible 63 configurado para almacenar el combustible y una ruta de suministro de combustible 62 que conecta el tanque de combustible 63 con el inyector 6. Se proporcionan una bomba de combustible 65 y un conducto común 64 en la ruta de suministro de combustible 62. La bomba de combustible 65 bombea el combustible al conducto común 64. En esta realización, la bomba de combustible 65 es una bomba de émbolo que es accionada por el cigüeñal 15. El conducto común 64 almacena el combustible bombeado desde la bomba de combustible 65 a presión de combustible alta. Cuando se abre el inyector 6, el combustible almacenado en el conducto común 64 se inyecta en la cámara de combustión 17 desde los puertos de boquilla del inyector 6. El sistema de suministro de combustible 61 es capaz de suministrar el combustible al inyector 6 a una presión alta de aproximadamente 30 MPa o mayor. Una presión de combustible la más alta del sistema de suministro de combustible 61 puede ser, por ejemplo, aproximadamente 200 MPa. La presión del combustible suministrado al inyector 6 se puede cambiar según un estado operativo del motor 1. Tenga en cuenta que la estructura del sistema de suministro de combustible 61 no está limitada a la estructura anterior.

La bujía 25 está unida a la culata 13 para cada cilindro 11. La bujía 25 enciende forzosamente el gas de mezcla en la cámara de combustión 17. En este ejemplo de configuración, como se ilustra en la Fig. 2, la bujía 25 está dispuesta preferiblemente en un lado de admisión del cilindro 11 con respecto al eje central X1 del cilindro 11. La bujía 25 está ubicada adyacente al inyector 6. La bujía 25 está ubicada entre los dos puertos de admisión 18. La bujía 25 está unida a la culata 13 para extenderse sustancialmente hacia abajo, hacia el centro de la cámara de combustión 17 en una postura inclinada con respecto a las direcciones arriba y abajo de la culata 13. El electrodo de la bujía 25 está ubicado cerca de la superficie del techo de la cámara de combustión 17 para orientarse hacia el interior de la cámara de combustión 17.

Un conducto de admisión 40 está conectado a un lado del motor 1. El conducto de admisión 40 comunica con los puertos de admisión 18 de los cilindros 11. El conducto de admisión 40 es un conducto a través del cual fluye el gas que se introduce en la cámara de combustión 17. Un filtro de aire 41 que filtra el aire fresco está dispuesto en una parte del extremo por encima del conducto de admisión 40. Un tanque de compensación 42 está dispuesto cerca de un extremo por debajo del conducto de admisión 40. Una parte del conducto de admisión 40 por debajo del tanque de compensación 42 forma conductos independientes que se ramifican para los respectivos cilindros 11. Los extremos por debajo de los conductos independientes comunican con los puertos de admisión 18 de los cilindros 11, respectivamente.

Una válvula de mariposa 43 está dispuesta en el conducto de admisión 40 entre el filtro de aire 41 y el tanque de compensación 42. La válvula de mariposa 43 ajusta una cantidad de introducción de aire fresco en la cámara de combustión 17 ajustando una apertura de la misma.

Un propulsor 44 está dispuesto preferiblemente en el conducto de admisión 40 por debajo de la válvula de mariposa 43. El propulsor 44 propulsa el gas que se introduce en la cámara de combustión 17. En este ejemplo de configuración, el propulsor 44 es un sobrealimentador que se acciona mediante el motor 1. El propulsor 44 puede ser, por ejemplo, de un tipo Raíces. El propulsor 44 puede tener cualquier estructura, por ejemplo, de un tipo Lisholm, de un tipo Álabe, o de un tipo centrífugo.

Un embrague electromagnético 45 se interpone preferiblemente entre el propulsor 44 y el motor 1. El embrague electromagnético 45 controla el flujo de la fuerza motriz entre el propulsor 44 y el motor 1, por ejemplo, transmite la fuerza motriz desde el motor 1 al propulsor 44 o interrumpe la transmisión de la fuerza motriz entre ellos. Como se describe más adelante, mediante una ECU (Unidad de Control de Motor) 10 que conmuta la conexión/desconexión del embrague electromagnético 45, se conmuta el encendido/apagado del propulsor 44. En este motor 1, propulsar el gas que se introduce en la cámara de combustión 17 mediante el propulsor 44 y no propulsar el mismo mediante el propulsor 44 se pueden conmutar entre ellos.

Un refrigerador 46 está dispuesto preferiblemente en el conducto de admisión 40 por debajo del propulsor 44. El

refrigerador 46 enfría el gas comprimido en el propulsor 44. El refrigerador 46 puede ser, por ejemplo, del tipo de refrigeración por agua.

5 Un conducto de puenteo 47 está conectado preferiblemente al conducto de admisión 40. El conducto de puenteo 47 conecta una parte del conducto de admisión 40 por encima del propulsor 44 a una parte del conducto de admisión 40 por debajo del refrigerador 46 para puentear el propulsor 44 y el refrigerador 46. Una válvula de puenteo de aire 48 está dispuesta en el conducto de puenteo 47. La válvula de puenteo de aire 48 ajusta una tasa de flujo del gas que fluye a través del conducto de puenteo 47.

10 Cuando el propulsor 44 se apaga (es decir, cuando se desconecta el embrague electromagnético 45), la válvula de puenteo de aire 48 se abre sustancialmente por completo. De este modo, el gas que fluye a través del conducto de admisión 40 puentea el propulsor 44 y se introduce en la cámara de combustión 17 del motor 1. El motor 1 opera en un estado no propulsado, es decir, en un estado de aspiración natural.

15 Cuando se enciende el propulsor 44 (es decir, cuando se conecta el embrague electromagnético 45), el gas que pasaba a través del propulsor 44 fluye parcialmente de vuelta por encima del propulsor 44 a través del conducto de puenteo 47. Controlando una apertura de la válvula de puenteo de aire 48, se ajusta la cantidad de contraflujo, lo que conduce a ajustar la presión de propulsión del gas introducido en la cámara de combustión 17. En este ejemplo de configuración, un sistema de propulsión 49 está compuesto preferiblemente por el propulsor 44, el conducto de puenteo 47 y la válvula de puenteo de aire 48.

20 El motor 1 tiene una parte generadora de remolino que genera un flujo en forma de remolino en la cámara de combustión 17. Como se ilustra en la Fig. 3, la parte generadora de remolino es una válvula de control de remolino (SCV) 56 unida al conducto de admisión 40. La SCV 56 está dispuesta en un conducto. El conducto es uno de un conducto primario 401 y un conducto secundario 402 que comunican con el primer puerto de entrada 181 y el segundo puerto de entrada 182, respectivamente. La SCV 56 es una válvula reguladora de apertura que es capaz de ajustar una apertura de una sección transversal del conducto secundario. Cuando la apertura de la SCV 56 es pequeña, la tasa de flujo del aire de admisión en la cámara de combustión 17 desde el primer puerto de admisión 181 aumenta relativamente mientras que la tasa de flujo del aire de admisión en la cámara de combustión 17 desde el segundo puerto de admisión 182 es relativamente reducida. De este modo, el flujo en forma de remolino en la cámara de combustión 17 se vuelve fuerte. Cuando la apertura de la SCV 56 es grande, las tasas de flujo del aire de admisión en la cámara de combustión 17 desde el primer puerto de admisión 181 y el segundo puerto de admisión 182 se vuelven sustancialmente uniformes, y de este modo el flujo en forma de remolino en la cámara de combustión 17 se vuelve débil. Cuando la SCV 56 se abre sustancialmente por completo, no se produce un flujo en forma de remolino. Tenga en cuenta que el flujo en forma de remolino circula en el sentido contrario a las agujas del reloj en la Fig. 3, como se indica mediante las flechas (vea también las flechas blancas contorneadas en la Fig. 2).

35 Tenga en cuenta que, alternativa/adicionalmente a unir la SCV 56 al conducto de admisión 40, la parte generadora de remolino puede adoptar una estructura en la que los períodos abiertos de las dos válvulas de admisión 21 se varían para introducir el aire de admisión en la cámara de combustión 17 desde solo una de las válvulas de admisión 21. Abriendo solo una de las dos válvulas de admisión 21, el aire de admisión se introduce de manera desigual en la cámara de combustión 17 y, de este modo, se genera el flujo en forma de remolino en la cámara de combustión 17. Alternativamente, las formas de los puertos de admisión 18 se pueden idear de modo que la parte generadora de remolino genere el flujo en forma de remolino en la cámara de combustión 17.

40 Ya que el puerto de admisión 18 de este motor 1 es un puerto que da vueltas, se forma un flujo en forma de remolino inclinado que tiene un componente que da vueltas y un componente de remolino en la cámara de combustión 17. Un ángulo de inclinación del flujo en forma de remolino inclinado es generalmente de aproximadamente 45 grados con respecto a un plano ortogonal al eje central X1 del cilindro 11, pero se establece adecuadamente, por ejemplo, entre aproximadamente 30 y aproximadamente 60 grados según las especificaciones del motor 1.

45 Un conducto de escape 50 está conectado a un lado del motor 1 opuesto al conducto de admisión 40. El conducto de escape 50 comunica con los puertos de escape 19 de los cilindros 11. El conducto de escape 50 es un conducto a través del cual fluye el gas de escape descargado desde la cámara de combustión 17. Aunque no se ilustra en detalle, una parte por encima del conducto de escape 50 constituye unos conductos independientes ramificados para los respectivos cilindros 11. Los extremos por encima de los conductos independientes están conectados a los puertos de escape 19 de los cilindros 11, respectivamente.

50 Un sistema de purificación de gas de escape que tiene una pluralidad de convertidores catalíticos está dispuesto en el conducto de escape 50. Aunque no se ilustra, el convertidor catalítico en el lado por encima está dispuesto preferiblemente en un compartimento de motor y tiene un catalizador de tres vías 511 y un GPF (filtro de partículas de gasolina) 512. El convertidor catalítico en el lado por debajo está dispuesto preferiblemente fuera del compartimento de motor y tiene un catalizador de tres vías 513. Tenga en cuenta que el sistema de purificación de gas de escape no se limita a tener la estructura ilustrada.

Un conducto de la EGR 52 que constituye un sistema de EGR externo está conectado entre el conducto de admisión 40 y el conducto de escape 50. El conducto de EGR 52 es un conducto para recircular una parte del gas quemado al

conducto de admisión 40. Un extremo por encima del conducto de EGR 52 está conectado al conducto de escape 50 entre el convertidor catalítico por encima y el convertidor catalítico por debajo. Un extremo por debajo del conducto de EGR 52 está conectado al conducto de admisión 40 por encima del propulsor 44.

5 En el conducto de EGR 52 está dispuesto un refrigerador de EGR de tipo refrigeración por agua 53. El refrigerador de EGR 53 enfría el gas quemado. Una válvula de EGR 54 también está dispuesta en el conducto de EGR 52. La válvula de EGR 54 ajusta la tasa de flujo del gas quemado en el conducto de EGR 52. Ajustando una apertura de la válvula de EGR 54, se ajusta la cantidad de recirculación del gas quemado enfriado (es decir, el gas de EGR externo).

10 En este ejemplo de configuración, un sistema de EGR 55 incluye un sistema de EGR externo que incluye el conducto de EGR 52 y la válvula de EGR 54, y un sistema de EGR interno que incluye El S-VT operado eléctricamente de admisión 23 y El S-VT operado eléctricamente de escape 24 descrito anteriormente.

15 Un dispositivo de control incluye la ECU 10 configurada para operar el motor 1. Como se ilustra en la Fig. 4, la ECU 10 es una unidad de control basada en un microordenador bien conocido e incluye una unidad central de procesamiento (CPU) 101 configurada para ejecutar el programa (o programas)/instrucciones, la memoria 102 comprendida de RAM (memoria de acceso aleatorio) y ROM (memoria de solo lectura) y configurada para almacenar el programa (o programas) y datos, un bus de entrada/salida 103 configurado para entrada y salida de señales eléctricas, un módulo de control de apertura de remolino 104, y un módulo de control de momento de inyección de combustible 105. La CPU 101, un procesador, se configura para ejecutar o comprender el módulo de control de apertura de remolino 104 y el módulo de control de momento de inyección de combustible 105 para realizar sus funciones respectivas. Los módulos se almacenan preferiblemente en la memoria 102 como software. La ECU 10 es un ejemplo de "unidad de control".

Como se ilustra en las Figs. 1 y 4, varios sensores SW1 a SW16 están conectados a la ECU 10. Los sensores SW1 a SW16 sacan señales de detección a la ECU 10. Los sensores incluyen preferiblemente los siguientes sensores.

25 Es decir, los sensores incluyen un sensor de flujo de aire SW1 dispuesto en el conducto de admisión 40 por debajo del filtro de aire 41 y configurado para detectar la tasa de flujo de aire fresco en el conducto de admisión 40, un primer sensor de temperatura de aire de admisión SW2 también dispuesto en el conducto de admisión 40 por debajo del filtro de aire 41 y configurado para detectar una temperatura del aire fresco, un primer sensor de presión SW3 dispuesto en el conducto de admisión 40 por debajo de la posición de conexión con el conducto de EGR 52 y por encima del propulsor 44, y configurado para detectar la presión del gas que fluye en el propulsor 44, un segundo sensor de temperatura de aire de admisión SW4 dispuesto en el conducto de admisión 40 por debajo del propulsor 44 y por encima de la posición de conexión del conducto de puenteo 47, y configurado para detectar una temperatura del gas que fluyó hacia fuera del propulsor 44, un segundo sensor de presión SW5 unido al tanque de compensación 42 y configurado para detectar la presión del gas en una posición por debajo del propulsor 44, unos sensores de presión SW6 unidos a la culata 13 que se corresponden con los cilindros 11 y configurados para detectar presión en las cámaras de combustión 17, respectivamente, un sensor de temperatura de escape SW7 dispuesto en el conducto de escape 50 y configurado para detectar una temperatura del gas de escape descargado desde la cámara de combustión 17, un sensor de O₂ lineal SW8 dispuesto en el conducto de escape 50 por encima del convertidor catalítico de por encima y configurado para detectar una concentración de oxígeno dentro del gas de escape, un sensor de O₂ lambda SW9 dispuesto en el convertidor catalítico de por encima por debajo del catalizador de tres vías 511 y configurado para detectar la concentración de oxígeno dentro del gas de escape, un sensor de temperatura de agua SW10 conectado al motor 1 y configurado para detectar una temperatura del agua de refrigeración, un sensor de ángulo de cigüeñal SW11 unido al motor 1 y configurado para detectar un ángulo rotacional del cigüeñal 15, un sensor de apertura de acelerador SW12 unido a un mecanismo de pedal de acelerador y configurado para detectar una apertura del acelerador correspondiente a una cantidad de operación de un pedal de acelerador, un sensor de ángulo de leva de admisión SW13 unido al motor 1 y configurado para detectar un ángulo rotacional del árbol de levas de admisión, un sensor de ángulo de leva de escape SW14 unido al motor 1 y configurado para detectar un ángulo de rotación del árbol de levas de escape, un sensor de diferencia de presión de EGR SW15 dispuesto en el conducto de EGR 52 y configurado para detectar una diferencia de presión entre las posiciones por encima y por debajo de la válvula de EGR 54, y un sensor de presión de combustible SW16 unido al conducto común 64 del sistema de suministro de combustible 61 y configurado para detectar la presión del combustible que se suministra al inyector 6.

55 En base a estas señales de detección, la ECU 10 determina el estado operativo del motor 1 y calcula las cantidades de control de los diversos dispositivos. La ECU 10 saca señales de control relacionadas con las cantidades de control calculadas para el inyector 6, la bujía 25, el S-VT operado eléctricamente de admisión, el S-VT operado eléctricamente de escape S-VT 24, el sistema de suministro de combustible 61, la válvula de mariposa 43, la válvula de EGR 54, el embrague electromagnético 45 del propulsor 44, la válvula de puenteo de aire 48 y la SCV 56. Por ejemplo, la ECU 10 ajusta la presión de propulsión controlando una apertura de la válvula de puenteo de aire 48 en base a una diferencia de presión entre el lado por encima y el lado por debajo del propulsor 44, que se obtiene de las señales de detección del primer sensor de presión SW3 y el segundo sensor de presión SW5. Además, la ECU 10 ajusta una cantidad de gas de EGR externo introducido en la cámara de combustión 17 controlando la apertura de la válvula de EGR 54 en base a la diferencia de presión entre las posiciones por encima y por debajo de la válvula de EGR 54 obtenida de la señal de detección del sensor de diferencia de presión de EGR SW15. Los

detalles del control del motor 1 mediante la ECU 10 se describen más adelante.

Intervalo operativo del motor

La Fig. 5A ilustra los intervalos operativos del motor 1. Los intervalos operativos del motor 1 se dividen en cinco intervalos en términos de la carga del motor y la velocidad del motor. Por ejemplo, los cinco intervalos incluyen: un intervalo de carga baja (1)-1 que incluye una operación de ralentí y que se extiende en intervalos de velocidad del motor bajos y medios; un intervalo de carga media (1) -2 en el que la carga del motor es mayor que en el intervalo de carga baja y que se extiende en los intervalos de velocidad del motor baja y media; un intervalo de velocidad media y carga alta (2) en el que la carga del motor es mayor que en el intervalo de carga media (1)-2 y que se ubica en un intervalo de carga alta que incluye una carga del motor completa; un intervalo de velocidad baja y carga alta (3) ubicado en el intervalo de carga alta y en el que la velocidad del motor es menor que en el intervalo de velocidad media y carga alta (2); y un intervalo de velocidad alta (4) en el que la velocidad del motor es mayor que en el intervalo de carga baja (1)-1, el intervalo de carga media (1) -2, el intervalo de velocidad media y carga alta (2) y el intervalo de velocidad baja y carga alta (3).

Aquí, el intervalo de velocidad baja, el intervalo de velocidad media y el intervalo de velocidad alta se pueden definir dividiendo sustancialmente de forma uniforme, en la dirección de la velocidad del motor, todo el intervalo operativo del motor 1 en tres intervalos del intervalo de velocidad baja, el intervalo de velocidad media y el intervalo de velocidad alta. En el ejemplo de la Fig. 5A, la velocidad del motor menor que una velocidad N1 se define como baja, la velocidad del motor mayor que a una velocidad N2 se define como alta, y la velocidad del motor entre las velocidades del motor N1 y N2 se define como media. Por ejemplo, la velocidad N1 puede ser de aproximadamente 1.200 rpm y la velocidad N2 puede ser de aproximadamente 4.000 rpm. El intervalo de velocidad media y carga alta (2) puede ser un intervalo donde la presión de combustión excede aproximadamente 900 kPa. Tenga en cuenta que la línea de puntos y rayas de doble punteado en la Fig. 5A indica la línea de carga de carretera del motor 1.

La Fig. 5B es un gráfico que ilustra un control de apertura sobre la SCV 56 en cada intervalo operativo del motor 1 ilustrado en la Fig. 5A. Por ejemplo, dentro del intervalo de carga baja (1)-1, el intervalo de carga media (1)-2 y el intervalo de velocidad media y carga alta (2), la apertura de la SCV 56 se controla para que esté sustancialmente cerrada por completo para aumentar una relación de remolino. Dentro del intervalo de velocidad baja (3), la apertura de la SCV 56 se controla para abrirse aproximadamente a la mitad para reducir la relación de remolino. Dentro del intervalo de velocidad alta (4), la apertura de la SCV 56 se controla para que sustancialmente se abra por completo de modo que no se forme el flujo en forma de remolino.

Principalmente para mejorar la eficiencia del combustible y el rendimiento del gas de escape, el motor 1 realiza la combustión mediante autoencendido por compresión dentro del intervalo de carga baja (1)-1, el intervalo de carga media (1)-2 y el intervalo de velocidad media y carga alta (2). Además, el motor 1 realiza la combustión mediante encendido por chispa dentro de los otros intervalos, específicamente, el intervalo de velocidad baja y carga alta (3) y el intervalo de velocidad alta (4). De aquí en adelante, la operación del motor 1 dentro de cada uno de los intervalos de carga baja (1)-1, el intervalo de carga media (1)-2, el intervalo de velocidad media y carga alta (2), el intervalo de velocidad baja y carga alta (3), y el intervalo de velocidad alta (4) se describe en detalle con referencia al momento de inyección de combustible y al momento de encendido ilustrada en la Fig. 6.

Intervalo de carga baja (1) -1

Cuando el motor 1 está operando dentro del intervalo de carga baja (1)-1, la cantidad de inyección de combustible es pequeña y la temperatura interna de la cámara de combustión 17 también es baja. Por lo tanto, la combustión de CI disparada por autoencendido tras alcanzar una presión y temperatura dadas no puede realizarse de forma estable. Ya que la cantidad de combustible es pequeña, es difícil llevar a cabo el encendido por chispa y la combustión de SI se vuelve inestable. La relación aire - combustible (A/F) dentro de toda la cámara de combustión 17 dentro del intervalo de carga baja del motor 1 está, por ejemplo, entre aproximadamente 30:1 y aproximadamente 40:1.

