

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 533 718**

51 Int. Cl.:

**F02M 61/16** (2006.01)

**F02M 63/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.08.2008 E 11189234 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.02.2015 EP 2436911**

54 Título: **Inyector de combustible y método para controlar inyectores de combustible**

30 Prioridad:

**07.08.2007 US 890737**

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

**14.04.2015**

73 Titular/es:

**DELPHI INTERNATIONAL OPERATIONS  
LUXEMBOURG S.À R.L. (100.0%)  
Avenue de Luxembourg  
4940 Bascharage , LU**

72 Inventor/es:

**DINGLE, PHILIP**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 533 718 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

Inyector de combustible y método para controlar inyectores de combustible

**Campo técnico**

5 Esta invención se refiere a inyectores de combustible para motores de combustión interna y a métodos para controlar la cantidad de combustible entregado por los inyectores de combustible. En particular, la invención se refiere a la determinación o predicción de la presión de combustible en un inyector de combustible durante el curso de un evento de inyección de combustible.

**Antecedentes de la invención**

10 Los sistemas de inyección de combustible permiten el control y optimización de la cantidad de combustible inyectada dentro de las cámaras de combustión de un motor, la temporización de la entrega de combustible con respecto a la posición del cigüeñal y el pistón, y la presentación de combustible a la cámara de combustión, por ejemplo atomizando y dispersando el combustible según un patrón predeterminado. Los sistemas modernos de inyección de combustible usan controles electrónicos para lograr un alto nivel de precisión en la cantidad y temporización de la entrega de combustible. Se requiere esta alta precisión para satisfacer las expectativas de emisiones y rendimiento del mercado.

15 Son bien conocidos los sistemas de inyección de combustible de raíl común, particularmente en el campo de motores de ignición por compresión, tales como los motores diesel. Un sistema de inyección de combustible de raíl común típico para un automóvil se muestra esquemáticamente en la figura 1 de los dibujos anexos. El combustible se almacena en un tanque 20 de combustible y se extrae por medio de una bomba de elevación 22 y un filtro 24 hacia una bomba 26 de alta presión accionada por el motor. La bomba 26 de alta presión suministra combustible a una presión elevada a un acumulador o raíl 28. Los inyectores 30 de combustible están conectados al raíl por unas piezas 32 de puente respectivas. Cada inyector 30 de combustible está dispuesto para suministrar combustible a un cilindro respectivo del motor inyectando el combustible dentro de una cámara de combustión del cilindro bajo el control de una unidad de control electrónica (ECU) 34.

25 Se conocen muchos tipos de inyector de combustible. En una disposición típica, un inyector de combustible incluye una válvula de control que comprende una aguja de válvula móvil entre una primera posición y una segunda posición tras el accionamiento de un accionador, por ejemplo un accionador de solenoide o un accionador piezoeléctrico. La aguja de válvula se acomoda dentro de un cuerpo del inyector de combustible. El cuerpo define una boquilla provista de al menos un orificio aguas abajo de una superficie de asiento para la aguja de válvula. La superficie de asiento, a su vez, se encuentra aguas abajo de un depósito de combustible a alta presión. En la primera posición, la aguja de válvula se sella contra la superficie de asiento con la finalidad de impedir un flujo de combustible más allá de la superficie de asiento. En la segunda posición, la aguja de válvula se mantiene alejada de la superficie de asiento, de modo que el combustible pueda fluir desde el depósito, a través del orificio, o de cada uno de ellos, y entrar en la cámara de combustión, efectuándose así una inyección de combustible.

35 La cantidad de combustible entregada a las cámaras de combustión afecta a la salida de par del motor. En consecuencia, la entrega de combustible debe controlarse cuidadosamente para proporcionar la salida de par deseada en cualquier momento dado bajo las condiciones que prevalezcan entonces.

40 La cantidad de combustible entregada durante el curso de cada evento de inyección es función del área de flujo del orificio de boquilla, la presión de combustible y la duración de la inyección. La duración de la inyección es el tiempo durante el cual la aguja se levanta de la superficie de asiento, de modo que combustible a alta presión pueda fluir dentro de la cámara de combustión a través del orificio.

45 En un inyector de combustible dado, el área de flujo de orificio de boquilla es fija. Por tanto, la entrega de combustible se controla usando el principio denominado "presión-tiempo". Para lograr la entrega de una cantidad deseada de combustible, la duración de la inyección se fija electrónicamente en un valor que se ha calculado previamente de modo que, suponiendo una cierta presión de combustible, la cantidad requerida de combustible pase al interior de la cámara de combustión durante el tiempo en el cual el combustible pueda fluir a través de la boquilla, es decir, la duración de la inyección. En consecuencia, cualquier variación no pretendida en la presión del combustible puede dar como resultado que se entregue una cantidad incorrecta de combustible a la cámara de combustión, con el resultado de que el motor produzca un par de salida que sea mayor o menor que el requerido. En estas circunstancias, pueden comprometerse la conducibilidad, el rendimiento y las emisiones del vehículo.

50 Haciendo referencia de nuevo a la figura 1, el control de la temporización y duración de la inyección se logra por la ECU 34. La ECU 34 acepta señales de entrada procedente de una variedad de sensores, los cuales pueden incluir un sensor 36a de velocidad del cigüeñal, un sensor 36b de fase del cigüeñal, un sensor 36c de demanda del pedal del acelerador un sensor 36d de temperatura de admisión de aire, un sensor 36e de temperatura de refrigerante, un sensor 36f de flujo de masa de admisión de aire y, en motores sobrealimentados, un sensor 36g de presión de amplificación de admisión. Además, los sistemas de inyección de combustible de raíl común incluyen un sensor 38 de presión de raíl de combustible, que puede combinarse con un sensor de temperatura de combustible. La ECU 34

controla, por medio de señales de salida, diversos accionadores que accionan una válvula 40 de flujo de dosificación en la entrada de la bomba de alta presión 26, una válvula 42 de control de presión de raíl y unas válvulas de control de los inyectores individuales 30.

5 El sensor 38 de presión de raíl es típicamente un dispositivo piezorresistivo con electrónica integrada. Éste está instalado intrusivamente en el raíl 28, de modo que una porción del cuerpo de sensor, típicamente un diafragma, está expuesta directamente al combustible a alta presión en el raíl 28. Generalmente, el sensor 38 de presión de raíl está atornillado dentro de una lumbrera roscada 44 en el raíl 28, y una arandela de hierro dulce puede usarse para efectuar una junta entre el sensor 38 y el raíl 28. Dado que los sensores 38 de presión de carril deben operar fiablemente y sin fugas en un ambiente de muy alta presión, tales sensores 38 son relativamente caros y delicados.

10 La presión de combustible nominal en el raíl 28, y, por tanto, en cada inyector 30 de combustible, se determinada por la ECU 34 usando las señales de entrada procedentes de los sensores 36a-36g, 38 para determinar las condiciones de funcionamiento del motor y el requisito de par. Por ejemplo, a velocidades bajas del motor y con cargas bajas, la presión de raíl nominal puede ser de 300 bares, mientras que a altas velocidades del motor y cargas grandes la presión de raíl nominal puede ser de 2000 bares. Típicamente, se registra un rango de presiones de raíl nominales óptimas para un rango correspondiente de condiciones en un procedimiento de calibración durante el rodaje y prueba del motor. Los valores optimizados se determinan con el fin de minimizar emisiones, optimizar el rendimiento o minimizar el consumo de combustible, según se requiera. Estas presiones nominales optimizadas se almacenan en un mapa en la una memoria de la ECU 34 de modo que pueda recuperarse el valor optimizado para una condición dada de motor.

20 Por tanto, bajo un conjunto dado de condiciones de motor la presión de combustible de raíl media nominal tiene un valor fijo. La ECU 34 determina la presión de combustible de raíl instantánea real procedente del sensor 38 de presión de raíl, y acciona la válvula 40 de flujo de dosificación de admisión de la bomba 26 de combustible de alta presión o la válvula 42 de control de presión de raíl, según resulte adecuado, para lograr y mantener la presión de combustible de raíl media deseada. De esta manera, se proporciona un sistema de control de realimentación. Se proporcionan algoritmos de control sofisticados para optimizar este sistema de control de realimentación. Es importante que el sensor de presión de raíl sea tan preciso como sea posible, dado que variaciones inesperadas en la presión de combustible de raíl provocarán variaciones inesperadas en la salida de par.

30 El tiempo de respuesta del sistema de control de realimentación está limitado por el rendimiento del sensor 38 de presión de raíl, la ECU 34, la bomba 26 de alta presión y la válvula 40 de flujo de dosificación de admisión o la válvula 42 de control de presión de raíl. Por ejemplo, si cae la presión de raíl, el sensor 38 de presión de raíl debe responder a la caída de presión enviando una señal apropiado a la ECU 34, la ECU 34 debe evaluar entonces la señal y responder accionando la válvula 40 de flujo de dosificación de admisión y, dentro de las restricciones de su capacidad de flujo, la bomba 26 de alta presión debe aumentar la presión de raíl hasta el valor requerido.

35 Un evento de inyección impone una demanda de flujo instantánea sobre el volumen de combustible almacenado en el raíl 28. La demanda de flujo instantánea es tal que el sistema de control no puede responder lo suficientemente rápido y, en consecuencia, cae la presión de combustible en el raíl 28. La presión de combustible en el raíl 28 resulta, por tanto, perturbada, y transcurre un corto espacio de tiempo antes de que la presión se recupera al nivel deseado, aunque se espera que está recuperación sea completa antes del siguiente evento de inyección. La caída de presión significa que, durante la duración de un evento de inyección normal, la presión media en el raíl 28 puede estar ligeramente por debajo de la presión objetivo, pero este efecto se puede tener en cuenta durante la calibración de modo que aún se logre el par anticipado.

40 El documento US 4.438.496 describe un inyector de combustible con un sensor de presión integrado en el que se mide la presión de inyección real cuando tiene lugar una inyección de combustible. El documento US 2003/011049 describe un inyector de combustible con un sensor de presión integrado en el que el sensor de presión se usa para determinar el tiempo real que está abierta la aguja durante una inyección.

45 Desarrollos recientes en la tecnología de inyección de combustible y, en particular, de sistemas de raíl común han introducido la capacidad de entregar combustible en eventos de inyección múltiples por cada ciclo de combustión. En otras palabras, en vez de que tenga lugar un solo evento de inyección durante cada ciclo del cilindro, el combustible se entrega en una secuencia, o tren, de dos o más eventos de inyección sincronizados con precisión, cada uno de los cuales inyecta una cantidad cuidadosamente controlada de combustible. Por ejemplo, una secuencia de inyección puede comprender una inyección piloto o inyección previa, la cual calienta previamente los gases en la cámara de combustión adelantándose a una inyección principal en la cual se inyecta la mayor parte del combustible. Una inyección posterior, después de la inyección principal, también puede ser proporcionada para estimular una combustión completa del combustible no quemado, reduciendo así las emisiones de escape dañinas y mejorando la eficiencia del combustible.

55 Por tanto, los motores modernos pueden utilizar eventos de inyección múltiples por ciclo para optimizar el rendimiento y la eficiencia del combustible y para reducir emisiones de escape dañinas. La secuencia de inyección óptima puede cambiar en toda una gama de condiciones carga y velocidad del motor. Por ejemplo, algunas condiciones pueden requerir una inyección piloto seguida cercanamente por una inyección principal, algunas

condiciones pueden requerir una inyección principal dividida y otras condiciones pueden requerir inyecciones piloto, principal y posterior, mientras que aún otras condiciones pueden requerir inyecciones múltiples piloto o inyecciones múltiples posteriores.

5 Cuando se requieren secuencias de eventos de inyección múltiples, surge la posibilidad de que aún puede estar presente una perturbación en la presión de raíl y, por tanto, en la presión de combustible en los inyectores 30, provocada por un evento de inyección anterior, cuando comienza un evento de inyección subsiguiente. En otras palabras, la onda de presión dentro del sistema de combustible que resulta del evento de inyección anterior puede no haber desaparecido cuando tiene lugar el evento de inyección subsiguiente. En consecuencia, la presión de combustible en el inyector 30 en el momento del evento de inyección subsiguiente no está al nivel esperado, correspondiente a la presión de raíl objetivo. Por el contrario, la presión en el inyector 30 es inferior o superior a la presión esperada, dependiendo de la relación de fase de la onda de presión respecto del evento de inyección subsiguiente. En cualquiera de los casos, el resultado es que se entrega una cantidad de combustible incorrecta, no predicha e impredecible, con consecuencias similarmente impredecibles para la salida de par y las emisiones.

10 Debido a este fenómeno pueden aparecer errores significativos en la cantidad de combustible entregada, y estos errores pueden dar como resultado emisiones inaceptables, ruido incrementado, conducibilidad aminorada, rendimiento pobre, etc.

15 Un enfoque conocido para reducir o mitigar los efectos no deseados de estas ondas de presión residuales implica proporcionar orificios de sintonización en lugares particulares del sistema de combustible para amortiguar las ondas de presión resultantes de eventos de inyección, impidiendo así la propagación de las ondas. Sin embargo, este enfoque es inflexible porque los orificios de sintonización sólo son efectivos durante un rango limitado de condiciones del motor y secuencias de inyección. En particular, este enfoque tiene un valor limitado cuando se emplea más de una estrategia de inyección en un motor dado.

