

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 436 434**

51 Int. Cl.:

F01N 3/02 (2006.01)
F01N 3/30 (2006.01)
F01N 3/32 (2006.01)
F01N 13/08 (2010.01)
F01N 13/10 (2010.01)
F02B 27/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.06.2009 E 09756231 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.09.2013 EP 2157296**

54 Título: **Motor, vehículo, embarcación y método de escape de motor**

30 Prioridad:

13.06.2008 JP 2008155070

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

02.01.2014

73 Titular/es:

**YAMAHA HATSUDOKI KABUSHIKI KAISHA
(100.0%)
2500 Shingai
Iwata-shi, Shizuoka 438-8501, JP**

72 Inventor/es:

**TAKAHASI, YUSUKE y
KONAKAWA, TSUGUNORI**

74 Agente/Representante:

ARIZTI ACHA, Monica

ES 2 436 434 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, vehículo, embarcación y método de escape de motor

CAMPO TÉCNICO

5 La presente invención se refiere a un motor de combustión interna, a un vehículo, a una embarcación marítima y a un método de escape para un motor de combustión interna.

ANTECEDENTES DE LA TÉCNICA

10 Convencionalmente, con el fin de mejorar los rendimientos de motores de combustión interna, se han mejorado dispositivos de escape de gas de los motores de combustión interna. Por ejemplo, tal como se describe en el documento de patente 1, se ha propuesto un motor de combustión interna que incluye una tobera convergente-divergente (denominada generalmente "tobera de Laval") con el fin de mejorar la eficacia de depuración. La tobera incluye una sección convergente que tiene un área de sección transversal de trayecto de flujo que disminuye a medida que avanza un fluido, una sección divergente prevista aguas abajo con respecto a la sección convergente y que tiene un área de sección transversal de trayecto de flujo que aumenta a medida que avanza el fluido, y una sección de garganta prevista entre la sección convergente y la sección divergente. Cuando la razón de presión de la presión P0 en la sección convergente y la presión P en la sección divergente (es decir, P/P0) es menor que la razón de presión crítica (para el aire, aproximadamente 0,528), la velocidad del fluido supera la velocidad del sonido en la sección divergente. El documento de patente 1 tiene el objetivo de mejorar la eficacia de depuración usando esta función de esta tobera. Específicamente, tal como se muestra en la figura 1 del documento de patente 1, seis orificios de escape del motor de combustión interna de seis cilindros en línea se fusionan conjuntamente en un tubo fusionado de escape. Además, el trayecto de escape del mismo se establece para tener una longitud que aumenta la eficacia de depuración, y la tobera está prevista en la salida de escape del tubo fusionado de escape. El documento de patente 1 describe que el flujo de gas de escape, que ha pasado por la tobera y por tanto ha aumentado su velocidad, absorbe el gas de escape que queda en el tubo fusionado de escape, y por tanto puede mejorarse la eficacia de depuración.

25 DOCUMENTOS DE LA TÉCNICA ANTERIOR

DOCUMENTOS DE PATENTE

Documento de patente 1: publicación de modelo de utilidad japonés abierta a consulta por el público n.º 1-76520.

30 El documento US 2002/152747 A1 da a conocer un motor de combustión interna de dos tiempos dotado de un dispositivo silenciador. El motor está previsto para una herramienta de trabajo, tal como una sierra de cadena o una podadora. Un tubo, que o bien es recto o bien está doblado, y que tiene una longitud adaptada o ajustada y un extremo externo cerrado, está dispuesto en conexión con el orificio de escape del motor así como una salida, que conduce los gases de escape al aire circundante. La longitud del tubo se ajusta de manera que una onda de presión volverá al orificio de escape exactamente antes de que se cierre y retendrá el flujo saliente e incluso hará retroceder los gases de depuración al interior de un cilindro del motor.

35 **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

PROBLEMAS QUE VAN A RESOLVERSE MEDIANTE LA INVENCION

40 Los presentes inventores han estudiado motores de combustión interna que usan la función de una tobera convergente-divergente tal como se describe en el documento de patente 1. Mientras estudiaban los motores de combustión interna, los presentes inventores descubrieron que cuando la velocidad del gas de escape aumenta a la velocidad del sonido para generar una onda de choque, disminuye la presión en una zona aguas arriba con respecto a la onda de choque. Los presentes inventores concibieron mejorar los rendimientos de un motor de combustión interna generando una presión negativa en el trayecto de escape usando una disminución de este tipo de la presión en la zona aguas arriba con respecto a la onda de choque. Sin embargo, como resultado de estudiar de manera activa el documento de patente 1, los presentes inventores descubrieron que incluso aunque la velocidad del gas de escape se vuelva alta debido a la acción de la tobera convergente-divergente, no puede generarse una presión negativa en una parte del tubo fusionado de escape que está aguas arriba con respecto a la tobera por los siguientes motivos. El motor de combustión interna descrito en el documento de patente 1 es un motor de combustión interna de seis cilindros y explota cada 120 grados del ángulo de manivela. Por tanto, se genera una onda de presión en el trayecto de escape a un intervalo de 120 grados. En general, el ángulo en el que se abre el orificio de escape de un motor de combustión interna (ángulo de trabajo) es de aproximadamente 240 grados. En el motor de combustión interna descrito en el documento de patente 1, los orificios de los cilindros se fusionan en una tobera convergente-divergente en una posición aguas arriba con respecto a la misma. Por tanto, mientras el orificio de escape de un cilindro está abierto, se abre el orificio de escape de al menos uno de los cilindros restantes. Antes

de que se cierre el orificio de escape de un cilindro, se abre el orificio de escape del cilindro en el que va a producirse la siguiente explosión y se genera la siguiente onda de presión. Por este motivo, el interior del tubo fusionado de escape está siempre en un estado de presión positiva. Incluso aunque la razón de presión de la presión P_0 en la sección convergente y la presión P en la sección divergente (es decir, P/P_0) disminuya para que sea menor que la razón de presión crítica y la velocidad del gas de escape supere la velocidad del sonido en la sección divergente, el interior del tubo fusionado de escape siempre se mantiene en estado de presión positiva. Como resultado, no puede esperarse que los rendimientos del motor de combustión interna mejoren completamente.

La presente invención realizada a la luz de tales circunstancias tiene el objetivo de proporcionar un motor de combustión interna novedoso que ofrece rendimientos mejorados aplicando el principio de la tobera convergente-divergente.

MEDIOS PARA RESOLVER LOS PROBLEMAS

Como medio para resolver el problema anterior se concibe conectar la sección divergente a la única cámara de combustión que está prevista aguas arriba con respecto a la misma. Como resultado de esta disposición, resulta imposible que mientras el orificio de escape de un cilindro está abierto, una onda de presión generada en el orificio de escape de otro cilindro se propague al trayecto de escape conectado al orificio de escape que se ha abierto. Por tanto, se generan una presión positiva y una presión negativa de manera alterna en una parte del trayecto de escape que está aguas arriba con respecto a la sección divergente. Sin embargo, se descubrió que, con esta estructura, no puede generarse una presión negativa grande en el trayecto de escape por los siguientes motivos y debido a los siguientes problemas. Un problema es que una onda de choque generada cuando se abre el orificio de escape en la cámara de combustión se atenúa antes de alcanzar un extremo aguas arriba de la sección divergente. Otro problema es que la presión del gas de escape que fluye en el trayecto de escape con un retardo con respecto a la onda de choque se atenúa antes de que el gas de escape alcance el extremo aguas arriba de la sección divergente. Por estos motivos, incluso aunque o bien la onda de choque o bien el gas de escape alcance el extremo aguas arriba de la sección divergente, la razón de presión de la presión P_0 en la sección convergente y la presión P en la sección divergente no se vuelve menor que la razón de presión crítica. Por tanto, la velocidad del fluido que pasa por el trayecto de escape no excede la velocidad del sonido, y por tanto no puede obtenerse la función de la tobera convergente-divergente.

Un motor de combustión interna según la presente invención comprende una cámara de combustión que tiene un orificio de escape; una válvula de escape para abrir o cerrar el orificio de escape; y un dispositivo de escape que tiene un trayecto de escape para guiar el gas de escape descargado desde la cámara de combustión a través del orificio de escape. El dispositivo de escape comprende una sección convergente que tiene una menor área de sección transversal de trayecto de flujo en un extremo aguas abajo de la misma que en un extremo aguas arriba de la misma; una sección divergente prevista aguas abajo con respecto a la sección convergente y que tiene un área de sección transversal de trayecto de flujo mayor en un extremo aguas abajo de la misma que en un extremo aguas arriba de la misma; y una sección de ramificación para ramificar una onda de choque, que se propaga en una dirección aguas abajo en el trayecto de escape a una velocidad mayor que el gas de escape que fluye al interior del trayecto de escape desde la cámara de combustión cuando la válvula de escape está abierta, desde una parte del trayecto de escape que está aguas arriba con respecto a la sección divergente, y que propaga la onda de choque ramificada de vuelta al trayecto de escape. La sección divergente está conectada a la única cámara de combustión prevista aguas arriba con respecto a la sección divergente. El gas de escape que fluye al interior del trayecto de escape desde la cámara de combustión se hace pasar por la sección convergente y se hace colisionar contra la onda de choque que se ha propagado en la sección de ramificación, entre la sección de ramificación y la sección divergente, aumentando así la presión del gas de escape en la sección convergente. El gas de escape se hace pasar por la sección divergente para generar una nueva onda de choque, y se genera una presión negativa aguas arriba con respecto a la sección divergente en el trayecto de escape por la nueva onda de choque generada.

EFFECTO DE LA INVENCION

Según la presente invención, la sección divergente está conectada a una única cámara de combustión prevista aguas arriba con respecto a la misma, y también la sección de ramificación está prevista en una parte del trayecto de escape que está aguas arriba con respecto a la sección divergente. Como resultado, la onda de choque que se propaga en el tubo de escape a una mayor velocidad que el gas de escape que fluye desde la cámara de combustión al interior del trayecto de escape cuando se abre el orificio de escape, se ramifica desde la parte del trayecto de escape que está aguas arriba con respecto a la sección divergente, se propaga de vuelta al trayecto de escape después de retardarse en la sección de ramificación, y se hace colisionar contra el gas de escape que fluye con un retardo. Por tanto, aumenta la presión del gas de escape. Además, puesto que el gas de escape se hace pasar por la sección divergente, aumenta la presión del gas de escape. Puesto que el gas de escape se hace pasar por la sección divergente, se genera una nueva onda de choque que se propaga en una dirección aguas abajo. Puesto que se generan una presión positiva y una presión negativa de manera alterna en la parte del trayecto de escape que está aguas arriba con respecto a la sección divergente y también disminuye la presión aguas arriba con

respecto a la nueva onda de choque, se genera una gran presión negativa en la parte del trayecto de escape que está aguas arriba con respecto a la sección divergente. Esto puede mejorar los rendimientos del motor de combustión interna.

5 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 muestra una estructura de un dispositivo de escape de un motor de combustión interna según la realización 1, y es una vista en sección transversal de un trayecto de escape y similar del mismo.

La figura 2 muestra una estructura de una tobera convergente-divergente.

La figura 3 muestra la relación entre la razón de presión y el número Mach en la tobera convergente-divergente.

- 10 La figura 4 proporciona vistas en sección transversal del trayecto de escape y similar que muestran el estado de avance de una onda de choque y de gas de escape; (A) muestra un estado inicial de una carrera de escape, (B) muestra un estado en el que la onda de choque se propaga a una sección de ramificación, y (C) muestra un estado en el que la onda de choque reflejada por la sección de ramificación colisiona contra el gas de escape.

- 15 La figura 5 es una vista esquemática del trayecto de escape y similar, que muestra una ruta en el trayecto de escape en la que avanza la onda de choque y una ruta en el trayecto de escape en la que avanza el gas de escape.

La figura 6 es una vista esquemática dibujada basándose en una fotografía de un interior de la tobera convergente-divergente tomada por el método de Schlieren.

La figura 7 es un gráfico que muestra la relación entre la velocidad de gas de escape y la presión de gas de escape cuando se acelera la onda de choque.

- 20 La figura 8 es un gráfico que muestra la relación entre la velocidad de gas de escape y la temperatura de gas de escape cuando se acelera la onda de choque.

La figura 9 proporciona diagramas P-V que representan la pérdida de bombeo; (A) muestra un diagrama P-V de un motor de combustión interna convencional, y (B) muestra un diagrama P-V de un motor de combustión interna según la presente invención.

- 25 La figura 10 muestra una estructura de un motor de combustión interna según la realización 2, y es una vista en sección transversal de un trayecto de escape y similar del mismo.

La figura 11 muestra una estructura de un motor de combustión interna según la realización 3, y es una vista en sección transversal de un trayecto de escape y similar del mismo.

- 30 La figura 12 muestra una estructura de un motor de combustión interna según la realización 4, y es una vista en sección transversal de un trayecto de escape y similar del mismo.