La Fig. 7 muestra una relación entre la cantidad de generación de NO_x y la A/F durante la combustión. Alrededor de una relación aire - combustible estequiométrica (A/F = 14.7:1), ya que la temperatura de combustión se vuelve más alta, se genera una gran cantidad de NO_x. La generación de NO_x se reduce al llevar el motor a un estado de insuficiente oxígeno donde la A/F cae por debajo de aproximadamente 10:1, la concentración de combustible es alta y la cantidad de aire es insuficiente para el combustible, o un estado de exceso de aire donde la A/F excede aproximadamente 30:1, la concentración de combustible es baja y la cantidad de aire es excesiva para el combustible.

Por lo tanto, convencionalmente, mientras el motor está operando dentro del intervalo de carga baja, por ejemplo, se realiza una combustión pobre estratificada en la que el gas de mezcla rico en el estado de insuficiente oxígeno se forma alrededor de la bujía 25 para provocar un incendio, y se forma un gas de mezcla pobre en el estado de exceso de aire alrededor del gas de mezcla rico, y se comprimen para encenderse.

Sin embargo, en tal combustión pobre estratificada, se produce el gas de mezcla cuya A/F está entre aproximadamente 10:1 y aproximadamente 25:1 en la que se genera una gran cantidad de NO_x. Por lo tanto, la generación de NO_x no se puede reducir.

Incluso aunque el gas de mezcla pobre cuya A/F excede aproximadamente 30:1 es encendible por chispa, su propagación de llama es lenta y la combustión no progresa, de este modo, la combustión estable de SI no se puede realizar. Por otro lado, si la A/F es aproximadamente 25:1 (de aproximadamente 20:1 a aproximadamente 35:1), se realiza la combustión estable de SI y se reduce la generación de NO_x.

- 5 Por lo tanto, dentro del intervalo de carga baja (1)-1, el motor 1 realiza la combustión de SPCCI en la que se combinan la combustión de SI y la combustión de CI.

Además, aplicando la técnica de control de la distribución de gas de mezcla que usa el flujo en forma de remolino, la combustión de SPCCI estable se realiza dentro del intervalo de carga baja del motor 1 y se obtiene la combustión con NO_x bajo y consumo de combustible bajo.

- 10 Por ejemplo, una pequeña cantidad de combustible con el que el gas de mezcla pobre cuya A/F excede aproximadamente 30:1 se forma totalmente dentro de la cámara de combustión 17, se inyecta en la cámara de combustión 17, y una distribución de gas de mezcla estratificada que tiene una sección que se ubica en una parte central de la cámara de combustión 17 proporcionada con la bujía, y causa el incendio (por ejemplo, la A/F está entre aproximadamente 20:1 y aproximadamente 35:1), y una sección que se ubica en una parte circunferencial de la cámara de combustión 17, y se comprime para encenderse mediante la presión de combustión y el calor de combustión del incendio (por ejemplo, la A/F está entre aproximadamente 35:1 y aproximadamente 50:1), se forma dentro de la cámara de combustión 17 en un momento de encendido. A continuación, se describirá en detalle el control de la distribución del gas de mezcla que usa el flujo en forma de remolino.

Control de distribución de gas de mezcla

- 20 Los presentes inventores se focalizaron en el flujo en forma de remolino para controlar con precisión la distribución de gas de mezcla dentro de la cámara de combustión. El flujo en forma de remolino es un flujo en forma de torbellino (vórtice lateral) formado sustancialmente ortogonal al eje central del cilindro. Por lo tanto, a diferencia de un flujo que da vueltas (vórtice vertical) formado en una dirección en la que el volumen de la cámara de combustión cambia, apenas recibe ninguna influencia del cambio en el volumen de la cámara de combustión y la velocidad del motor.
- 25 Por esta razón, el flujo en forma de remolino, más precisamente un componente de remolino que se torna sustancialmente ortogonal al eje central del cilindro, tiene una tasa de flujo relativamente estable incluso si el volumen de la cámara de combustión cambia o las condiciones operativas del motor cambian. Por lo tanto, inyectando el combustible en la cámara de combustión y controlando un cambio de la pulverización de combustible a lo largo del tiempo usando el flujo en forma de remolino, se controla con precisión la distribución de gas de mezcla dentro de la cámara de combustión en un momento dado después de la inyección de combustible.

- 30 Esto se describe en detalle con referencia a la Fig. 8. La parte del extremo izquierdo de la Fig. 8 muestra esquemáticamente la cámara de combustión 17 en un momento dado de la carrera de admisión en la que el volumen de la cámara de combustión 17 es relativamente grande. Como se describió anteriormente, la SCV 56 (que constituye una parte generadora de remolino) que causa el flujo en forma de remolino dentro de la cámara de combustión 17 está dispuesta en una parte superior de la cámara de combustión 17. El inyector 6 (que constituye una válvula de inyección de combustible) que inyecta el combustible dentro de la cámara de combustión 17 está dispuesto en una sección central de la parte superior de la cámara de combustión 17. El inyector 6 inyecta el combustible sustancialmente hacia abajo desde los diez puertos de boquilla colocados en un intervalo uniforme en la dirección circunferencial, simultáneamente en un ángulo de inyección de aproximadamente 30 a aproximadamente 60 grados, preferiblemente de aproximadamente 45 grados, desde el eje de inyección X2 para esparcirse radialmente. Las líneas centrales L1 a L10 de las pulverizaciones del combustible inyectado desde los respectivos puertos de boquilla se ilustran en la Fig. 2.

- 40 Las líneas centrales L1 a L15 de las pulverizaciones de combustible están ubicadas en el lado delantero del motor 1 y las líneas centrales L6 a L10 de las pulverizaciones de combustible están ubicadas en el lado trasero del motor 1. En este dibujo, la línea central L1 de la pulverización de combustible es la que está ubicada más cerca del lado de escape entre las líneas centrales L1 a L5 de las pulverizaciones de combustible en el lado delantero del motor 1, sustancialmente a 18 grados del lado delantero del motor 1 desde una línea de referencia K que pasa a través del eje de inyección X2, que es una bisectriz entre las dos válvulas de admisión 21.

- 45 Las líneas centrales L1 a L5 de las pulverizaciones de combustible ubicadas en el lado delantero del motor 1 y las líneas centrales L6 a L10 de las pulverizaciones de combustible ubicadas en el lado trasero del motor 1 están colocadas en línea simétricamente con respecto a la línea de referencia K cuando se ve en la dirección del eje de inyección X2. Las líneas centrales L1 a L10 de las pulverizaciones de combustible están colocadas en sentido contrario a las agujas del reloj en este orden, en un intervalo uniforme sustancialmente de 36 grados centrado en el eje de inyección X2.

- 50 La ECU 10 controla la apertura de la SCV 56 para tener una apertura estrecha para introducir el aire de admisión de manera desigual en la cámara de combustión 17. De este modo, se forma un flujo en forma de remolino inclinado con respecto al eje central X1 (el flujo en forma de remolino inclinado, constituido mediante el componente de remolino y el componente que da vueltas) dentro de la cámara de combustión 17.

Por ejemplo, controlando que la SCV 56 tenga una apertura estrecha, una cantidad relativamente grande de aire de admisión fluye en la cámara de combustión 17 desde el primer puerto de admisión 181. De este modo, como se indica mediante las flechas en la Fig. 3, se forma un flujo en forma de remolino en sentido contrario a las agujas del reloj dentro de la cámara de combustión 17. En combinación con el puerto de admisión 18, que es el puerto que da vueltas, se forma el flujo en forma de remolino inclinado. Como se indica mediante la flecha en la parte del extremo izquierdo de la Fig. 8, el flujo en forma de remolino inclinado formado mediante el aire de admisión que fluyó en la cámara de combustión 17 desde el primer puerto de admisión 181 rota mucho, oblicuamente hacia abajo en el lado delantero del motor 1 a través la parte superior del lado de escape de la cámara de combustión 17, después pasa a través de la parte inferior del lado de admisión de la cámara de combustión 17, rota mucho, oblicuamente hacia arriba en el lado trasero del motor 1, y después regresa a la parte superior del lado de escape de la cámara de combustión 17.

Un carácter de referencia D ilustrado en la parte del extremo izquierdo indica una sección transversal vertical que divide uniformemente el espacio interno de la cámara de combustión 17 en dos partes en la dirección de delante a atrás del motor 1. Los cinco dibujos (a) a (e) en la fila superior ilustran esquemáticamente un cambio de estado en el lado ascendente del flujo en forma de remolino inclinado (simplificado al "lado ascendente" en aras de la conveniencia), que corresponde al flujo en el lado delantero (un lado delantero del dibujo) del motor 1 definido mediante la sección transversal vertical D, a lo largo del tiempo después de la inyección de combustible como se indica mediante las flechas desde el extremo izquierdo. Los cinco dibujos (f) a (i) en la fila inferior ilustran esquemáticamente un cambio de estado en el lado descendente del flujo en forma de remolino inclinado, que corresponde al flujo en el lado trasero (un lado posterior del dibujo) del motor 1 definido mediante la sección transversal vertical D, a lo largo del tiempo después de la inyección de combustible como se indica mediante las flechas desde el extremo izquierdo.

Las flechas contorneadas en estos dibujos (a) a (j) muestran una corriente principal del flujo en forma de remolino inclinado generado dentro de la cámara de combustión 17 (una parte central del flujo con una corriente fuerte, de aquí en adelante se puede denominar simplemente como "el flujo en forma de remolino"). Tenga en cuenta que la corriente principal del flujo en forma de remolino tiene alrededor una corriente lateral débil que fluye en la misma dirección que la corriente principal. Aunque el flujo de la pulverización de combustible puede estar influenciado mediante la corriente lateral, ya que la dirección actual de la corriente lateral es la misma que la de la corriente principal y también la corriente principal es más intensa, incluso cuando la pulverización de combustible está influenciada, al final la corriente principal tiene una influencia dominante. Por lo tanto, un fenómeno descrito más tarde en el que la distribución de gas de mezcla se forma mediante el flujo en forma de remolino rara vez cambia debido a la corriente lateral.

El dibujo (a) en la fila superior ilustra el lado por encima del flujo en forma de remolino inmediatamente después de que el combustible se inyecta desde el inyector 6. En el lado por encima del flujo en forma de remolino, se inyectan cinco partes de combustible f1 a f5 en el mismo momento que las partes de combustible f6 a f10 en el lado por debajo del flujo en forma de remolino.

Como se ilustra en el dibujo (b), la parte de combustible f1 inyectada desde el puerto de boquilla más cercano al flujo en forma de remolino (que tiene la distancia de alcance más corta) entre todas las partes de combustible inyectadas hacia el flujo en forma de remolino en el lado por encima alcanza el flujo en forma de remolino primero. Después, como se ilustra en el dibujo (c), la pulverización de la parte de combustible f2 que tiene la segunda distancia de alcance más corta alcanza el flujo en forma de remolino por debajo de una sección en la que la pulverización de la parte de combustible f1 alcanza el flujo en forma de remolino. Aquí, la pulverización de la parte de combustible f1 se mueve con el flujo en forma de remolino y se fusiona con la pulverización de la parte de combustible f2. Después, como se ilustra en el dibujo (d), la pulverización de la parte de combustible f3 que tiene la siguiente distancia de alcance más corta alcanza el flujo en forma de remolino. Aquí, las pulverizaciones de las partes de combustible f1 y f2 fusionadas primero se mueven con el flujo forma de remolino y se fusionan con la pulverización de la parte de combustible f3.

Además después, como se ilustra en el dibujo (e), la pulverización de la parte de combustible f4 que tiene la siguiente distancia de alcance más corta alcanza el flujo forma de remolino. En este ejemplo, la pulverización de la parte de combustible f4 alcanza el flujo forma de remolino en una parte del extremo inferior de la cámara de combustión 17. Aquí, la pulverización de las partes de combustible fusionadas f1 a f3 se mueven con el flujo del remolino y se fusionan con la pulverización de la parte de combustible f4.

El combustible inyectado puede alcanzar una superficie de la pared 17a de la cámara de combustión 17 (parte de combustible f5). Como se ilustra en el dibujo (d), la pulverización de la parte de combustible f5 alcanza la superficie de la pared 17a y después se mueve a lo largo de la misma. Después, como se ilustra en el dibujo (e), la pulverización de la parte de combustible f5 también alcanza el flujo forma de remolino y se fusiona con la pulverización de las partes de combustible f1 a f4.

Es decir, el inyector 6 inyecta una pluralidad de partes de combustible (f1 a f4 en el dibujo) que incluye una primera parte de combustible y una segunda parte de combustible, cuyas pulverizaciones alcanzan el flujo en forma de remolino, la pulverización de la primera parte de combustible (por ejemplo, f1) alcanza el flujo en forma de remolino, y después la pulverización de la segunda parte de combustible (por ejemplo, f2) alcanza la posición en la que la

pulverización de la primera parte de combustible se mueve mediante el flujo en forma de remolino.

Además, la pulverización de la parte de combustible f5 que alcanzó la superficie de la pared 17a también se mueve a lo largo de la superficie de la pared 17a para alcanzar el flujo en forma de remolino y se fusiona con la pulverización fusionada.

5 De esta manera, las partes de combustible inyectadas se fusionan usando el flujo en forma de remolino y se forma el gas de mezcla rico con concentración de combustible alta. En este ejemplo, las partes de combustible inyectadas desde el inyector 6 en el lado por encima del flujo en forma de remolino se recolectan todas en una ubicación.

10 Mientras tanto, el dibujo (f) en la fila inferior ilustra el lado por debajo del flujo en forma de remolino inmediatamente después de que el combustible se inyecta desde el inyector 6. También en el lado por debajo del flujo en forma de remolino, las partes de combustible f6 a f10 se inyectan en el mismo momento que las partes de combustible f1 a f5 en el lado por encima del flujo en forma del remolino.

15 Como se ilustra en el dibujo (g), la pulverización de la parte de combustible f10 inyectada desde el puerto de boquilla más cercano al flujo en forma de remolino (que tiene la distancia de alcance más corta) entre todas las partes de combustible inyectadas hacia el flujo en forma de remolino en el lado por debajo alcanza primero el flujo en forma de remolino (primera posición P1). Después, como se ilustra en el dibujo (h), la pulverización de la parte de combustible f9 que tiene la segunda distancia de alcance más corta alcanza el flujo en forma de remolino por encima de una sección en la que la pulverización de la parte de combustible f10 alcanza el flujo en forma de remolino (segunda posición P2).

20 Aquí, la pulverización de la parte de combustible f10, después de alcanzar la primera posición P1 pero antes de que la pulverización de la parte de combustible f9 alcance la segunda posición P2, se mueve aún más por debajo de la posición de llegada (primera posición P1) de la pulverización de la parte de combustible f10 junto con el flujo en forma de remolino, y se aleja de la segunda posición P2. Por lo tanto, incluso cuando la pulverización de la parte de combustible f9 se mueve con el flujo en forma de remolino a partir de entonces, ya que la pulverización de la parte de combustible f10 se mueve con el flujo en forma de remolino en una posición separada de la pulverización de la parte de combustible f9 al lado aún más por debajo del flujo en forma de remolino (entra de nuevo el lado por encima), mientras que se mueve mediante el flujo en forma de remolino, la pulverización de la parte de combustible f9 se mantiene alejada de la pulverización de la parte de combustible f10. De este modo, se forma el gas de mezcla con una concentración de combustible desigual. Después, como se ilustra en el dibujo (i), la pulverización de la parte de combustible f8 que tiene la segunda distancia de alcance más corta alcanza el flujo en forma de remolino por encima de una sección en la que la pulverización de la parte de combustible f9 alcanza el flujo en forma de remolino.

30 Aquí, la pulverización de las partes de combustible f10 y 19 fusionadas primero se mueven con el flujo en forma de remolino y después se mueve aún más por debajo de sus respectivas posiciones de llegada.

35 En otras palabras, el inyector 6 inyecta una pluralidad de partes de combustible (f10 a f8 en el dibujo) que incluye la primera parte de combustible y la segunda parte de combustible, cuyas pulverizaciones alcanzan el flujo en forma de remolino, y cuando la posición en la que la pulverización de la primera parte de combustible (por ejemplo, f10) alcanza el flujo en forma de remolino es la primera posición P1 y la posición en la que la pulverización de la segunda parte de combustible (por ejemplo, f9) alcanza el flujo en forma de remolino es la segunda posición P2, la pulverización de la primera parte de combustible, después de alcanzar la primera posición P1, se aleja de la segunda posición mediante el flujo en forma de remolino antes de que la pulverización de la segunda parte de combustible alcance la segunda posición P2.

40 De esta manera, las partes de combustible inyectadas se difunden adecuadamente usando el flujo en forma de remolino, y se forma un gas de mezcla homogéneo dentro del cual se esparce el combustible de forma fina. En este ejemplo, se difunde aproximadamente el 30% del combustible inyectado mediante el inyector 6.

45 Más adelante, como se ilustra en el dibujo (j), la pulverización de la parte de combustible f7 que tiene la siguiente distancia de alcance más corta alcanza el flujo en forma de remolino. En este ejemplo, la pulverización de la parte de combustible f7 alcanza el flujo en forma de remolino en la parte del extremo inferior de la cámara de combustión 17. Aquí, la pulverización de la parte de combustible f7 se fusiona con la pulverización de las partes de combustible f1 a f5 del lado por encima del flujo en forma de remolino.

50 De manera similar al lado por encima del flujo en forma de remolino, el combustible inyectado puede alcanzar la superficie de la pared 17a de la cámara de combustión 17 (parte de combustible f6). Como se ilustra en el dibujo (i), la pulverización de la parte de combustible f6 alcanza la superficie de la pared 17a y después se mueve a lo largo de la misma. Después, como se ilustra en el dibujo (j), la pulverización de la parte de combustible f6 también alcanza el flujo en forma de remolino y se fusiona con la pulverización de las partes de combustible f1 a f5 junto con la pulverización de la parte de combustible f7. Es decir, en este ejemplo, se fusiona aproximadamente el 70% del combustible inyectado por el inyector 6.

55 La parte del extremo derecho de la Fig. 8 ilustra esquemáticamente un estado inmediatamente después de que todas las partes de combustible inyectadas desde el inyector 6 alcanzan el flujo en forma de remolino. Como se ilustra en este dibujo, el combustible inyectado desde el inyector 6 forma el gas de mezcla que se esparce de manera desigual a lo largo del flujo en forma de remolino. Este gas de mezcla tiene una sección donde se concentra

el combustible y una sección donde se esparce el combustible, y se distribuye a concentraciones de combustible diferentes, es decir, distribuciones de A/F diferentes, dependiendo de la posición (distribución de gas de mezcla). La distribución de gas de mezcla se mueve circunferencialmente dentro de la cámara de combustión 17 con el flujo en forma de remolino. Aquí, la distribución del gas de mezcla se desvía hacia el centro de la cámara de combustión 17 mientras se difunde gradualmente.

Las Figs. 9A y 9B muestran diagramas del interior de la cámara de combustión 17 donde la distribución del gas de mezcla se mueve con el flujo en forma de remolino, visto desde la parte superior de la cámara de combustión 17. Después, la energía del flujo en forma de remolino formado mediante la introducción del aire de admisión se atenúa recibiendo la resistencia del aire y se desvía hacia el centro de la cámara de combustión 17 mientras se difunde gradualmente. En otras palabras, la distribución del gas de mezcla, que se mueve con el flujo en forma de remolino, sigue el cambio en la corriente del flujo en forma de remolino.

Como se ilustra en la parte superior de la Fig. 9A, la distribución de gas de mezcla formada mediante la recolección de las partes de combustible f1 a f7 (ilustrada esquemáticamente por puntos) se desvía hacia la parte central de la cámara de combustión 17 mientras que viaja con el flujo en forma de remolino y además se esparce como se indica mediante la flecha. Ya que esta distribución de gas de mezcla tiene una concentración de combustible alta, en el momento del inicio de la combustión, se forma una distribución de gas de mezcla relativamente rica desviada hacia la parte central de la cámara de combustión 17 como se indica mediante los puntos en la parte inferior de la Fig. 9A.

Como se ilustra en la parte superior de la Fig. 9B, la distribución de gas de mezcla formada mediante las partes de combustible f8 a f10 que se esparce de forma fina y que tiene una concentración de combustible baja (ilustrada esquemáticamente por puntos) se desvía hacia la parte central de la cámara de combustión 17 mientras que viaja con el flujo del remolino y además se difunde como se indica mediante la flecha. De este modo, en el momento del inicio de la combustión, como se indica mediante los puntos en la parte inferior de la Fig. 9B, se forma una distribución de gas de mezcla relativamente pobre que se esparce totalmente en la cámara de combustión 17.

Mezclando estos gases de mezcla, se forma una distribución de gas de mezcla estratificada que incluye la sección de concentración de combustible relativamente alta y la sección de concentración de combustible relativamente baja dentro de la cámara de combustión 17. Tenga en cuenta que la parte superior de la Fig. 9A y la parte superior de la Fig. 9B son diagramas conceptuales en el mismo momento de ángulo del cigüeñal, y la distribución de gas de mezcla general en el momento de este ángulo del cigüeñal incluye la distribución de gas de mezcla formado mediante la recolección de las partes de combustible f1 a f7 (la sección punteada en la parte superior de la Fig. 9A) y la distribución de gas de mezcla formada mediante las partes de combustible f8 a f10 que se esparce de forma fina y que tiene una concentración de combustible baja (la sección punteada en la parte superior de la Fig. 9B), que se ubican consecutivamente.