20 Los efectos de las ondas de presión en secuencias de inyecciones múltiples podrían, en teoría, compensarse mediante el mapeado de todo el régimen de velocidad y carga del motor con granularidad fina y el calibrado de las duraciones de inyección de la secuencia para compensar las ondas de presión residuales. Sin embargo, este enfoque no es práctico porque requeriría un procedimiento de calibración extremadamente laborioso, así como el almacenamiento y recuperación rápida de una gran cantidad de datos por la ECU. Además, las duraciones de inyección calibradas serían sensibles a cambios menores en las longitudes de tubería y en las tolerancias de construcción.

25 La presente invención se ha ideado contra estos antecedentes.

### Sumario de la invención

30 Según una disposición, que no forma parte de la presente invención, se proporciona un inyector de combustible para un motor de combustión interna, comprendiendo el inyector de combustible un cuerpo de inyector, un paso de suministro de combustible definido en el cuerpo de inyector, conteniendo el paso de suministro de combustible a alta presión durante el uso del inyector, y un sensor de presión para medir la presión de combustible en el paso en uso, en donde el sensor de presión está situado dentro del cuerpo de inyector y está separado, en uso, del combustible del paso. Por ejemplo, el paso de suministro puede estar definido al menos parcialmente por una pared del cuerpo de inyector, de modo que el sensor de presión esté separado del combustible en el paso por la pared.

35 El sensor de presión puede medir una tensión experimentada por el cuerpo de inyector, que surge de y se relaciona con, la presión de combustible en el paso, durante el uso del inyector. En este contexto, el sensor de presión puede comprender un tensiómetro. Asimismo, es posible que el sensor de presión sea sensible a un desplazamiento, deflexión o deformación de todo o parte del cuerpo de inyector, provocado por la presión, y correspondiente a la misma, dentro del paso de combustible.

40 A diferencia de un sensor de presión "intrusivo", tal como un sensor de presión de raíl, el sensor de presión previsto en el inyector de combustible de esta disposición no se introduce en el paso, y no es necesario humedecer parte alguna del sensor de presión por el combustible del interior del paso. De este modo, el sensor de presión dispuesto en esta disposición antes descrito puede considerarse un sensor de presión "no intrusivo" o "seco".

45 Esta disposición también ofrece ventajas en comparación con la previsión de sensores de presión intrusivos en inyectores individuales. El sensor de presión está separado del paso de suministro, de modo que no existe la necesidad de un ánima o fractura mecanizadas con precisión en el paso de suministro dentro del inyector. Un ánima de esta clase sería cara de fabricar y proporcionaría un lugar para fugas potenciales o fallo mecánico. Además, el sensor de presión no está sometido al ambiente de alta presión del paso de suministro. Esto reduce el riesgo de fallo mecánico del sensor, y dado que el sensor no precisa diseñarse para resistir altas presiones, puede minimizarse el coste del sensor. Similarmente, debido a que no es necesario que el sensor sea a prueba de fugas, el diseño del sensor de presión puede ser relativamente directo, dando como resultado un dispositivo robusto y de bajo coste. Por ejemplo, no se requieren juntas de alta presión.

50 El cuerpo de inyector puede definir una cavidad de sensor de presión para acomodar el sensor de presión, estando

- 5 separada la cavidad de sensor de presión respecto del paso. En una variante, la cavidad de sensor de presión acomoda conexiones eléctricas para un accionador del inyector. De esta manera, el sensor de presión y sus conexiones eléctricas asociadas o arneses pueden integrarse dentro de un conector eléctrico, o colector para el accionador. El cuerpo de inyector puede definir además una cavidad de accionador y la cavidad de sensor de presión puede comunicarse con la cavidad de accionador.
- La cavidad de sensor de presión puede extenderse hacia dentro desde un lado del inyector o hacia dentro desde un extremo del inyector. La cavidad de sensor de presión puede acomodar un módulo electrónico en comunicación eléctrica con el sensor de presión.
- 10 El sensor de presión puede disponerse en cualquier lugar adecuado dentro del cuerpo de inyector. En una disposición, el paso de suministro de combustible y el sensor de presión definen unos ejes longitudinales centrales respectivos que sustancialmente se intersectan. En otro ejemplo, el paso de suministro de combustible incluye una porción de área de sección transversal ampliada y el sensor de presión está alineado con esa porción del paso de suministro de combustible.
- 15 En una disposición, el cuerpo de inyector define una pared exterior y una pared inferior opuesta a la pared exterior alrededor del paso de suministro de combustible, y el sensor de presión está separado, en uso, del combustible en el paso por la pared interior. Opcionalmente, una cara del sensor de presión se extiende paralela a una pared del paso de suministro.
- 20 El inyector puede ser alargado para definir un eje longitudinal y el sensor de presión puede cooperar con una pared del paso de suministro que se extiende sustancialmente paralela al eje longitudinal del inyector. Alternativamente, un inyector alargado puede incluir sensor de presión que coopera con una pared del paso de suministro que se extiende a través del eje longitudinal del inyector.
- 25 Para optimizar la respuesta del sensor de presión, una cara del sensor de presión puede apoyarse contra una pared que define el paso de suministro. Con este fin, el inyector puede comprender un elemento de sujeción para presionar la cara contra la pared. Por ejemplo, el cuerpo de inyector puede definir una lumbrera y el elemento de sujeción puede ser un tapón en acoplamiento roscado con el cuerpo de inyector dentro de la lumbrera.
- 30 Cuando se dispone un elemento de sujeción las conexiones eléctricas para el sensor de presión pueden acomodarse dentro de elemento de sujeción. Similarmente, un módulo electrónico en comunicación eléctrica con el sensor de presión puede acomodarse dentro del elemento de sujeción.
- Puede usarse cualquier sensor de presión adecuado. El sensor de presión puede comprender, por ejemplo, un sensor de presión magnetostrictivo que tenga un núcleo de material magnetostrictivo. En una disposición, el sensor de presión comprende un núcleo que es un cuerpo de revolución con una sección trasversal generalmente en forma de I, y el núcleo puede ser magnetostrictivo. El sensor de presión puede comprender un núcleo que es integral con el cuerpo de inyector, en cuyo caso el sensor de presión puede ser sensible a cambios de tensión dentro del núcleo.
- 35 Un método de calibración de un inyector de combustible según la anterior disposición y que tiene un sensor de presión comprende medir un valor de salida del sensor de presión, y determinar la presión de un fluido en el paso de suministro correspondiente al valor de salida. Puede registrarse la presión de fluido correspondiente al valor de salida como una característica de sensor del inyector, y puede codificarse la característica de sensor, por ejemplo en un formato de datos legible por máquina, tal como un código de barras, o como un código alfanumérico para lectura por un operador humano.
- 40 El fluido puede, por ejemplo, ser un gas, tal como aire, o un líquido, tal como aceite o combustible. El método puede incluir medir una pluralidad de valores de salida del sensor de presión y determinar para cada uno de la pluralidad de valores de salida una presión correspondiente de fluido en el paso de suministro. De esta manera, puede obtenerse una curva de calibración para el sensor de presión.
- 45 El inyector puede calibrarse después de la fabricación, pero antes de su instalación en un motor. Con fines de calibración, el paso de suministro puede dotarse de un fluido a una presión conocida o con una secuencia de presiones conocidas. Puede registrarse la presión de fluido correspondiente al valor de salida como una característica de sensor del inyector, y puede codificarse la característica de sensor, por ejemplo en un formato de datos legible por máquina, tal como un código de barras, o como un código alfanumérico para lectura por un operador humano.
- 50 Un método para programar una unidad de control de un motor que incluye un inyector de combustible según la disposición anterior y que tiene un sensor de presión comprende calibrar el inyector de combustible según se describió previamente, e introducir la característica de sensor registrada en la unidad de control, por ejemplo leyendo una característica de sensor codificada.
- 55 En un primer aspecto, la presente invención reside en un sistema de inyección de combustible según la reivindicación 1.

La unidad de control puede comprender un procesador programado para muestrear repetidamente la señal de presión procedente del sensor de presión para construir un perfil de comportamiento hidráulico. Alternativamente, o además, la unidad de control puede comprender una memoria para almacenar un modelo de comportamiento hidráulico y un procesador programado para aplicar el perfil de comportamiento hidráulico al modelo almacenado con el fin de predecir la presión de combustible que prevalecerá en los inyectores durante los eventos de inyección.

En otro aspecto, la invención reside en un método según la reivindicación 4.

En una variante del método, la característica de presión de combustible medida se introduce en un modelo para comportamiento hidráulico con el fin de determinar la característica de presión de combustible predicha en el inyector de combustible durante el evento de inyección. La característica de presión de combustible predicha puede comprender una presión de combustible promedio predicha en el inyector de combustible durante el evento de inyección.

Además, el método puede incluir suministrar una señal de control al inyector de combustible con el fin de controlar la cantidad de combustible inyectada durante un evento de inyección según la característica de presión de combustible predicha.

En virtud de este aspecto de la invención, la característica de presión de combustible predicha puede usarse, por ejemplo, dentro del principio de "presión-tiempo" para determinar un valor preciso para la duración de un evento de inyección requerido para entregar una cantidad deseada de combustible. Con este fin, la invención se extiende a un método para corregir una demanda de inyección de combustible nominal, que comprende predecir una característica de presión de combustible según se describió anteriormente, calcular un factor de corrección basándose en la característica de presión de combustible predicha durante el evento de inyección, y aplicar el factor de corrección a la demanda de inyección de combustible nominal para compensar las variaciones de la presión de combustible durante el evento de inyección. La demanda de inyección de combustible nominal puede comprender, por ejemplo, la duración de un evento de inyección de combustible que se requeriría para la entrada de una cantidad deseada de combustible si la característica de presión de combustible en el inyector de combustible fuera una presión constante igual a la presión nominal de combustible en un acumulador aguas arriba del inyector.

En consecuencia, la invención se extiende además a determinar una demanda de inyección de combustible nominal según parámetros de operación del motor, y corregir la demanda de inyección de combustible nominal según el método antes descrito.

Cuando se proporcionan sensores de presión en los inyectores de combustible, las presiones de combustibles locales medidas por los sensores de presión pueden usarse para estimar la presión de combustible en un acumulador y proporcionar así una entrada a un bucle de realimentación con el fin de controlar la presión de combustible en el acumulador. De este modo, un método para estimar la presión de combustible en un acumulador de un sistema de inyección de combustible, que no forma parte de la presente invención, comprende medir presiones de combustible locales en una pluralidad de inyectores de combustible conectados al acumulador, y calcular un valor medio de las presiones de combustibles locales medidas para estimar la presión de combustible en el acumulador.

Puede usarse cualquier estrategia adecuada para calcular el valor medio de las presiones de combustible locales medidas. Por ejemplo, el método puede incluir ponderar las presiones de combustibles locales medidas para tener en cuenta las características hidráulicas del sistema de inyección de combustible.

Puede proporcionarse cierto grado de robustez frente al fallo del sensor por un método de estimación de la presión de combustible en un acumulador de un sistema de inyección de combustible, que no forma parte de la presente invención, que comprende medir presiones de combustible locales en una pluralidad de inyectores de combustible conectados al acumulador, detectar señales de presión erróneas procedentes de un inyector de la pluralidad y excluir las señales de presión erróneas de ese inyector en el cálculo de la presión de combustible en el acumulador. De este modo, si falla el sensor de presión de inyector, aún puede obtenerse una estimación de la presión de combustible en el acumulador.

Asimismo, se revela método para compensar un error en la salida de un sensor de presión de combustible, que no forma parte de la presente invención, comprendiendo el método determinar una salida promedio del sensor de presión de combustible, comparar la salida promedio del sensor de presión de combustible con un valor de referencia y, si la salida promedio del sensor de presión de combustible difiere del valor de referencia en más de un primer valor umbral determinado previamente, aplicar un decalaje de compensación a la salida del sensor de presión de combustible.

De esta manera, pueden corregirse o compensarse la deriva del sensor, las imprecisiones de decalaje, los errores de calibración y otras variaciones sistemáticas de esta clase en la salida del sensor.

El método anterior, que no forma parte de la presente invención, puede incluir la recuperación de un decalaje de compensación almacenado, por ejemplo un valor predeterminado para corrección incremental del error en la salida del sensor de combustible. En otra variante, el método incluye calcular una diferencia entre la salida promedio del

sensor de presión de combustible y el valor de referencia, y aplicar la diferencia a la salida del sensor de presión de combustible como el decalaje de compensación. En este caso, el método puede comprender además almacenar el decalaje de compensación.

5 El método de compensación de un error en la salida de un sensor de presión de combustible, que no forma parte de la presente invención, puede incluir una estrategia adaptativa o incremental para compensar el error. En un ejemplo de esta clase, el método incluye determinar, después de haber aplicado el decalaje de compensación, una salida promedio del sensor de combustible, comparar la salida promedio del sensor de presión de combustible con el valor de referencia y, si la salida promedio del sensor de presión de combustible difiere del valor de referencia en más de un segundo valor umbral determinado previamente, aplicar un decalaje de compensación adicional a la salida del sensor de presión de combustible.