La figura 13 muestra la relación entre la velocidad de gas de escape y la presión de gas de escape en secuencia de tiempo.

La figura 14 muestra la relación entre la presión de gas de escape y la temperatura de gas de escape en secuencia de tiempo.

- 35 La figura 15 muestra un ejemplo de una embarcación marítima que incluye un motor fueraborda que tiene un motor de combustión interna montado en la misma.

La figura 16 muestra un ejemplo de una motocicleta que tiene un motor de combustión interna montado en la misma.

MEJOR MODO PARA LLEVAR A CABO LA INVENCION

- 40 Como resultado de estudios activos, los presentes inventores pensaron en la idea de que puede generarse una gran presión negativa en el trayecto de escape aplicando el principio de la tobera convergente-divergente y usando el siguiente método no conocido convencionalmente. Los presentes inventores descubrieron que esto puede mejorar los rendimientos de un motor de combustión interna.

- 45 El método es tal como sigue. (1) Se ramifica una onda de choque que precede al gas de escape; (2) se retarda la onda de choque ramificada de manera que la onda de choque colisiona contra el gas de escape, aumentando de ese modo la presión del gas de escape; (3) se hace pasar el gas de escape que tiene la presión aumentada por la sección divergente para que se acelere a una velocidad ultrasónica, generando de ese modo una onda de choque; y

(4) se genera una presión negativa en una parte del trayecto de escape que está aguas arriba con respecto a la sección divergente.

<Realización 1>

5 A continuación en el presente documento se describirá en detalle un motor de combustión interna según una realización de la presente invención con referencia a los dibujos. En la siguiente descripción, los términos “aguas arriba” y “aguas abajo” respectivamente hacen referencia a aguas arriba y aguas abajo con respecto a la dirección en la que fluye un fluido tal como gas de escape o similar.

10 Tal como se muestra en la figura 1, un motor 1 de combustión interna incluye un cuerpo 3 de cilindro y una culata 4 de cilindro. En el cuerpo 3 de cilindro y la culata 4 de cilindro está formada una cámara 10 de combustión. El motor 1 de combustión interna es un motor de gasolina de cuatro tiempos. El motor 1 de combustión interna puede ser de un tipo refrigerado por aire o de un tipo refrigerado por agua. La culata 4 de cilindro tiene una sección 6 aguas abajo de un trayecto de admisión y una sección 7 aguas arriba de un trayecto 16 de escape formadas en la misma. La culata 4 de cilindro alberga una válvula 8 de admisión para abrir o cerrar un orificio 8a de admisión, una válvula 9 de escape para abrir o cerrar un orificio 9a de escape, un mecanismo de accionamiento de válvulas (no mostrado) para accionar la válvula 8 de admisión y la válvula 9 de escape, y similares. En esta realización, están previstas una sección 6 aguas abajo del trayecto de admisión y una sección 7 aguas arriba del trayecto de escape para una cámara 10 de combustión. Alternativamente, pueden preverse una pluralidad de orificios 8a de admisión, una pluralidad de orificios 9a de escape, una pluralidad de válvulas 8 de admisión, una pluralidad de válvulas 9 de escape, una pluralidad de secciones 6 aguas abajo del trayecto de admisión y una pluralidad de secciones 7 aguas arriba del trayecto de escape para una cámara de combustión. Un inyector 2 para inyectar combustible se une a la culata 4 de cilindro. Aunque no se muestre, el cilindro 4 también está dotado de una bujía de encendido.

Aunque no se muestre, una válvula reguladora está ubicada dentro del trayecto de admisión. La válvula reguladora puede operarse de manera manual o puede controlarse de manera electrónica.

25 Un dispositivo 5 de escape incluye un primer tubo 12 de escape, un segundo tubo 13 de escape, un tercer tubo 14 de escape y una cámara 15 de escape, que están conectados de manera secuencial en este orden desde una posición aguas arriba hacia una posición aguas abajo. El dispositivo 5 de escape tiene el trayecto 16 de escape formado en el mismo. El primer tubo 12 de escape está unido a la culata 4 de cilindro a través de un perno 11 de unión. El segundo tubo 13 de escape está conectado a un extremo aguas abajo del primer tubo 12 de escape. El tercer tubo 14 de escape está conectado a un extremo aguas abajo del segundo tubo 13 de escape. El tercer tubo 14 de escape y la cámara 15 de escape están formados de manera solidaria.

Dentro del dispositivo 5 de escape, están previstos un primer catalizador 17 y un segundo catalizador 18. El segundo catalizador 18 está ubicado aguas abajo con respecto al primer catalizador 17. El primer catalizador 17 y el segundo catalizador 18 tienen un espacio entre los mismos.

35 Un silenciador (no mostrado) está conectado a un extremo aguas abajo de la cámara 15 de escape. El gas de escape que fluye al interior dentro de la cámara 15 de escape pasa por el silenciador y luego se descarga al exterior. La cámara 15 de escape está dotada de un sensor 19 de concentración de oxígeno para detectar una cantidad de oxígeno en el gas de escape.

40 Una ECU 20, que es un dispositivo de control, controla la cantidad de combustible que va a inyectarse desde el inyector 2, el tiempo para provocar que la bujía de encendido se encienda o similares, basándose en la velocidad de rotación del motor 1 de combustión interna, el ángulo de apertura de la válvula reguladora, la cantidad de oxígeno en el gas de escape detectada por el sensor 19 de concentración de oxígeno o similares. En esta realización, la ECU 20 controla la cantidad de combustible que va a inyectarse desde el inyector 2 de manera que, por ejemplo, la razón aire/combustible del gas mezclado que va a absorberse en el motor 1 de combustión interna sea la razón aire/combustible teórica.

45 El dispositivo 5 de escape incluye un tubo 22 de ramificación. El tubo 22 de ramificación tiene una sección 21 de ramificación formada en el mismo. Un extremo del tubo 22 de ramificación está conectado al trayecto 16 de escape, y el otro extremo del tubo 22 de ramificación está cerrado. El extremo cerrado del tubo 22 de ramificación actúa como sección de reflexión para reflejar una onda de choque descrita más adelante. En esta realización, el tubo 22 de ramificación está formado de manera solidaria con el primer tubo 12 de escape. Alternativamente, el tubo 22 de ramificación puede formarse por separado de, y fijarse a, el primer tubo 12 de escape. Por ejemplo, el primer tubo 12 de escape y el tubo 22 de ramificación pueden soldarse entre sí o fijarse entre sí a través de un elemento de apriete (no mostrado) tal como un perno o similar. La sección 21 de ramificación está formada para tener una mayor área de sección transversal de trayecto de flujo en el extremo cerrado que en el extremo de la misma conectado al trayecto 16 de escape, pero la forma de la sección 21 de ramificación no está limitada a la mostrada en la figura 1. Por ejemplo, la sección 21 de ramificación puede tener forma de cámara tal como se muestra en la figura 1, puede tener

forma de tubo que tiene un área de sección transversal de trayecto de flujo constante y que tiene una punta cerrada, o puede tener una forma que tiene una menor área de sección transversal de trayecto de flujo en el extremo cerrado que en el extremo conectado al trayecto de escape. Una entrada de la sección 21 de ramificación (es decir, la parte conectada al trayecto 16 de escape) está dimensionada de modo que permita que la onda de choque que se propaga en el trayecto 16 de escape se ramifique a, y se propague en, la sección 21 de ramificación tal como se describirá más adelante.

Aguas abajo con respecto a la sección 21 de ramificación, está prevista una tobera 31 convergente-divergente (denominada generalmente "tobera de Laval"). Tal como se muestra en la figura 2, la tobera 31 convergente-divergente tiene una sección 32 convergente que tiene un área de sección transversal de trayecto de flujo que disminuye a medida que avanza el fluido, una sección 33 divergente prevista aguas abajo con respecto a la sección 32 convergente y que tiene un área de sección transversal de trayecto de flujo que aumenta a medida que avanza el fluido, y una sección 34 de garganta prevista entre la sección 32 convergente y la sección 33 divergente y que tiene la menor área de sección transversal de trayecto de flujo. En la figura 2, la flecha indica la dirección en la que avanza el fluido. La tobera 31 convergente-divergente acelera la velocidad del gas de escape que fluye en el trayecto 16 de escape desde una velocidad subsónica a una velocidad ultrasónica. Haciendo referencia a la figura 2, el área A1 de sección transversal de trayecto de flujo en un extremo aguas arriba de la sección 32 convergente, el área A2 de sección transversal de trayecto de flujo de la sección 34 de garganta, y el área A3 de sección transversal de trayecto de flujo en un extremo aguas abajo de la sección 33 divergente tienen las relaciones de $A1 > A2$ y $A2 < A3$. En esta realización, las áreas de sección transversal de trayecto de flujo de la sección 32 convergente y la sección 33 divergente cambian cada una a un ritmo constante en la dirección de flujo. No hay limitación específica acerca de la forma de la sección 32 convergente y la sección 33 divergente. La sección 32 convergente y la sección 33 divergente pueden formarse para tener una forma que tiene un área de sección transversal de trayecto de flujo que cambia paso a paso como una tobera empleada en cohetes, o pueden formarse para tener una forma curvada suavemente.

En esta realización, la sección 33 divergente está conectada a la única cámara 10 de combustión prevista aguas arriba con respecto a la sección 33 divergente a través del trayecto 16 de escape. Por tanto, el gas 36 de escape descargado desde el orificio 9a de escape formado en la única cámara 10 de combustión fluye al interior de la sección 33 divergente.

La tobera 31 convergente-divergente está formada para cumplir con las condiciones representadas mediante las expresiones (1) y (2) a continuación. Como resultado de que la velocidad del gas de escape que fluye al interior de la sección 34 de garganta alcanza Mach 1 (es decir, la velocidad del sonido), el gas de escape en la sección 33 divergente puede acelerarse a una velocidad ultrasónica.

[Expresión 1]

$$\frac{dM}{dx} = \frac{\Lambda}{1 - M^2} \quad \text{-----} \quad (1)$$

[Expresión 2]

$$\Lambda \equiv M \left[1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \right] \left[\frac{\gamma M^2}{2} \left(\frac{4f}{D} \right) - \frac{1}{A} \frac{dA}{dx} \right] \quad \text{-----} \quad (2)$$

Entre estas expresiones, la expresión (1) representa la relación entre la forma del tubo de escape y el número Mach en un flujo primario que va acompañado de fricción viscosa. La expresión (2) representa Λ en la expresión (1). En estas expresiones, M representa el número Mach, A representa el área de sección transversal del tubo de escape en una sección transversal arbitraria, D representa el diámetro del tubo en la sección transversal arbitraria, γ representa la razón de calor específica, x representa la distancia en la dirección de flujo, y f representa el coeficiente de fricción.

Con la tobera 31 convergente-divergente que tiene la estructura descrita anteriormente, cuando la razón de presión de la presión total P0 del fluido en la sección 32 convergente y la presión estática P del fluido en la sección 33 divergente, es decir, P/P0, es menor que la razón de presión crítica (= 0,528; punto C en la figura 3), la velocidad del fluido es la velocidad del sonido en la sección de garganta y es una velocidad ultrasónica en la sección 33 divergente. La figura 3 muestra la razón de presión de la presión total P0 del fluido en la sección 32 convergente y la presión estática P del fluido en la sección 33 divergente, es decir, P/P0, y la velocidad del fluido que pasa por la sección 33 divergente a cada razón de presión. Cuando la presión total P0 en la sección 32 convergente aumenta con el fin de hacer P/P0 menor que la razón de presión crítica, la velocidad puede ser una velocidad ultrasónica en la tobera 31 convergente-divergente.

5 Cuando la velocidad se vuelve una velocidad ultrasónica en la tobera 31 convergente-divergente, se generan una onda de choque que se propaga en una dirección aguas abajo en la sección 33 divergente y una onda de expansión que se propaga en una dirección aguas arriba en la sección 33 divergente. Por tanto, el fluido en un espacio entre la onda de choque que avanza en la dirección aguas abajo en el trayecto 16 de escape y la onda de expansión que avanza en la dirección aguas arriba en el trayecto 16 de escape se expande rápidamente, y así puede disminuir la presión del gas de escape que fluye en el trayecto 16 de escape. Como resultado, la temperatura del gas de escape puede disminuir rápidamente mediante un efecto de enfriamiento adiabático provocado por una expansión adiabática. Como resultado de estudios activos, los presentes inventores han logrado tal estado combinando la tobera 31 convergente-divergente y la sección 21 de ramificación.

10 Ahora, con referencia a las figuras 4 (A) a 4 (C), se describirá un método para poner el gas de escape en un estado de baja presión y baja temperatura. Las figuras 4 (A) a 4 (C) muestran esquemáticamente el dispositivo 5 de escape. En las figuras 4 (A) a 4 (C), elementos idénticos o equivalentes a los de la figura 1 o la figura 2 tienen asignados números de referencia idénticos a los mismos.