Como se describe más adelante, tal distribución de gas de mezcla se forma usando el flujo en forma de remolino cuando la presión de inyección de combustible está entre aproximadamente 30 MPa y aproximadamente 120 MPa y la relación de remolino está entre aproximadamente 2 y aproximadamente 6.

Mientras el motor 1 está operando, ya que que el pistón 3 se eleva y desciende repetidamente, el volumen de la cámara de combustión 17 cambia en consecuencia. El ángulo de remolino del flujo en forma de remolino con respecto al eje central X1 (correspondiente a la inclinación de las flechas contorneadas en la Fig. 8) también cambia en consecuencia. Sin embargo, como se describió anteriormente, el ángulo de remolino del flujo en forma de remolino (componente de remolino) recibe poca influencia del mismo. Por lo tanto, incluso cuando el volumen de la cámara de combustión 17 cambia, dicha distribución de gas de mezcla se forma usando el flujo en forma de remolino.

Por ejemplo, incluso cuando el momento de inyección de combustible está en la carrera de compresión donde el volumen de la cámara de combustión 17 es relativamente pequeño, se produce el fenómeno similar al del momento en la carrera de admisión descrita anteriormente. Tenga en cuenta que ya que hay más tiempo hasta el momento de inicio de la combustión en el caso de la carrera de admisión que en el caso de la carrera de compresión, en el momento de inicio de la combustión, la inyección de combustible en la carrera de admisión causa que el combustible se difunda más y se esparza más lejos dentro de la cámara de combustión 17, y se forma una distribución de gas de mezcla homogénea con una concentración de combustible pobre. Por otro lado, debido al tiempo más corto hasta el momento de inicio de la combustión en el caso de la carrera de compresión que en el caso de la carrera de admisión, en el momento de inicio de la combustión, la inyección de combustible en la carrera de compresión causa que el combustible se concentre más y se forma una distribución de gas de mezcla con una concentración de combustible rica, desviada hacia la parte central de la cámara de combustión 17.

Por lo tanto, inyectando el combustible en la cámara de combustión 17 y controlando el cambio en la pulverización de combustible a lo largo del tiempo usando el flujo en forma de remolino, se forma la distribución de gas de mezcla estratificada con diferentes concentraciones de combustible dependiendo de la posición. Ajustando el momento para que el inyector 6 inyecte el combustible, la distribución del gas de mezcla en el momento de inicio de la combustión también es controlable para tener una colocación o estado adecuado para la combustión. Además, combinando tal pluralidad de distribuciones de gas de mezcla, se pueden formar diversas formas de distribución de gas de mezcla.

Presión de inyección de combustible

Con el fin de controlar la distribución de gas de mezcla usando el flujo en forma de remolino, el inyector 6 inyecta preferiblemente el combustible a una presión entre aproximadamente 30 MPa y aproximadamente 120 MPa.

5 Si la presión de inyección del combustible cae por debajo de aproximadamente 30 MPa, el flujo del combustible inyectado se vuelve excesivamente débil y se difunde antes de alcanzar el flujo en forma de remolino, y puede fallar parcialmente en alcanzar el flujo en forma de remolino. Si la presión de inyección del combustible excede aproximadamente 120 MPa, el flujo del combustible inyectado se vuelve excesivamente fuerte y puede penetrar el flujo en forma de remolino. En cualquier caso, el combustible no se puede situar adecuadamente en el flujo en forma de remolino. Por otro lado, con la presión de inyección entre aproximadamente 30 MPa y aproximadamente 120 MPa, el combustible inyectado se sitúa adecuadamente en el flujo en forma de remolino, de este modo la distribución del gas de mezcla se controla de manera estable usando el flujo en forma de remolino.

Intensidad del flujo en forma de remolino

El flujo en forma de remolino fuerte es importante en el control de la distribución del gas de mezcla en un estado adecuado para la combustión.

15 La Fig. 10 muestra un resultado de analizar una influencia de la intensidad del flujo en forma de remolino sobre la estabilidad del encendido. El análisis se condujo bajo la condición de usar el flujo en forma de remolino como se describió anteriormente. Mientras que se cambiaba la relación de remolino (un índice de la intensidad del flujo en forma de remolino), se inyectó de forma dividida una cantidad del combustible mediante el que el interior de la cámara de combustión 17 se vuelve pobre (la A/F de aproximadamente 30:1) en una pluralidad de inyecciones en una relación dada. Se realizó una inyección de primera etapa en una etapa inicial de la carrera de admisión (aproximadamente 320°CA antes del CTDC), y una se realizó una inyección de segunda etapa en un momento de inyección diferente. El encendido se realizó inmediatamente antes del CTDC. El eje vertical de la Fig. 10 muestra la estabilidad de la combustión (SDI) y las secciones sombreadas indican el momento de la inyección de segunda etapa en la que el encendido se vuelve inestable.

20 Como resultado, se confirmó una tendencia que, mientras el flujo en forma de remolino es débil (la relación de remolino es pequeña, por ejemplo, la relación de remolino = 0), el encendido es inestable (el gráfico inferior de la Fig. 10), un momento en el que el encendido se puede realizar de manera estable aparece (el gráfico del medio de la Fig. 10) cuando el flujo en forma de remolino es fuerte (la relación de remolino es grande, por ejemplo, la relación de remolino = 2), y el número de tales momentos y/o un intervalo de tales momentos aumenta (el gráfico superior de la Fig. 10) cuando el flujo en forma de remolino se vuelve más fuerte (por ejemplo, la relación de remolino = 4).

25 Es decir, cuando el flujo en forma de remolino es débil, la distribución del gas de mezcla no se puede controlar. Además, cuando el flujo en forma de remolino es fuerte, por consiguiente aumentan el número de tales momentos y/o un intervalo de tales momentos en las que es posible el encendido estable, de este modo la distribución del gas de mezcla se vuelve controlable con un grado de libertad alto. Por lo tanto, es importante formar un flujo en forma de remolino fuerte con el fin de controlar la distribución del gas de mezcla en el estado adecuado para la combustión.

30 De este modo, cuando el motor 1 está operando dentro del intervalo de carga baja (1)-1, la ECU 10 controla la SCV 56 de modo que la relación de remolino se vuelve al menos aproximadamente 2, preferiblemente aproximadamente 4 o superior.

35 Aquí, la "relación de remolino" se puede definir como un valor obtenido midiendo una velocidad angular lateral del flujo de admisión para cada elevación de válvula, integrando estos valores y dividiendo este valor integrado por una velocidad angular del motor. La velocidad angular lateral del flujo de admisión se puede obtener en base a una medición que usa un dispositivo de prueba de banco ilustrado en la Fig. 11. Específicamente, el dispositivo ilustrado en la Fig. 11 está estructurado situando la culata 13 boca abajo sobre un pedestal para conectar el puerto de admisión 18 a un dispositivo de suministro de aire de admisión (no se ilustra), y situando un cilindro 36 sobre la culata 13 para conectarlo, en su extremo superior, a un medidor de impulso 38 que tiene un rotor de panel 37. Una superficie inferior del medidor de impulso 38 se posiciona aproximadamente a 1.75 D (en donde "D" es un diámetro del calibre del cilindro) lejos de una superficie de acoplamiento entre la culata 13 y el cilindro 36. El medidor de impulso 38 mide el par motor que actúa sobre el rotor de panel 37 mediante un remolino generado en el cilindro 36 debido al suministro del aire de admisión (ver la flecha en la Fig. 11), y la velocidad angular lateral del flujo de admisión se obtiene en base al par motor.

40 La Fig. 12 ilustra una relación entre la apertura de la SCV 56 del motor 1 y la relación de remolino. En la Fig.12, la apertura de la SCV 56 se expresa mediante una relación de apertura con respecto a la sección transversal del conducto secundario 402 cuando está completamente abierta. La relación de apertura del conducto secundario 402 es aproximadamente 0% cuando la SCV 56 está completamente cerrada, y aumenta desde 0% a medida que aumenta la apertura de la SCV 56. La relación de apertura del conducto secundario 402 es aproximadamente del 100% cuando la SCV 56 está completamente abierta. Como se ilustra en la Fig. 12, en el motor 1, la relación de remolino se vuelve alrededor de 6 cuando la SCV 56 está completamente cerrada. Cuando el motor 1 opera dentro del intervalo de carga baja (1)-1, la relación de remolino puede estar entre aproximadamente 2 y aproximadamente 6. La apertura de la SCV 56

se puede ajustar dentro de un intervalo de la relación de apertura de aproximadamente 0% a aproximadamente 33%.

Característica del flujo en forma de remolino

5 El flujo en forma de remolino recibe menos influencia de la velocidad del motor que del flujo que da vueltas. De este modo, incluso cuando cambia la velocidad del motor, el momento de inyección de combustible que habilita el encendido estable no cambia significativamente. Por lo tanto, usando el flujo en forma de remolino, la distribución de gas de mezcla se controla independientemente de la velocidad del motor.

10 La Fig. 13 muestra gráficos que ilustran un resultado de analizar la influencia de la velocidad del motor en la estabilidad del encendido. La condición de este análisis es la misma que en el análisis de la intensidad del flujo en forma de remolino descrito anteriormente, excepto que la velocidad del motor es diferente. El gráfico superior de la Fig. 13 es el gráfico superior de la Fig. 10. El gráfico inferior de la Fig. 13 indica un caso donde la velocidad del motor aumentó con respecto a la del gráfico superior (diferencia de velocidad del motor: aproximadamente 1,000 rpm) bajo la misma condición de carga del motor.

15 Como se ve en la Fig. 13, incluso cuando cambia la velocidad del motor, aunque cambia ligeramente el momento de inyección con el que es posible el encendido estable, se pueden confirmar muchas áreas superpuestas entre los gráficos superior e inferior. Por lo tanto, la distribución del gas de mezcla se controla independientemente de la velocidad del motor.

20 Por lo tanto, utilizando el flujo en forma de remolino, las partes de combustible inyectadas se fusionan en el flujo en forma de remolino o se esparcen, y de este modo, se forma la distribución de gas de mezcla con diferentes concentraciones de combustible dependiendo de la posición. Por ejemplo, ya que la distribución de gas de mezcla formada mediante las partes de combustible f8 a f10 se esparce, se forma una distribución más homogénea en la que la concentración de combustible es relativamente baja y tiene menos variación. Esto es ventajoso para la combustión de CI. Por otro lado, ya que se concentra la distribución de gas de mezcla formada mediante las partes de combustible f1 a f7, se forma la distribución desigual con una concentración de combustible relativamente alta. Esto es ventajoso para la combustión de SI.

25 Ajustando la posición y el momento en que el combustible alcanza el flujo en forma de remolino, se forma la distribución de gas de mezcla homogénea en la que el combustible se esparce o la distribución de gas de mezcla desigual en la que la concentración de combustible es alta. Por ejemplo, solo inyectando el combustible para esparcirse, tal como las partes de combustible f8 a f10, se forma la distribución de gas de mezcla homogénea. Solo inyectando el combustible que se concentra, tal como las partes de combustible f1 a f7, se forma la distribución de gas de mezcla concentrada con concentración de combustible alta.

30 Además, se puede ajustar la intensidad del flujo en forma de remolino y el momento en que se produce el flujo en forma de remolino. La posición y dirección de la inyección de combustible, y el número de veces de inyecciones de combustible se pueden ajustar. De esta manera, incluso con una inyección de combustible, son formables las distribuciones de gas de mezcla en las que la distribución de la concentración de combustible, su colocación y forma dentro de la cámara de combustión 17 son diferentes.

Además, se realizan una pluralidad de inyecciones de combustible en diferentes momentos en un ciclo de combustión, se forma una pluralidad de tales distribuciones de gas de mezcla dentro de la cámara de combustión 17, y estas distribuciones de gas de mezcla se unifican solapándolas en un momento dado, tal como el momento de encendido. De este modo, se controlan con precisión varias formas de distribución de gas de mezcla.

40 Búsqueda de momentos de inyección para NO_x bajo y cantidad de combustible baja

Se condujo un análisis controlando la distribución de gas de mezcla usando el flujo en forma de remolino, para buscar un momento de inyección con el que se puede obtener la combustión estable con NO_x bajo y mediante la inyección de combustible con una cantidad de combustible baja. La Fig. 14 ilustra un ejemplo de este análisis. En este análisis, la velocidad del motor se establece aproximadamente en 2,000 rpm y se realiza una inyección en bloque de modo que la A/F se vuelve aproximadamente 30:1. Tenga en cuenta que la relación de remolino es de aproximadamente 4 o superior.

50 La parte superior de la Fig. 14 es un diagrama de contorno que muestra la estabilidad de la combustión (SDI) con respecto a la cantidad de inyección de combustible (eje vertical) y el momento de inyección de combustible (eje horizontal). La concentración se ilustra para ser más alta para intervalos en los que la estabilidad de la combustión es más alta. La parte del medio de la Fig. 14 es un diagrama de contorno que muestra la cantidad de generación de NO_x con respecto a la cantidad de inyección de combustible (eje vertical) y el momento de inyección de combustible (eje horizontal). La concentración se ilustra para ser más alta para intervalos en los que la cantidad de generación de NO_x es mayor.

55 La parte inferior de la Fig. 14 es un diagrama de contorno que muestra un intervalo obtenido combinando estos diagramas de contorno, en los que se puede obtener una combustión estable con bajo NO_x y mediante una inyección de combustible dada con una cantidad de combustible baja. La concentración se ilustra para ser más alta

a medida que la estabilidad de la combustión es más alta para intervalos en los que la cantidad de generación de NO_x es menor. Por ejemplo, en este caso, inyectando el combustible en un momento cercano al punto muerto inferior de la carrera de admisión, la combustión estable se realiza con una pequeña cantidad de combustible mientras que se reduce la generación de NO_x.

- 5 De esta manera, buscando el momento de inyección con el que se obtiene la combustión estable con bajo NO_x y mediante la inyección de combustible con la cantidad de combustible baja en diversas condiciones, se selecciona un momento de inyección de combustible apropiado según el estado operativo del motor 1.

Operación del motor dentro del intervalo de carga baja (1)-1

- 10 Un carácter de referencia 601 en la Fig. 6 indica un ejemplo de momentos de inyección de combustible (caracteres de referencia 6011 y 6012) y un momento de encendido (un carácter de referencia 6013), y una forma de onda de combustión (es decir, una forma de onda que indica un cambio en la tasa de generación de calor con respecto al ángulo del cigüeñal; un carácter de referencia 6014) cuando el motor 1 está operando en el estado operativo del carácter de referencia 601 dentro del intervalo de carga baja (1)-1. Por ejemplo, se ilustra el momento de inyección de combustible dentro de un segmento de carga baja (media) descrito más adelante. El intervalo operativo que
15 corresponde al estado operativo 601 se indica mediante un círculo negro 601 en la Fig. 5A.

- En la combustión de SPCCI, la bujía 25 enciende forzosamente el gas de mezcla dentro de la cámara de combustión 17 de modo que está sujeto a la combustión de SI a través de la propagación de llama, y el calor generado mediante esta combustión eleva la temperatura dentro de la cámara de combustión 17 y la presión dentro de la cámara de combustión 17 aumenta mediante la propagación de llama, lo que conduce a la combustión de CI del gas de mezcla no quemado mediante el autoencendido.
20

- Es posible reducir la variación de la temperatura dentro de la cámara de combustión 17 antes de que se inicie la compresión ajustando la cantidad de generación de calor en la combustión de SI. Por lo tanto, incluso cuando la temperatura dentro de la cámara de combustión 17 varía antes de que se inicie la compresión, por ejemplo, controlando el momento de encendido para ajustar el momento de inicio de la combustión de SI, se controla el momento de autoencendido.
25

- En el caso de realizar la combustión de SPCCI, la bujía 25 enciende el gas de mezcla cerca del CTDC, específicamente en un momento dado antes del CTDC, y de este modo, se inicia la combustión a través de la propagación de llama. La generación de calor en la combustión de SI es más lenta que la generación de calor en la combustión de CI. Por lo tanto, la forma de onda de la tasa de generación de calor tiene una pendiente relativamente suave. Aunque no se ilustra, una variación de presión ($dp/d\theta$) en la cámara de combustión 17 es más suave en la combustión de SI que en la combustión de CI.
30

- Cuando la temperatura y la presión dentro de la cámara de combustión 17 aumentan debido a la combustión de SI, el gas de mezcla no quemado se auto enciende. En el ejemplo de la Fig. 6, la pendiente de la forma de onda de la tasa de generación de calor cambia de suave a pronunciada en el momento del autoencendido, es decir, la forma de onda de la tasa de generación de calor tiene un punto de flexión en un momento cuando se inicia la combustión de CI.
35

- Después de que se inicia la combustión de CI, la combustión de SI y la combustión de CI se realizan en paralelo. En la combustión de CI, ya que la generación de calor es mayor que en la combustión de SI, la tasa de generación de calor se vuelve relativamente alta. Tenga en cuenta que ya que la combustión de CI se realiza después del CTDC, el pistón 3 desciende mediante la motorización. Por lo tanto, se evita que la pendiente de la forma de onda de la tasa de generación de calor mediante la combustión de CI se vuelva excesivamente pronunciada. La $dp/d\theta$ en la combustión de CI también se vuelve relativamente suave.
40

La $dp/d\theta$ es utilizable como un índice que expresa el ruido de combustión. Ya que la combustión de SPCCI es capaz de bajar la $dp/d\theta$ como se describió anteriormente, se vuelve posible evitar que el ruido de combustión se vuelva excesivamente fuerte. De este modo, el ruido de combustión se reduce por debajo de un valor permisible.

- 45 La combustión de SPCCI termina finalizando la combustión de CI. La combustión de CI tiene un período de combustión más corto que en la combustión de SI. La combustión de SPCCI avanza el momento de terminación de la combustión comparado con la combustión de SI. En otras palabras, la combustión de SPCCI lleva el momento de terminación de la combustión en la carrera de expansión más cerca del CTDC. La combustión de SPCCI es ventajosa en mejorar la eficiencia de combustible del motor 1 que la combustión de SI.

- 50 Con el fin de mejorar la eficiencia de combustible del motor 1, el sistema de EGR 55 introduce el gas de EGR en la cámara de combustión 17 cuando el motor 1 está operando dentro del intervalo de carga baja (1)-1.

- Cuando el motor 1 opera dentro del intervalo de carga baja (1)-1, la ECU 10 controla el inyector 6 para inyectar el combustible a una presión de entre aproximadamente 30 MPa y aproximadamente 120 MPa como se describió anteriormente. De este modo, entre las partes de combustible inyectadas desde los puertos de boquilla, las pulverizaciones de las partes de combustible que fluyen hacia el flujo en forma de remolino alcanzan el flujo en forma de remolino y se sitúan adecuadamente en el flujo en forma de remolino.
55

Como se ilustra en la Fig. 8, las pulverizaciones de las partes de combustible f1 a f10 inyectadas simultáneamente desde los puertos de boquilla del inyector 6 alcanzan el flujo en forma de remolino y forman la distribución de gas de mezcla mientras que se fusionan para concentrarse o esparcirse. Esta distribución de gas de mezcla se mueve dentro de la cámara de combustión 17 a lo largo del flujo en forma de remolino.

5 Cuando el motor 1 opera dentro del intervalo de carga baja (1)-1, la relación aire - combustible (A/F) del gas de mezcla es más pobre que la relación aire - combustible estequiométrica en toda la cámara de combustión 17. Es decir, una relación de aire en exceso λ del gas de mezcla excede 1 en la cámara de combustión 17 en su conjunto. Más específicamente, la A/F del gas de mezcla en la cámara de combustión 17 en su conjunto está entre aproximadamente 30:1 y aproximadamente 40:1. De esta manera, se reduce la generación de NO_x bruto y se mejora el rendimiento del gas de escape.

En el momento de encendido de la bujía 25, el gas de mezcla se estratifica y la distribución de gas de mezcla adecuada para la combustión de SPCCI se forma entre la parte central y la parte circunferencial de la cámara de combustión 17. La parte central de la cámara de combustión 17 es la parte donde está dispuesta la bujía 25, y la parte circunferencial es la parte alrededor de la parte central y en contacto con un revestimiento del cilindro 11.

15 La parte central y la parte circunferencial de la cámara de combustión 17 pueden ser secciones interiores y exteriores cuando el diámetro interior de la cámara de combustión 17 se divide uniformemente en dos secciones. La parte central y la parte circunferencial de la cámara de combustión 17 pueden ser alternativamente dos secciones en el lado interno y una sección en el lado exterior cuando el diámetro interior de la cámara de combustión 17 se divide uniformemente en tres secciones.

20 La concentración de combustible distribuida en la parte central de la cámara de combustión 17 es más alta que la concentración de combustible distribuida en la parte circunferencial de la cámara de combustión 17. Por ejemplo, la A/F del gas de mezcla en la parte central está entre aproximadamente 20:1 y aproximadamente 35:1, y la A/F del gas de mezcla en la parte circunferencial está entre aproximadamente 35:1 y aproximadamente 50:1. Tenga en cuenta que la A/F es la relación aire - combustible en el momento de encendido, y lo mismo aplica para la descripción a continuación.