10 El anterior método, que no forma parte de la presente invención, incluye recuperar un valor de referencia almacenado. Por ejemplo, el valor de referencia puede ser un valor determinado previamente almacenado en una memoria. En una variante del método, el valor de referencia se calcula usando una salida promedio de uno o más sensores de presión de combustible adicionales.

15 De nuevo, puede proporcionarse cierto grado de robustez frente a fallos del sensor en un método de predicción de una característica de presión de combustible en un inyector de combustible de un sistema de inyección de combustible durante un evento de inyección, que no forma parte de la presente invención, comprendiendo el método medir, antes del evento de inyección, características de presión de combustible dentro de una pluralidad de inyectores de combustible, detectar una señal de presión errónea procedente de un inyector de la pluralidad, y excluir la señal de presión errónea de la predicción de la característica de presión de combustible.

20 Para que pueda realizarse una predicción razonable de la característica de combustible, el método anterior puede comprender derivar una característica de presión de combustible predicha a partir de otros inyectores de la pluralidad y aplicar esa característica al inyector desde el cual se detectó la señal de presión errónea.

25 En otra disposición, que no forma parte de la presente invención, se proporciona un sistema de inyección de combustible para un motor de combustión interna, comprendiendo el sistema una pluralidad de inyectores de combustible, cada uno de acuerdo con la disposición antes descrita, y teniendo un sensor de presión, un acumulador dispuesto para suministrar combustible a los inyectores de combustible durante el uso y una unidad de control dispuesta para recibir señales de presión procedentes de los sensores de presión de los inyectores de combustión y para suministrar señales de control a los inyectores de combustible para controlar la inyección de combustible.

30 No es necesario disponer un sensor de presión de combustible de raíl, evitando así los costes del propio sensor de presión de combustible, y de practicar un ánima mecanizada con precisión en el raíl de combustible para montar el sensor de presión de raíl. Además, eliminando la fractura en el raíl de combustible necesaria para aceptar el sensor, se evita el riesgo de fuga de combustible y de fallo mecánico en este lugar.

35 El anterior sistema de inyección de combustible, que no forma parte de la presente invención, puede incluir una bomba para presurizar combustible en el acumulador, y una válvula de control de presión de acumulador para controlar la presión de combustible en el acumulador. Tanto la bomba como la válvula de control de presión están bajo el control de la unidad de control. De esta manera, el sensor de presión, la bomba, la válvula de control de presión y la unidad de control pueden, en combinación, controlar la presión de combustible en el acumulador.

40 Al proporcionar un sensor de presión de combustible dentro de cada inyector, pueden obtenerse los valores medidos de la presión de combustible en cada inyector y éstos pueden introducirse en la unidad de control o ECU. La ECU puede usar estos valores de presión de combustible de inyector medidos para calcular la duración de inyección de cada evento de inyección, en vez de confiar en una presión de combustible de inyector estimada basada en valores medidos de la presión de combustible de raíl lejos del inyector como en sistemas convencionales. De esta manera, la cantidad de combustible entregada en un evento de inyección puede predecirse y controlarse con mayor precisión.

45 En consecuencia, la unidad de control puede disponerse para recibir señales de presión procedentes de los sensores de presión para construir un perfil de comportamiento hidráulico, con el fin de predecir, usando el perfil de comportamiento hidráulico, las presiones de combustible que prevalecerán en los inyectores durante los eventos de inyección y para suministrar señales de control a los inyectores de combustible con el fin de controlar la cantidad de combustible inyectado durante estos eventos de inyección según las presiones de combustible predichas.

50 Con esta finalidad, la unidad de control puede comprender un procesador programado para muestrear repetidamente las señales de presión procedentes de los sensores de presión con el fin de construir el perfil de comportamiento hidráulico. En una variante, la unidad de control comprende una memoria para almacenar un modelo de comportamiento hidráulico y un procesador programado para aplicar el perfil de comportamiento hidráulico al modelo almacenado con el fin de predecir las presiones de combustible que prevalecerán en los inyectores durante los eventos de inyección.

55 Un método adicional de inyección de combustible, que no forma parte de la presente invención, comprende construir

un perfil de comportamiento hidráulico por medición de presión de combustible, usar el perfil de comportamiento hidráulico para predecir la presión de combustible que prevalecerá en un inyector de combustible durante un evento de inyección, y suministrar una señal de control al inyector de combustible para controlar la cantidad de combustible inyectado durante el evento de inyección según la presión de combustible predicha.

5 Al predecir de esta manera la presión de combustible que prevalecerá en un inyector de combustible durante el curso de un evento de inyección futuro, la cantidad de combustible inyectada durante el evento de inyección puede controlarse con mayor precisión de lo que sería posible de otra manera, y puede lograrse un control preciso para todas las condiciones operativas y estrategias de inyección del motor.

10 Opcionalmente, el perfil de comportamiento hidráulico se construye muestreando repetidamente la presión de combustible. El método anterior, que no forma parte de la presente invención, puede incluir recuperar un modelo de comportamiento hidráulico almacenado, y aplicar el perfil de comportamiento hidráulico al modelo almacenado para predecir las presiones de combustible que prevalecerán en el inyector de combustible durante el evento de inyección.

15 Una variante del método anterior, que no forma parte de la presente invención, incluye construir un perfil de comportamiento hidráulico midiendo la presión de combustible en un acumulador dispuesto para suministrar combustible a una pluralidad de inyectores de combustible durante el uso, predecir, usando el perfil de comportamiento hidráulico, las presiones de combustible que prevalecerán en los inyectores de combustible de la pluralidad durante eventos de inyección, y controlar los inyectores de combustible de la pluralidad para controlar la cantidad de combustible inyectada durante eventos de inyección según las presiones de combustible predichas.

20 En aspectos adicionales, la invención se extiende a un producto de programa de ordenador que comprende al menos una porción de software de programa de ordenador que, cuando se ejecuta en un entorno de ejecución, se opera para implementar el método según las presentes reivindicaciones 4 a 8 y un medio de almacenamiento de datos que tiene la porción de software de programa de ordenador, o cada una de ellas, almacenada en él.

#### **Breve descripción de los dibujos**

25 La figura 1 de los dibujos anexos, que es un diagrama esquemático de un sistema de inyección de combustible de raíl común, ya se ha discutido. Se describirán ahora realizaciones preferidas de la presente invención, sólo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos restantes en los que se usan números de referencia iguales para características iguales, y en los que:

La figura 2 es una vista lateral de un primer inyector de combustible útil para comprender la presente invención;

30 La figura 3 es una sección longitudinal ampliada de parte del inyector de combustible de la figura 2;

La figura 4 es una sección longitudinal parcial de parte de un segundo inyector de combustible útil para comprender la presente invención;

La figura 5 es una sección transversal a través del inyector de combustible de la figura 4;

35 La figura 6 es una sección longitudinal de parte de un tercer inyector de combustible útil para comprender la presente invención,

La figura 7 es un diagrama esquemático de un sistema de inyección de combustible de raíl común según la presente invención que puede incorporar cualquiera de los inyectores de combustible mostrados en las figuras 2 a 6;

La figura 8 es un diagrama de flujo de un método de calibración de un inyector de combustible, que no forma parte de la presente invención;

40 La figura 9 es un diagrama esquemático simplificado de un aparato, que no forma parte de la presente invención, dispuesto para ejecutar el método de la figura 8;

La figura 10 es un diagrama de flujo de un método de programación de un ECU con información de calibración de sensor de presión, que no forma parte de la presente invención;

45 La figura 11 es un diagrama esquemático simplificado de un aparato, que no forma parte de la presente invención, dispuesto para ejecutar el método de la figura 10;

La figura 12 es un diagrama de flujo de un método para compensar un error en la salida de un sensor de presión de combustible, que no forma parte de la presente invención;

La figura 13 es un diagrama de flujo de una primera expresión de un método de inyección de combustible según la presente invención;

50 La figura 14 es un diagrama esquemático simplificado de elementos del sistema de inyección de combustible de la



figura 7, particularmente una ECU e inyectores de combustible, dispuestos para ejecutar el método de la figura 13;

La figura 15 es un diagrama esquemático que muestra la evolución de la presión de combustible durante el tiempo expresada como una salida de sensor de presión de combustible (eje vertical) frente a tiempo (eje horizontal) dentro de un inyector de combustible;

- 5 La figura 16 es un diagrama de flujo de un método para predecir una característica de presión de combustible en un inyector de combustible en el caso de que se detecte una señal errónea, que no forma parte de la presente invención;

La figura 17 es un diagrama de flujo de un método alternativo de inyección de combustible, que no forma parte de la presente invención; y

- 10 La figura 18 es un diagrama esquemático de elementos de un sistema de inyección de combustible, que no forma parte de la presente invención, y que además incluye un raíl de combustible equipado con un sensor de presión de raíl de combustible, dispuestos para ejecutar el método de la figura 17.

### Descripción de las realizaciones preferidas

- 15 Las figuras 2 y 3 muestran un inyector 46 de combustible de ejemplo según una primera disposición. La figura 2 es una vista lateral del inyector alargado 46 que muestra su eje longitudinal 48. La figura 3 es una vista detallada ampliada del inyector 46 en sección longitudinal tomada en paralelo al eje longitudinal 48 del inyector 46.

- 20 El inyector 46 comprende un cuerpo 50 de inyector generalmente cilíndrico que, en uso, se extiende a través de una culata de un motor de combustión interna. La parte superior del cuerpo 50 de inyector está provista de una admisión 52 de combustible, que recibe combustible a alta presión procedente de un raíl de combustible común (no mostrado). La parte inferior del cuerpo 50 de inyector comprende una boquilla 54 dispuesta para inyectar combustible dentro de una cámara de combustión del motor.

- 25 Según es bien conocido en la técnica de los inyectores de combustible, la boquilla 54 aloja una aguja de válvula móvil entre dos posiciones. En una primera posición cerrada, la aguja se sella contra una superficie de asiento de la boquilla 54 para impedir el flujo de combustible a través de uno o más orificios 56 dispuestos en la boquilla 54. En una segunda posición abierta, la aguja de válvula se retrae de la superficie de asiento con el fin de permitir que el combustible fluya a través del, o de cada, orificio 56. La aguja de válvula puede ser del tipo de apertura hacia dentro o hacia afuera. La aguja de válvula y la superficie de asiento se han omitido en los dibujos, pero pueden disponerse como se muestra en las patentes norteamericanas del cesionario números 6.234.404 y 7.159.799, cuyos contenidos se incorporan al presente documento por referencia.

- 30 La parte central del cuerpo 50 de inyector aloja un accionador para control de la aguja de válvula. Por ejemplo, el accionador puede ser un accionador piezoeléctrico o un accionador de solenoide. Parte del accionador, o todo él, experimenta una tensión longitudinal o es desplazado longitudinalmente cuando se excita el accionador por la aplicación de una señal eléctrica a los electrodos del accionador. De nuevo, tales accionadores son bien conocidos en la técnica, incluyendo las patentes norteamericanas del cesionario antes identificadas, y por ello se han omitido en los dibujos.

- 35 Se proporciona un acoplamiento entre el accionador y la aguja de válvula, de modo que la tensión o desplazamiento del accionador, logrado al excitar o desexcitar el accionador, provoca un movimiento de apertura o cierre de la aguja. El acoplamiento puede comprender, por ejemplo, una conexión mecánica entre el accionador y la aguja de válvula. Por el contrario, el acoplamiento puede comprender un acoplamiento hidráulico, en cuyo caso la operación del accionador provoca un cambio de presión en una cámara asociada con la aguja de válvula para proporcionar una fuerza de apertura o cierre a la aguja.

- 40 El accionador se acomoda dentro de una cámara 58 en el cuerpo 50 de inyector. Las conexiones eléctricas con el accionador, que típicamente tienen la forma de terminales de cuchilla, están situadas dentro de una cámara adicional o cavidad 60 de terminales. Una lumbrera 62 se extiende desde la superficie exterior del inyector 46 dentro del cuerpo 50 de inyector para conectarse con la cavidad 60 de terminales y ofrecer acceso a las conexiones eléctricas.

- 45 En esta primera disposición, el inyector 46 está provisto de un sensor 64 de presión que se acomoda dentro de la cavidad 60 de terminales. Se realizan conexiones eléctricas con el sensor 64 de presión por medio de la lumbrera 62, de modo que las conexiones eléctricas para el accionador y el sensor 64 de presión puedan proporcionarse en un solo conector (no mostrado) que encaja en la cavidad 60 de terminales. Las conexiones eléctricas permiten que las señales sean transmitidas desde el sensor 64 de presión hasta una ECU. El sensor 64 de presión puede incluir una circuitería electrónica para acondicionar las señales de salida del sensor 64 de presión.

- 50 Un paso 66 de conducto o suministro está dispuesto en el cuerpo 50 de inyector para permitir el paso de combustible a alta presión desde la admisión 52 de combustible hasta la boquilla 54. El paso 66 de suministro tiene una pared 68 integral con el cuerpo 50 de inyector, que separa el paso 66 de suministro de otros pasos y cavidades

dentro del cuerpo 50 de inyector, por ejemplo la cavidad 60 de terminales. De esta manera, la pared 68 retiene en uso combustible a alta presión dentro del paso 66 de suministro del inyector 46.