15 Tal como se muestra en la figura 4 (A), cuando se abre el orificio 9a de escape en una carrera de escape del motor 1 de combustión interna, el gas 36 de escape a alta presión se inyecta desde la cámara 10 de combustión al interior de la sección 7 aguas arriba del trayecto 16 de escape a través del orificio 9a de escape. En el momento en el que el orificio 9a de escape comienza a abrirse, la diferencia de presión entre la cámara 10 de combustión y la sección 7 aguas arriba del trayecto 16 de escape es grande. Por tanto, la velocidad del gas 36 de escape se vuelve la velocidad del sonido y por tanto se genera una onda 35 de choque en la sección 7 aguas arriba del trayecto 16 de escape. A medida que aumenta el ángulo de apertura del orificio de escape 9s, la cantidad del gas 36 de escape que fluye al interior del trayecto 16 de escape aumenta pero la velocidad del gas 36 de escape disminuye. La velocidad del gas 36 de escape también disminuye a medida que el gas 36 de escape avanza en el trayecto 16 de escape. Tal como se muestra en la figura 4(A), la onda 35 de choque se propaga en la dirección aguas abajo en el trayecto 16 de escape. Mientras tanto, el gas 36 de escape avanza en la dirección aguas abajo en el trayecto 16 de escape con un retardo con respecto a, y a una menor velocidad que, la onda 35 de choque.

20 Tal como se muestra en la figura 4(B), la onda 35 de choque que avanza en el trayecto 16 de escape se separa en una onda de choque que se propaga en el trayecto 16 de escape y una onda de choque que se propaga en la sección 21 de ramificación en una entrada 21a de la sección 21 de ramificación, y luego estas ondas de choque avanzan por separado en el trayecto 16 de escape y la sección 21 de ramificación. La onda 35 de choque que se propaga en el trayecto 16 de escape se atenúa y desaparece después de pasar por la tobera 31 convergente-divergente. En cambio, la onda 35 de choque ramificada que se propaga en la sección 21 de ramificación se refleja por la sección 21b de reflexión de la sección 21 de ramificación y se propaga en sentido opuesto en la sección 21 de ramificación para volver al trayecto 16 de escape.

25 El tiempo desde que se abre el orificio 9a de escape y se genera el gas 36 de escape hasta que el gas 36 de escape alcanza la entrada 21a de la sección 21 de ramificación se establece como T_1 . El tiempo desde que se genera la onda 35 de choque en el orificio 9a de escape hasta que la onda 35 de choque se refleja por la sección 9b de reflexión de la sección 21b de ramificación y alcanza la entrada 21a de la sección 21 de ramificación se establece como T_2 . Cuando se cumple $T_1 \leq T_2$, tal como se muestra en la figura 4(C), la onda 35 de choque y el gas 36 de escape colisionan entre sí en una posición aguas abajo con respecto a la entrada 21a de la sección 21 de ramificación. La sección 21 de ramificación tiene una longitud tal que la onda 35 de choque reflejada por la sección 21 de ramificación y el gas 36 de escape colisionan entre sí en la entrada 21a de la sección 21 de ramificación.

30 Tal como se muestra en la figura 5, la distancia desde el centro 9ac del orificio 9a de escape hasta la línea central X de la sección transversal de trayecto de flujo en la entrada 21a de la sección 21 de ramificación se establece como L_e , y la distancia desde la línea central Y de la sección transversal de trayecto de flujo del trayecto 16 de escape hasta la sección 21b de reflexión se establece como L_s . La velocidad del gas 36 de escape se establece como V_e , y la velocidad de propagación de la onda 35 de choque se establece como V_s . En este caso, el tiempo T_1 , que es desde que se abre el orificio 9a de escape hasta que el gas 36 de escape alcanza la entrada 21a de la sección 21 de ramificación, se representa por la expresión (3). El tiempo T_2 , que es desde que se abre el orificio 9a de escape hasta que la onda de choque se refleja por la sección 21b de reflexión de la sección 21 de ramificación y alcanza la línea central Y del trayecto 16 de escape, se representa por la expresión (4).

$$T_1 = L_e/V_e \dots (3)$$

$$T_2 = (L_e + 2L_s)/V_s \dots (4)$$

5 Cuando T_1 es igual a o menor que T_2 ($T_1 \leq T_2$), la onda 35 de choque reflejada y el gas 36 de escape colisionan entre sí en una posición aguas abajo con respecto a la entrada 21a de la sección 21 de ramificación. Específicamente, cuando $Le/V_e \leq (Le + 2L_s)/V_s$, la onda 35 de choque y el gas 36 de escape colisionan entre sí en una posición aguas abajo con respecto a la entrada 21a de la sección 21 de ramificación. Por motivos de conveniencia, por ejemplo, la velocidad máxima del gas 36 de escape puede considerarse como la velocidad V_e , o la velocidad promedio del gas 36 de escape puede considerarse como velocidad la V_e . De manera similar, por ejemplo, la velocidad de propagación máxima de la onda 35 de choque puede considerarse como la velocidad de propagación V_s , o la velocidad de propagación promedio de la onda 35 de choque puede considerarse como la velocidad de propagación V_s .

10 Tal como se muestra en la figura 5, la distancia desde la línea central X de la sección transversal de trayecto de flujo en la entrada 21a de la sección 21 de ramificación hasta un extremo aguas arriba de la sección 33 divergente de la tobera 31 convergente-divergente se establece como L_d , y el tiempo desde que se abre la válvula 9 de escape hasta que se cierra la válvula 9 de escape se establece como t_v . El tiempo T_3 , que es desde que se abre el orificio 9a de escape hasta que un extremo posterior del gas 36 de escape alcanza el extremo aguas arriba de la sección 33 divergente, se representa por la expresión (5). El tiempo T_4 , que es desde que se abre el orificio 9a de escape hasta que la onda de choque se refleja por la sección 21b de reflexión y alcanza el extremo aguas arriba de la sección 33 divergente, se representa por la expresión (6).

$$T_3 = t_v + (Le + L_d) / V_e \dots (5)$$

$$T_4 = (Le + 2L_s + L_d) / V_s \dots (6)$$

20 Cuando T_4 es igual a o menor que T_3 ($T_4 \leq T_3$), la onda 35 de choque y el gas 36 de escape pueden hacerse colisionar entre sí antes de que la totalidad del gas 36 de escape pase por la sección 34 de garganta. Específicamente, cuando $(Le + 2L_s + L_d) / V_s \leq t_v + (Le + L_d) / V_e$, la onda 35 de choque y el gas 36 de escape pueden hacerse colisionar entre sí antes de que la totalidad del gas 36 de escape pase por la sección 34 de garganta.

25 En el caso en el que la distancia L_s entre la entrada 21a de la sección 21 de ramificación y la sección 21b de reflexión es relativamente corta, se suprime la atenuación de la onda 35 de choque en la sección 21 de ramificación. Por ejemplo, la distancia L_s puede ser más corta que la distancia L_e .

30 Haciendo colisionar la onda 35 de choque y el gas 36 de escape entre sí en una posición aguas abajo con respecto a la entrada 21a y aguas arriba con respecto a la sección 33 divergente, puede aumentarse la presión del escape 36 que fluye en el trayecto de escape. Cuando esto se produce, aumenta la presión total P_0 aguas arriba con respecto a una entrada de la tobera 31 convergente-divergente. Por tanto, la razón de la presión total P_0 aguas arriba con respecto a la entrada y la presión estática P aguas abajo con respecto a la sección 34 de garganta, es decir, P/P_0 , se vuelve menor que la razón de presión crítica de 0,528. Como resultado, la velocidad del gas 36 de escape alcanza la velocidad del sonido en la sección 34 de garganta.

35 La figura 6 es una vista esquemática dibujada basándose en una fotografía de un interior de la tobera convergente-divergente tomada por el método de Schlieren. Como resultado de que la velocidad del gas 36 de escape alcanza la velocidad del sonido, se genera una nueva onda de choque en la tobera 31 convergente-divergente. La nueva onda 35b de choque se acelera cuando pasa por la sección 33 divergente de la tobera 31 convergente-divergente. Tal como se muestra en la figura 6, cuando se genera la onda 35b de choque, se genera una onda 35c de expansión que avanza en sentido opuesto a la onda 35b de choque. Como resultado de que la onda 35b de choque se acelera en la sección 33 divergente y porque la onda 35c de expansión avanza en sentido opuesto a la onda 35b de choque, la presión del gas 36 de escape presente entre la onda 35b de choque y la onda 35c de expansión disminuye significativamente para que sea igual a o menor que la presión atmosférica por un efecto de enfriamiento adiabático provocado por una expansión adiabática.

45 La figura 7 y la figura 8 muestran los resultados de simulaciones realizadas por los presentes inventores. La figura 7 muestra la velocidad de gas de escape y la presión de gas de escape en puntos en el trayecto 16 de escape inmediatamente después de que se genere la nueva onda 35b de choque en la tobera 31 convergente-divergente. La figura 8 muestra la velocidad de gas de escape y la temperatura de gas de escape en los puntos en el trayecto 16 de escape inmediatamente después de que se genere la nueva onda 35b de choque en la tobera 31 convergente-divergente. Después de que se genere la onda 35b de choque en la tobera 31 convergente-divergente, la onda 35b de choque se acelera en la sección 33 divergente. Cuando esto se produce, tal como se muestra en la figura 7 y la figura 8, la velocidad del gas de escape aumenta rápidamente, mientras que la presión y la temperatura del gas de

escape disminuyen rápidamente. La figura 7 y la figura 8 muestran la velocidad del gas de escape y no muestran la velocidad de propagación de la onda de choque. En la figura 7 y la figura 8, la sección 34 de garganta de la tobera 31 convergente-divergente se establece como relativamente larga. Después de que la onda 35 de choque reflejada por la sección 21 de ramificación colisione contra el gas 36 de escape, la onda 35 de choque se propaga en la sección 34 de garganta precediendo al gas 36 de escape. En este punto, se genera una expansión adiabática en el espacio entre el gas 36 de escape y la onda 35a de choque y por tanto disminuye la presión. Por tanto, se aspira el gas 36 de escape por la onda 35 de choque para que fluya en la sección 34 de garganta, sin disminuir su velocidad. Por tanto, estableciendo la longitud de la sección 34 de garganta con un área de sección transversal de trayecto de flujo constante según el motor de combustión interna, el momento en el que la onda 35b de choque debe acelerarse en la sección 33 divergente, en otras palabras, el momento en el que la presión y la temperatura del gas de escape debe disminuir, puede establecerse según el motor de combustión interna.

Tal como se describió anteriormente, el motor 1 de combustión interna según esta realización puede disminuir significativamente la temperatura y presión del gas de escape en el trayecto 16 de escape en comparación con la técnica convencional. El motor 1 de combustión interna según esta realización tiene sólo una cámara 10 de combustión aguas arriba con respecto a la sección 33 divergente, y por tanto no se ve afectado por el gas de escape desde los otros cilindros a diferencia de la técnica convencional. Disminuyendo la temperatura y la presión del gas de escape de esta manera, pueden mejorarse los rendimientos del motor 1 de combustión interna, por ejemplo, tal como se describe a continuación.

En esta realización, la temperatura del gas 36 de escape en el trayecto 16 de escape puede disminuir aguas arriba con respecto al primer catalizador 17. Por tanto, se impide que la temperatura del primer catalizador 17 y el segundo catalizador 18 aumenten excesivamente. En el caso en el que el primer catalizador 17 y el segundo catalizador 18 son un catalizador de tres vías, cuando la temperatura es excesivamente alta, se produce el fenómeno denominado "sinterización" lo que reduce la eficacia de limpieza. Sin embargo, en esta realización, tal sinterización puede impedirse de manera eficaz. Puesto que se impide la sinterización en esta realización incluso cuando el motor de combustión interna se acciona en un estado de carga alta, el combustible puede quemarse a la razón aire/combustible teórica. Por tanto, el gas 36 de escape puede limpiarse de manera eficaz por el primer catalizador 17 y el segundo catalizador 18. En otras palabras, en esta realización, puede mejorarse el rendimiento de limpieza, que es un rendimiento del motor 1 de combustión interna. En esta realización, dos catalizadores están ubicados en serie en la mitad del trayecto 16 de escape, pero la presente invención no se limita a esto. Puede haber sólo un catalizador, o tres o más catalizadores. Una pluralidad de catalizadores pueden estar ubicados en paralelo.

Mediante la reducción significativa de la presión del gas de escape como en esta realización, puede reducirse la pérdida de bombeo del motor 1 de combustión interna. La presión del gas de escape en el trayecto 16 de escape se reduce significativamente. Como resultado, se tira del pistón (no mostrado) del motor 1 de combustión interna hacia el trayecto 16 de escape, concretamente, hacia el centro muerto superior, en la carrera de escape, y por tanto se reduce el trabajo necesario para accionar el pistón en la carrera de escape.