El intervalo de carga baja (1)-1 se divide en tres segmentos del segmento de carga baja (alta), el segmento de carga baja (media) y el segmento de carga baja (baja) en términos de carga de motor. El segmento de carga baja (alta) es un segmento de carga más alta en el intervalo de carga baja (1)-1 y continuo al intervalo de carga media (1)-2. El segmento de carga baja (media) es un segmento de carga más baja que el segmento de carga baja (alta), y el segmento de carga baja (baja) es un segmento de carga más baja que el segmento de carga baja (media). El segmento de carga (baja) incluye la operación a ralentí.

El segmento de carga baja (alta), el segmento de carga baja (media) y el segmento de carga baja (baja) pueden ser, por ejemplo, segmentos obtenidos dividiendo uniformemente el intervalo de carga baja (1)-1 en tres segmentos en la dirección de carga, y se puede establecer adecuadamente según las especificaciones del motor 1.

35 Cuando el motor 1 opera dentro del intervalo de carga baja (1)-1, el combustible se inyecta en un momento dado entre la carrera de admisión y la carrera de compresión. Los momentos de inyección y el número de veces de inyecciones de combustible se cambian para el segmento de carga baja (alta), el segmento de carga baja (media) y el segmento de carga baja (baja) respectivos. La Fig. 15 muestra los momentos de inyección y el número de veces de inyecciones de combustible en los segmentos respectivos. Tenga en cuenta que los momentos de inyección en estos segmentos se establecen en base al resultado de búsqueda del momento de inyección descrito anteriormente.

40 Cuando el motor 1 opera dentro del segmento de carga baja (alta), el combustible se inyecta de forma dividida en dos inyecciones en una última mitad de la carrera de admisión (una última sección mitad de la carrera de admisión cuando se divide uniformemente en dos secciones, indicado mediante un carácter de referencia KR en la Fig. 15). La cantidad de inyección de combustible dentro del segmento de carga baja (alta) es relativamente grande dentro del intervalo de carga baja (1)-1. El combustible se divide en dos partes sustancialmente uniformes (5:5) y se inyecta en dos inyecciones.

45 Estas partes de combustible inyectadas durante la carrera de admisión viajan circunferencialmente mediante el flujo en forma de remolino durante un período relativamente largo. De este modo, el gas de mezcla se desvía hacia la parte central de la cámara de combustión 17 mientras se difunde, y en el momento del encendido inmediatamente antes del CTDC, se forma la distribución de gas de mezcla ampliamente esparcida en la cámara de combustión 17. La Fig. 16A ilustra esquemáticamente esta distribución de gas de mezcla cuando se ve desde la parte superior de la cámara de combustión 17.

50 se ilustran conceptualmente una distribución de gas de mezcla G1 formada mediante el combustible inyectado primero y una distribución de gas de mezcla G2 formada por el combustible inyectado más tarde. Ya que todas las inyecciones de combustible tienen un período largo de tiempo hasta el momento del encendido, las distribuciones de gas de mezcla G1 y G2 de las partes de combustible, formadas mediante estas inyecciones, se mueven recibiendo la influencia del flujo en forma de remolino y se esparcen ampliamente de forma homogénea. La distribución de gas de mezcla G1 del combustible inyectado primero se esparce ligeramente más amplia que la distribución de gas de

mezcla G2 del combustible inyectado más tarde. Los centros de gravedad de ambas distribuciones de gas de mezcla se ubican en la parte central de la cámara de combustión 17.

5 Estas distribuciones de gas de mezcla G1 y G2 se superponen entre sí para formar una distribución de gas de mezcla unificada. La A/F de la distribución de gas de mezcla en la parte central se controla entre aproximadamente 20:1 y aproximadamente 35:1, y la A/F en la parte circunferencial se controla a aproximadamente 35:1 o más. Tenga en cuenta que cuando el motor 1 opera dentro del segmento de carga baja (alta), el combustible se puede inyectar en un bloque en la última mitad de la carrera de admisión.

10 La bujía 25 enciende el gas de mezcla en la parte central de la cámara de combustión 17 en el momento de encendido inmediatamente antes del CTDC. Ya que la A/F del gas de mezcla es de aproximadamente 20:1 a aproximadamente 35:1, la combustión de SI a través de la propagación de llama se realiza de manera estable mientras que se reduce la generación de NO_x. Estabilizando la combustión de SI, la combustión de CI se inicia en el momento adecuado. La controlabilidad de la combustión de CI mejora en la combustión de SPCCI.

15 Cuando el motor 1 opera dentro del segmento de carga baja (media) y el segmento de carga baja (baja), se realizan una pluralidad de inyecciones, que incluyen una inyección de primera etapa en la que el combustible se inyecta en un momento desde la carrera de admisión hasta una etapa intermedia de la carrera de compresión, y una inyección de segunda etapa en la que el combustible se inyecta en un momento en o después de la etapa intermedia de la carrera de compresión. La etapa intermedia de la carrera de compresión es, por ejemplo, un período en el medio cuando la carrera de compresión se divide uniformemente en tres etapas de una etapa inicial, la etapa intermedia, y una etapa final (la etapa inicial, la etapa intermedia y la etapa final en la Fig. 15 se indican mediante los caracteres de referencia Af, Am y Ar, respectivamente). Aunque también puede haber un caso donde la inyección de primera etapa y la inyección de segunda etapa se realizan en la etapa intermedia de la carrera de compresión, en este caso, la inyección de primera etapa se realiza antes de la inyección de segunda etapa.

20 Cuando el motor 1 opera dentro del segmento de carga baja (media), la inyección de primera etapa se realiza una vez en la última mitad de la carrera de admisión, y la inyección de segunda etapa se realiza una vez en la etapa intermedia de la carrera de compresión. Dentro del segmento de carga baja (media), la cantidad de inyección de combustible es menor que la de dentro del segmento de carga baja (alta). En la inyección de primera etapa, se inyecta una cantidad mayor de combustible comparado con la inyección de segunda etapa, por ejemplo, en una relación de la cantidad de inyección de primera etapa: la cantidad de inyección de segunda etapa = 7:3.

25 La distribución de gas de mezcla del combustible de la inyección de primera etapa realizada durante la carrera de admisión se desvía a la parte central de la cámara de combustión 17 mientras que se difunde, y en el momento del encendido, se forma la distribución de gas de mezcla que se esparce ampliamente en la cámara de combustión 17. Por otro lado, la inyección de segunda etapa realizada en la etapa intermedia de la carrera de compresión tiene poco tiempo hasta el momento del encendido. Por lo tanto, la distribución de gas de mezcla del combustible de la inyección de segunda etapa no se esparce mucho, y en el momento del encendido, su centro de gravedad se ubica alrededor de la bujía 25 situada en la parte central de la cámara de combustión 17. De este modo, en el momento del encendido, se forma la distribución de gas de mezcla en la que la distribución de la A/F varía de forma relativamente importante entre la parte central y la parte circunferencial de la cámara de combustión 17.

30 La Fig. 16B ilustra esquemáticamente la distribución de gas de mezcla. De forma similar a la Fig. 16A, ilustra conceptualmente la distribución de gas de mezcla G1 del combustible de la inyección de primera etapa realizada primero y la distribución de gas de mezcla G2 del combustible de la inyección de segunda etapa realizada más tarde. Con la distribución de gas de mezcla G1 del combustible de la inyección de primera etapa, mientras que la cantidad de combustible es relativamente grande, el combustible se esparce homogénea y ampliamente. Por lo tanto, su concentración de combustible es baja. Con la distribución de gas de mezcla G2 del combustible de la inyección de segunda etapa, mientras que la cantidad de combustible es relativamente pequeña, el combustible se concentra y no se esparce ampliamente. Por lo tanto, su concentración de combustible es alta. Además, los centros de gravedad de ambas distribuciones de gas de mezcla se ubican en la parte central de la cámara de combustión 17.

35 De este modo, incluso con una cantidad relativamente pequeña de combustible, la A/F en la parte central de la distribución de gas de mezcla está entre aproximadamente 20:1 y aproximadamente 35:1. La A/F de la parte circunferencial es aproximadamente 35:1 o superior. Por lo tanto, similar al segmento de carga baja (alta), la combustión de SI a través de la propagación de llama se realiza de forma estable mientras que se reduce la generación de NO_x. Estabilizando la combustión de SI, la combustión de CI se inicia en el momento adecuado. La controlabilidad de la combustión de CI mejora en la combustión de SPCCI.

40 Cuando el motor 1 opera dentro del segmento de carga baja (baja), la inyección de primera etapa se realiza una vez en la última mitad de la carrera de admisión, y la inyección de segunda etapa se realiza de forma dividida en tres inyecciones (primera inyección de segunda etapa, segunda inyección de segunda etapa, y tercera inyección de segunda etapa) en la carrera de compresión. Por ejemplo, la primera inyección de segunda etapa se realiza en un período desde las etapas iniciales a las intermedias de la carrera de compresión, la segunda inyección de segunda etapa se realiza en la etapa intermedia de la carrera de compresión, y la tercera inyección de la segunda etapa se realiza en un período desde las etapas intermedias a las finales de la carrera de compresión. Es decir, la ECU 10

controla el inyector 6 para aumentar el número de veces de inyecciones de combustible en la inyección de segunda etapa.

5 Dentro del segmento de carga baja (baja), la cantidad de inyección de combustible es menor que la de dentro del segmento de carga baja (media). La relación de la cantidad de inyección de combustible es, por ejemplo, la cantidad de inyección de primera etapa: la primera inyección de segunda etapa: la segunda inyección de segunda etapa: la tercera inyección de segunda etapa = 1:1:1:0.5, y se puede establecer según las especificaciones.

10 La segunda inyección de segundo encendido se realiza en la etapa intermedia de la misma carrera de compresión que la inyección de segunda etapa en el segmento de carga baja (media), la primera inyección de segundo encendido se realiza antes que la segunda inyección de segundo encendido, y la tercera inyección de segundo encendido se realiza incluso en un momento más tarde. De este modo, la distribución de gas de mezcla de la primera inyección de segunda etapa se difunde más que la distribución de gas de mezcla de la segunda inyección de segunda etapa, y la distribución de gas de mezcla de la tercera inyección de segunda etapa se difunde menos que la distribución de gas de mezcla de la segunda inyección de segunda etapa, y está concentrada. En el momento del encendido, los centros de gravedad de estas distribuciones de gas de mezcla se establecen para ubicarse alrededor de la bujía 25 en la parte central de la cámara de combustión 17. De este modo, en el momento del encendido, se forma la distribución de gas de mezcla en la que la distribución de la A/F varía enormemente entre la parte central y la parte circunferencial de la cámara de combustión 17.

20 La Fig. 16C ilustra esquemáticamente esta distribución de gas de mezcla. La distribución de gas de mezcla G1 del combustible de la inyección de primera etapa, y las distribuciones de gas de mezcla G2, G3 y G4 de las partes de combustible respectivas de la primera a la tercera inyecciones de segunda etapa se ilustran conceptualmente. Las distribuciones de gas de mezcla G1 a G4 de las partes de combustible de la inyección de primera etapa, y las primera a la tercera inyecciones de segunda etapa se superponen, y de este modo, se forma la distribución de gas de mezcla en la que la distribución de la A/F es significativamente desigual.

25 De este modo, incluso con una pequeña cantidad de combustible, la A/F en la parte central de la distribución de gas de mezcla está entre aproximadamente 20:1 y aproximadamente 35:1. La A/F de la parte circunferencial es aproximadamente 35:1 o superior. Por lo tanto, similar al segmento de carga baja (alta) y al segmento de carga baja (media), la combustión de SI a través de la propagación de llama se realiza de forma estable mientras que se reduce la generación de NO_x. Estabilizando la combustión de SI, la combustión del CI se inicia en el momento adecuado. La controlabilidad de la combustión de CI mejora en la combustión de SPCCI.

30 Como resultado, cuando el motor 1 opera dentro del intervalo de carga baja (1)-1, se mejora el encendido de la combustión de SI y se estabiliza la combustión de SI. Además, se realiza la combustión de SPCCI estable y se obtiene la combustión con NO_x bajo y una eficiencia de combustible alta.

35 Cuando el motor 1 opera dentro del segmento de carga baja (baja), el momento de inyección de la inyección de segunda etapa se puede retrasar (retardar) en lugar de aumentar el número de veces de inyecciones en la inyección de segunda etapa.

40 Por ejemplo, como se ilustra en la Fig. 17, dentro del segmento de carga baja (baja), la ECU 10 controla el inyector 6 de modo que el momento de inyección de la inyección de segunda etapa es más tarde que el segmento de carga baja (media). La cantidad de combustible inyectado en la inyección de segunda etapa puede ser la misma para ambos segmentos. De esta manera, dentro de la inyección de segunda etapa dentro del segmento de carga baja (baja), ya que el período desde la inyección hasta el momento de encendido es corto, la distribución de gas de mezcla se esparce menos que en la inyección de segunda etapa dentro del segmento de carga bajo (medio). Retardando el momento de inyección de la inyección de segunda etapa, se forma la distribución de gas de mezcla con concentración de combustible alta (la A/F es pequeña).

45 Al superponer estas distribuciones de gas de mezcla, la distribución de gas de mezcla que incluye la parte circunferencial en la que la concentración de combustible es baja (la A/F es aproximadamente 35:1 o superior) y la parte central en la que la concentración de combustible es más alta (la A/F es de aproximadamente 20:1 a aproximadamente 35:1) se forma en el momento del encendido. Por lo tanto, también en este caso, la combustión de SI a través de la propagación de llama se realiza de forma estable mientras que se reduce la generación de NO_x. Estabilizando la combustión de SI, la combustión de CI se inicia en el momento adecuado. La controlabilidad de la combustión de CI mejora en la combustión de SPCCI.

50 Tenga en cuenta que cuando la carga del motor es la misma, el momento de inyección se puede mantener incluso cuando la velocidad del motor cambia.

55 Como se describió anteriormente, el flujo en forma de remolino recibe poca influencia de la velocidad del motor. Por lo tanto, cuando la carga del motor es la misma, es decir, cuando la cantidad de inyección de combustible es la misma, incluso si la velocidad del motor cambia, inyectando el combustible en el mismo momento, se forma una distribución de gas de mezcla similar dentro de la cámara de combustión en el momento de inyección. De este modo, cuando la carga del motor es la misma, sacando la ECU 10 una señal de control al inyector 6 para mantener el momento de la inyección independientemente del cambio de velocidad del motor, se obtiene una combustión estable

mientras que se simplifica el control.

Ya que el motor 1 realiza la combustión de SPCCI haciendo que el gas de mezcla sea más pobre que la relación aire - combustible estequiométrica dentro del intervalo de carga baja (1)-1, el intervalo de carga baja (1)-1 se puede denominar como "intervalo pobre de SPCCI".

5 Intervalo de carga media (1)-2

También cuando el motor 1 está operando dentro del intervalo de carga media (1)-2, el motor 1 realiza la combustión de SPCCI de manera similar al intervalo de carga baja (1)-1.

10 El carácter de referencia 602 en la Fig. 6 indica un ejemplo de los momentos de inyección de combustible (caracteres de referencia 6021 y 6022) y el momento de encendido (un carácter de referencia 6023), y la forma de onda de combustión (un carácter de referencia 6024) cuando el motor 1 está operando en el estado operativo del carácter de referencia 602 dentro del intervalo de carga media (1)-2 del motor 1. El intervalo operativo que corresponde al estado operativo 602 se indica mediante un círculo negro 602 en la Fig. 5A.

El sistema de EGR 55 introduce el gas de EGR en la cámara de combustión 17 cuando el estado operativo del motor 1 está dentro del intervalo de carga media (1)-2.

15 También, cuando el motor 1 opera dentro del intervalo de carga media (1)-2, similar al intervalo de carga baja (1)-1, se forma un flujo en forma de remolino fuerte en una relación de remolino de al menos aproximadamente 2, preferiblemente de aproximadamente 4 o superior, en la cámara de combustión 17. La SCV 56 está completamente cerrada o tiene una apertura estrecha dada. Ya que la energía cinética de turbulencia en la cámara de combustión 17 aumenta mejorando el flujo en forma de remolino, cuando el motor 1 opera dentro del intervalo de carga media (1)-2, la llama de la combustión de SI se propaga rápidamente y la combustión de SI se estabiliza. La controlabilidad de la combustión de CI mejora estabilizando la combustión de SI. Haciendo que el momento de la combustión de CI en la combustión de SPCCI sea apropiada, se reduce la generación de ruido de combustión y se mejora la eficiencia de combustible. Además, se reduce la variación en el par motor entre ciclos.

25 Cuando el motor 1 opera dentro del intervalo de carga media (1)-2, la relación aire - combustible (A/F) del gas de mezcla está sustancialmente en la relación aire - combustible estequiométrica ($A/F = 14.7:1$) en toda la cámara de combustión 17. El catalizador de tres vías purifica el gas de escape descargado de la cámara de combustión 17. De este modo, el rendimiento del gas de escape del motor 1 se vuelve bueno. La A/F del gas de mezcla se puede establecer para permanecer dentro de una ventana de purificación del catalizador de tres vías (es decir, un ancho de relación aire - combustible que exhibe la función de purificación de tres vías). Por lo tanto, la relación de aire en exceso λ del gas de mezcla puede ser de aproximadamente 1.0 ± 0.2 .

30 Cuando el motor 1 opera dentro del intervalo de carga media (1)-2, el inyector 6 inyecta el combustible en la cámara de combustión 17 en dos etapas, la inyección de primera etapa (un carácter de referencia 6021) y la inyección de segunda etapa (un carácter de referencia 6022). En la inyección de primera etapa, el combustible se inyecta en el momento separado del momento de encendido, y en la inyección de segunda etapa, el combustible se inyecta en el momento cercano al momento de encendido. La inyección de primera etapa se puede realizar, por ejemplo, en la mitad inicial de la carrera de compresión, y la inyección de segunda etapa se puede realizar, por ejemplo, en la mitad final de la carrera de compresión. La mitad inicial y la mitad final de la carrera de compresión se pueden definir dividiendo uniformemente la carrera de compresión en dos en términos del ángulo del cigüeñal (la mitad inicial y la mitad final de la carrera de compresión se indican mediante los caracteres de referencia AF y AR, respectivamente, en la Fig. 6).

35 El inyector 6 inyecta el combustible radialmente hacia afuera desde la pluralidad de puertos de boquilla inclinados para esparcir desde la parte central de la cámara de combustión 17. Cuando el inyector 6 realiza la inyección de primera etapa en el período de la mitad inicial de la carrera de compresión, ya que el pistón 3 está separado del TDC, la pulverización de combustible inyectado alcanza la superficie superior del pistón 3 que se eleva hacia el TDC, fuera de la cavidad 31. Una sección fuera de la cavidad 31 forma un área aplastada 171 (ver Fig. 2). El combustible inyectado en la inyección de primera etapa permanece en el área aplastada 171 mientras el pistón 3 se eleva y forma el gas de mezcla en el área aplastada 171.

40 Cuando el inyector 6 realiza la inyección de segunda etapa en el período de la mitad final de la carrera de compresión, ya que el pistón 3 está cerca del TDC, la pulverización de combustible inyectado entra en la cavidad 31. El combustible inyectado en la inyección de segunda etapa forma el gas de mezcla en la sección dentro de la cavidad 31. Aquí, la frase "la sección dentro de la cavidad 31" puede significar una combinación de una sección desde un plano de proyección de la superficie de apertura de la cavidad 31 en la superficie del techo de la cámara de combustión 17 hasta la superficie de apertura de la cavidad 31 y una sección dentro de la cavidad 31. También se puede decir que la frase "la sección dentro de la cavidad 31" es una sección de la cámara de combustión 17 fuera del área aplastada 171.

Debido a la inyección del combustible en la cavidad 31 mediante la inyección de segunda etapa, el flujo de gas se produce en la sección dentro de la cavidad 31. Cuando el tiempo del momento de encendido es largo, la energía

cinética de turbulencia dentro de la cámara de combustión 17 se atenúa a medida que progresa la carrera de compresión. Sin embargo, ya que el momento de inyección de la inyección de segunda etapa está cerca del momento de encendido comparado con el de la inyección de la primera etapa, la bujía 25 enciende el gas de mezcla en la sección dentro de la cavidad 31 mientras que mantiene la energía cinética de alta turbulencia allí dentro. De este modo, la velocidad de la combustión de SI aumenta. Cuando la velocidad de la combustión de SI aumenta, como se describió anteriormente, mejora la controlabilidad de la combustión de CI mediante la combustión de SI.

Mediante el inyector 6 que realiza la inyección de primera etapa y la inyección de segunda etapa, en la cámara de combustión 17, se forma un gas de mezcla sustancialmente homogéneo en la que la relación de aire en exceso λ es aproximadamente 1.0 ± 0.2 en su conjunto. Ya que el gas de mezcla es sustancialmente homogéneo, se obtiene la mejora en la eficiencia de combustible reduciendo la pérdida de combustible no quemado y la mejora en el rendimiento del gas de escape evitando la generación de humo. La relación de aire en exceso λ es preferiblemente de aproximadamente 1.0 a aproximadamente 1.2.