5 También se proporciona un paso 70 de retorno o retrofuga dentro del cuerpo 50 de inyector para devolver combustible excedente al tanque de combustible u otro depósito. Se proporciona una lumbrera 72 de retrofuga o retorno en la parte superior del cuerpo 50 de inyector para permitir la conexión de una tubería de retorno de combustible al inyector 46.

10 En uso, el paso 66 de suministro se llena con combustible procedente del raíl a alta presión a través de la admisión 52 de combustible. La presión dentro del paso 66 de suministro da lugar a una tensión dentro del cuerpo 50 de inyector. Cambios en la presión de combustible dentro del paso 66 de suministro provocan cambios correspondientes en la tensión en el cuerpo 50 de inyector. El sensor 64 de presión está dispuesto para responder a los cambios de tensión dentro del cuerpo 50 de inyector y, en particular, en una porción de la pared 68 que separa el sensor 64 de presión del paso 66 de suministro. De esta manera, el sensor 64 de presión proporciona una señal de salida que se corresponde con la presión de combustible en el paso 66 de suministro.

15 Debido a que el sensor 64 de presión está separado del paso 66 de suministro por la pared 68, el sensor 64 de presión no resulta humedecido por el combustible. De esta manera, el sensor 64 de presión no está sometido directamente al ambiente de alta presión presente en el interior del paso 66 de suministro y no necesita ser estanco a fugas. Además, el paso 66 de suministro no es fracturado por una lumbrera o conducto, lo cual se requeriría si el sensor de presión estuviera en contacto directo con el combustible en el paso 66 de suministro. Se evita, por tanto, el riesgo de fuga o fallo asociado con tal fractura en el paso 66 de suministro.

20 La figura 4 es una sección longitudinal parcial de parte de un inyector 74 de combustible según una segunda disposición, y la figura 5 es una sección transversal a través del inyector 74 de la figura 4 tomada como normal a la dirección longitudinal. La construcción del inyector 74 de combustible de la segunda disposición es similar a la de la primera disposición y sólo se describirán en detalle las diferencias.

25 En esta disposición, el sensor de presión no está situado dentro de una cavidad de terminales del cuerpo de inyector. Por el contrario, el cuerpo 76 de inyector está provisto de una cámara 78 de sensor cerca de la admisión 52 de combustible, y una lumbrera 80 que conduce desde la cámara 78 de sensor hasta la superficie exterior del inyector 74. Un sensor 82 de presión magnetoestrictivo está situado dentro de la cámara 78 de sensor.

30 Según se ve muy claramente en la figura 5, el sensor 82 de presión está separado del paso 66 de suministro de combustible de alta presión por una pared 68 formada dentro del cuerpo 76 de inyector. De esta manera, el sensor 82 de presión es influenciado por la tensión en el cuerpo 76 de inyector en la región del paso 66 de suministro. Aunque el sensor 82 de presión también está situado cerca del paso 70 de retrofuga, la presión de combustible dentro del paso 70 de retrofuga es baja y no da como resultado ninguna tensión significativa dentro del cuerpo 76 de inyector.

35 El sensor 82 incluye un taco o núcleo 84 de material magnetoestrictivo. La forma general del núcleo 84 es un cilindro de revolución con una sección transversal en forma de "I", según se ve muy claramente en la figura 4. El núcleo comprende un cara extrema proximal 86, muy cercana a la lumbrera 80, y una cara extrema distal 88 muy cercana al paso 66 de suministro y que se apoya en la pared 68. De este modo, la cara extrema distal 88 del núcleo 84 se apoya en el extremo de la cámara 78 de sensor muy cercana al paso 66 de suministro. El eje de cilindro del núcleo 84 es normal al eje longitudinal del inyector 74. Además, el eje de cilindro del núcleo 84 es normal a la dirección longitudinal del paso 66 de suministro, de modo que la cara extrema distal 88 del núcleo 84 es paralela al paso 66 de suministro.

45 Una bobina 90 se enrolla alrededor de la parte estrecha o cuello del núcleo 84 de sección en I. En su extremo proximal, el núcleo 84 está provisto de una acanaladura 92 que tiene una primera porción inclinada 94 y una segunda porción 96 que es paralela al eje de cilindro del núcleo 84. Un extremo de la porción inclinada 94 de la acanaladura 92 se intersecta con la parte estrecha del núcleo 84, y la acanaladura 92 se extiende hasta la cara extrema proximal 86 del núcleo 84. La cara extrema proximal 86 está provista de una meseta o saliente central 98, y la segunda porción 96 de la acanaladura 92 se extiende dentro del saliente 98 para definir un canal en forma de "U". Unos hilos de conexión 100 procedentes de la bobina 90 son encaminados desde el núcleo 84 hasta la lumbrera 80 por medio de la acanaladura 92.

50 Unas conexiones eléctricas, con la forma de receptáculos 102 de terminales, están dispuestas dentro de la lumbrera 80, de modo que el sensor 82 se pueda conectar a la ECU de un motor por medio de un conector adecuado (no mostrado). Los receptáculos 102 de terminales se conectan a los hilos de conexión 100 y están soportados dentro de un tornillo de sujeción 104 por un material aislante 106, tal como un material cerámico. El tornillo de sujeción 104 comprende un tapón anular que aloja unas roscas externas para emparejarse con roscas internas dispuestas en la lumbrera 80.

55 El tornillo de sujeción 104 ejerce una fuerza axial sobre el núcleo 84 del sensor 82, de modo que la cara extrema distal 88 del núcleo 84 sea presionada firmemente contra el extremo de la cámara 78 de sensor. De esta manera, la tensión en el cuerpo 76 de inyector adyacente al sensor 82 y, en particular, la tensión en la pared 68, que resulta de,

y se corresponde, con la presión de combustible en el paso 66 de suministro provocan la deformación del núcleo 84 del sensor 82.

5 La permeabilidad magnética del núcleo 84 cambia en respuesta a un esfuerzo aplicado. De este modo, cuando la tensión en el cuerpo 76 de inyector cambia, la deformación correspondiente del núcleo 84 del sensor 82 provoca un cambio en su permeabilidad magnética. Al medir la inductancia de la bobina 90, mediante las conexiones eléctricas 102, pueden detectarse el cambio en la tensión en el cuerpo 76 de inyector y, en particular, la tensión en la pared 68, que surge de, y está relacionada con, la presión de combustible en el paso 66 de suministro.

10 La figura 6 muestra, en sección longitudinal, parte de un inyector 108 de combustible según una tercera disposición. La tercera disposición es similar a la disposiciones primera y segunda., excepto en la disposición del paso de suministro de combustible, la lumbrera de admisión y el sensor de presión.

15 La figura 6 sólo muestra la parte más superior del inyector 108 de combustible, opuesta a la boquilla. El paso 110 de suministro se extiende dentro del cuerpo 112 de inyector y comprende una porción longitudinal 114 y una porción inclinada 116. Las dos porciones 114, 116 se encuentran una con otra en un codo 118. La porción longitudinal 114 del paso 110 de suministro se extiende desde el codo 118 hacia la boquilla (no mostrada). La porción inclinada 116 del paso 110 se extiende desde el codo 118, a través de la anchura del inyector 108, hasta la superficie lateral exterior del inyector 108 para formar una lumbrera 120 de admisión. A diferencia de las disposiciones primera y segunda, en esta tercera disposición la lumbrera 120 de admisión está dispuesta en un lado del inyector 108, en vez de en la parte superior.

20 Una cámara 122 de sensor está dispuesta dentro del cuerpo 112 de inyector, por encima de la porción inclinada 116 del paso 110 de suministro. Una lumbrera roscada 124 conecta la cámara 122 de sensor a la superficie superior más alta del inyector 108. Como en la segunda disposición de la invención, un sensor 82 de presión magnetoestrictivo que comprende un núcleo 84 y una bobina 90 está dispuesto en la cámara 122 de sensor.

25 La cara extrema distal 88 del núcleo 84 está situada cerca de la porción inclinada 116 del paso 110 de suministro de combustible, en una región 126 en la que la porción inclinada 116 tiene un diámetro ampliado. La región 126 de diámetro ampliado puede acomodar, por ejemplo, un filtro o un dispositivo de acondicionamiento de flujo (no mostrado). El sensor 82 de presión está inclinado con respecto a la dirección longitudinal del inyector 108, de modo que la cara extrema distal 88 del núcleo 84 es paralela a la pared lateral de la región 126 de diámetro ampliado muy cercana al sensor 82.

30 El sensor 82 de presión es mantiene en posición mediante un tornillo 128 de sujeción situado en la lumbrera 124. Al igual que la disposición precedente, se disponen unos receptáculos 102 de terminales en una porción central del tornillo 128 de sujeción, dentro de un tapón 106 de material aislante. En esta disposición, el tornillo 128 de sujeción tiene una prolongación delantera tubular que se apoya contra la cara extrema proximal 86 del núcleo 84 para proporcionar una fuerza de sujeción en el núcleo 84. Se dispone un separador cilíndrico 130 dentro de la prolongación delantera tubular entre la cara extrema proximal 86 del núcleo 84 y el tapón aislante 106, y unos hilos 35 132 de conexión procedentes de la bobina 90 atraviesan el separador 130 hasta los receptáculos 102 de terminales. El separador 130 puede alojar un módulo electrónico, con la finalidad de proporcionar una electrónica de acondicionamiento de señal para el sensor 82 de presión.

40 Como en la segunda disposición, el sensor 82 de presión es sensible a cambios de tensión en el cuerpo 112 del inyector 108 y, en particular, cambios de esfuerzo en la pared 68 del paso 110 de suministro, lo cual da como resultado cambios en la presión de combustible en el paso 110 de suministro.

45 Para una presión de combustible dada, la tensión en el cuerpo 112 del inyector 108 es mayor cerca de la región 126 de diámetro ampliado del paso 110 de suministro que cerca de las regiones del paso 110 de suministro en las que el diámetro del paso 110 no es ampliado. De este modo, al posicionar el sensor 82 cerca de la región 126 de diámetro ampliado, se optimiza la respuesta del sensor 82 de presión.

50 Son posibles muchas modificaciones y variaciones del inyector de combustible descrito anteriormente. Se describirán ahora algunas de tales modificaciones sólo a modo de ejemplo.

55 El sensor de presión dispuesto en el cuerpo de inyector puede ser de cualquier tipo adecuado. Por ejemplo, puede disponerse un sensor magnetoestrictivo correspondiente a cualquiera de los tipos descritos en las patentes norteamericanas del presente solicitante números 7.234.361 y 7.146.866, o en la publicación de la solicitud de patente norteamericana del presente solicitante número 2006/0016277. El contenido de estos documentos se incorpora al presente documento por referencia. Resulta concebible que el núcleo del sensor pudiera integrarse con el cuerpo de inyector.

En vez de un sensor magnetoestrictivo como el descrito anteriormente, podría usarse un sensor de presión piezoeléctrico o piezoresistivo. El sensor de presión puede producir una señal de salida que se refiere a la magnitud de la tensión estática en el cuerpo de inyector. Este sería el caso cuando el sensor de presión comprende un tensiómetro piezoresistivo. No obstante, la salida del sensor de presión puede referirse a cambios solamente dinámicos de la tensión, por ejemplo cuando el sensor de presión comprende un tensiómetro piezoeléctrico.

Puede ser deseable la compensación de temperatura de la señal de sensor de presión y, en el caso en el que se emplee un sensor magnetoestrictivo, la compensación de temperatura se puede lograr, por ejemplo, por métodos del tipo descrito en la publicación de patente norteamericana del presente solicitante número 2007/0096724, cuyo contenido se incorpora al presente documento por referencia.

5 Cuando se dispone un sensor de presión dentro de una cavidad de terminales de un inyector, la conexión eléctrica con el sensor puede estar separada de, o integrada, con la conexión eléctrica del accionador. En una variante, el sensor de presión está integrado con un conector eléctrico de accionador. Con estas maneras, las conexiones eléctricas con el sensor son particularmente directas.

10 El cuerpo de inyector puede comprender varios componentes individuales. Por ejemplo, secciones separadas del cuerpo de inyector pueden alojar la aguja, el accionador, el acoplamiento entre el accionador y la aguja, las conexiones eléctricas, etc. Las secciones pueden sujetarse conjuntamente por una vaina o alojamiento exterior. Cuando el cuerpo de inyector comprende dos o más componentes o secciones individuales, resulta concebible que el sensor de presión pueda ser sensible al desplazamiento relativo de dos componentes, en donde el desplazamiento es causado por, y se refiere a, la presión de combustible dentro del paso de suministro que se extiende a través de uno o más de los componentes.

15 Se apreciará que la situación del sensor dentro del cuerpo de inyector puede ser diferente respecto de las localizaciones descritas anteriormente. Realmente, la posición del sensor podría ser un cualquier sitio dentro del cuerpo de inyector, supuesto que el sensor sea capaz de percibir la tensión, deformación o desviación en el cuerpo de inyector que resulta de la presión de combustible en el paso de suministro. De esta manera, el sensor de presión puede emplearse en inyectores de combustible con diversas disposiciones de componentes o que operan de manera diferente respecto de los descritos anteriormente.