Esto se describirá en más detalle con referencia a la figura 9. La figura 9(A) muestra un diagrama P-V de un motor de combustión interna convencional, y la figura 9 (B) muestra un diagrama P-V del motor 1 de combustión interna en esta realización. En esta realización, tal como se muestra en la figura 9(B), una zona rodeada por la curva cerrada aparece en las proximidades del centro muerto superior de la carrera de escape del motor de combustión interna (en la zona rodeada por la línea de rayas y puntos). La zona rodeada por la curva cerrada corresponde al trabajo efectuado por el motor 1 de combustión interna. Concretamente, cuando la presión del gas de escape se reduce significativamente por la generación de la onda 35b de choque en la sección 33 divergente, se tira del pistón por el gas de escape, lo que permite que el motor 1 de combustión interna realice un trabajo positivo en la carrera de escape.

<Realización 2>

Según la presente invención, puesto que se disminuye la presión del gas de escape en el trayecto 16 de escape, se suministra fácilmente aire secundario al trayecto 16 de escape. Por tanto, tal como se muestra en la figura 10, puede preverse en el trayecto 16 de escape un trayecto 71 de aire para suministrar aire secundario. Excepto por esta diferencia estructural, la realización 2 es exactamente la misma que la realización 1. Por consiguiente, la descripción detallada de la realización 2 se proporciona por la descripción detallada de la figura 1 a la figura 9 con respecto a la realización 1.

Un tubo 72 de suministro de aire está conectado entre el tubo 22 de ramificación y la tobera 31 convergente-divergente en el primer tubo 12 de escape. Un extremo delantero del tubo 72 de suministro de aire se extiende hasta el interior del trayecto 16 de escape. Una salida 73 de aire está formada para que tenga forma de ranura en el extremo delantero del tubo 72 de suministro de aire. Debido a esta estructura, el tubo 72 de suministro de aire puede suministrar aire a una zona amplia del trayecto 16 de escape.

Un extremo aguas arriba del tubo 72 de suministro de aire está conectado fuera del motor de combustión interna a través de una válvula 74 de avance y una válvula 75 de control de cantidad de aire. La válvula 74 de avance impide que el gas de escape fluya fuera del motor de combustión interna desde el tubo 72 de suministro de aire. La válvula 74 de avance está estructurada para que se abra mediante una presión negativa generada al interior del trayecto 16 de escape para provocar que el aire fluya hacia la salida 73 de aire del tubo 72 de suministro de aire. La válvula 75 de control de cantidad de aire está prevista para adaptar la cantidad de aire al estado de accionamiento del motor 1 de combustión interna. La válvula 75 de control de cantidad de aire incluye un actuador, un servomotor, un solenoide o similares. El ángulo de apertura de la válvula 75 de control de cantidad de aire se controla mediante la ECU 20. El tubo 72 de suministro de aire puede conectarse al trayecto de admisión del motor 1 de combustión interna.

5
10
15
Cuando el ángulo de apertura de la válvula reguladora es menor que un ángulo establecido, la ECU 20 hace que la válvula 75 de control de cantidad de aire se cierre o disminuya relativamente el ángulo de apertura de la válvula reguladora. El ángulo establecido está ajustado previamente y almacenado en la ECU 20. Cuando el ángulo de apertura de la válvula reguladora es mayor que el ángulo establecido, la ECU 20 aumenta el ángulo de apertura de la válvula 75 de control de cantidad de aire. Como se observa a partir de esto, el ángulo de apertura de la válvula 75 de control de cantidad de aire aumenta o disminuye según el ángulo de apertura de la válvula reguladora. La disposición de la válvula 75 de control de cantidad de aire permite suministrar el aire al trayecto 16 de escape a un caudal apropiado ni excesivo ni deficiente. La válvula 75 de control de cantidad de aire no es absolutamente necesaria y puede omitirse.

20
25
30
En esta realización, el aire puede suministrarse de manera eficaz al interior del trayecto 16 de escape mediante una presión negativa generada en el trayecto 16 de escape. La presión negativa es significativamente mayor que, concretamente, la presión es significativamente menor que, la de un motor de combustión interna general que no incluye la tobera 31 convergente-divergente o el tubo 22 de ramificación. El fenómeno de que se genera una presión negativa mediante la acción de la tobera 31 convergente-divergente continúa incluso cuando la velocidad de rotación del motor 1 de combustión interna aumenta para ser mayor que la velocidad de rotación en el momento de la salida de potencia máxima. Por tanto, en esta realización, incluso cuando la velocidad de rotación del motor 1 de combustión interna se vuelve alta, puede suministrarse una cantidad suficiente de aire al trayecto 16 de escape. En un motor de combustión interna convencional, no se genera presión negativa en el trayecto de escape en un estado de alta velocidad de rotación o de carga alta, y por tanto se usa una bomba grande para suministrar de manera forzada el aire. En cambio, en esta realización, puede suministrarse una cantidad suficiente de aire al trayecto 16 de escape sin usar un dispositivo separado para suministrar de manera forzada el aire al interior del trayecto 16 de escape, tal como una bomba de aire o similar.

35
40
45
La temperatura del aire que va a suministrarse al trayecto 16 de escape es aproximadamente igual a la temperatura del aire externo, y es significativamente menor que la del gas de escape. Por tanto, en esta realización, la temperatura del gas de escape puede disminuir adicionalmente porque el aire tiene una baja temperatura, que se suministra al interior del trayecto 16 de escape en una gran cantidad. También en esta realización puede suministrarse una gran cantidad de aire aguas arriba con respecto al primer catalizador 17. Por tanto, incluso cuando la cantidad de combustible que va a inyectarse se aumenta con el fin de hacer que la razón aire/combustible del motor 1 de combustión interna sea menor que la razón aire/combustible teórica, puede suministrarse al primer catalizador 17 gas de escape que contiene una cantidad de oxígeno equivalente a cuando la razón aire/combustible es la razón aire/combustible teórica. Por tanto, en esta realización, la temperatura del gas de escape también puede disminuirse haciendo que la razón aire/combustible del motor 1 de combustión interna sea menor que la razón aire/combustible teórica y por tanto disminuyendo la temperatura de combustión. Además, puesto que la razón aire/combustible es menor que la razón aire/combustible teórica, es posible enfriar los elementos en las proximidades de la cámara 10 de combustión (válvula 8 de admisión, válvula 9 de escape, asiento de válvula, pistón, etc.) con el combustible extra. Por tanto, puede mejorarse la fiabilidad del motor 1 de combustión interna.

<Realización 3>

50
55
En la realización 3, el tubo 22 de ramificación se usa como parte de un tubo de suministro de aire secundario. Tal como se muestra en la figura 11, la válvula 74 de avance conectada al tubo 72 de suministro de aire se une al tubo 22 de ramificación. Excepto por esta diferencia estructural, la realización 3 es exactamente la misma que la realización 1. Por consiguiente, la descripción detallada de la realización 3 se proporciona por la descripción detallada de la figura 1 a la figura 9 con respecto a la realización 1. La válvula 74 de avance actúa como sección 21b de reflexión del tubo 22 de ramificación. En esta realización, un trayecto 71 de suministro de aire se comunica con el trayecto 16 de escape a través de la sección 21 de ramificación. El tubo 72 de suministro de aire puede insertarse entre una parte de conexión del trayecto 16 de escape y el tubo 22 de ramificación y una parte de punta del tubo 22 de ramificación.

En el dispositivo 5 de escape en esta realización, cuando se abre la válvula 9 de escape, se cierra la válvula 74 de avance. Por tanto, la onda de choque puede reflejarse por la válvula 74 de avance. Cuando se genera una presión negativa en el trayecto 16 de escape mediante la acción de la tobera 31 convergente-divergente, la válvula 74 de

avance se abre y puede suministrarse aire al trayecto 16 de escape a través de la sección 21 de ramificación. En esta realización también puede suministrarse una cantidad suficiente de aire al interior del trayecto 16 de escape.

En esta realización, no es necesario formar un trayecto que actúe exclusivamente como sección 21 de ramificación. Por tanto, el dispositivo 5 de escape en esta realización cuesta menos que el dispositivo 5 de escape que usa la sección 21 de ramificación exclusiva (por ejemplo, el dispositivo 5 de escape en la realización 2).

5

<Realización 4>

Tal como se muestra en la figura 12, en la realización 4, el tubo 22 de ramificación se usa como parte de la tobera convergente-divergente. Excepto por esta diferencia estructural, la realización 4 es exactamente la misma que la realización 1. Por consiguiente, la descripción detallada de la realización 4 se proporciona por la descripción detallada de la figura 1 a la figura 9 con respecto a la realización 1. En las realizaciones 1 y 2, la sección 32 convergente, la sección 34 de garganta y la sección 33 divergente se forman en una parte del trayecto 16 de escape que está aguas abajo con respecto a la sección 21 de ramificación. Sin embargo, como resultado de continuar los estudios activos, los presentes inventores pensaron en una estructura que proporciona el mismo efecto con una estructura más sencilla. En esta realización, con el fin de generar la onda 35b de choque que avanza, que es una nueva onda de choque, está prevista una sección 21 de ramificación para reflejar y propagar la onda 35 de choque de vuelta al trayecto 16 de escape. Considerando esta sección 21 de ramificación desde un punto de vista diferente, el trayecto 16 de escape tiene el área de sección transversal de trayecto de flujo del mismo aumentada en la posición de la sección 21 de ramificación y disminuida aguas abajo con respecto a esa posición. En otras palabras, la sección 32 convergente y la sección 34 de garganta están formadas en el trayecto de escape por la sección 21 de ramificación. En el caso en el que el área A5 de sección transversal de trayecto de flujo de una parte del trayecto 16 de escape que está aguas arriba con respecto a la entrada 21a de la sección 21 de ramificación es aproximadamente la misma que el área A7 de sección transversal de trayecto de flujo de una parte del trayecto 16 de escape que está aguas abajo con respecto a la entrada 21a de la sección 21 de ramificación, existe la siguiente relación. Tal como se muestra en la figura 12, una suma del área A5 de sección transversal de trayecto de flujo de la parte del trayecto 16 de escape que está aguas arriba con respecto a la entrada 21a de la sección 21 de ramificación y el área A4 de sección transversal de trayecto de flujo de la sección 21 de ramificación es mayor que el área A7 de sección transversal de trayecto de flujo de la parte del trayecto 16 de escape que está aguas abajo con respecto a la entrada 21a. Específicamente, $A4+A5 > A7$. Por consiguiente, puede considerarse que la sección 32 convergente y la sección 34 de garganta están formadas aguas abajo con respecto a la entrada 21a. Por tanto, previendo meramente la sección 33 divergente aguas abajo con respecto a la entrada 21a, la tobera 31 convergente-divergente puede formarse sustancialmente. A6 representa el área de sección transversal de trayecto de flujo de la sección 33 divergente, y $A7 < A6$. Una parte entre la entrada 21a y la sección 33 divergente es la sección 34 de garganta. La sección 34 de garganta puede ser larga a lo largo de la dirección de flujo tal como se muestra en este caso. El área de sección transversal de trayecto de flujo de la sección 32 convergente y la sección 33 divergente no está limitada a cambiar suavemente en la dirección aguas abajo, y puede cambiar paso a paso.

10

15

20

25

30

35

En las realizaciones 1 a 4, el motor 1 de combustión interna pone el gas de escape en un estado de baja presión y baja temperatura mediante el siguiente método. El combustible se quema en la cámara 10 de combustión. La válvula 9 de escape para abrir o cerrar el orificio 9a de escape de la cámara 10 de combustión se abre para descargar el gas 36 de escape al trayecto 16 de escape desde la cámara 10 de combustión. Se genera la onda 35 de choque que se propaga en el trayecto 16 de escape a una velocidad mayor que el gas 36 de escape. Al menos una parte de la onda 35 de choque se ramifica desde el trayecto 16 de escape, y la onda 35 de choque ramificada se propaga de vuelta al trayecto 16 de escape para hacer que la onda 35 de choque colisione contra el gas de escape, aumentando de ese modo la presión del gas de escape. El área de sección transversal de trayecto de flujo del trayecto 16 de escape disminuye para aumentar la presión del gas 36 de escape. Concretamente, la presión del gas de escape se aumenta haciendo que el gas de escape fluya en una parte del trayecto 16 de escape en la que el área de sección transversal de trayecto de flujo disminuye en la dirección aguas abajo. Además, la velocidad del gas 36 de escape se aumenta aumentando el área de sección transversal de trayecto de flujo del trayecto 16 de escape. Concretamente, la velocidad del gas de escape se aumenta haciendo que el gas de escape fluya en una parte del trayecto 16 de escape en la que aumenta el área de sección transversal de trayecto de flujo en la dirección aguas abajo. La nueva onda 35b de choque que se propaga en la dirección aguas abajo en el trayecto 16 de escape se genera para formar una zona de una presión negativa en el trayecto 16 de escape. El gas de escape se pone en un estado de baja presión y baja temperatura mediante un efecto de enfriamiento adiabático provocado por una expansión adiabática. Por tanto, el gas de escape puede ponerse en un estado de presión baja y temperatura baja incluso cuando el motor 1 de combustión interna se acciona en un estado de carga alta o a una velocidad alta.