Mediante la bujía 25 que enciende el gas de mezcla en el momento dado antes del CTDC (un carácter de referencia 6023), el gas de mezcla combustiona por propagación de llama. Después de que esta combustión se inicia, el gas de mezcla no quemado se auto enciende y causa la combustión de CI. El combustible inyectado en la inyección de segunda etapa causa principalmente la combustión de SI. El combustible inyectado en la inyección de primera etapa causa principalmente la combustión de CI. Realizando la inyección de primera etapa en la carrera de compresión, se previene que el combustible inyectado en la inyección de primera etapa cause la combustión anormal, tal como el pre encendido. Además, el combustible inyectado en la inyección de segunda etapa se combustiona de manera estable mediante propagación de llama.

Dentro del intervalo de carga media (1)-2, ya que el motor 1 realiza la combustión de SPCCI estableciendo el gas de mezcla a la relación aire - combustible estequiométrica, el intervalo de carga media (1)-2 se puede denominar como "intervalo de SPCCI $\lambda = 1$ ".

Aquí, como se ilustra en la Fig. 5A, el propulsor 44 se apaga (ver "S/C APAGADO") dentro de parte del intervalo de carga baja (1)-1 y parte del intervalo de carga media (1)-2. En detalle, el propulsor 44 se apaga dentro de un segmento de velocidad baja del intervalo de carga baja (1)-1. Dentro de un segmento de velocidad alta del intervalo de carga baja (1)-1, el propulsor 44 se enciende para aumentar la presión de propulsión con el fin de asegurar una cantidad de carga de admisión requerida correspondiente a que la velocidad del motor sea alta. Además, dentro de un segmento de velocidad baja y carga baja del intervalo de carga media (1)-2, el propulsor 44 se apaga. Dentro de un segmento de carga alta del intervalo de carga media (1)-2, el propulsor 44 se enciende con el fin de asegurar la cantidad de carga de admisión requerida correspondiente al aumento de la cantidad de inyección de combustible. Dentro del segmento de velocidad alta, el propulsor 44 se enciende con el fin de asegurar la cantidad de carga de admisión requerida correspondiente a que la velocidad del motor sea alta.

Tenga en cuenta que dentro del intervalo de velocidad media y carga alta (2), el intervalo de velocidad baja y carga alta (3) y el intervalo de velocidad alta (4), el propulsor 44 se enciende a lo largo de los intervalos (ver "S/C ENCENDIDO").

Intervalo de velocidad media y carga alta (2)

También cuando el motor 1 está operando dentro del intervalo de velocidad media y carga alta (2), el motor 1 realiza la combustión de SPCCI de forma similar al intervalo de carga baja (1)-1 y el intervalo de carga media (1)-2.

Un carácter de referencia 603 en la Fig. 6 indica un ejemplo de los momentos de inyección de combustible (caracteres de referencia 6031 y 6032) y el momento de encendido (un carácter de referencia 6033), y la forma de onda de combustión (un carácter de referencia 6034) cuando el motor 1 está operando en el estado operativo del carácter de referencia 603 dentro del intervalo de velocidad media y alta carga (2) del motor 1. El intervalo operativo que corresponde al estado operativo 603 se indica mediante un círculo negro 603 en la Fig. 5A.

El sistema de EGR 55 introduce el gas de EGR en la cámara de combustión 17 cuando el estado operativo del motor 1 está dentro del intervalo de velocidad media y carga alta (2). El motor 1 reduce la cantidad de gas de EGR a medida que aumenta la carga de motor. A plena carga, el gas de EGR se puede establecer en aproximadamente cero.

También cuando el motor 1 opera dentro del intervalo de velocidad media y carga alta (2), similar al intervalo de carga baja (1)-1, se forma un flujo en forma de remolino fuerte a una relación de remolino de al menos aproximadamente 2, preferiblemente aproximadamente 4 o superior, en la cámara de combustión 17. La SCV 56 está completamente cerrada o tiene una apertura dada.

Cuando el motor 1 opera dentro del intervalo de velocidad media y carga alta (2), la relación aire - combustible (A/F) del gas de mezcla es igual o más rica que la relación aire-combustible estequiométrica en toda la cámara de combustión 17 (es decir, la relación de aire en exceso λ del gas de mezcla es $\lambda \leq 1$).

Cuando el motor 1 opera en el estado operativo 603 dentro del intervalo de velocidad media y carga alta (2), el inyector 6 inyecta el combustible en la cámara de combustión 17 en dos etapas, la inyección de primera etapa (el

carácter de referencia 6031) y la inyección de segunda etapa (el carácter de referencia 6032) en la carrera de compresión. La inyección de primera etapa se puede realizar, por ejemplo, en la mitad inicial de la carrera de compresión indicada mediante el carácter de referencia AF, y la inyección de segunda etapa se puede realizar, por ejemplo, en la última mitad de la carrera de compresión indicada mediante el carácter de referencia AR.

5 Cuando se genera un flujo en forma de remolino fuerte en la cámara de combustión 17, el combustible de la inyección de primera etapa forma el gas de mezcla en la parte central de la cámara de combustión 17. Este gas de mezcla en la parte central se combustiona principalmente en la combustión de SI. El combustible de la inyección de segunda etapa forma principalmente el gas de mezcla en la parte circunferencial de la cámara de combustión 17. Este gas de mezcla en la parte circunferencial se combustiona principalmente en la combustión de CI.

10 Además, en la inyección de combustible que incluye la inyección de primera etapa y la inyección de segunda etapa, la concentración de combustible del gas de mezcla en la parte circunferencial de la cámara de combustión se lleva más alta que la concentración de combustible del gas de mezcla en la parte central, y la cantidad de combustible del gas de mezcla en la parte circunferencial se lleva mayor que en la parte central. La cantidad de inyección de la inyección de primera etapa se puede establecer mayor que la de la inyección de segunda etapa. La relación entre la cantidad de inyección de la inyección de primera etapa y la cantidad de inyección de la inyección de segunda etapa puede ser, por ejemplo, de aproximadamente 7:3.

20 Cuando el motor 1 opera dentro del intervalo de velocidad media y carga alta (2), la relación de aire en exceso λ del gas de mezcla en la parte central donde está dispuesta la bujía 25 es preferiblemente 1 o menos, y la relación de aire en exceso λ del gas de mezcla en la parte circunferencial es 1 o menos, preferiblemente inferior a 1. La relación aire - combustible (A/F) del gas de mezcla en la parte central puede estar, por ejemplo, entre aproximadamente 13 y la relación aire-combustible estequiométrica (14.7:1). La relación aire-combustible del gas de mezcla en la parte central puede ser más pobre que la relación aire-combustible estequiométrica. Además, la relación aire-combustible del gas de mezcla en la parte circunferencial puede estar, por ejemplo, entre aproximadamente 11:1 y la relación aire-combustible estequiométrica, preferiblemente entre aproximadamente 11:1 y aproximadamente 12:1. La relación aire-combustible del gas de mezcla en toda la cámara de combustión 17 puede estar entre aproximadamente 12.5:1 y aproximadamente 13:1. Ya que la cantidad de combustible dentro del gas de mezcla aumenta en la parte circunferencial cuando la relación de aire en exceso λ de la parte circunferencial de la cámara de combustión 17 se establece por debajo de aproximadamente 1, la temperatura se baja mediante el calor latente de vaporización del combustible. La relación aire-combustible del gas de mezcla en toda la cámara de combustión 17 puede estar entre aproximadamente 12.5:1 y la relación aire-combustible estequiométrica, preferiblemente entre aproximadamente 12.5:1 y aproximadamente 13:1.

25 Ya que la bujía 25 está dispuesta sustancialmente en la parte central de la cámara de combustión 17, la bujía 25 enciende el gas de mezcla en la parte central de la cámara de combustión 17 (el carácter de referencia 6033). Mediante el encendido de la bujía 25, el gas de mezcla en la parte central inicia la combustión de SI a través de la propagación de llama.

30 Dentro del intervalo de carga alta, la cantidad de inyección de combustible aumenta, así como la temperatura de la cámara de combustión 17, por lo tanto, la combustión de CI se inicia fácilmente. En otras palabras, dentro del intervalo de carga alta, se produce fácilmente el pre encendido. Sin embargo, ya que la temperatura de la parte circunferencial de la cámara de combustión 17 se baja mediante el calor latente de vaporización del combustible como se describió anteriormente, se evita que la combustión de CI se inicie inmediatamente después de que el gas de mezcla se encienda por chispa.

35 Ya que el motor 1 realiza la combustión de SPCCI estableciendo el gas de mezcla a o más rico que la relación aire-combustible estequiométrica dentro del intervalo de velocidad media y carga alta (2), el intervalo de velocidad media y carga alta (2) se puede denominar como "intervalo de SPCCI $\lambda \leq 1$ ".

40 Intervalo de velocidad baja y carga alta (3)

45 Cuando la velocidad del motor es baja, la duración del tiempo para que el ángulo del cigüeñal cambie 1° se vuelve más larga. Dentro del intervalo de velocidad baja y carga alta (3), si el combustible se inyecta en la cámara de combustión 17 en la carrera de admisión y la mitad inicial de la carrera de compresión de manera similar a dentro del intervalo de velocidad media y carga alta (2), la reacción del combustible progresa excesivamente y causa el pre encendido. Cuando el motor 1 está operando dentro del intervalo de velocidad baja y carga alta (3), se vuelve difícil realizar la combustión de SPCCI.

50 Cuando el motor 1 está operando dentro del intervalo de velocidad baja y carga alta (3), el motor 1 realiza la combustión de SI en lugar de la combustión de SPCCI.

55 Un carácter de referencia 604 en la Fig. 6 indica un ejemplo del momento de inyección de combustible (un carácter de referencia 6041) y el momento de encendido (un carácter de referencia 6042), y la forma de onda de combustión (un carácter de referencia 6043) cuando el motor 1 está operando en el estado operativo del carácter de referencia 604 dentro del intervalo de velocidad baja y carga alta (3) del motor 1. El intervalo operativo correspondiente al estado operativo 604 se indica mediante un círculo negro 604 en la Fig. 5A.

El sistema de EGR 55 introduce el gas de EGR en la cámara de combustión 17 cuando el estado operativo del motor 1 está dentro del intervalo de velocidad baja y carga alta (3). El motor 1 reduce la cantidad de gas de EGR a medida que aumenta la carga de motor. A plena carga, el gas de EGR se puede establecer en aproximadamente cero.

5 Cuando el motor 1 está operando dentro del intervalo de velocidad baja y carga alta (3), la relación aire - combustible (A/F) del gas de mezcla está sustancialmente en la relación aire-combustible estequiométrica (A/F = 14.7:1) en toda la cámara de combustión 17. La A/F del gas de mezcla se puede establecer para permanecer dentro de la ventana de purificación del catalizador de tres vías. Por lo tanto, una relación de aire en exceso λ del gas de mezcla puede ser aproximadamente 1.0 ± 0.2 . Estableciendo la relación aire-combustible del gas de mezcla sustancialmente a la relación aire-combustible estequiométrica, la eficiencia del combustible mejora dentro del
10 intervalo de velocidad baja y carga alta (3). Tenga en cuenta que cuando el motor 1 opera dentro del intervalo de velocidad baja y carga alta (3), la concentración de combustible del gas de mezcla en toda la cámara de combustión 17 se puede establecer de modo que la relación de aire en exceso λ sea 1 o menor e igual a o mayor que la relación de aire en exceso λ dentro del intervalo de velocidad media y carga alta (2), preferiblemente más alta que la relación de aire en exceso λ dentro del intervalo de velocidad media y carga alta (2).

15 Cuando el motor 1 opera dentro del intervalo de velocidad baja y carga alta (3), el inyector 6 inyecta el combustible en la cámara de combustión 17 en un momento en el período desde la etapa final de la carrera de compresión hasta una etapa inicial de la carrera de expansión (de aquí en adelante, denominado como "el período de retardo") (el carácter de referencia 6041). Como se describió anteriormente, la etapa final de la carrera de compresión puede ser la etapa final cuando la carrera de compresión se divide uniformemente en tres etapas de la etapa inicial, la etapa intermedia y la etapa final. De manera similar, la etapa inicial de la carrera de expansión puede ser la etapa inicial cuando la carrera de expansión se divide uniformemente en tres etapas de la etapa inicial, una etapa intermedia y una etapa final.

25 Estableciendo el momento de inyección de combustible en un momento tardío, se evita el pre encendido. La presión de combustible se establece en una presión de combustible alta de aproximadamente 30 MPa o superior. Aumentando la presión de combustible, el período de inyección de combustible y el período de formación de gas de mezcla se acortan. Un límite superior de la presión de combustible puede ser, por ejemplo, aproximadamente 120 MPa.

30 Después de que el combustible se inyecta, la bujía 25 enciende el gas de mezcla en un momento cercano al CTDC (el carácter de referencia 6042). La bujía 25 enciende, por ejemplo, después del CTDC. El gas de mezcla causa la combustión de SI en la carrera de expansión. Ya que la combustión de SI se inicia en la carrera de expansión, la combustión de CI no se inicia.

Con el fin de evitar el pre encendido, el inyector 6 retarda el momento de inyección de combustible a medida que disminuye la velocidad del motor. La inyección de combustible puede terminar en la carrera de expansión.

35 Dentro del intervalo de velocidad baja y carga alta (3), ya que el motor 1 realiza la combustión de SI inyectando el combustible en el período de retardo desde la etapa final de la carrera de compresión hasta la etapa inicial de la carrera de expansión, el intervalo de velocidad baja y carga alta (3) se puede denominar como "intervalo de SI retardado".

Intervalo de velocidad alta (4)

40 Cuando la velocidad del motor es alta, la duración del tiempo para que el ángulo del cigüeñal cambie 1° se vuelve más corta. Por lo tanto, por ejemplo, dentro de un segmento de velocidad alta del intervalo de carga alta, es difícil estratificar el gas de mezcla en la cámara de combustión 17 realizando las inyecciones divididas durante la carrera de compresión como se describió anteriormente. Cuando aumenta la velocidad del motor, se vuelve difícil realizar la combustión de SPCCI descrita anteriormente.

45 Cuando el motor 1 está operando dentro del intervalo de velocidad alta (4), el motor 1 realiza la combustión de SI en lugar de la combustión de SPCCI. Tenga en cuenta que el intervalo de velocidad alta (4) se extiende a lo largo de toda la dirección de carga, desde carga baja hasta cargas altas.

50 Un carácter de referencia 605 en la Fig. 6 indica un ejemplo del momento de inyección de combustible (un carácter de referencia 6051) y el momento de encendido (un carácter de referencia 6052), y la forma de onda de combustión (un carácter de referencia 6053) cuando el motor 1 está operando en el estado operativo del carácter de referencia 605 dentro del intervalo de velocidad alta (4) del motor 1. El intervalo operativo que corresponde al estado operativo 605 se indica mediante un círculo negro 605 en la Fig. 5A.

El sistema de EGR 55 introduce el gas de EGR en la cámara de combustión 17 cuando el estado operativo del motor 1 está dentro del intervalo de velocidad alta (4). El motor 1 reduce la cantidad de gas de EGR a medida que aumenta la carga del motor. A plena carga, el gas de EGR se puede establecer en aproximadamente cero.

55 Cuando opera dentro del intervalo de velocidad alta (4), el motor 1 abre por completo sustancialmente la SCV 56. No se genera flujo en forma de remolino en la cámara de combustión 17, y solo se genera el flujo que da vueltas. Abriendo por completo sustancialmente la SCV 56, se mejora la eficiencia de carga en el intervalo de velocidad alta

(4) y se reduce la pérdida de bombeo.

5 Cuando el motor 1 opera dentro del intervalo de velocidad alta (4), la relación aire-combustible (A/F) del gas de mezcla está básicamente en la relación aire-combustible estequiométrica ($A/F = 14.7:1$) en toda la cámara de combustión 17. La relación de aire en exceso λ del gas de mezcla se puede establecer en aproximadamente 1.0 ± 0.2 . Tenga en cuenta que dentro del segmento de carga alta del intervalo de velocidad alta (4), que incluye la plena carga, la relación de aire en exceso λ del gas de mezcla puede ser inferior a aproximadamente 1.

10 Cuando el motor 1 funciona dentro del intervalo de velocidad alta (4), el inyector 6 inicia la inyección de combustible en la carrera de admisión (el carácter de referencia 6051). El inyector 6 inyecta toda la parte de combustible para un ciclo de combustión en un bloque. Tenga en cuenta que en el estado operativo 605, ya que la carga de motor es alta, la cantidad de inyección de combustible es grande. El período de inyección de combustible cambia según la cantidad de inyección de combustible. Iniciando la inyección de combustible en la carrera de admisión, se forma un gas de mezcla homogéneo o sustancialmente homogéneo en la cámara de combustión 17. Además, cuando la velocidad del motor es alta, ya que el tiempo de evaporación del combustible se asegura siempre que sea posible, se reduce la pérdida de combustible no quemado.

15 Después de que se termina la inyección de combustible, la bujía 25 enciende el gas de mezcla en un momento adecuado antes del CTDC (el carácter de referencia 6052).

Por lo tanto, dentro del intervalo de velocidad alta (4), ya que el motor 1 inicia la inyección de combustible en la carrera de admisión y realiza la combustión de SI, el intervalo de velocidad alta (4) se puede denominar como "intervalo de SI de admisión".

20 Proceso de control del motor

A continuación, se describirá un control de operación del motor 1 ejecutado mediante la ECU 10 con referencia al diagrama de flujo de la Fig. 18. Primero en S1 después del inicio, la ECU 10 lee las señales de los sensores SW1 a SW16. A continuación en S2, la ECU 10 determina el intervalo operativo del motor 1.

25 En S3, la ECU 10 determina si el motor 1 opera dentro del "intervalo pobre de SPCCI" (es decir, el intervalo de carga baja (1)-1). Si el resultado es positivo, el proceso pasa a S8, mientras que si el resultado es negativo, el proceso pasa a S4.

En S4, la ECU 10 determina si el motor 1 opera dentro de "SPCCI $\lambda = 1$ intervalo" (es decir, el intervalo de carga media (1)-2). Si el resultado es positivo, el proceso pasa a S9, mientras que si el resultado es negativo, el proceso pasa a S5.

30 En S5, la ECU 10 determina si el motor 1 opera dentro del "intervalo SPCCI $\lambda \leq 1$ intervalo" (es decir, el intervalo de velocidad media y carga alta (2)). Si el resultado es positivo, el proceso pasa a S10, mientras que si el resultado es negativo, el proceso pasa a S6.

35 En S6, la ECU 10 determina si el motor 1 opera dentro del "intervalo de SI retardado" (es decir, el intervalo de velocidad baja y carga alta (3)). Si el resultado es positivo, el proceso pasa a S11, mientras que si el resultado es negativo, el proceso pasa a S7.

En S7, la ECU 10 determina si el motor 1 opera dentro del "intervalo de SI de admisión" (es decir, el intervalo de velocidad alta (4)). Si el resultado es positivo, el proceso pasa a S12, mientras que si el resultado es negativo, el proceso vuelve a S1.

40 En S8, la ECU 10 saca una señal de control a la SCV 56 para cerrarla. Además, la ECU 10 saca una señal de control al inyector 6 para realizar la inyección de primera etapa en la carrera de admisión y realizar la inyección de segunda etapa en la carrera de compresión. De este modo, el gas de mezcla estratificado se forma en la cámara de combustión 17 donde se genera el flujo en forma de remolino fuerte. Después, en S13, la ECU 10 saca una señal de control a la bujía 25 para realizar el encendido en un momento dado antes del CTDC. De este modo, el motor 1 realiza la combustión de SPCCI.

45 En S9, la ECU 10 saca una señal de control a la SCV 56 para cerrarla. Además, la ECU 10 saca una señal de control al inyector 6 para realizar la inyección de primera etapa y la inyección de segunda etapa en la carrera de compresión. De este modo, el gas de mezcla en $\lambda = 1$ se forma en la cámara de combustión 17 donde se genera el flujo en forma de remolino fuerte. Después, en S13, la ECU 10 saca una señal de control a la bujía 25 para realizar el encendido en un momento dado antes del CTDC. De este modo, el motor 1 realiza la combustión de SPCCI.

50 En S10, la ECU 10 saca una señal de control a la SCV 56 para cerrarla. Además, la ECU 10 saca una señal de control al inyector 6 para realizar las inyecciones divididas del combustible en la carrera de compresión o una inyección en bloque del combustible en la carrera de admisión. De este modo, el gas de mezcla estratificado se forma en la cámara de combustión 17 donde se genera el flujo en forma de remolino fuerte. Después en S13, la ECU 10 saca una señal de control a la bujía 25 para realizar el encendido en un momento dado antes del CTDC. De

este modo, el motor 1 realiza la combustión de SPCCI.