20 Al proporcionar sensores de presión de combustible en cada inyector individual de un motor, es posible una vigilancia y seguimiento continuos de la presión de combustible que existe dentro del inyector de combustible durante la operación del inyector. De esta manera, la presión del combustible cuando tiene lugar un evento de inyección puede determinarse con precisión, de modo que puede mejorarse el control de la cantidad de combustible inyectada en comparación con sistemas de control de inyector anteriores.

Se describirán ahora diversos métodos para operar y controlar inyectores de combustible en un motor de combustión interna.

30 La figura 7 muestra un sistema 150 de inyección de combustible según la invención. El sistema 150 de inyección de combustible es similar al sistema convencional mostrado en la figura 1, excepto en que cada uno de los inyectores 152 de combustible están provisto de un sensor de presión de combustible integrado según se describió previamente, y la ECU 154 recibe señales procedentes de los sensores de presión en cada uno de los inyectores 152 de combustible.

35 Estos componentes del sistema 150 de inyección de combustible descritos previamente con referencia a la figura 1 se indican en la figura 7 con números de referencia correspondientes a los de componentes iguales de la figura 1.

Para obtener un valor para la presión de combustible en el paso de suministro de un inyector 152, la señal de salida procedente de ese sensor de presión del inyector se evalúa por la ECU 154. La ECU 154 incluye una curva de calibración almacenada, que relaciona el valor de la señal procedente del sensor de presión con valores correspondientes para la presión de combustible en el paso de suministro.

40 La curva de calibración puede obtenerse, por ejemplo, probando un inyector equipado con sensores de presión intrusivos que vigilan directamente la presión en el paso de suministro de combustible.

45 Se muestra en la figura 8 un método alternativo, que no forma parte de la presente invención, para obtener una curva de calibración, y la figura 9 muestra un aparato adecuado para ejecutar el método de la figura 8. En este caso, la característica o curva de calibración del sensor se obtiene, por el contrario, probando inyectores individuales 152 después de su fabricación, por ejemplo aplicando (en 400 de la figura 8) una presión de fluido conocida al paso de suministro por medio de un suministro 412 de fluido, midiendo (402 en la figura 8) un valor de salida del sensor 158 de presión del inyector 152 y registrando (404 en la figura 8) el valor de salida y la presión de fluido como una característica de sensor, usando un grabador 414 de datos. La presión de fluido en el paso de suministro se ajusta entonces (408 en la figura 8) a otro valor conocido para medición y registro de valores de salida adicionales del sensor 158 de presión. Una vez que se han registrado (406 en la figura 8) un número predeterminado de valores de calibración, se codifica (410 en la figura 8) la característica de sensor usando un codificador 416.

50 La figura 10 muestra un método, que no forma parte de la presente invención, para programar un ECU de un sistema de inyección de combustible con la información de calibración, y la figura 11 es un diagrama esquemático de un aparato adecuado para ejecutar el método de la figura 10. La curva de calibración y otras características de sensor pueden codificarse opcionalmente en un formato legible por máquina y suministrarse con el inyector 152 de combustible, por ejemplo como un código de barras bidimensional 418 impreso en el inyector 152 según se muestra en la figura 11, o en el embalaje del inyector. Los datos codificados 418 pueden leerse entonces por un lector 420

(en 500 de la figura 10) y decodificarse en un decodificador 422 (502 de la figura 10) para determinar las características de sensor, incluyendo la curva de calibración. A continuación se introducen las características de sensor en la ECU 154 (504 en la figura 10) durante el ensamblaje del motor o tras el reemplazo de un inyector. Además, también pueden codificarse otras características del inyector de combustible, por ejemplo el comportamiento del accionador, en el código de barras para su introducción en la ECU 154.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 7, la cantidad de combustible entregada a una cámara de combustión durante un evento de inyección se relaciona con la presión de combustible en la punta de la boquilla del inyector respectivo 152, adyacente a los orificios. Idealmente, por tanto, el sensor de presión está situado cerca de la punta de la boquilla. Sin embargo, en la presente invención, a menudo es más conveniente situar el sensor de presión cerca del paso de suministro en una posición alejada de la punta de boquilla. En ese caso, la ECU 154 aplica un factor de corrección a la señal de sensor de presión para evaluar la presión de combustible en el paso de suministro. El factor de corrección puede tener en cuenta, por ejemplo, las pérdidas de presión dinámicas en el paso de suministro entre la vecindad del sensor de presión y la punta de boquilla.

Durante la operación normal del motor, los sensores de presión asociados con cada inyector 152 proporcionan sus señales respectivas a la ECU 154. Cada señales se corresponde con la presión local instantánea en uno de los inyectores 152. Cuando las señales se consideran en conjunto, el promedio de tiempo de estas presiones locales variará ligeramente de una a otra, por ejemplo como resultado de la deriva del sensor, errores de calibración o imprecisiones de decalaje.

La ECU 154 puede corregir tales errores mediante un método de aprendizaje adaptativo, que no forma parte de la presente invención, por ejemplo como se muestra en la figura 12. En 600 de la figura 12, se mide la salida de un sensor y en 602 se determina la salida de sensor promedio como una presión local promedio. En 604, la ECU 154 compara la presión local promedio registrada en el inyector 152 con un valor de referencia, por ejemplo la presión local promedio registrada por los sensores en cada uno de los inyectores 152. En 606 de la figura 12, si la diferencia entre dos valores de presión locales supera entonces un valor umbral predefinido, en 608 de la figura 12 la ECU 154 responde aplicando un decalaje de corrección a la señal de sensor procedente del inyector 152 a partir del cual se origina la lectura errónea. Las presiones locales promedio se comparan de nuevo. Si la diferencia aún supera el valor umbral, se aplica un decalaje de corrección adicional, y este proceso se repite iterativamente hasta que la diferencia cae por debajo del valor umbral. En esa etapa, se almacena el decalaje de corrección en la ECU 154 y se la aplica posteriormente a la señal procedente del inyector correspondiente 152 para uso en cálculos subsiguientes.

Las presiones de inyección instantáneas también diferirán de inyector a inyector, como resultado de las perturbaciones hidráulicas debidas a los eventos de inyección. Por ejemplo, cuando un primer inyector realiza una inyección, la presión local caerá rápidamente en ese inyector. La presión en un segundo inyector decaerá a un tasa inferior, debido a que lleva cierto tiempo la transmisión de la caída de presión desde el primer inyector, a través del raíl de combustible y hasta el segundo inyector.

En la realización mostrada en la figura 7, no se proporciona sensor de presión en el raíl 156 de combustible del sistema 150. Por tanto, no se dispone lumbreira alguna en el raíl 156 de combustible para tal sensor. La presión media en el raíl 156 de combustible puede estimarse en la ECU 154 calculando un promedio apropiado de los valores de presión locales de los inyectores individuales 152. De esta manera, la válvula 40 de dosificación de admisión de la bomba de combustible de alta presión y la válvula 42 de control de presión del raíl de combustible pueden controlarse por la ECU 154, usando la presión de raíl de combustible estimada.

Si falla uno de los sensores de presión asociados con los inyectores 152, la ECU 154 puede detectar el fallo comprobando señales erróneas y puede excluir ese sensor de cálculos adicionales para calcular la presión de combustible de raíl estimada. De esta manera, el sistema 150 de inyección de combustible puede continuar funcionando incluso si fallan uno o más sensores de presión.

Cuando la estrategia de inyección del motor demanda un solo evento de inyección por inyector 152 de combustible durante un ciclo de combustión, puede asumirse que las perturbaciones de presión generadas por el evento de inyección previo para ese cilindro, y para cualquier otro cilindro, habrán decaído antes de que comience el siguiente evento de inyección. De esta manera, será estable la presión local en cada inyector antes de un evento de inyección, y se puede calcular con precisión el tiempo del futuro evento de inyección por la ECU 154 sobre la base de la presión local medida.

Cuando la estrategia de inyección del motor demanda más de un evento de inyección por inyector de combustible y por ciclo de combustión, aún pueden estar presentes perturbaciones de presión de un primer evento de inyección en la secuencia de inyección cuando tiene lugar un segundo evento de inyección de la secuencia. La presente invención proporciona un método para corregir o compensar estas perturbaciones de presión, de modo que se entregue la cantidad correcta de combustible a la cámara de combustión en cada evento de inyección. Se describirá ahora con referencia a la figura 12 una primera expresión de tal método. Se muestra esquemáticamente en la figura 14 un aparato adecuado para ejecutar el método. El aparato comprende una ECU 154 e inyectores 152 de combustible, cada uno de ellos con sensores de presión integrados 158, por ejemplo según se muestra en la figura 7.

El comportamiento hidráulico del inyector 152 de combustible – la manera en la que las ondas de presión tienden a propagarse en un inyector 152 de combustible - puede calcularse o medirse de manera relativamente precisa. Además, la dinámica de las ondas de presión que aparecen como resultado de eventos de inyección es predecible en el tiempo cuando se conocen las características hidráulicas del inyector 152. Por tanto, al predecir una característica de presión de combustible local dentro de un inyector 152, tal como la evolución en el tiempo de una onda de presión dentro de un inyector 152, puede determinarse una presión local esperada en el momento de un evento de inyección subsiguiente a partir de mediciones previas a la inyección de la presión local.

La figura 15 muestra esquemáticamente la evolución de la presión de combustible local 160 dentro de un inyector 152 de combustible después de un evento de inyección. De este modo, la figura 15 también podría representar la señal de salida de un sensor 158 de presión de combustible integrado en un inyector 152 de combustible.

En 200 de la figura 13, antes de un evento de inyección, se interroga repetidamente a intervalos predeterminados o conocidos de otra manera al sensor 158 de presión del inyector 152 correspondiente. El número y frecuencia óptimos de los interrogatorios depende de las características hidráulicas del inyector, pero en un ejemplo típico se han de realizar al menos diez interrogatorios a una frecuencia de 50 kHz o más. Los interrogatorios indicados en 162a, 162b y 162c en la figura 15 generan una secuencia de valores de presión de combustible locales 164a, 164b y 164c, respectivamente. Se muestran tres interrogatorios 162a-162c, pero éstos podrían ser cualquier número deseado de interrogatorios. En 202 en la figura 13, un procesador 166 de la ECU 154 compara los resultados 164a-164c de cada interrogatorio 162a-162c para determinar si la presión es estable. Si la ECU 154 no detecta una diferencia significativa entre los resultados 164a-164c de los interrogatorios 162a-162c, entonces no está presente una onda de presión. Se puede suponer que el evento de inyección inminente no resultará afectado por perturbaciones de presión y no se aplica ninguna corrección al tiempo de inyección.

Sin embargo, si la ECU 154 detecta una diferencia entre los resultados 164a-164c de los interrogatorios 162a-162c, según se muestra en la figura 15, entonces se establece que está presente una onda de presión. Se recupera un modelo del comportamiento hidráulico del inyector 152 tomándolo del almacenamiento en una memoria 168 de la ECU 154, y en 204 de la figura 13 se introducen los resultados 164a-164c de los interrogatorios 162a-162c en el modelo para predecir cómo evolucionará la onda de presión durante el tiempo del evento de inyección siguiente.

El modelo puede comprender, por ejemplo, una serie de conjuntos almacenados de datos de características de onda de presión que actúan como perfiles comunes, huellas dactilares o firmas que muestran cómo varía la presión local con el tiempo después de eventos de inyección, teniendo en cuenta otros parámetros tales como presiones de combustible y tiempos de inyección. Estos conjuntos de datos podrían obtenerse por cálculo o durante procedimientos de calibración usando sistemas de ensayo. En funcionamiento, la ECU 154 empareja los resultados 164a-164c de los interrogatorios 162a-162c con los datos almacenados. Una vez que se halla un emparejamiento, los datos correspondientes a la onda de presión pueden recuperarse de la memoria 168 y analizarse por el procesador 166 para predecir, en 206 de la figura 13, cómo se propagará la onda de presión durante el siguiente evento de inyección.

Si es necesario, la ECU 154 determina y aplica una corrección a la duración de inyección en 208 de la figura 13, con el fin de garantizar que se inyecte la cantidad deseada de combustible. Por ejemplo, el modelo hidráulico puede proporcionar como una salida un valor medio predicho para la presión local en el inyector 152 durante la duración esperada del evento de inyección siguiente. Este valor medio predicho se usa entonces para calcular la duración de inyección requerida para inyectar la cantidad requerida de combustible. Esta duración de inyección puede ser mayor o menor que la duración de inyección nominal que sería necesaria para entregar el combustible requerido si se hubiese determinado como estable la presión local.

En 210 de la figura 13, el tiempo de inyección requerido se envía a la unidad 170 de control de inyector de la ECU 154, la cual genera una señal de control de inyector. La señal de control de inyector se entrega al accionador 172 del inyector 152 de combustible para accionar el movimiento de apertura y cierre de la aguja.

La figura 16 muestra un método para mitigar los efectos del fallo del sensor de presión, que no forma parte de la presente invención. En 700 de la figura 16, la ECU mide la salida de un sensor 158 y en 702 la ECU comprueba la salida de sensor en busca de errores o anomalías indicativas de fallo del sensor 158, por ejemplo una salida cero. Si la salida de sensor se determina como errónea (en 704), la ECU excluye la señal de ese sensor 158 de presión en los cálculos adicionales y puede usar en cambio una entrada alternativa para el modelo de comportamiento hidráulico u otro cálculo. Por ejemplo, si falla el sensor 158 de presión de uno de los inyectores 152, la ECU 154 puede aplicar los tiempos de inyección calculados para otro de los inyectores 152 que experimentan la misma o similar secuencia de inyección que el inyector con el sensor averiado. De esta manera, se proporciona cierto grado de robustez frente al fallo del sensor.