40

45

50

55

Con referencia a la figura 13 y la figura 14 se describirá en más detalle el método de escape descrito anteriormente para el motor de combustión interna. La figura 13 muestra la relación entre la velocidad de gas de escape y la presión de gas de escape en el trayecto 16 de escape en secuencia de tiempo. La figura 14 muestra la relación entre la presión de gas de escape y la temperatura de gas de escape en el trayecto 16 de escape en secuencia de tiempo. Las formas de onda mostradas en la figura 7 representan la colisión entre la velocidad de gas de escape y

la presión de gas de escape cuando la onda de choque está acelerándose tal como se muestra en la figura 13(C). La figura 13 (A) y la figura 14 (A) muestran la respectiva relación inmediatamente después de que se abra el orificio de escape. La figura 13(B) y la figura 14(B) muestran la respectiva relación inmediatamente después de que el gas de escape y la onda de choque colisionen entre sí aguas abajo con respecto a la sección 21 de ramificación. La figura 13(C) y la figura 14(C) muestran la respectiva relación cuando la onda de choque está acelerándose en la sección 33 divergente. La figura 13(D) y la figura 14 (D) muestran la respectiva relación después de que se haya acelerado la onda de choque.

El método de escape para el motor de combustión interna en esta realización es tal como sigue.

1) El combustible se quema en la cámara 10 de combustión. Al abrir el orificio 9a de escape en la cámara 10 de combustión, el gas de escape fluye al interior del trayecto 16 de escape desde la cámara 10 de combustión, y se genera también la onda de choque que se propaga en el trayecto 16 de escape a una velocidad mayor que el gas de escape. La figura 13 (A) muestra la velocidad de gas de escape y la presión de gas de escape inmediatamente después de que se abra el orificio 9a de escape. Tal como se muestra en la figura 13 (A), cuando se abre el orificio 9a de escape, la presión del gas de escape en las proximidades del orificio 9a de escape se vuelve mayor que la presión atmosférica. La figura 14(A) muestra la presión de gas de escape y la temperatura de gas de escape inmediatamente después de que se abra el orificio 9a de escape. Tal como se muestra en la figura 14 (A), la temperatura del gas de escape se vuelve muy alta al recibir el calor de combustión.

2) La sección 21 de ramificación ramifica al menos una parte de la onda de choque que se propaga en el trayecto 16 de escape, desde el trayecto 16 de escape. La sección 21b de reflexión de la sección 21 de ramificación refleja la onda de choque ramificada. La onda de choque reflejada se propaga en la sección 21 de ramificación y de nuevo en el trayecto 16 de escape. La onda de choque reflejada colisiona contra el gas de escape que fluye en el trayecto 16 de escape, lo que aumenta la presión del gas de escape. El área de sección transversal de trayecto de flujo del trayecto 16 de escape disminuye en la sección 32 convergente, lo que aumenta la presión del gas de escape. Puede producirse en primer lugar o bien el aumento de la presión de gas de escape provocado por la colisión de la onda de choque y el gas de escape, o bien el aumento de la presión de gas de escape provocado por la disminución del área de sección transversal de trayecto de flujo. Específicamente, la colisión de la onda de choque y el gas de escape puede producirse antes o después de que aumente la presión de gas de escape en la sección 32 convergente. La figura 13(B) muestra la velocidad de gas de escape y la presión de gas de escape inmediatamente después de que aumente la presión de gas de escape. Tal como se muestra en la figura 13(B), en las proximidades de la sección 32 convergente, la presión de gas de escape es mayor que la del momento de la figura 13(A). Aguas arriba con respecto a la sección 32 convergente, la velocidad de gas de escape es mayor que la del momento de la figura 13 (A). La figura 14 (B) muestra la presión de gas de escape y la temperatura de gas de escape inmediatamente después de que aumente la presión de gas de escape. Tal como se muestra en la figura 14(B), la temperatura de gas de escape es menor en las proximidades del orificio 9a de escape, pero es mayor aguas arriba con respecto a la sección 32 convergente, que la del momento de la figura 14(A).

3) El área de sección transversal de trayecto de flujo del trayecto 16 de escape aumenta en la sección 33 divergente para disminuir la presión de gas de escape. Cuando la presión de gas de escape disminuye para que sea igual o menor que la razón de presión crítica, se genera una nueva onda de choque que se propaga en la dirección aguas abajo en el trayecto 16 de escape. Cuando se genera la onda de choque, al mismo tiempo se genera una onda de expansión que avanza en la dirección aguas arriba. La nueva onda de choque se acelera en la sección 33 divergente. Por tanto, el fluido presente en el espacio entre la onda de choque que avanza en la dirección aguas abajo en el trayecto 16 de escape y la onda de expansión que avanza en la dirección aguas arriba en el trayecto 16 de escape se expanden rápidamente. Esto puede disminuir la presión del gas de escape que fluye en el trayecto 16 de escape. Por tanto, puede generarse una zona de una presión negativa en el trayecto 16 de escape. En este punto, la temperatura de gas de escape puede disminuir aguas arriba con respecto a la onda de choque mediante un efecto de enfriamiento adiabático provocado por una expansión adiabática. La figura 13(C) muestra la velocidad de gas de escape y la presión de gas de escape cuando la onda de choque está acelerándose en la sección divergente. Tal como se muestra en la figura 13(C), la presión de gas de escape disminuye rápidamente desde la del momento de la figura 13 (B) aguas arriba con respecto a la sección 33 divergente, para volverse una presión negativa. Junto con esto, la velocidad de gas de escape aguas arriba con respecto a la sección 33 divergente aumenta rápidamente. La figura 14 (C) muestra la presión de gas de escape y la temperatura de gas de escape cuando la onda de choque está acelerándose en la sección 33 divergente. Tal como se muestra en la figura 14(C), junto con la disminución de la presión de gas de escape aguas arriba con respecto a la sección 33 divergente, la temperatura de gas de escape disminuye rápidamente desde la del momento de la figura 14(B).

La figura 13 (D) muestra la velocidad de gas de escape y la presión de gas de escape después de que se haya acelerado la onda de choque. Tal como se muestra en la figura 13(D), la influencia de la presión de gas de escape, que disminuye aguas arriba con respecto a la sección 33 divergente en el momento de la figura 13 (C), se ejerce incluso en el orificio 9a de escape aguas arriba con respecto a la sección 32 convergente. Por tanto, la presión de gas de escape se vuelve una presión negativa también en las proximidades del orificio 9a de escape. La figura 14(D)

muestra la presión de gas de escape y la temperatura de gas de escape después de que se haya acelerado la onda de choque. Tal como se muestra en la figura 14(D), puesto que la presión de gas de escape se vuelve una presión negativa también en las proximidades del orificio 9a de escape, la temperatura de gas de escape también puede disminuir significativamente en las proximidades del orificio de escape. Esto también puede enfriar la válvula 9 de escape y suprimir un deterioro de la misma.

Tal como se muestra en la figura 14, la temperatura de gas de escape aguas abajo con respecto a la sección 33 divergente no cambia mucho. En otras palabras, puesto que el gas de escape a una temperatura alta en las proximidades del orificio 9a de escape mostrado en la figura 14 (A) se enfría mediante un efecto de enfriamiento adiabático en la sección 33 divergente, puede impedirse que cambie la temperatura de gas de escape aguas abajo con respecto a la sección 33 divergente.

En el ejemplo mostrado en la figura 13 y la figura 14, el primer catalizador 17 y el segundo catalizador 18 están previstos aguas abajo con respecto a la sección 33 divergente. Puesto que puede impedirse que cambie la temperatura de gas de escape aguas abajo con respecto a la sección 33 divergente tal como se describió anteriormente, puede impedirse que la temperatura del gas de escape que pasa por el primer catalizador 17 y el segundo catalizador se vuelva excesivamente alta. Esto puede impedir la sinterización de los catalizadores incluso cuando el motor 1 de combustión interna se acciona a una carga alta o en un intervalo de velocidad de rotación alta.

Cuando se conecta un trayecto de suministro de aire secundario para suministrar aire secundario a una zona en la que se genera una presión negativa, el aire secundario puede suministrarse al trayecto de escape. Específicamente, tal como se muestra en la figura 13 (C) y la figura 13 (D), después de que se haya acelerado la onda 35b de choque, se genera una zona de una presión negativa aguas arriba con respecto a la sección 33 divergente. Por tanto, conectando el trayecto de suministro de aire secundario aguas arriba con respecto a la sección 33 divergente, puede suministrarse aire secundario al trayecto 16 de escape.

<Otras realizaciones>

No hay limitación en el objetivo de aplicación del motor de combustión interna según la presente invención. El motor de combustión interna según la presente invención se aplica a, por ejemplo, un vehículo tal como una motocicleta o un motor fueraborda montado en una embarcación marítima. La presente invención puede aplicarse a cualquiera de diversos tipos de motores de combustión interna.

La figura 15 muestra una embarcación marítima que tiene un motor de combustión interna según la presente invención montado en la misma. Específicamente, la figura 15 muestra una embarcación 100 marítima que tiene dos motores 101 fueraborda que tienen cada uno un motor 1 de combustión interna según la presente invención montados en los mismos. Los motores 101 fueraborda están unidos a la popa 103 de la embarcación 100 marítima y pueden propulsar la embarcación marítima hacia delante. Está previsto un trayecto de escape de cada motor 101 fueraborda por debajo de la superficie del agua, y el gas de escape se descarga desde el trayecto de escape al agua. La figura 16 muestra un vehículo que tiene un motor de combustión interna según la presente invención montado en el mismo. Específicamente, la figura 16 muestra una motocicleta 200 que tiene un motor 1 de combustión interna ubicado en el centro del cuerpo de la misma. No hay limitación en el objetivo de aplicación del motor de combustión interna según la presente invención.

El motor 1 de combustión interna en cada una de las realizaciones anteriores incluye un dispositivo 5 de escape para una cámara 10 de combustión. Alternativamente, puede preverse una pluralidad de dispositivos 5 de escape para una cámara 10 de combustión. El motor de combustión interna según la presente invención puede ser un motor de múltiples cilindros siempre que la sección divergente se conecte a sólo una cámara de combustión aguas arriba con respecto a la sección divergente. Por ejemplo, en el caso de un motor de dos cilindros, cada cilindro puede tener un trayecto de escape separado, y la sección de ramificación para reflejar la onda de choque y la sección divergente pueden estar previstas en cada cilindro. Incluso en el caso de un motor de tres cilindros o de un número mayor, cada cilindro tiene un trayecto de escape separado, y la sección de ramificación para reflejar la onda de choque y la sección divergente están previstas en cada cilindro de manera similar. Debido a una estructura de este tipo, incluso en un motor de múltiples cilindros, la presión de gas de escape puede disminuir aguas arriba con respecto a la sección divergente de cada trayecto de escape sin verse afectada por el gas de escape desde los otros cilindros.

En la realización 1, al acelerar la onda de choque en la tobera convergente-divergente se genera una presión negativa aguas arriba con respecto a la onda de choque, y la presión del gas de escape, y por tanto la temperatura del gas de escape, puede disminuir mediante un efecto de enfriamiento adiabático provocado por una expansión adiabática. En la realización 1, la sección convergente y la sección divergente tienen entre las mismas una parte que tiene un área de sección transversal de trayecto de flujo constante. Ajustando la longitud de la parte que tiene un área de sección transversal de trayecto de flujo constante entre la sección convergente y la sección divergente según el motor de combustión interna, el momento en el que la onda de choque debe acelerarse en la sección

divergente, en otras palabras, el momento en el que la presión y temperatura de gas de escape deben disminuir, puede ajustarse según el motor de combustión interna.

5 En la realización 2, se proporciona un trayecto de aire para suministrar aire secundario al trayecto de escape. Por tanto, el aire secundario puede suministrarse de manera eficaz al trayecto de escape usando la presión negativa generada aguas arriba con respecto a la onda de choque. Esto puede disminuir de manera eficaz la temperatura de gas de escape. En el caso en el que un catalizador está ubicado aguas abajo con respecto a la tobera convergente-divergente, puede disminuir la temperatura del gas de escape que pasa por el catalizador. Por ejemplo, esto puede impedir la sinterización del catalizador.

10 En la realización 3, se suministra aire a la sección 21 de ramificación. Por tanto, no está formado un trayecto que actúe exclusivamente como sección 21 de ramificación. Por este motivo, en comparación con la realización 1 y la realización 2 en las que se usa la sección 21 de ramificación dedicada, los costes se reducen y el grado de libertad de diseño puede mejorarse.