5 En S11, la ECU 10 saca una señal de control a la SCV 56 para abrirla aproximadamente a la mitad. Además, la ECU 10 saca una señal de control al inyector 6 para realizar la inyección de combustible desde la etapa final de la carrera de compresión hasta la etapa inicial de la carrera de expansión. Después, en S13, la ECU 10 saca una señal de control a la bujía 25 para realizar el encendido en un momento dado después de la inyección de combustible y después del CTDC. De este modo, el motor 1 realiza la combustión de SI.

10 En S12, la ECU 10 saca una señal de control a la SCV 56 para abrirla. Además, la ECU 10 saca una señal de control al inyector 6 para realizar la inyección de combustible en la carrera de admisión. De este modo, se forma el gas de mezcla homogéneo o sustancialmente homogéneo en la cámara de combustión 17. Después en S13, la ECU 10 saca una señal de control a la bujía 25 para realizar el encendido en un momento dado antes del CTDC. De este modo, el motor 1 realiza la combustión de SI.

Otras realizaciones

Tenga en cuenta que la técnica descrita aquí no se limita a la aplicación al motor 1 que tiene la configuración anterior. La configuración del motor 1 puede adoptar diversas configuraciones.

15 Además, el motor 1 puede incluir un turbocompresor en lugar del propulsor mecánico 44.

20 El control de la distribución de gas de mezcla que usa el flujo en forma de remolino no se limita a la realización descrita anteriormente. También es aplicable a intervalos distintos al intervalo de carga baja. Cambiando el momento de inyección de combustible, la cantidad de inyección de combustible, el número de veces de las inyecciones, la relación de remolino, el modo de inyección de combustible, etc., se forman diversas formas de distribución de gas de mezcla en el momento de inicio de la combustión.

Aunque en esta realización se describe el flujo en forma de remolino inclinado, el flujo en forma de remolino no se limita a ello. Incluso con el flujo en forma de remolino que viaja sustancialmente ortogonal al eje central X1 y no incluye el componente que da vueltas, es controlable la distribución de gas de mezcla (por ejemplo, coloque el inyector 6 de modo que el eje de inyección X2 esté inclinado con respecto al flujo en forma de remolino).

25 Además, la distribución de gas de mezcla es controlable también inyectando la pluralidad de partes de combustible desde el inyector 6 en la misma dirección en diferentes momentos, en lugar de inyectar la pluralidad de partes de combustible simultáneamente desde el inyector 6 en diferentes direcciones. En resumen, es suficiente que el combustible se inyecte para alcanzar el lado por encima o el lado por debajo del flujo en forma de remolino en un momento dado.

30 **Descripción de los caracteres de referencia**

1 Motor

10 ECU (Unidad de Control)

17 Cámara de Combustión

25 Bujía

35 3 Pistón

56 Válvula de Control de Remolino (Parte Generadora de Remolino)

6 Inyector (Válvula de Inyección de Combustible)

REIVINDICACIONES

1. Un motor (1) formado con una cámara de combustión (17) que tiene una superficie inferior formada por un pistón (3) para reciprocarse dentro de un cilindro (11) a lo largo de un eje central (X1) del mismo, y un dispositivo de inyección de combustible; cuyo dispositivo de inyección de combustible comprende:
- 5 una válvula de inyección de combustible (6) configurada para inyectar combustible en la cámara de combustión (17);
- una válvula de control de remolino (56) configurada para generar un flujo en forma de remolino dentro de la cámara de combustión (17); y
- una unidad de control (10) configurada para controlar la válvula de inyección de combustible (6),
- 10 en donde la válvula de inyección de combustible (6) inyecta una pluralidad de partes de combustible que al menos incluye una primera parte de combustible (f1) y una segunda parte de combustible (f2) cuyas pulverizaciones alcanzan el flujo en forma de remolino generado mediante la válvula de control de remolino (56) y
- en donde, cuando una posición en la que la pulverización de la primera parte de combustible (f1) alcanza el flujo en forma de remolino es una primera posición (P1) y una posición en la que la pulverización de la segunda parte de combustible (f2) alcanza el flujo en forma de remolino es una segunda posición (P2), la pulverización de la
- 15 primera parte de combustible (f1) alcanza la primera posición (P1) y después se aleja de la primera posición (P1) mediante el flujo en forma de remolino antes de que la pulverización de la segunda parte de combustible (f2) alcance la segunda posición (P2),
- caracterizado por que
- 20 la válvula de inyección de combustible (6) inyecta el combustible de forma dividida en dos inyecciones en la carrera de admisión, la válvula de control de remolino (56) está configurada para generar un flujo en forma de remolino inclinado dentro de la cámara de combustión (17) que fluye oblicuamente con respecto al eje central (X1) y la pulverización de la primera parte de combustible (f1) se fusiona con la pulverización de la segunda parte de combustible (f2).
2. El motor de la reivindicación 1, que comprende además una bujía (25) configurada para encender en una parte central de la cámara de combustión (17) para causar que un gas de mezcla inicie la combustión de encendido por chispa (SI) a través de la propagación de llama y, después, que el gas de mezcla no quemado realice la combustión de encendido por compresión (CI) mediante autoencendido, en donde
- 25 la unidad de control (10) está configurada para controlar la bujía (25) y la válvula de inyección de combustible (6), y
- la unidad de control (10) controla la válvula de inyección de combustible (6) para inyectar el combustible en un momento de inyección dado durante la generación de flujo en forma de remolino, y controla la bujía (25) para encender en un momento de encendido dado después de la inyección de combustible.
- 30
3. El motor de la reivindicación 1 o 2, en donde la válvula de control de remolino (56) genera un flujo en forma de remolino en una relación de remolino de 4 o superior.
4. El motor o dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la unidad de control (10) controla la válvula de inyección de combustible (6) para inyectar la primera parte de combustible (f1) y la segunda parte de combustible (f2) a una presión entre 30 MPa y 120 MPa.
- 35
5. El motor de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la válvula de inyección de combustible (6) tiene de ocho a diez puertos de boquilla en un intervalo uniforme en una dirección circunferencial de la misma.
6. El motor de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la válvula de inyección de combustible (6) inyecta el combustible de modo que la pulverización del mismo se esparce radialmente oblicuamente hacia abajo desde un centro radial de una parte del techo de la cámara de combustión (17).
- 40
7. El motor de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde un ángulo de inyección de cada uno de los puertos de boquilla con respecto a un eje de inyección (X2) de la válvula de inyección de combustible (6) está entre 30 y 60 grados.
8. El motor de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la válvula de inyección de combustible (6) inyecta además una tercera parte de combustible (f3) y una cuarta parte de combustible (f4) cuyas pulverizaciones alcanzan el flujo en forma de remolino generado mediante la válvula de control de remolino (56), y
- 45 en donde, después de que la pulverización de la tercera parte de combustible (f3) alcanza el flujo en forma de remolino, la pulverización de la cuarta parte de combustible (f4) alcanza la posición en la que se mueve la pulverización de la tercera parte de combustible (f3) mediante el flujo en forma de remolino.
- 50

9. El motor de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la válvula de inyección de combustible (6) está dispuesta sustancialmente en la parte central de la cámara de combustión (17) y tiene al menos un primer puerto de boquilla y un segundo puerto de boquilla cuyas direcciones de inyección son diferentes en una dirección circunferencial de la válvula de inyección de combustible (6).
- 5 10. El motor de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la primera parte de combustible (f1) y la segunda parte de combustible (f2) se inyectan simultáneamente desde el primer puerto de boquilla y el segundo puerto de boquilla, respectivamente.
11. El motor de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el momento de inyección se establece en una pluralidad de momentos, y/o
- 10 la unidad de control (10) controla la bujía (25) y la válvula de inyección de combustible (6) de modo que un centro de gravedad de una distribución de gas de mezcla formada mediante el combustible inyectado en cada uno de la pluralidad de momentos está ubicado sustancialmente en la parte central de la cámara de combustión (17) en el momento del encendido.
12. Un método de control de un dispositivo de inyección de combustible para un motor (1) que comprende las etapas de:
- 15 generar un flujo en forma de remolino dentro de una cámara de combustión (17) del motor; e
- inyectar una pluralidad de partes de combustible en dicha cámara de combustión (17), donde dicha pluralidad de partes de combustible incluye al menos una primera parte de combustible (f1) y una segunda parte de combustible (f2) cuyas pulverizaciones alcanzan el flujo en forma de remolino, y
- 20 en donde, cuando una posición en la que la pulverización de la primera parte de combustible (f1) alcanza el flujo en forma de remolino es una primera posición (P1) y una posición en la que la pulverización de la segunda parte de combustible (f2) alcanza el flujo en forma de remolino es una segunda posición (P2), la pulverización de la primera parte de combustible (f1) alcanza la primera posición (P1) y después se aleja de la primera posición (P1) mediante el flujo en forma de remolino antes de que la pulverización de la segunda parte de combustible (f2) alcance el segunda posición (P2),
- 25 caracterizado por que
- una válvula de inyección de combustible (6) inyecta el combustible de forma dividida en dos inyecciones en la carrera de admisión, una válvula de control de remolino (17) genera un flujo en forma de remolino inclinado dentro de la cámara de combustión (17) que fluye oblicuamente con respecto al eje central (X1) y la pulverización de la primera parte de combustible (f1) se fusiona con la pulverización de la segunda parte de combustible (f2).
- 30 13. Un dispositivo de control que comprende una unidad de control (10) configurada para realizar el método de la reivindicación 12.
14. Un producto de programa informático que comprende instrucciones legibles por ordenador, que cuando se carga y ejecuta en un sistema adecuado, puede realizar las etapas del método de la reivindicación 12.

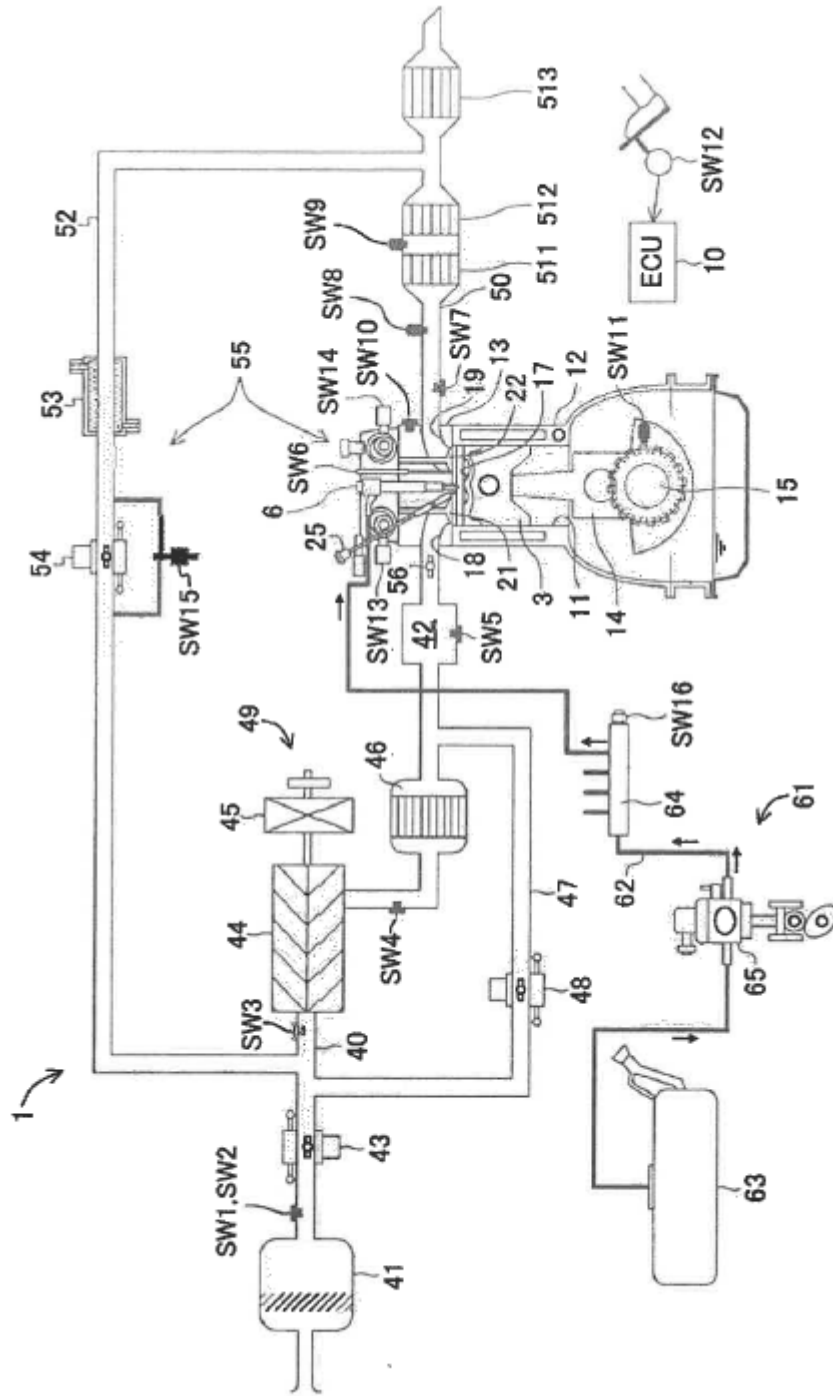
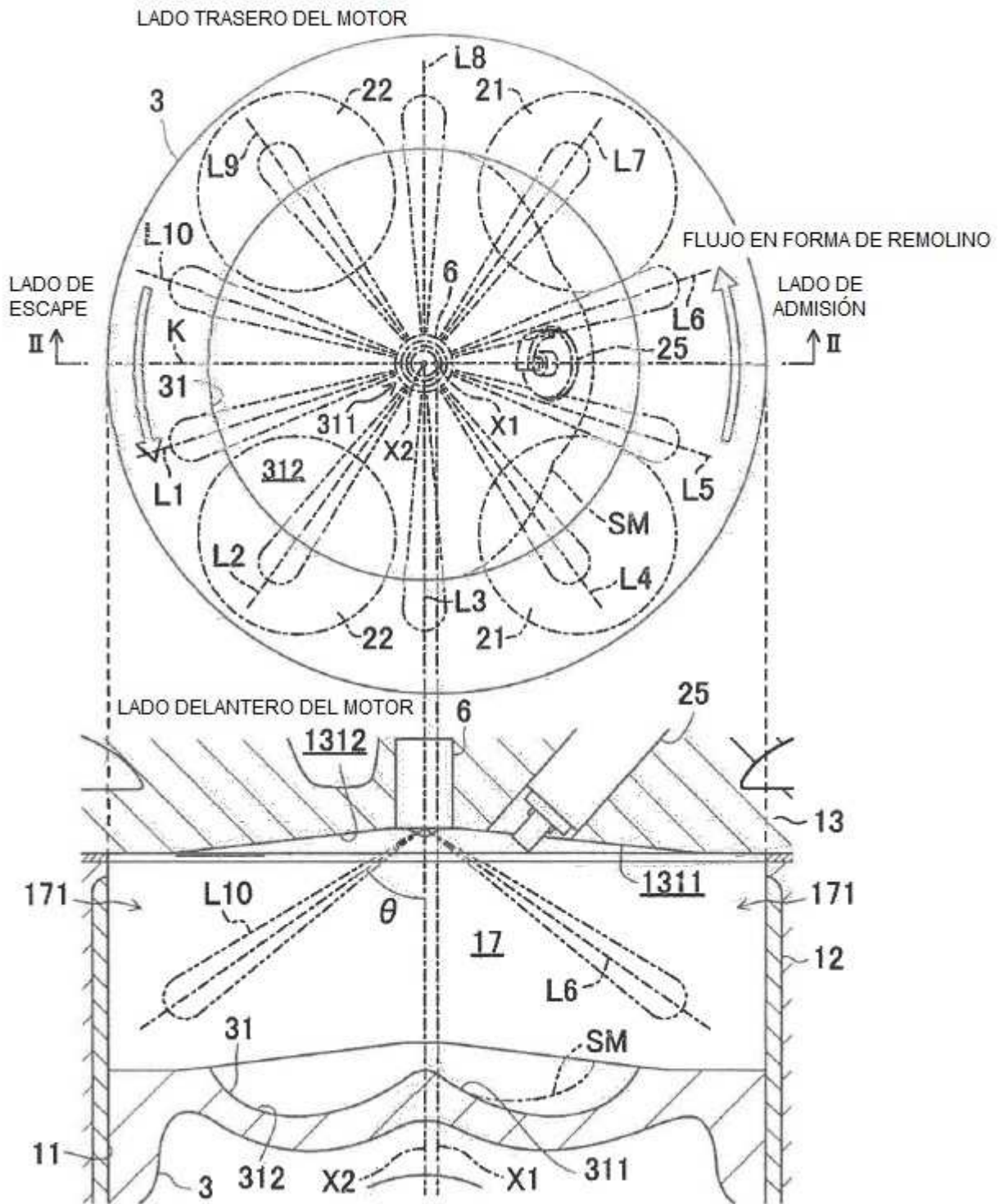


FIG. 1

FIG. 2



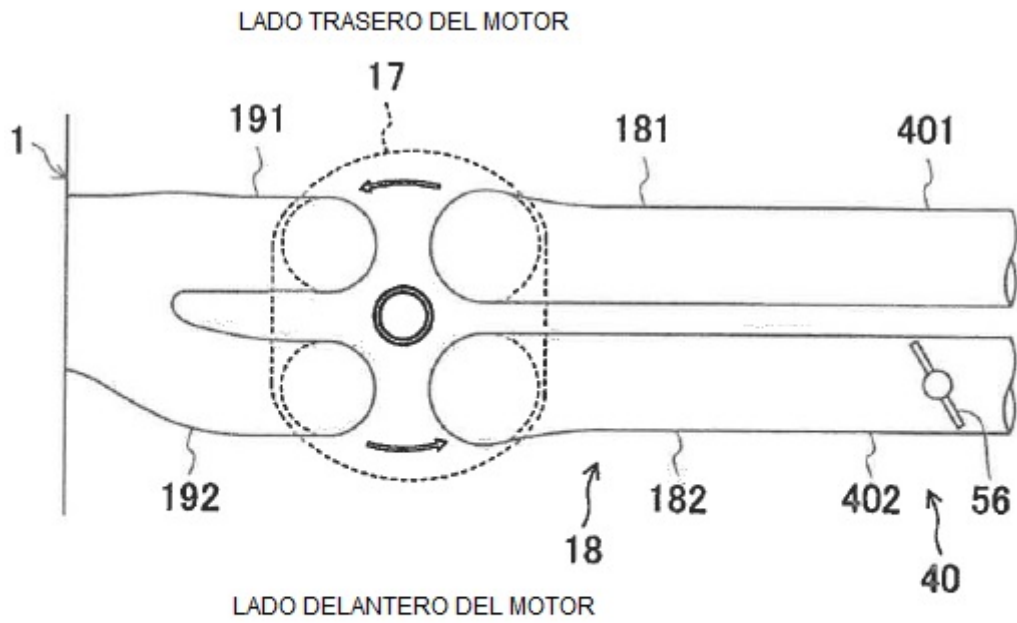
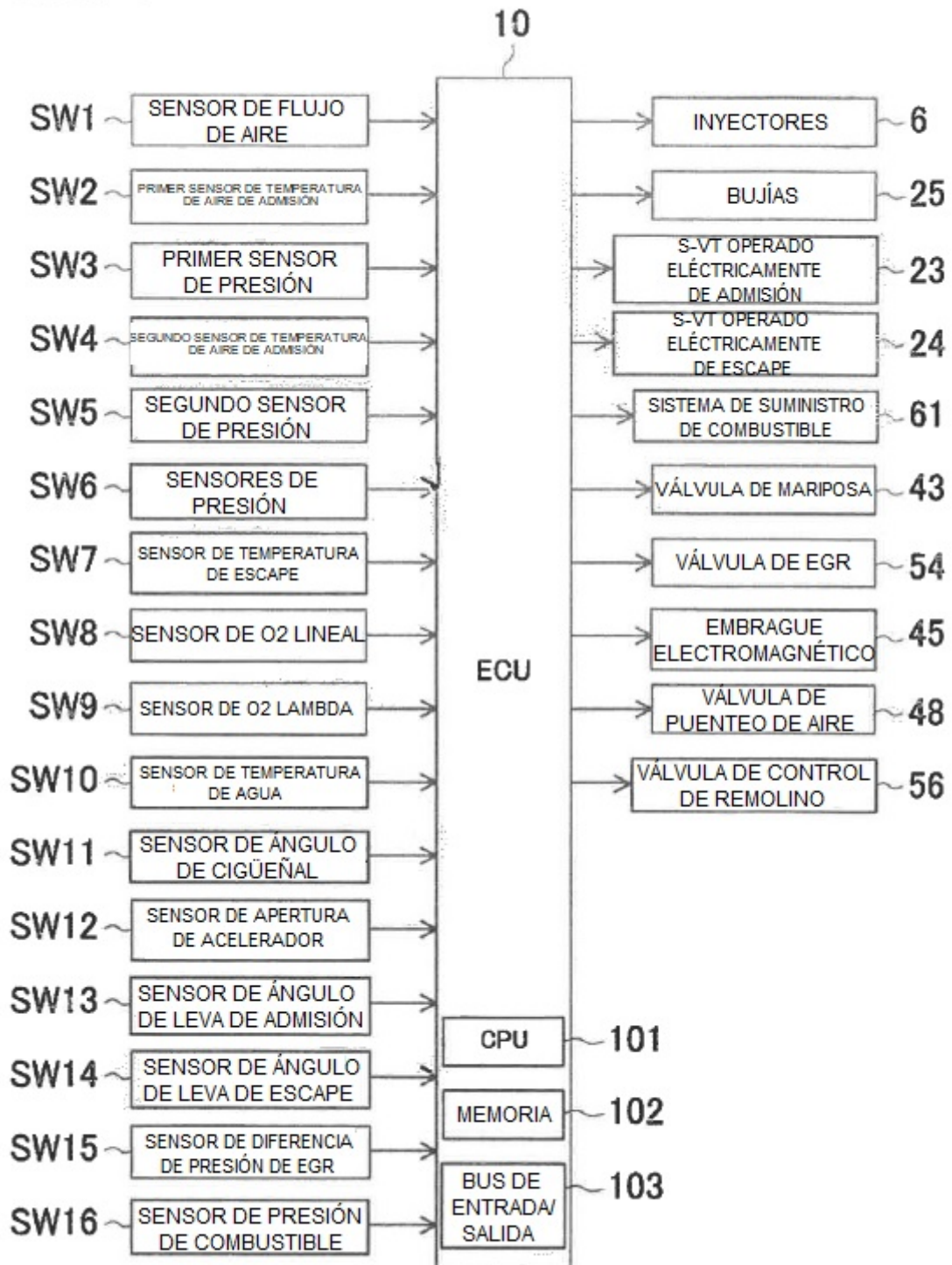