Un método alternativo, que no forma parte de la presente invención, y que usa sólo un sensor de presión de raíl, se describirá ahora con referencia a la figura 17. Un sistema, que tampoco no forma parte de la presente invención, adecuado para ejecutar el método de la figura 17 se muestra esquemáticamente en la figura 18, que es similar al aparato de la figura 14 excepto en que se dispone un sensor 174 de presión en el raíl 176 de combustible y en que los inyectores 178 de combustible no incluyen sensores de presión integrados. La ECU 180 recibe señales de

entrada procedentes del sensor 174 de presión de raíl.

5 En 300 en la figura 17, antes de un evento de inyección, el sensor 174 de presión de raíl es interrogado repetidamente para dar una secuencia de valores de presión de combustible de raíl. En 302 en la figura 17, un procesador 182 de la ECU 180 compara los resultados de cada interrogatorio para determinar si la presión es estable. Si la ECU 180 no detecta una diferencia significativa entre los resultados de los interrogatorios, se asume entonces que el evento de inyección inminente no resultará afectado por perturbaciones de presión y no se aplica corrección al tiempo de inyección.

10 Sin embargo, si la ECU 180 detecta una diferencia entre los resultados de los interrogatorios, se establece entonces que está presente una onda de presión en el raíl 176 de combustible, lo cual afectará a la presión de combustible local dentro de los inyectores 178.

15 Se almacena en una memoria 184 de la ECU 180 un modelo del comportamiento hidráulico del sistema de combustible, incluyendo los inyectores 174 de combustible y el raíl 176 de combustible. En 304 de la figura 17, los resultados de los interrogatorios se introducen en el modelo hidráulico del sistema de combustible para producir estimaciones de la presión local dentro de un inyector de combustible 178, correspondientes a los valores de presión de combustible de raíl medidos.

20 Además, se almacena un modelo del comportamiento hidráulico de cada inyector 178 en la memoria 184 de la ECU 180. En 306 de la figura 17, las estimaciones de la presión local dentro de un inyector 178 de combustible, calculadas a partir de las mediciones de presión de raíl en 304, se introducen en el modelo hidráulico de inyector para proporcionar, en 308 de la figura 17, un salida que comprende una predicción de cómo evolucionará la onda de presión en el inyector de combustible durante la duración del siguiente evento de inyección.

25 Si es necesario, en 310 de la figura 17, la ECU 180 aplica una corrección a la duración de inyección con el fin de garantizar que se inyecte la cantidad deseada de combustible, como en el método de la figura 13. En 312 en la figura 17, el tiempo de inyección requerido se entrega a una unidad 186 de control de inyector de la ECU 180, la cual genera una señal de control de inyector. La señal de control de inyector se entrega al accionador 188 de un inyector 178 de combustible para accionar el movimiento de apertura y cierre de la aguja.

En una variante del método de la figura 17, que tampoco forma parte de la presente invención, los comportamiento hidráulicos del sistema de combustible y los inyectores de combustible se integran en un modelo, de modo que los valores de presión de combustible de raíl medidos se introducen en el modelo, y la salida del modelo es la evolución de la onda de presión predicha dentro del inyector de combustible.

30 Se apreciará que el método anterior, que no forma parte de la presente invención, no está limitado por la localización del sensor o sensores de presión. Por ejemplo, puede disponerse más de un sensor de presión de raíl, con el fin de generar una imagen más precisa de la evolución de la presión de combustible dentro del raíl para su introducción en el modelo. En cambio, los sensores pueden estar conectados con, o dispuestos dentro de, las tuberías de puente que conectan los inyectores respectivos con el raíl de combustible. Los sensores de dos o más lugares diferentes podrían usarse en combinación para proporcionar información para ayudar a predecir la evolución de la presión de combustible dentro de los inyectores.

40 Cuando el método anterior, que no forma parte de la presente invención, utiliza mediciones de uno o más sensores alejados de los inyectores individuales de combustible, tal como en el método de la figura 17, la evolución de la presión de combustible registrada por el sensor o sensores puede ser el resultado de una combinación de ondas de presión generadas por los inyectores de combustible, la válvula de control de presión de raíl, la bomba de combustible de alta presión, etc. Por tanto, el método anterior, que no forma parte de la presente invención, puede proporcionar la identificación de la contribución a la evolución de presión de combustible medida de fuentes individuales de ondas de presión. Por ejemplo, la salida de sensor puede registrarse durante periodos en los que no tengan lugar inyecciones de combustible, tal como durante un embalamiento del motor. La salida de sensor registrada en estas condiciones refleja sólo aquellas ondas de presión que aparecen en componentes distintos de los inyectores de combustible. Esta salida "sin inyección" puede proporcionarse entonces como una entrada adicional al modelo hidráulico para permitir un determinación más precisa de la presión de combustible local predicha en los inyectores.

50 Los modelos hidráulicos pueden implementarse en la ECU como algoritmos, como tablas de búsqueda o en otras formas adecuadas. Los modelos pueden generarse usando datos de calibración obtenidos durante el ensayo o fabricación de motores, o pueden calcularse usando técnicas de dinámica de fluidos computacionales.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema (150) de inyección de combustible para un motor de combustión interna que demanda más de un evento de inyección por inyector de combustible y por cada ciclo de combustión, comprendiendo el sistema:
  - 5 una pluralidad de inyectores (152) de combustible, incluyendo cada inyector (152) de combustible un sensor (64, 82) de presión para medir la presión de combustible en su interior;
    - un acumulador (28) dispuesto para suministrar combustible a los inyectores (46, 108, 152) de combustible durante el uso;
      - 10 estando caracterizado el sistema de inyección de combustible por una unidad (34) de control dispuesta para recibir una señal de presión procedente de cada uno de los sensores (64, 82) de presión antes de un evento de inyección en el inyector correspondiente para calcular la manera en la que las ondas de presión tienden a propagarse en el inyector de combustible; para predecir la presión de combustible que prevalecerá en el inyector durante el evento de inyección; y para suministrar señales de control a ese inyector de combustible para controlar la cantidad de combustible inyectada durante ese evento de inyección según la presión de combustible predicha.
  2. Un sistema de inyección de combustible según la reivindicación 1, en el que la unidad (34) de control comprende:
    - 15 un procesador programado para muestrear repetidamente la señal de presión procedente de al menos uno de los sensores (64, 82) de presión con el fin de calcular la manera en la que las ondas de presión tienden a propagarse en un inyector de combustible.
  3. Un sistema de inyección de combustible según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que la unidad (34) de control comprende:
    - 20 una memoria para almacenar un modelo de comportamiento hidráulico; y
      - un procesador programado para aplicar un cálculo de la manera en la cual las ondas de presión tienden a propagarse en un inyector de combustible al modelo almacenado con el fin de predecir la presión de combustible que prevalecerá en los inyectores (46, 108, 152) durante los eventos de inyección.
  4. Un método para predecir la presión de combustible que prevalecerá en un inyector de combustible del sistema de inyección de combustible para un motor que demanda más de un evento de inyección por inyector de combustible y por cada ciclo de combustión según se expone en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, estando caracterizado el método por que comprende:
    - 25 medir, antes del evento de inyección, una característica de presión de combustible dentro del inyector de combustible; y
      - 30 determinar, introduciendo la característica de presión de combustible medida en un modelo de comportamiento hidráulico, una característica de presión de combustible predicha en el inyector de combustible durante el evento de inyección siguiente.
  5. Un método según la reivindicación 4, en el que la característica de presión de combustible se mide interrogando repetidamente a un sensor de presión antes del evento de inyección.
  6. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 4 o 5, en el que la característica de presión de combustible medida comprende una secuencia de valores de presión de combustible.
  7. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 6, en el que la característica de presión de combustible predicha comprende una presión de combustible promedio predicha en el inyector de combustible durante el evento de inyección.
  8. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, en el que el método incluye suministrar una señal de control al inyector de combustible a fin de controlar la cantidad de combustible inyectada durante un evento de inyección según la característica de presión de combustible predicha.
  9. Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 8, que comprende además:
    - 45 calcular un factor de corrección basándose en la característica de presión de combustible predicha durante el evento de inyección; y
      - aplicar el factor de corrección a una demanda de inyección de combustible nominal para compensar variaciones en la presión de combustible durante el evento de inyección.
  10. Un método según la reivindicación 9, que comprende además:
    - determinar una demanda de inyección de combustible nominal según parámetros operativos del motor.



11. Un producto de programa de ordenador que comprende al menos una porción de software de programa de ordenador que, cuando se ejecuta en un entorno de ejecución, es operado para implementar el método según las reivindicaciones 4 a 8.

5 12. Un medio de almacenamiento de datos que tiene la, o cada, porción de software del programa de ordenador de la reivindicación 11 almacenada en el mismo.