En la realización 4, puede generarse una nueva onda de choque mediante una estructura más sencilla.

DESCRIPCIÓN DE LOS NÚMEROS DE REFERENCIA

15	1	Motor de combustión interna
	5	Dispositivo de escape
	9	Válvula de escape
	9a	Orificio de escape
	10	Cámara de combustión
20	16	Trayecto de escape
	21	Sección de ramificación
	21a	Entrada de la sección de ramificación
	21b	Sección de reflexión
	31	Tobera convergente-divergente
25	32	Sección convergente
	33	Sección divergente
	34	Sección de garganta
	35	Onda de choque
	35c	Onda de expansión
30	36	Gas de escape
	101	Motor fueraborda
	200	Motocicleta

REIVINDICACIONES

1. Motor de combustión interna, que comprende:

una cámara (10) de combustión que tiene un orificio (9a) de escape;

una válvula (9) de escape para abrir o cerrar el orificio (9a) de escape; y

5 un dispositivo (5) de escape que tiene un trayecto (16) de escape para guiar el gas de escape descargado desde la cámara (10) de combustión a través del orificio (9a) de escape;

en el que:

el dispositivo (5) de escape comprende:

10 una sección (32) convergente que tiene una menor área de sección transversal de trayecto de flujo en un extremo aguas abajo de la misma que en un extremo aguas arriba de la misma; y

una sección (33) divergente prevista aguas abajo con respecto a la sección (32) convergente y que tiene un mayor área de sección transversal de trayecto de flujo en un extremo aguas abajo de la misma que en un extremo aguas arriba de la misma,

15 en el que la sección (33) divergente está conectada a la única cámara (10) de combustión prevista aguas arriba con respecto a la sección (33) divergente; caracterizado por

20 una sección (21) de ramificación para ramificar una onda de choque, que se propaga en una dirección aguas abajo en el trayecto (16) de escape a una velocidad mayor que el gas de escape que fluye al interior del trayecto (16) de escape desde la cámara (10) de combustión cuando la válvula (9) de escape está abierta, desde una parte del trayecto (16) de escape que está aguas arriba con respecto a la sección (33) divergente, y que propaga la onda de choque ramificada de vuelta al trayecto (16) de escape, en el que un extremo de la sección (21) de ramificación está conectado al trayecto (16) de escape y el otro extremo de la sección (21) de ramificación está cerrado;

en el que el dispositivo (5) de escape está configurado

25 de manera que el gas de escape que fluye al interior del trayecto (16) de escape desde la cámara (10) de combustión se hace pasar por la sección (32) convergente y se hace colisionar contra la onda de choque que se ha propagado en la sección (21) de ramificación, entre la sección (21) de ramificación y la sección (33) divergente, aumentando así la presión del gas de escape en la sección (32) convergente; y

30 de manera que el gas de escape se hace pasar por la sección (33) divergente para generar una nueva onda de choque, y se genera una presión negativa aguas arriba con respecto a la sección (33) divergente en el trayecto (16) de escape por la nueva onda de choque generada.

2. Motor de combustión interna según la reivindicación 1,

35 en el que la sección (21) de ramificación está ramificada desde una parte del trayecto (16) de escape que está aguas arriba con respecto a la sección (33) divergente y tiene una sección de reflexión que puede reflejar una onda de choque,

40 en el que una velocidad del gas de escape descargado desde la cámara (10) de combustión cuando la válvula (9) de escape está abierta es V_e y una velocidad de propagación de la onda de choque que se propaga en el trayecto (16) de escape es V_s , una distancia L_e entre el orificio (9a) de escape y una entrada de la sección (21) de ramificación y una distancia L_s entre la entrada de la sección (21) de ramificación y la sección de reflexión cumplen una relación de:

$$L_e/V_e \leq (L_e + 2L_s)/V_s;$$

y

45 en el que siendo un tiempo desde que se abre el orificio (9a) de escape hasta que se cierra el orificio (9a) de escape t_v , una distancia L_d entre la entrada de la sección (21) de ramificación y la sección (33) divergente cumple una relación de:

$$(L_e + 2L_s + L_d) / V_s \leq t_v + (L_e + L_d) / V_e.$$

3. Motor de combustión interna según la reivindicación 1 ó 2, en el que el trayecto (16) de escape incluye además una parte que tiene un área de sección transversal de trayecto de flujo constante entre la sección (32) convergente y la sección (33) divergente.
- 5 4. Motor de combustión interna según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la longitud de la sección (21) de ramificación es más corta que la distancia entre el orificio (9a) de escape y una entrada de la sección (21) de ramificación.
5. Método de escape para un motor de combustión interna, que comprende las etapas de:
- quemar combustible en una cámara (10) de combustión;
- 10 abrir un orificio (9a) de escape de la cámara (10) de combustión para descargar gas de escape desde la cámara (10) de combustión a un trayecto (16) de escape y para generar una onda de choque que se propaga en el trayecto (16) de escape a una velocidad mayor que el gas de escape;
- 15 por medio de una sección (21) de ramificación, ramificar al menos una parte de la onda de choque desde el trayecto (16) de escape y propagar la onda de choque ramificada de vuelta al trayecto (16) de escape para hacer que la onda de choque colisione contra el gas de escape, aumentando de ese modo la presión del gas de escape, en el que un extremo de la sección (21) de ramificación está conectado al trayecto (16) de escape y el otro extremo de la sección (21) de ramificación está cerrado;
- 20 provocar que el gas de escape fluya al interior de una parte (32) convergente del trayecto (16) de escape que tiene una menor área de sección transversal de trayecto de flujo en una sección aguas abajo de la misma que en una sección aguas arriba de la misma, aumentando de ese modo la presión del gas de escape; y
- 25 provocar que el gas de escape fluya al interior de una parte (33) divergente del trayecto (16) de escape que tiene una mayor área de sección transversal de trayecto de flujo en una sección aguas abajo de la misma que en una sección aguas arriba de la misma, generando de ese modo una nueva onda de choque que se propaga en una dirección aguas abajo en el trayecto (16) de escape para generar una zona de una presión negativa en el trayecto (16) de escape, mediante lo cual la parte (33) divergente está conectada a la única cámara (10) de combustión prevista aguas arriba con respecto a la parte (33) divergente.
6. Vehículo, que comprende un motor de combustión interna según una de las reivindicaciones 1 a 4.
- 30 7. Embarcación marítima, que comprende un motor de combustión interna según una de las reivindicaciones 1 a 4.
8. Motor de combustión interna que adopta el método de escape según la reivindicación 5.