FIG. 3

FIG. 4



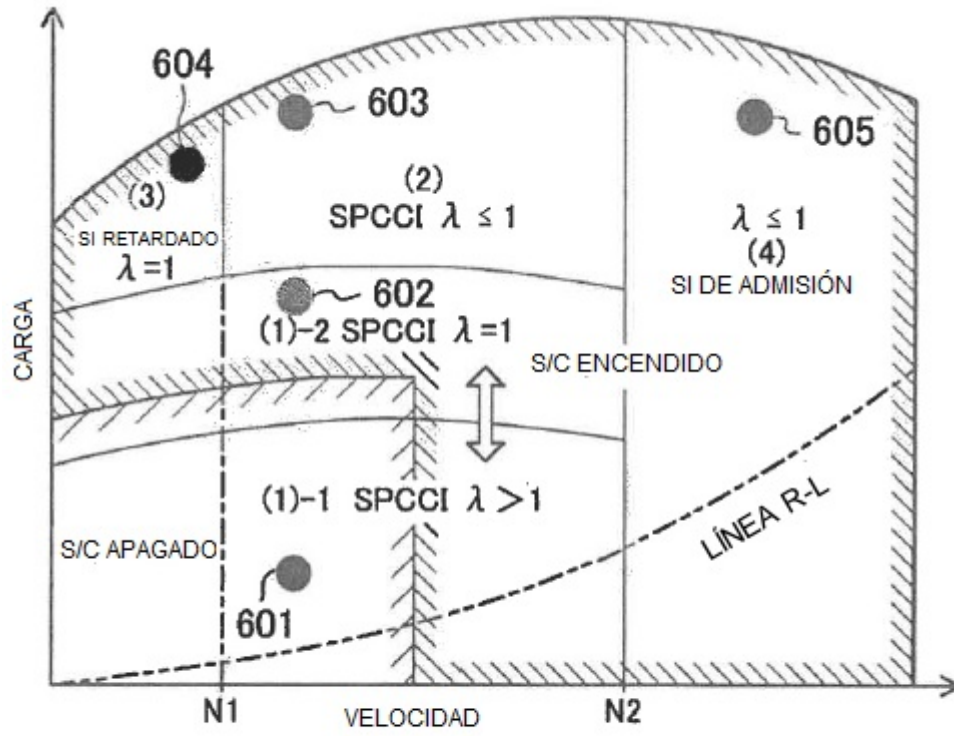


FIG. 5A

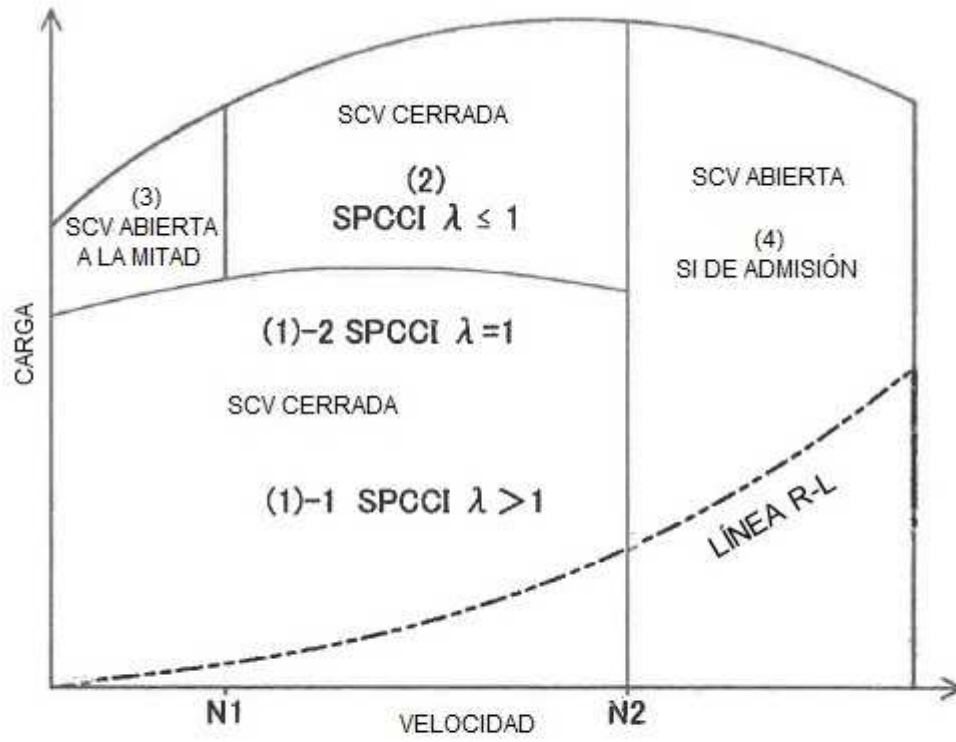
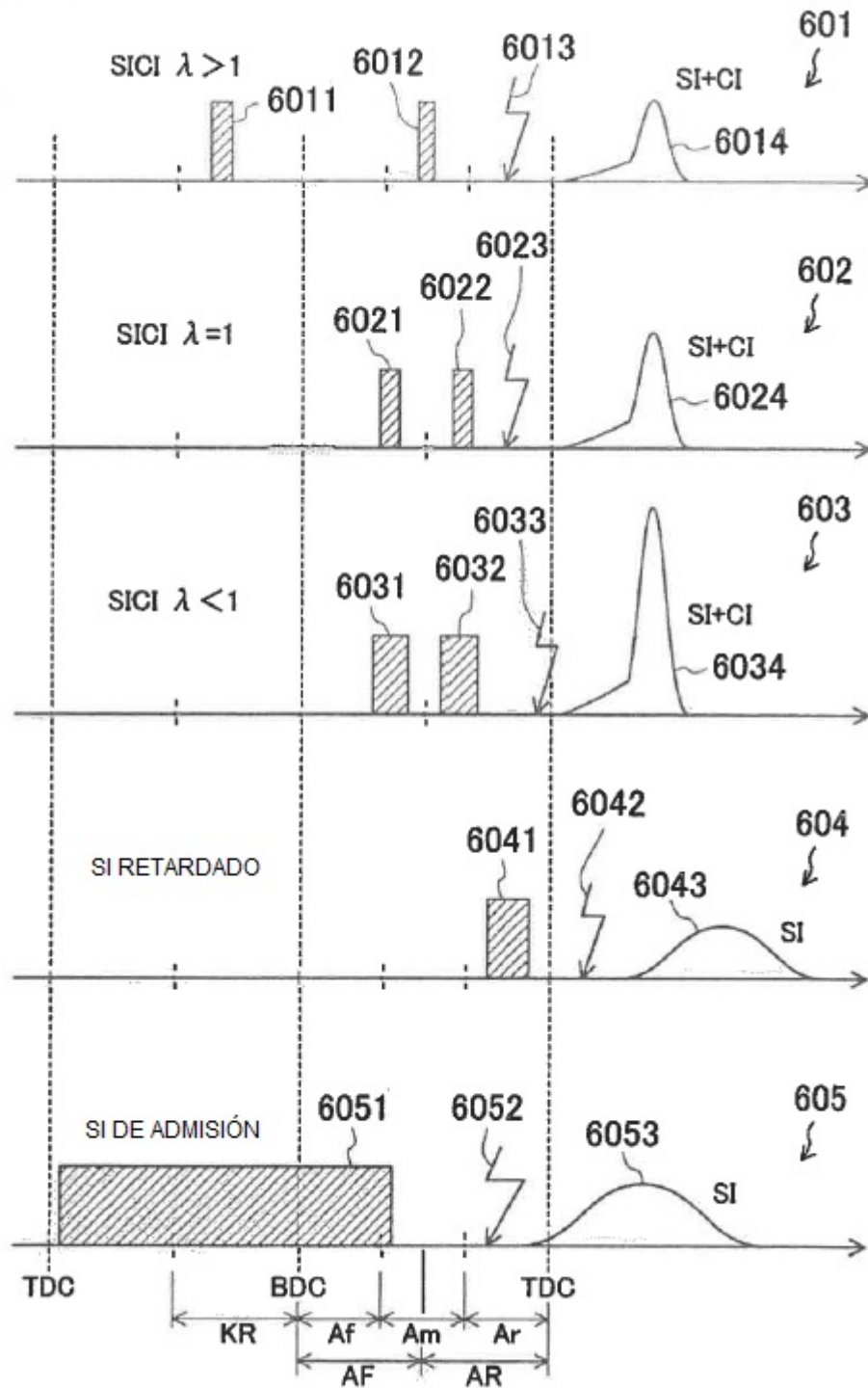