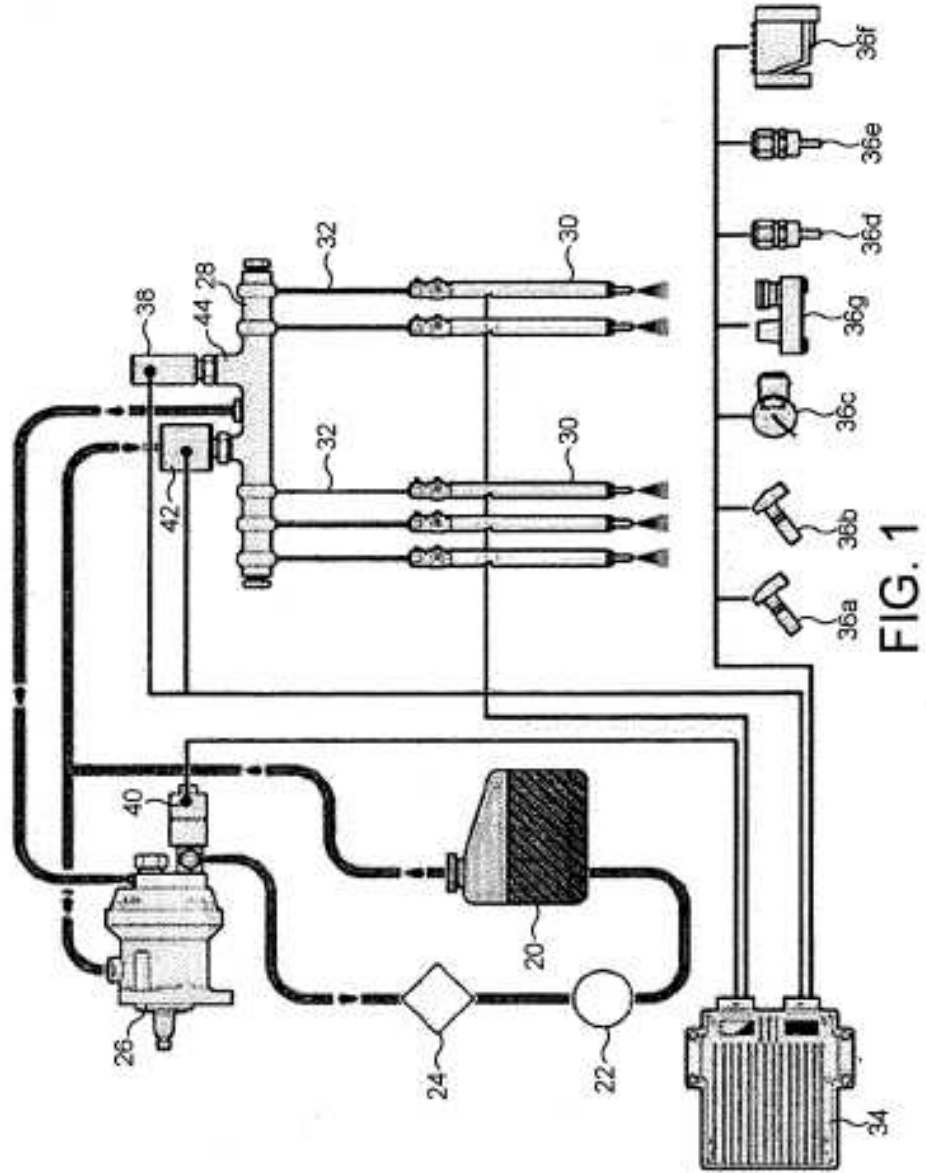


FIG. 1

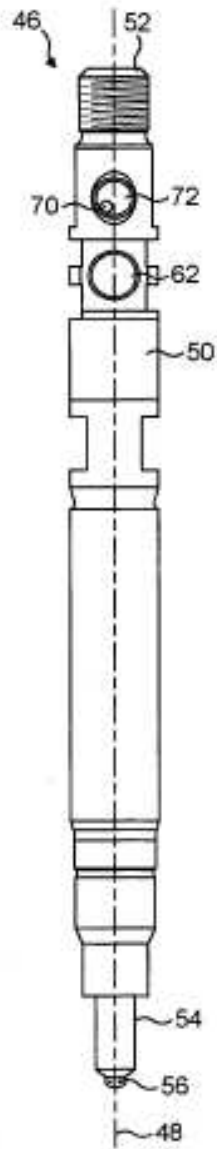


FIG. 2

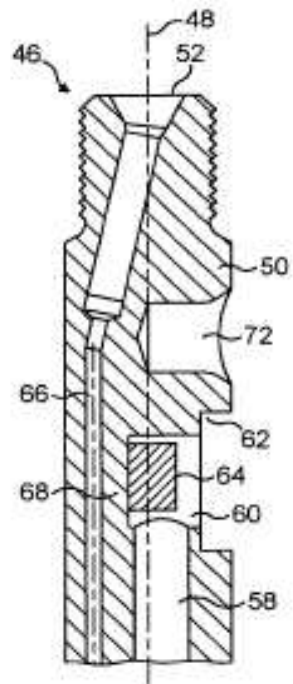


FIG. 3

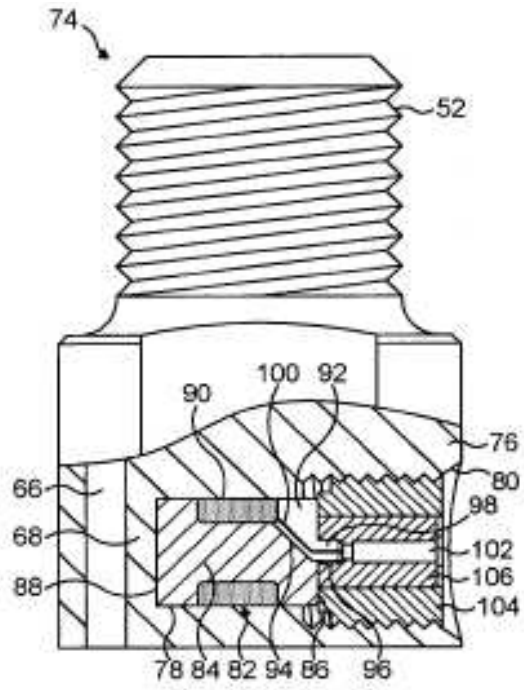


FIG. 4

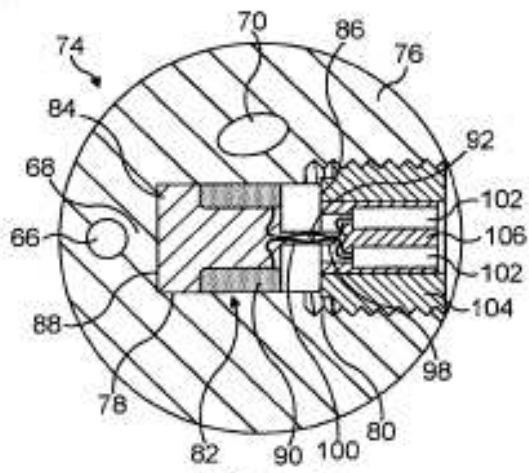


FIG. 5

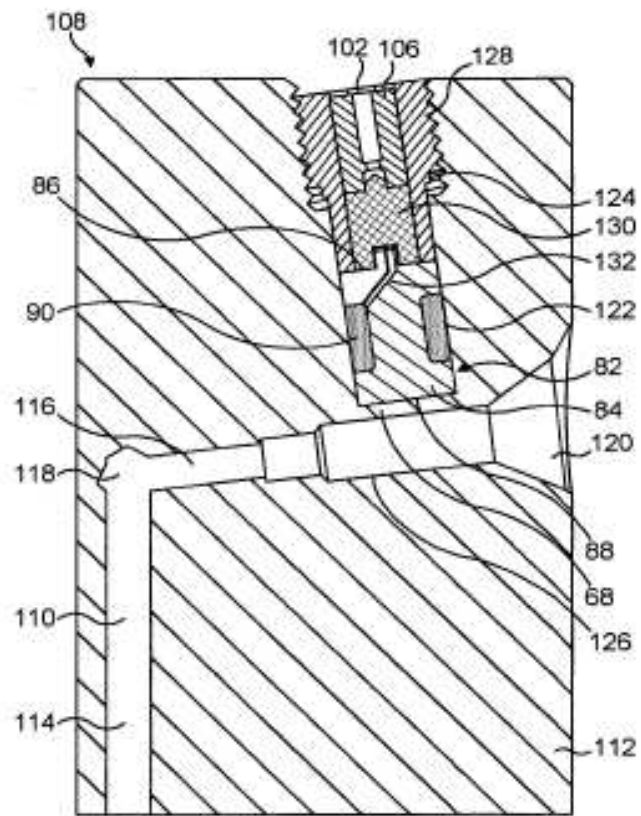


FIG. 6

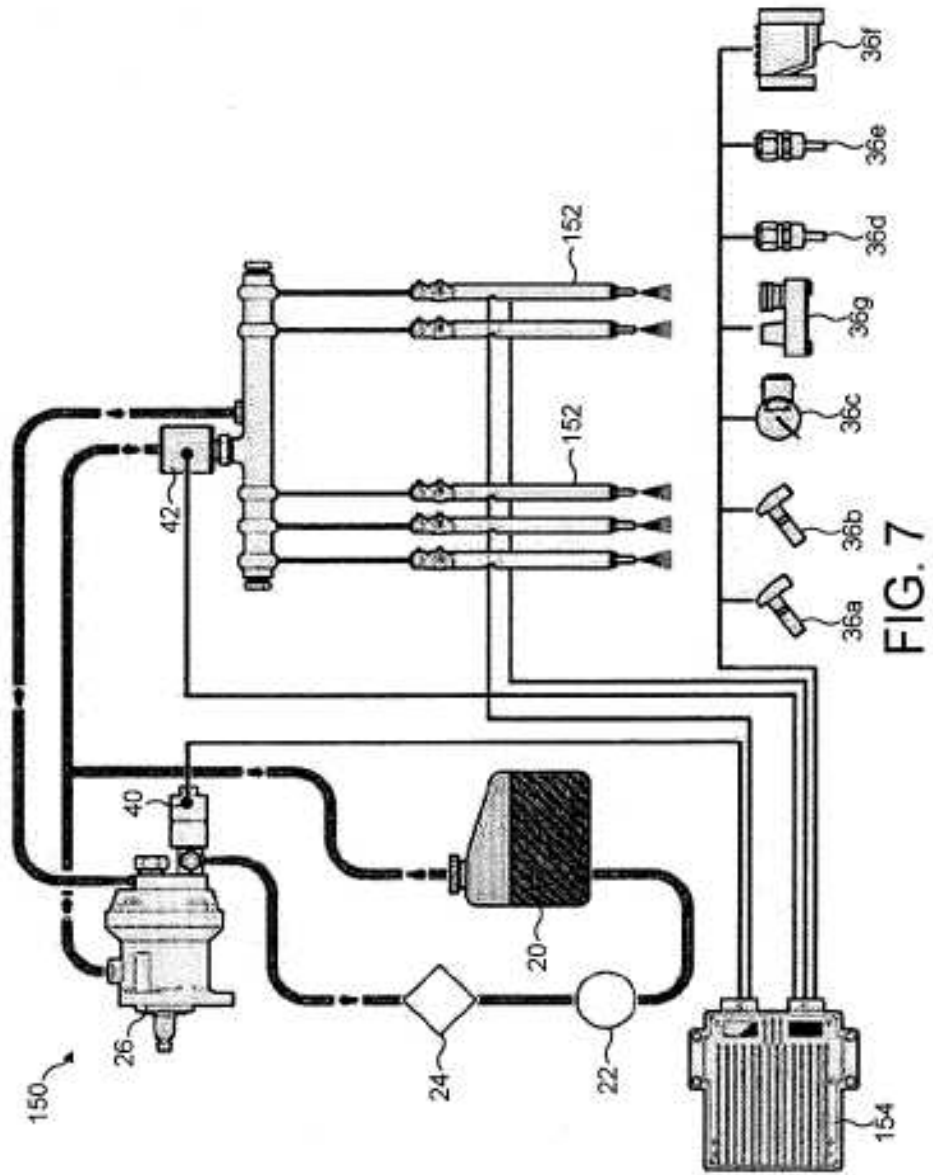


FIG. 7

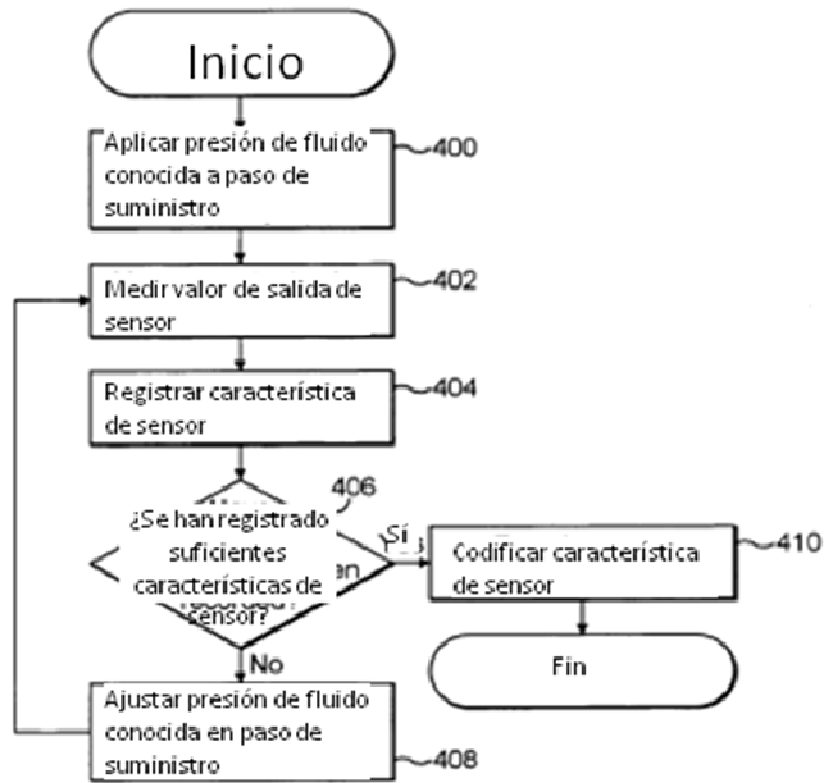


FIG. 8

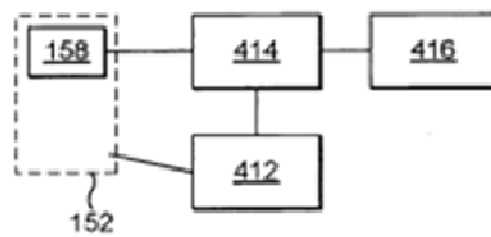


FIG. 9