Fig. 1

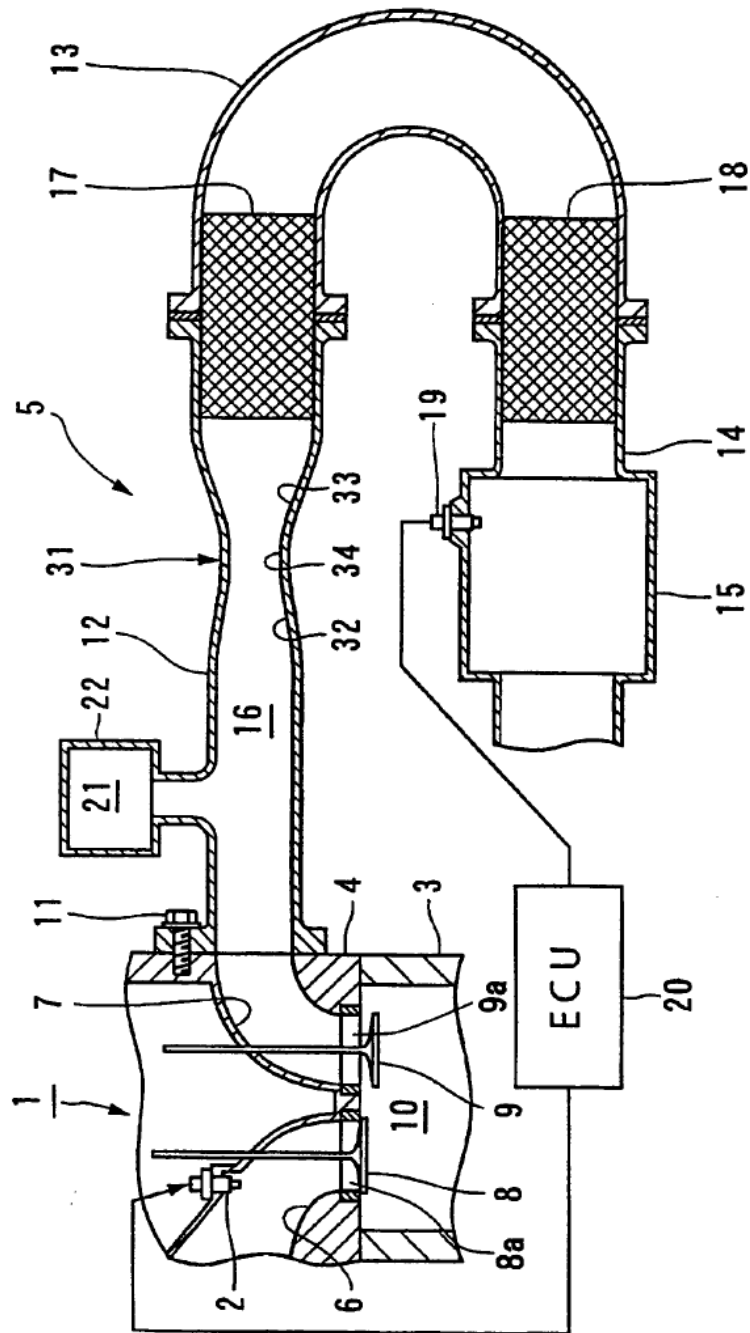


Fig. 2

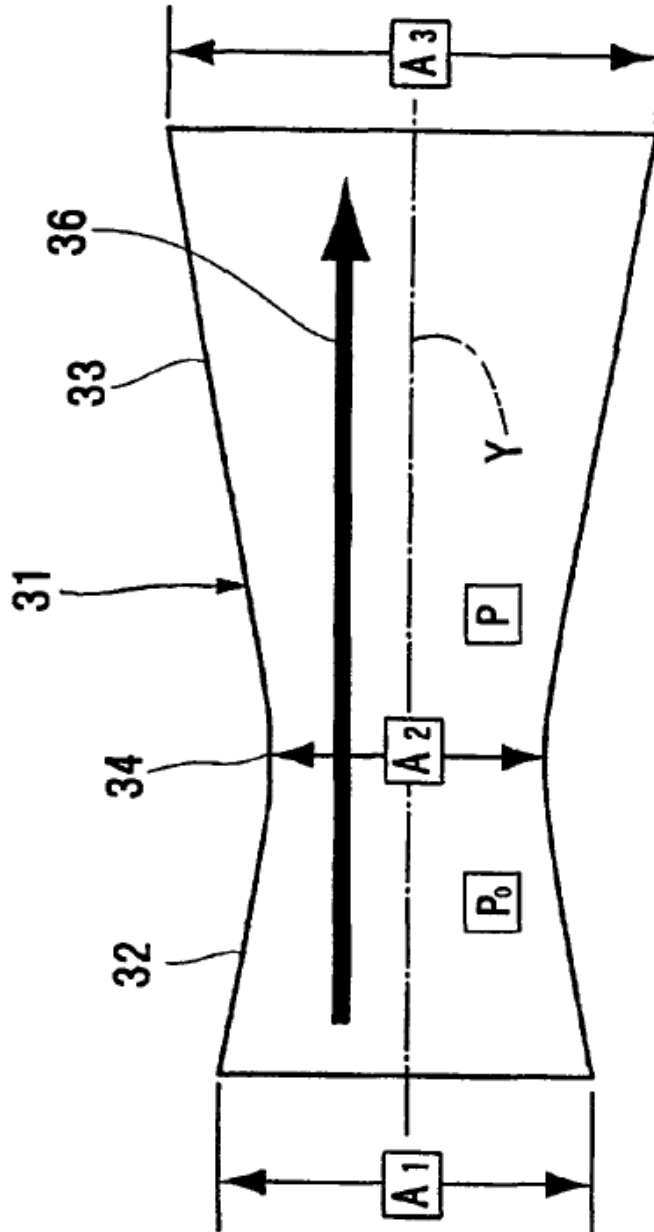


Fig. 3

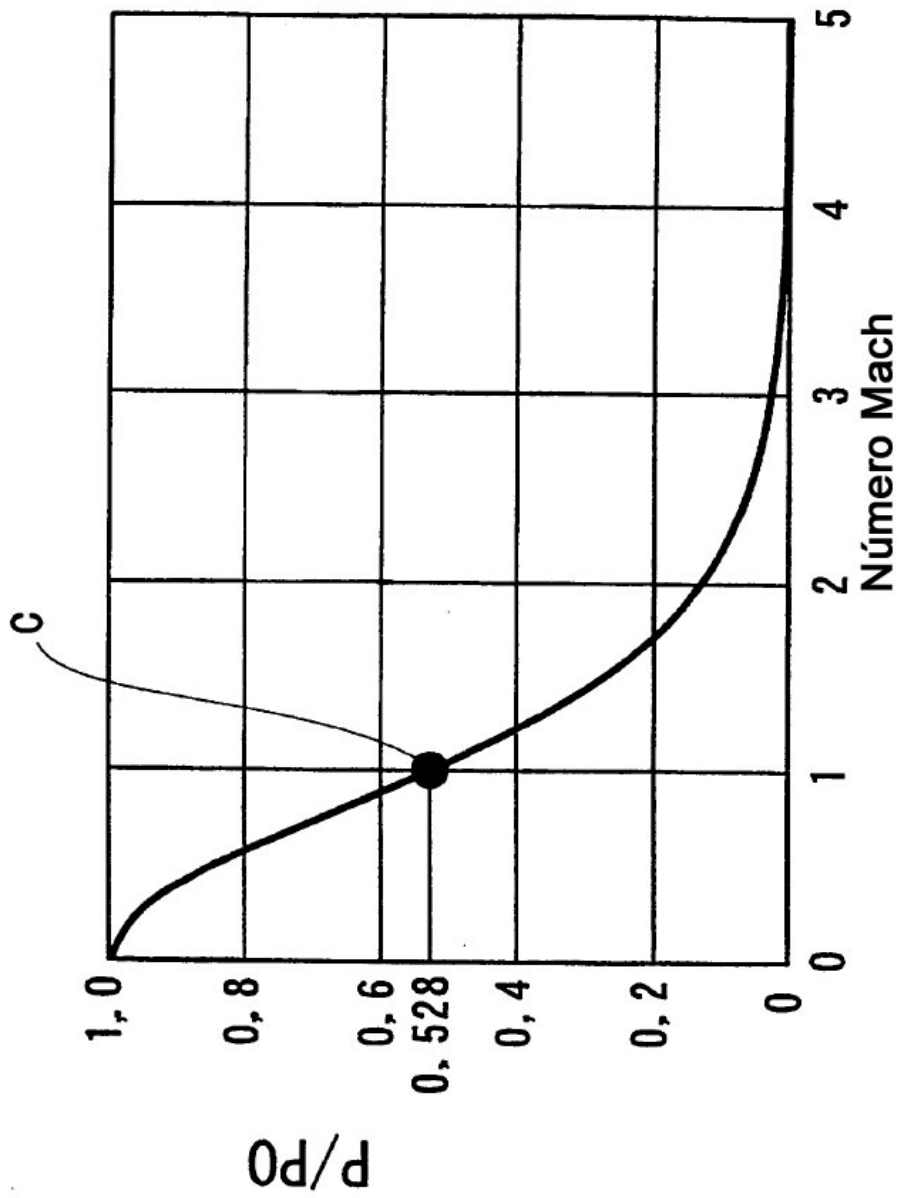


Fig. 4

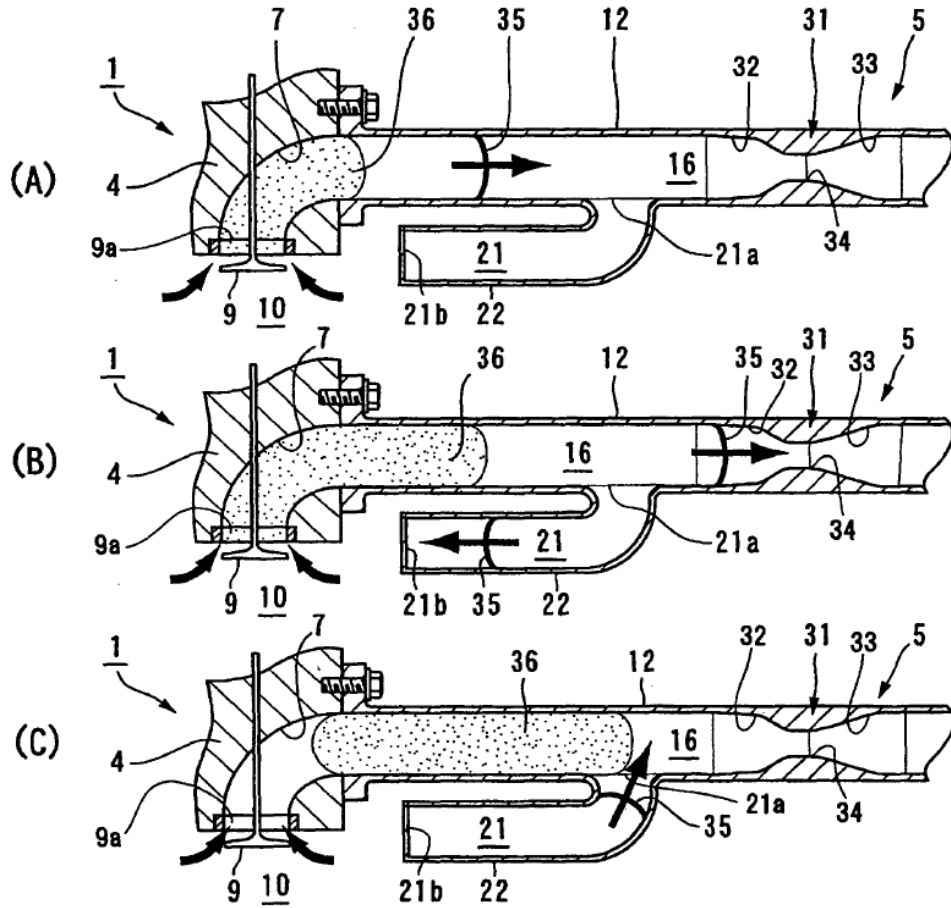


Fig. 5

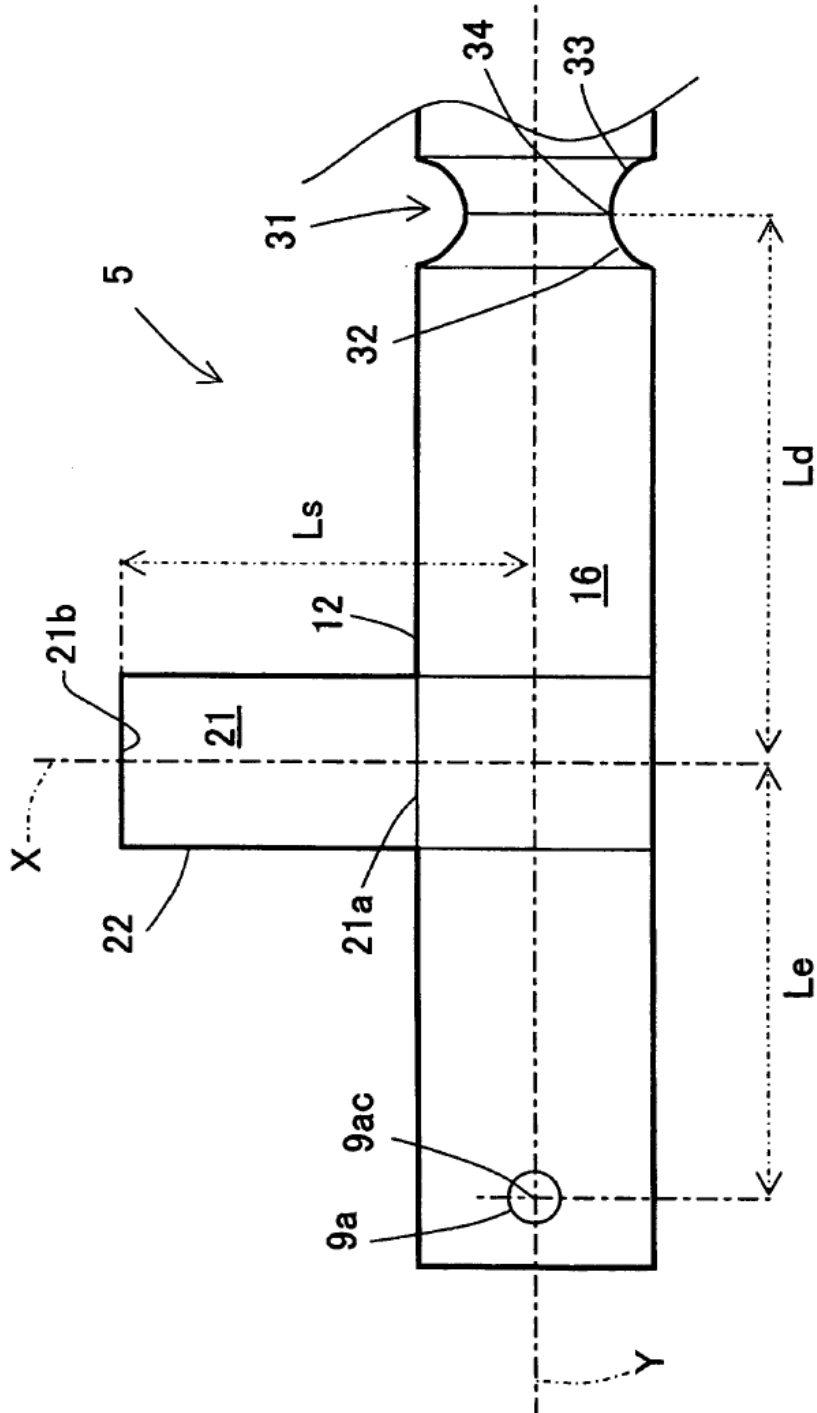


Fig. 6

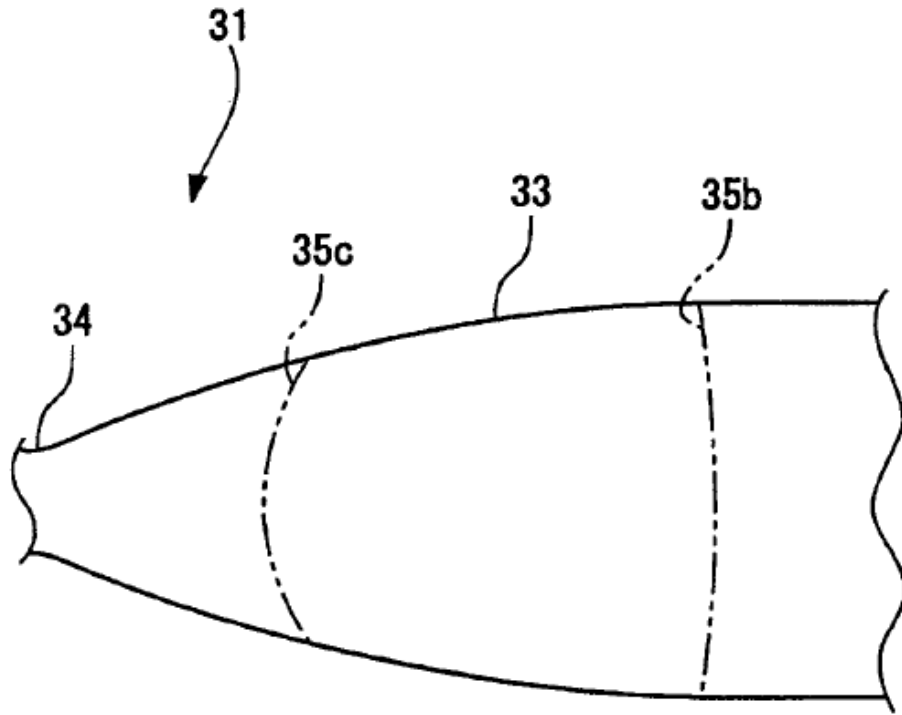


Fig. 7