FIG. 5B

FIG. 6



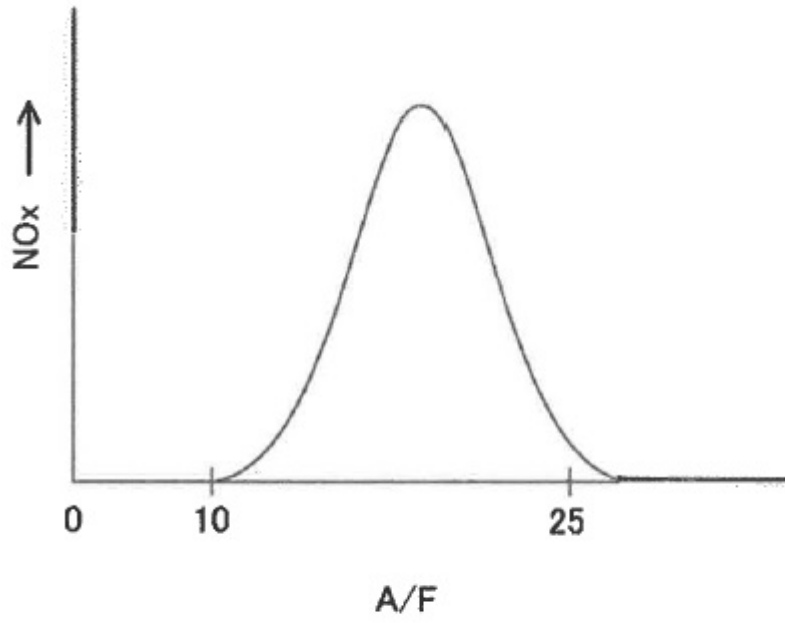


FIG. 7

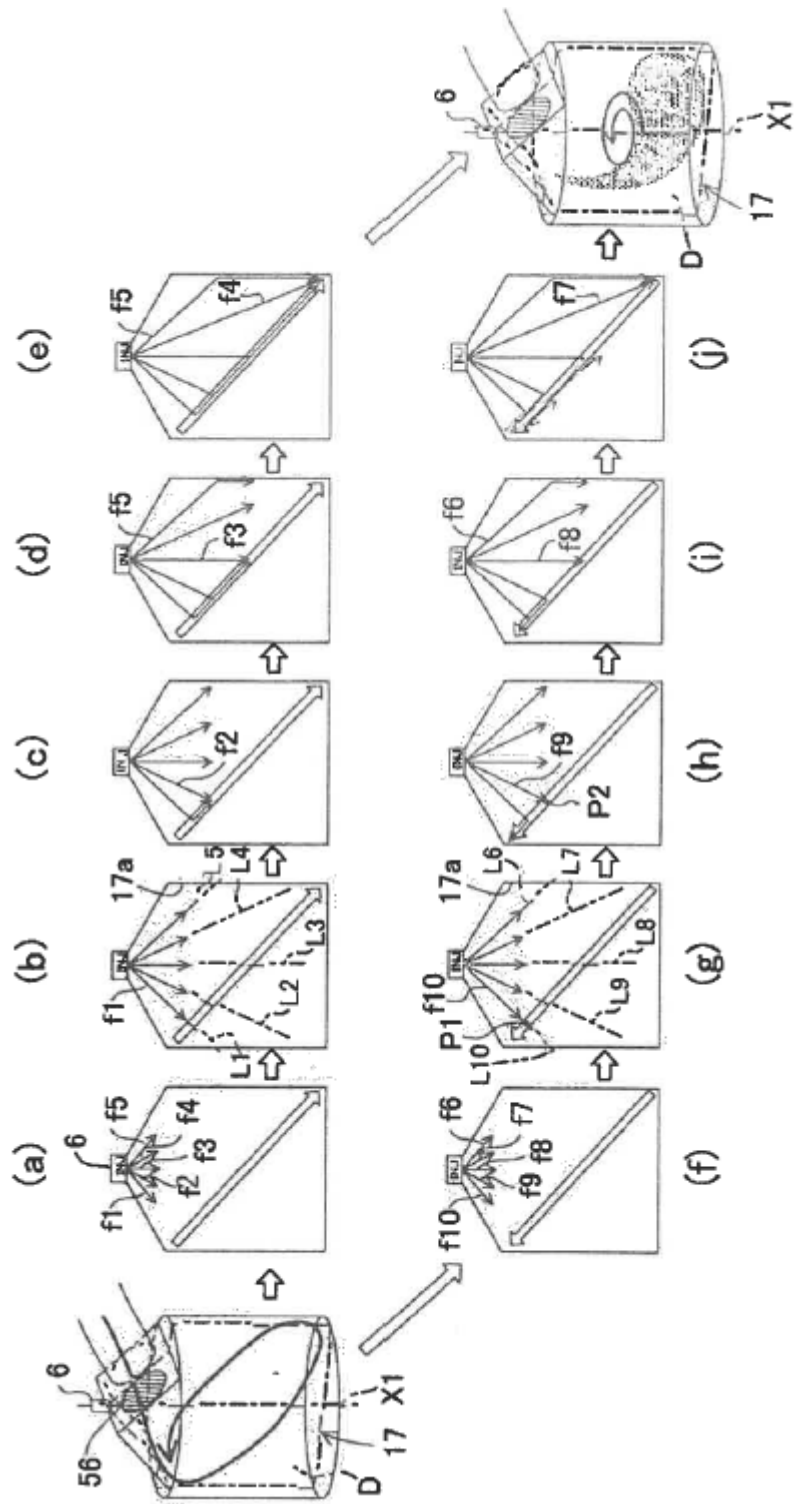


FIG. 8

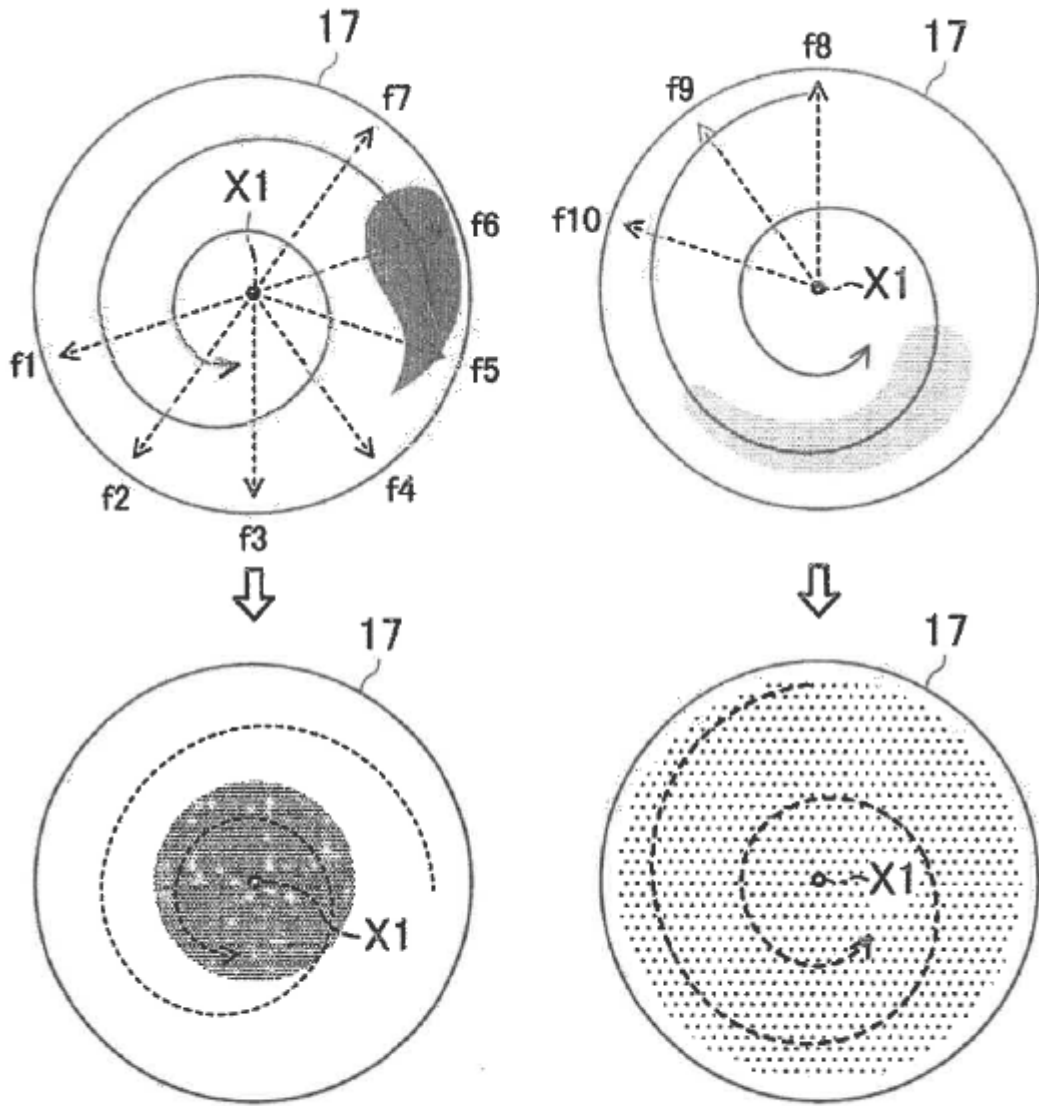


FIG. 9A

FIG. 9B

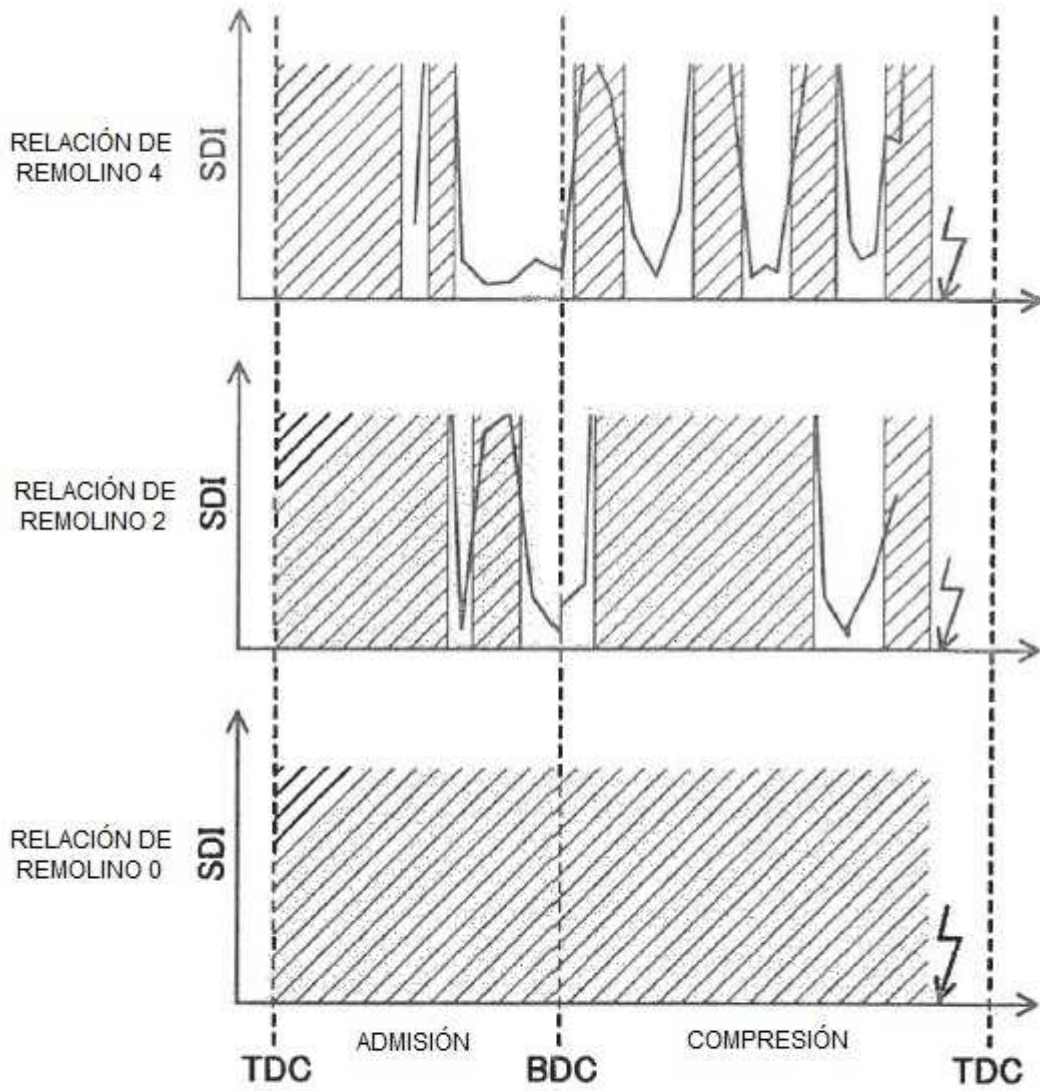


FIG. 10

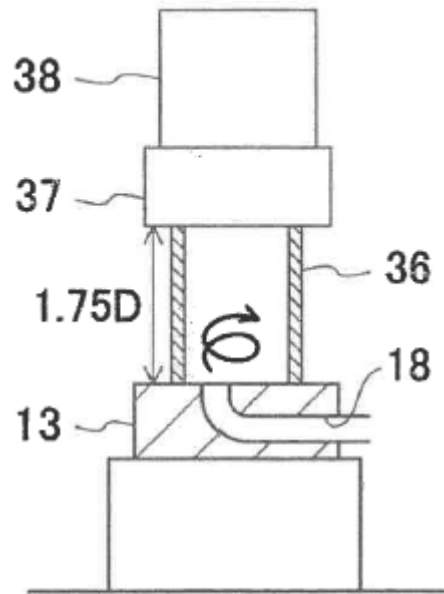


FIG. 11

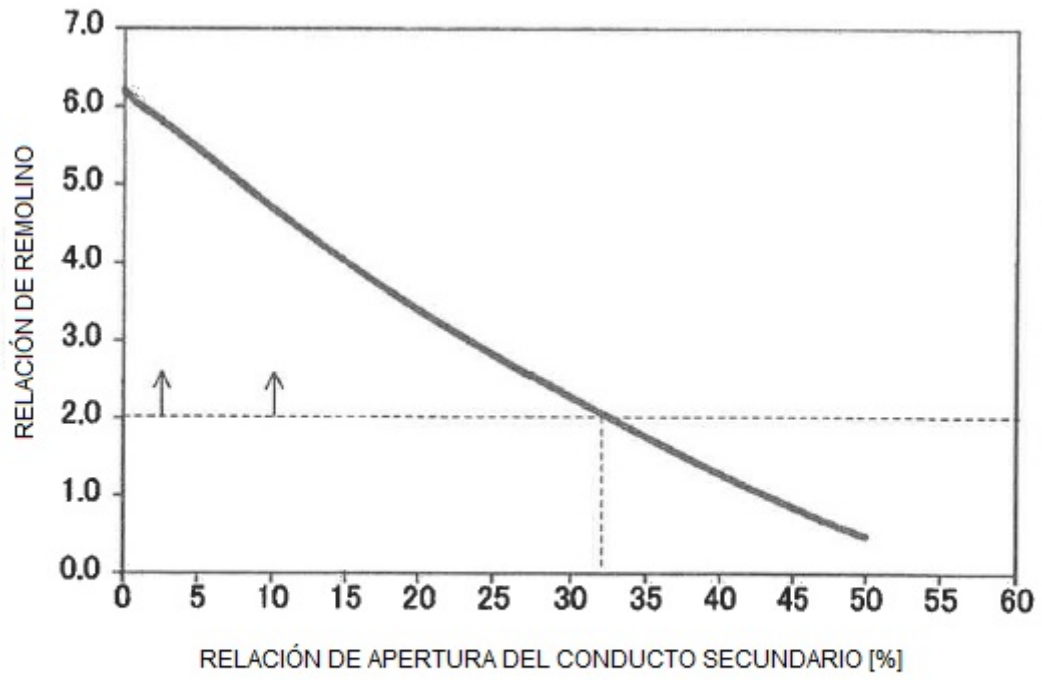


FIG. 12

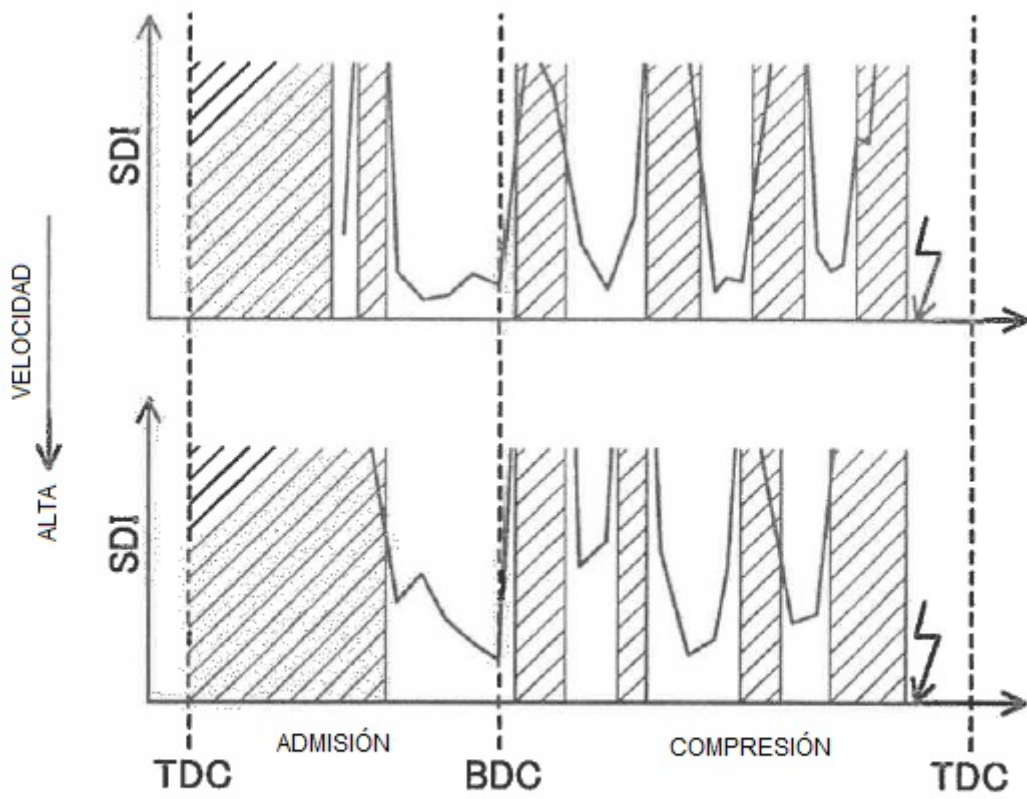


FIG. 13

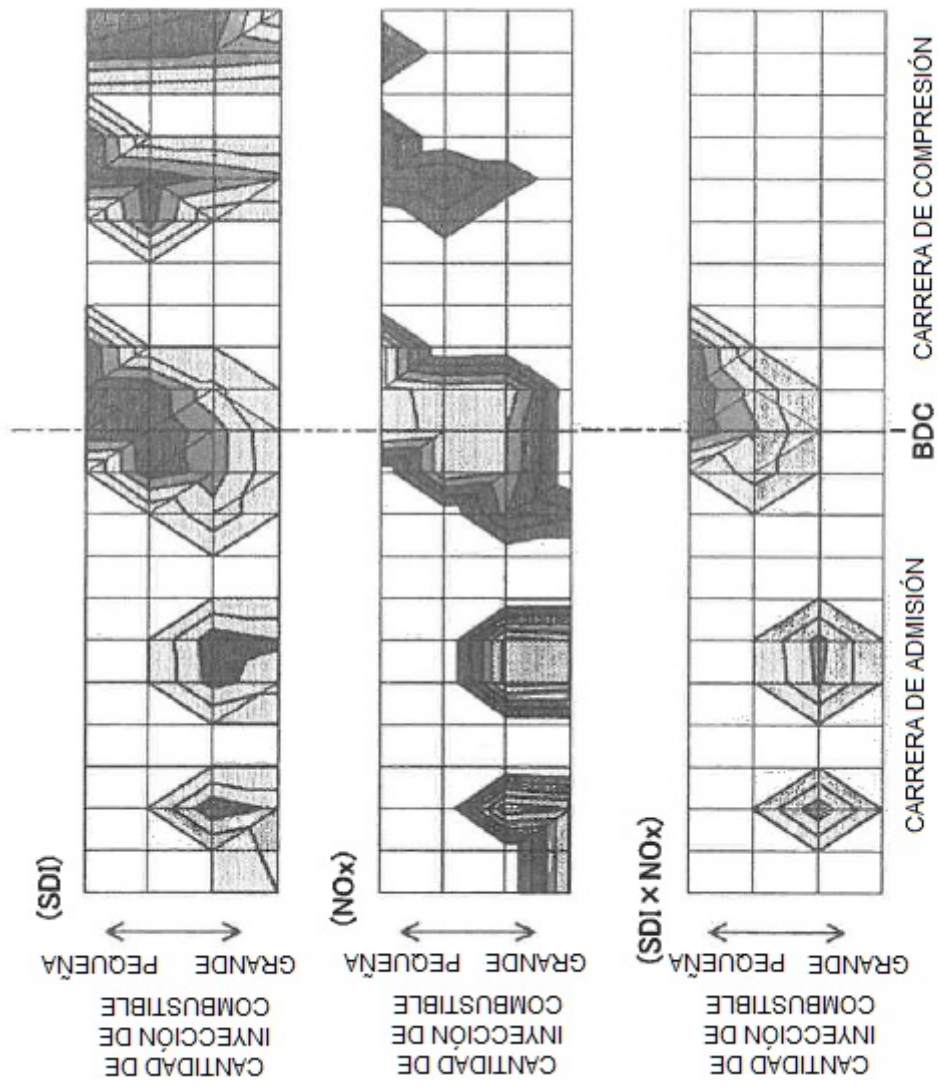


FIG. 14

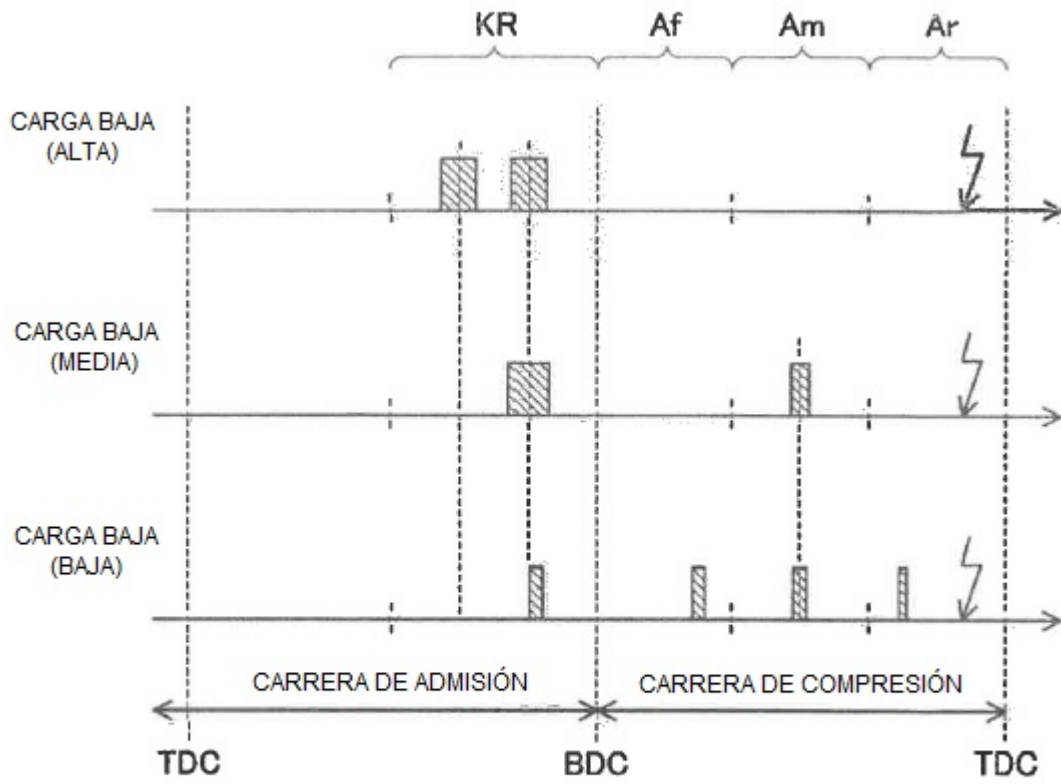


FIG. 15

FIG. 16A

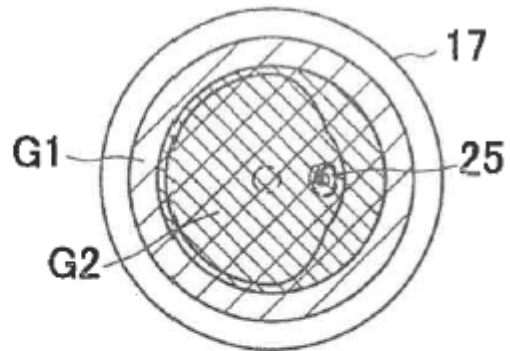


FIG. 16B

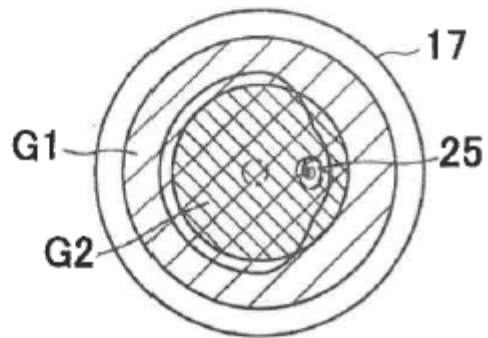
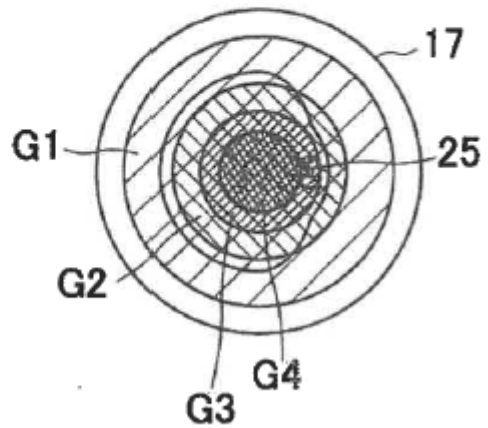


FIG. 16C



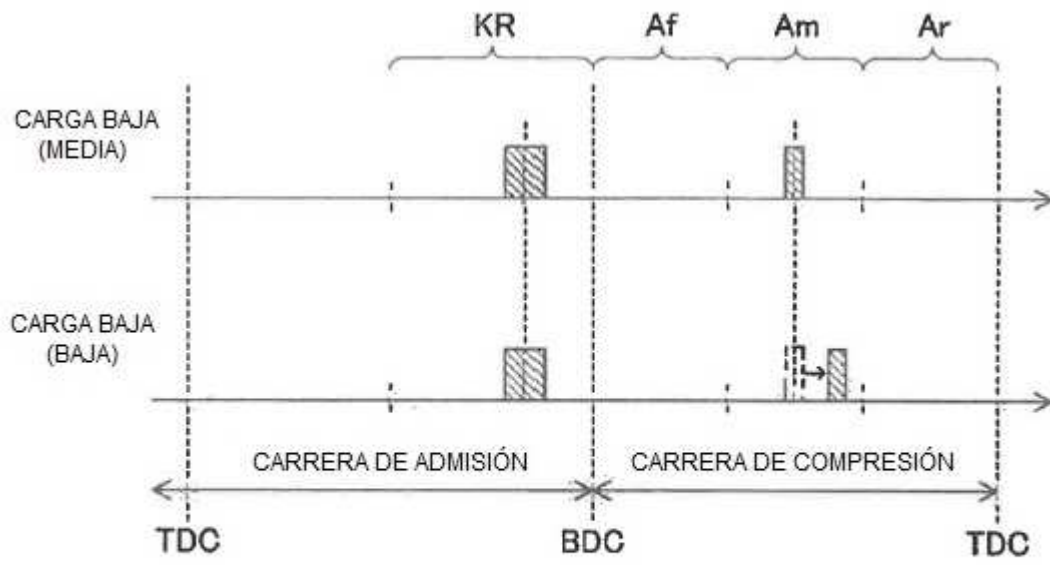


FIG. 17

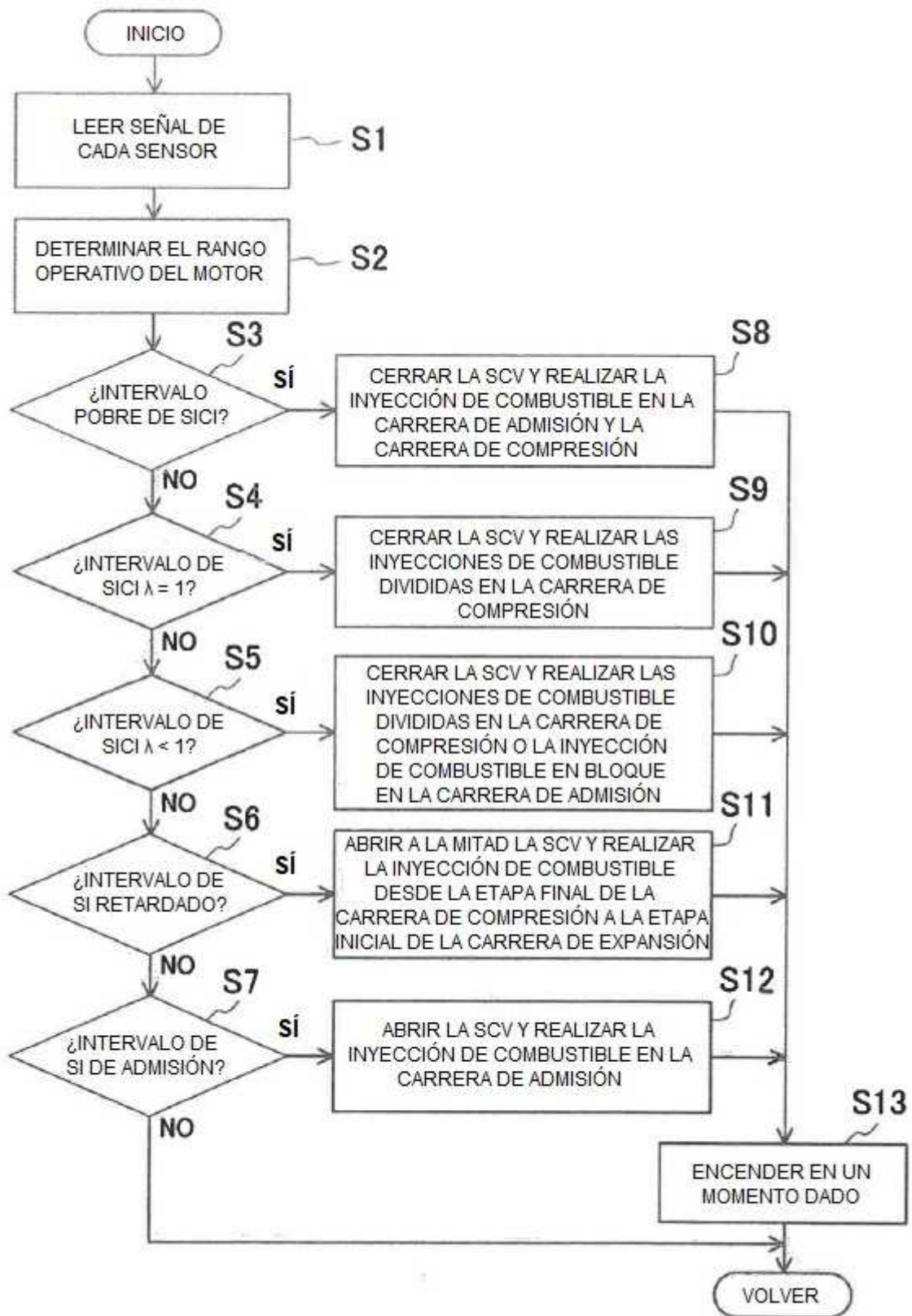


FIG. 18