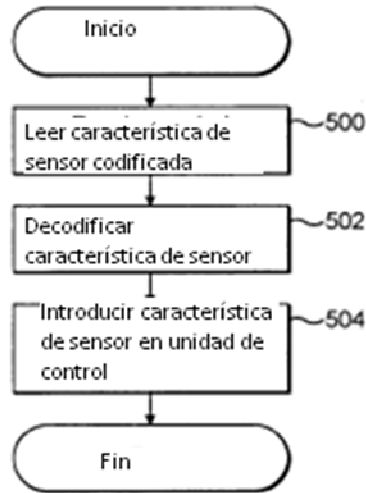


FIG. 10

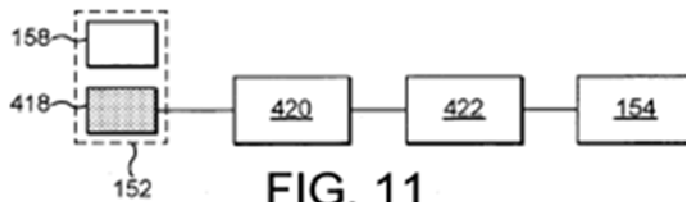


FIG. 11



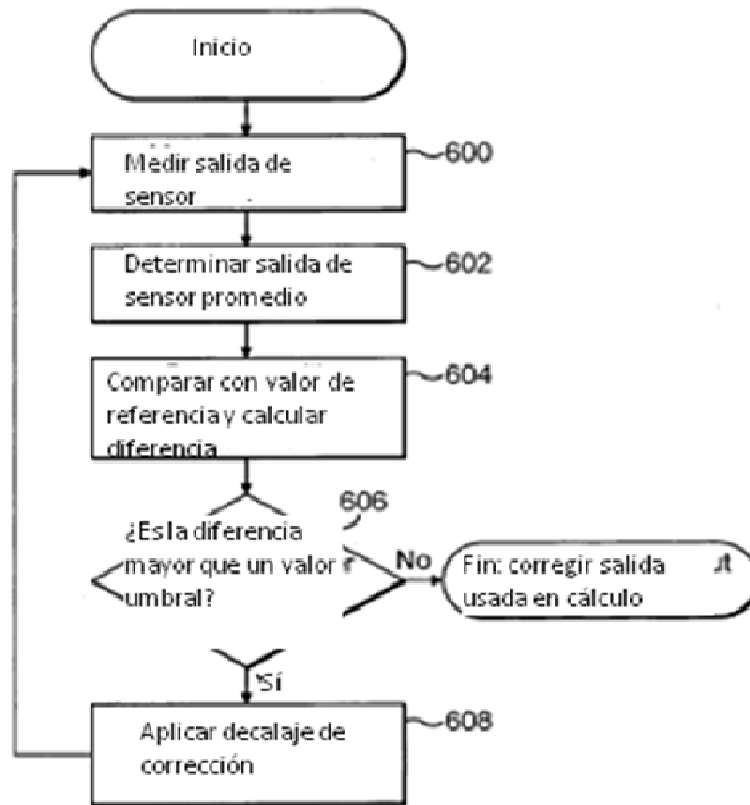


FIG. 12

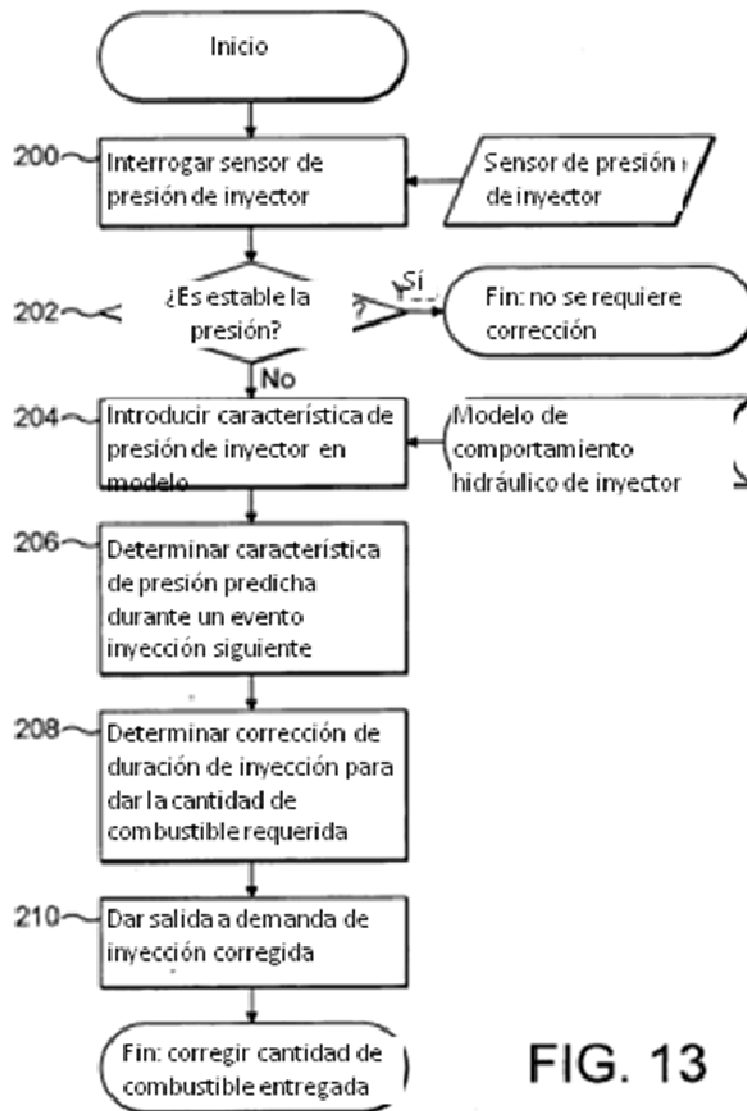


FIG. 13

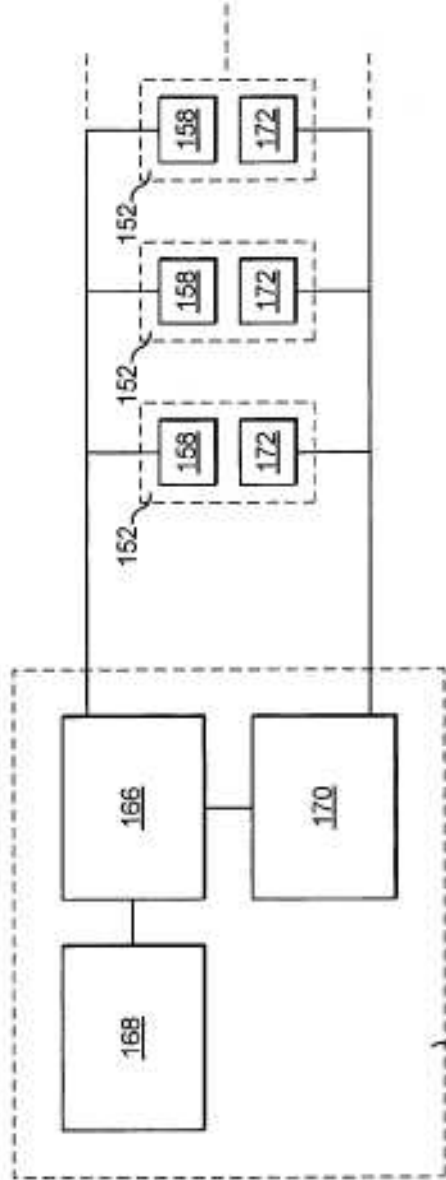
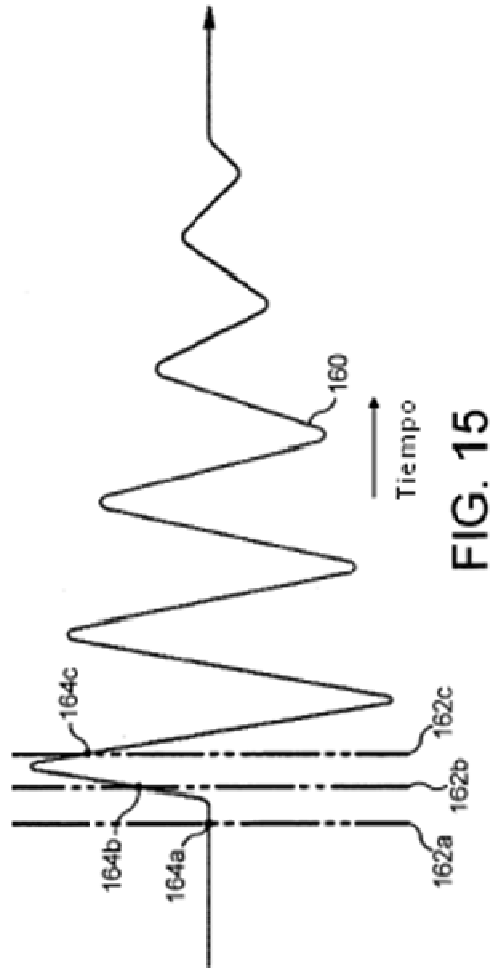


FIG. 14



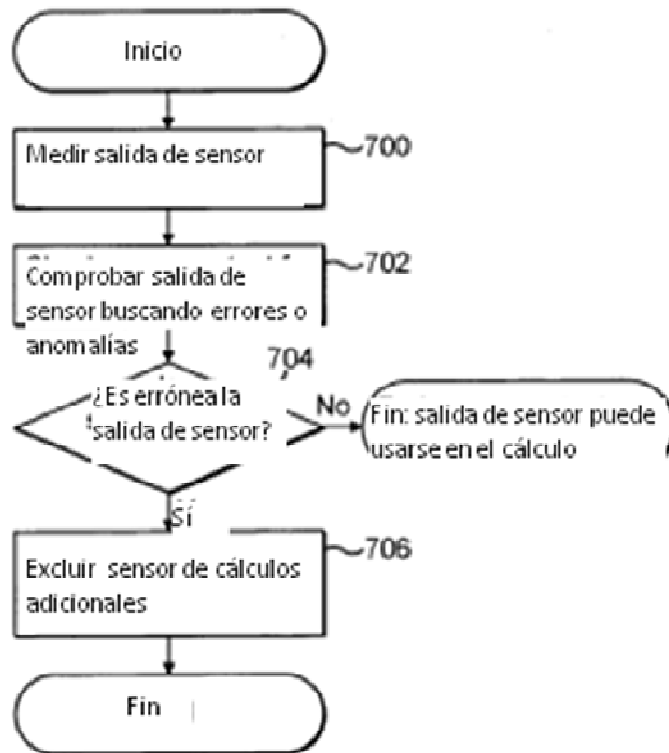


FIG. 16

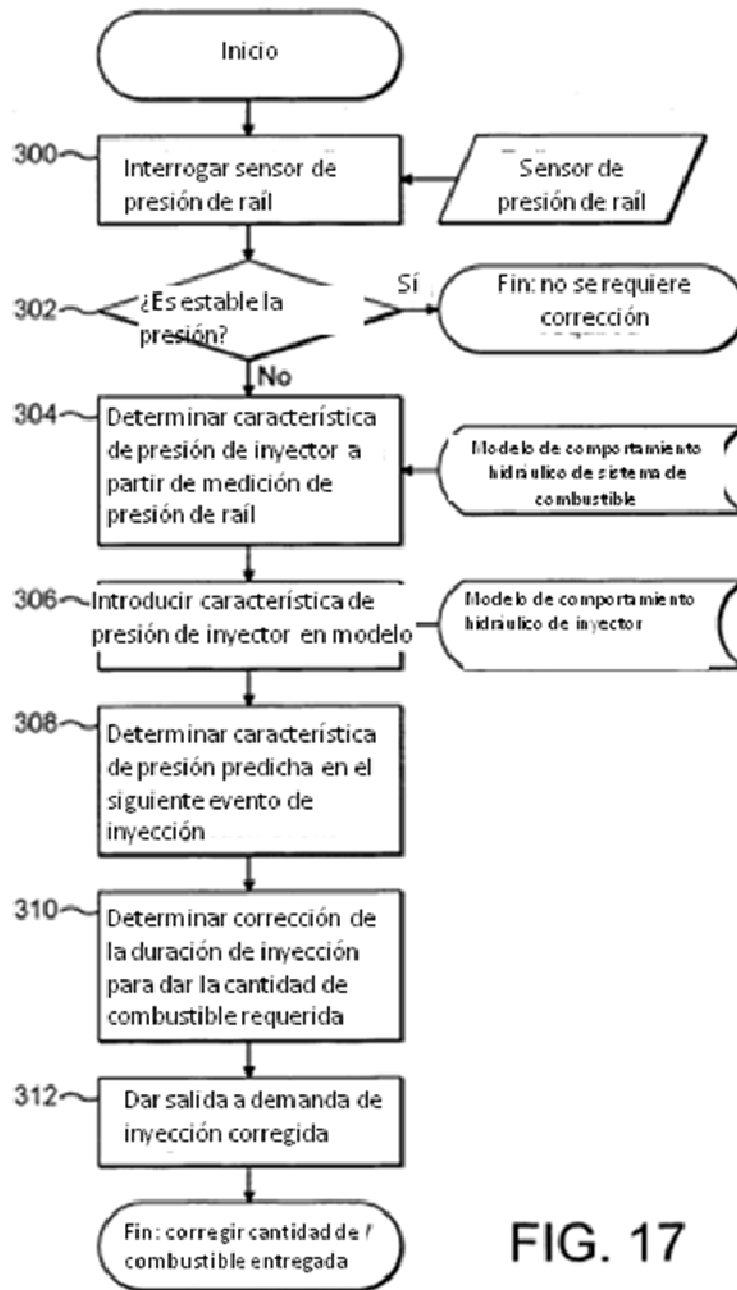


FIG. 17

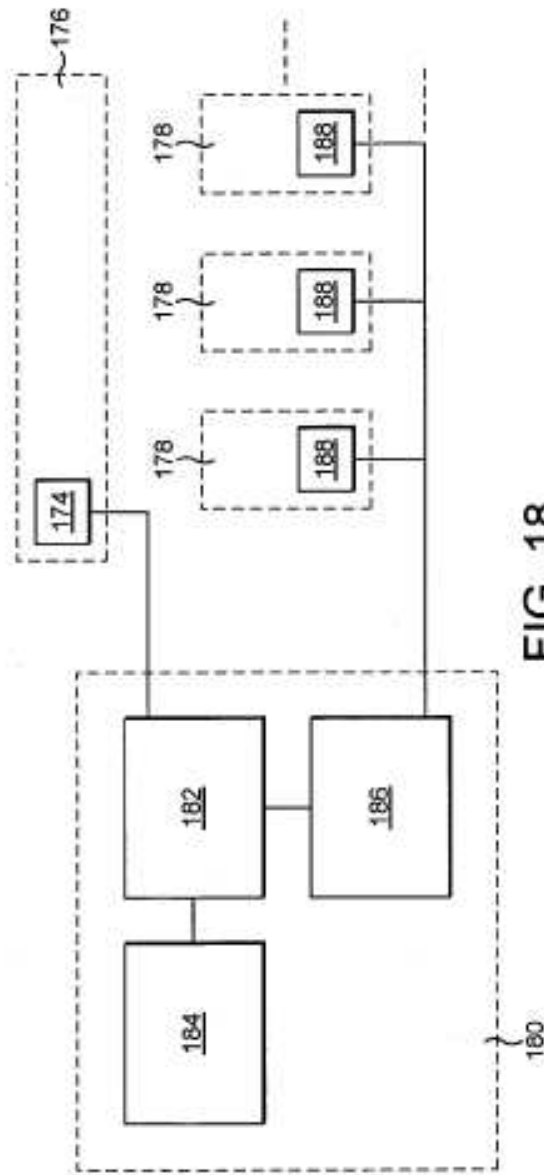


FIG. 18