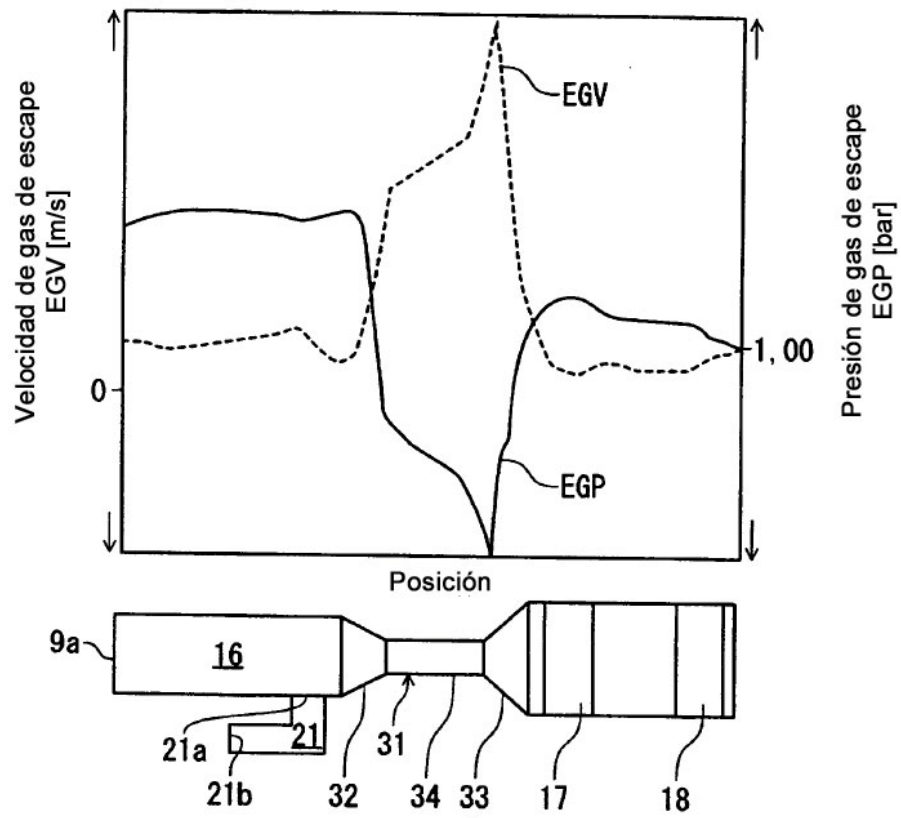


Fig. 8

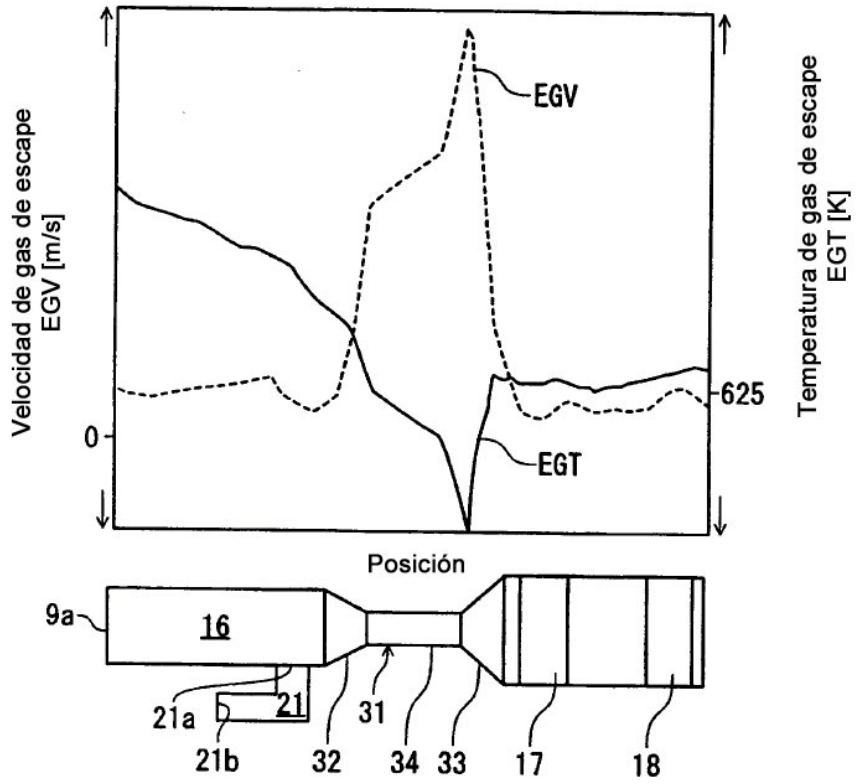
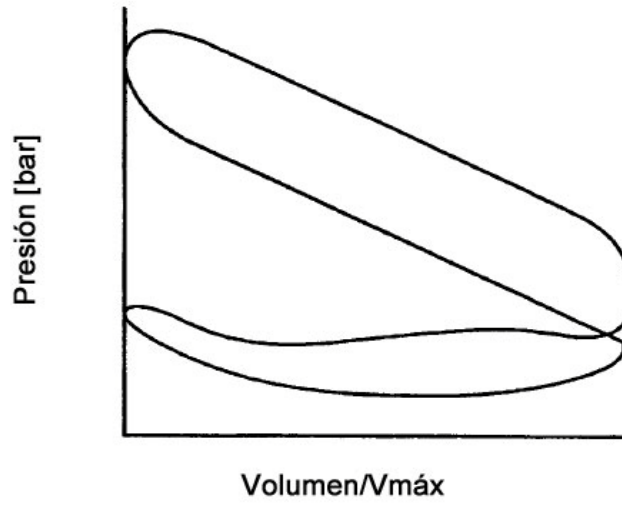


Fig. 9

(A)



(B)

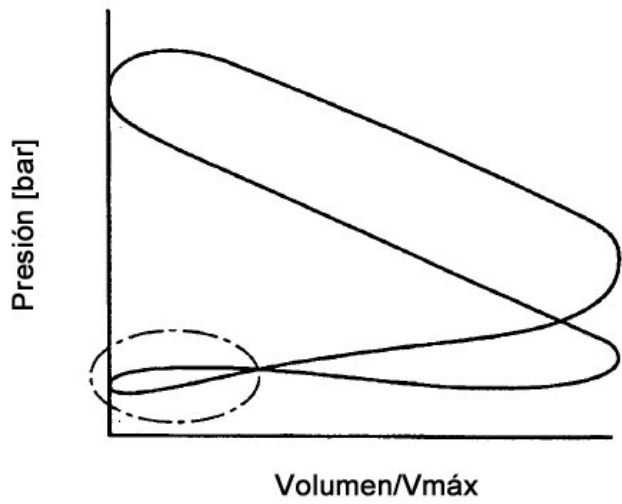


Fig. 10

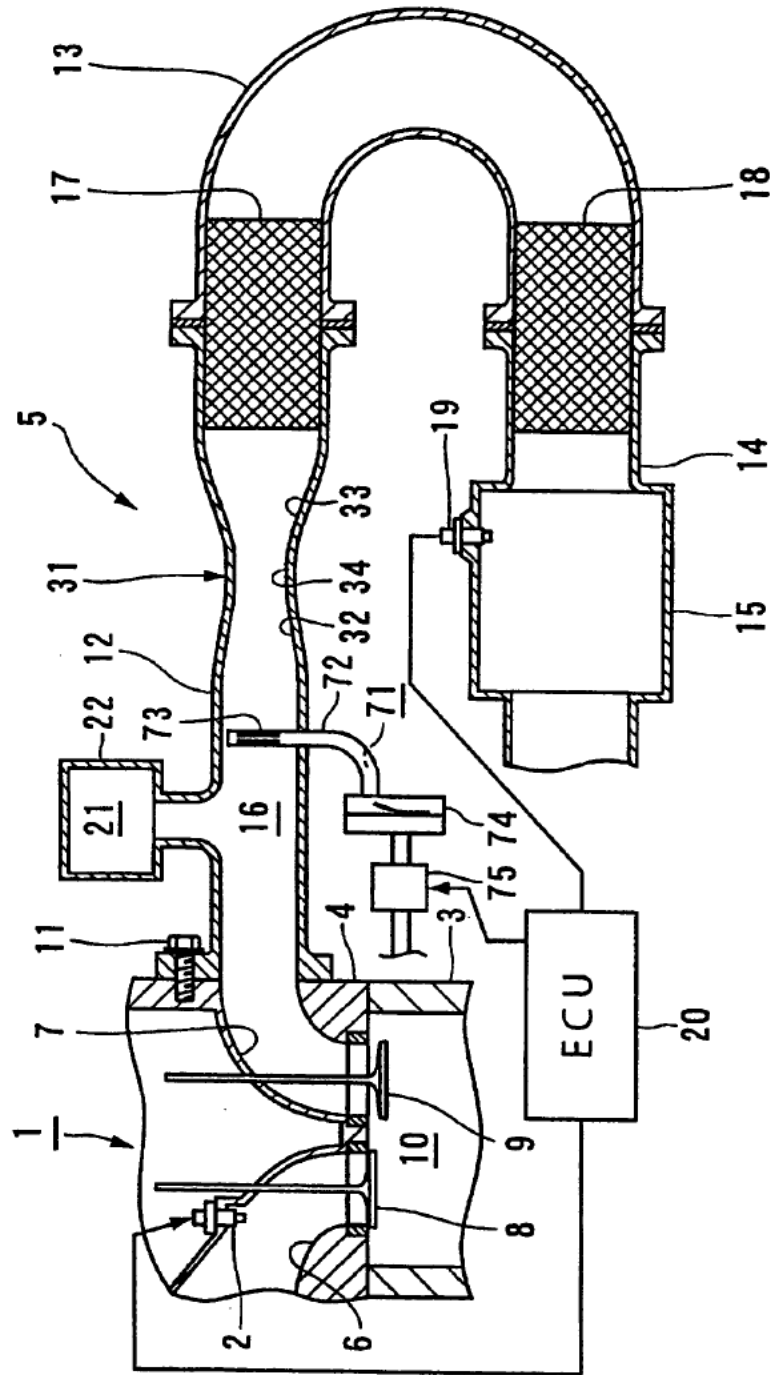


Fig. 11

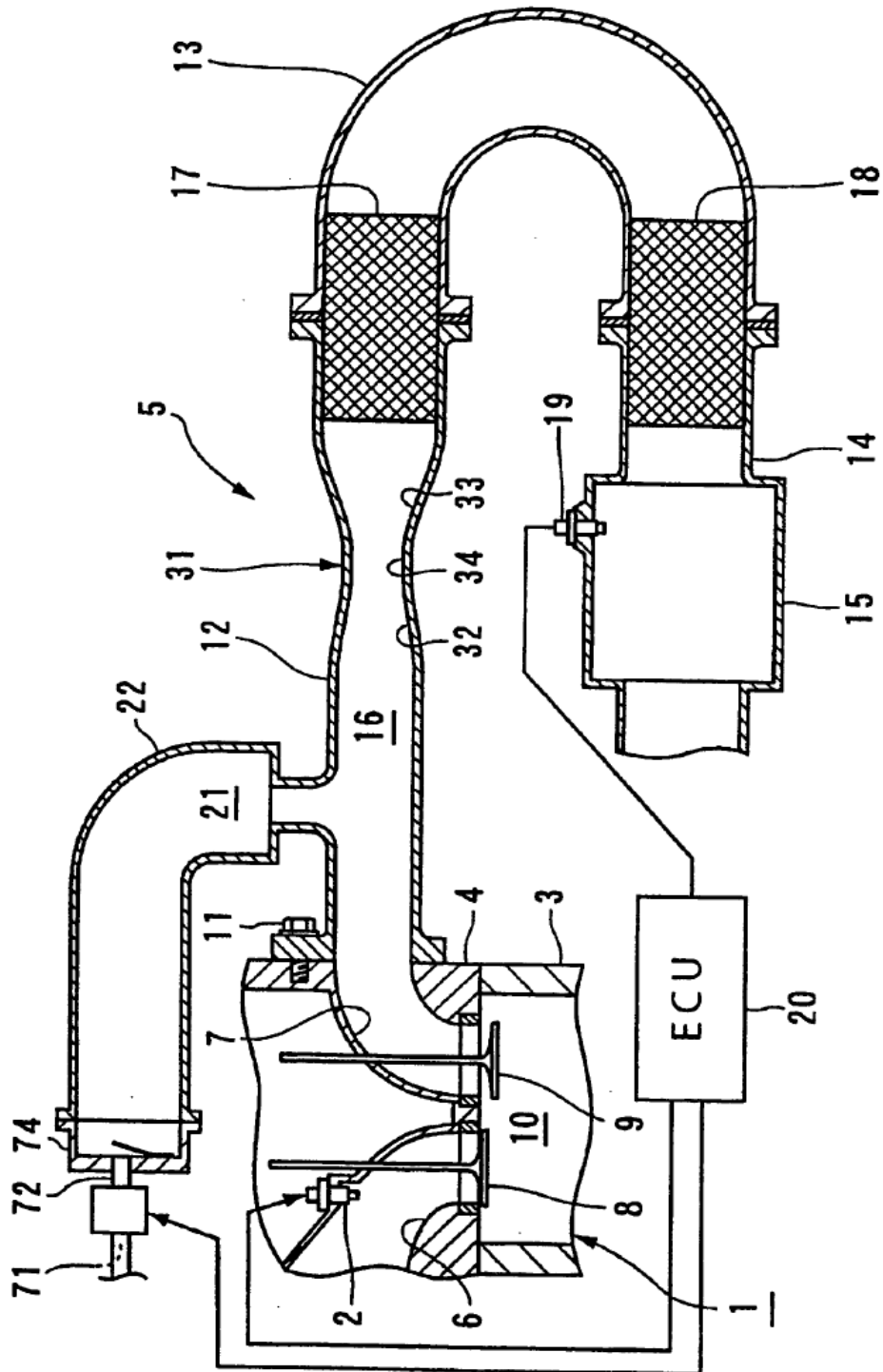


Fig. 12

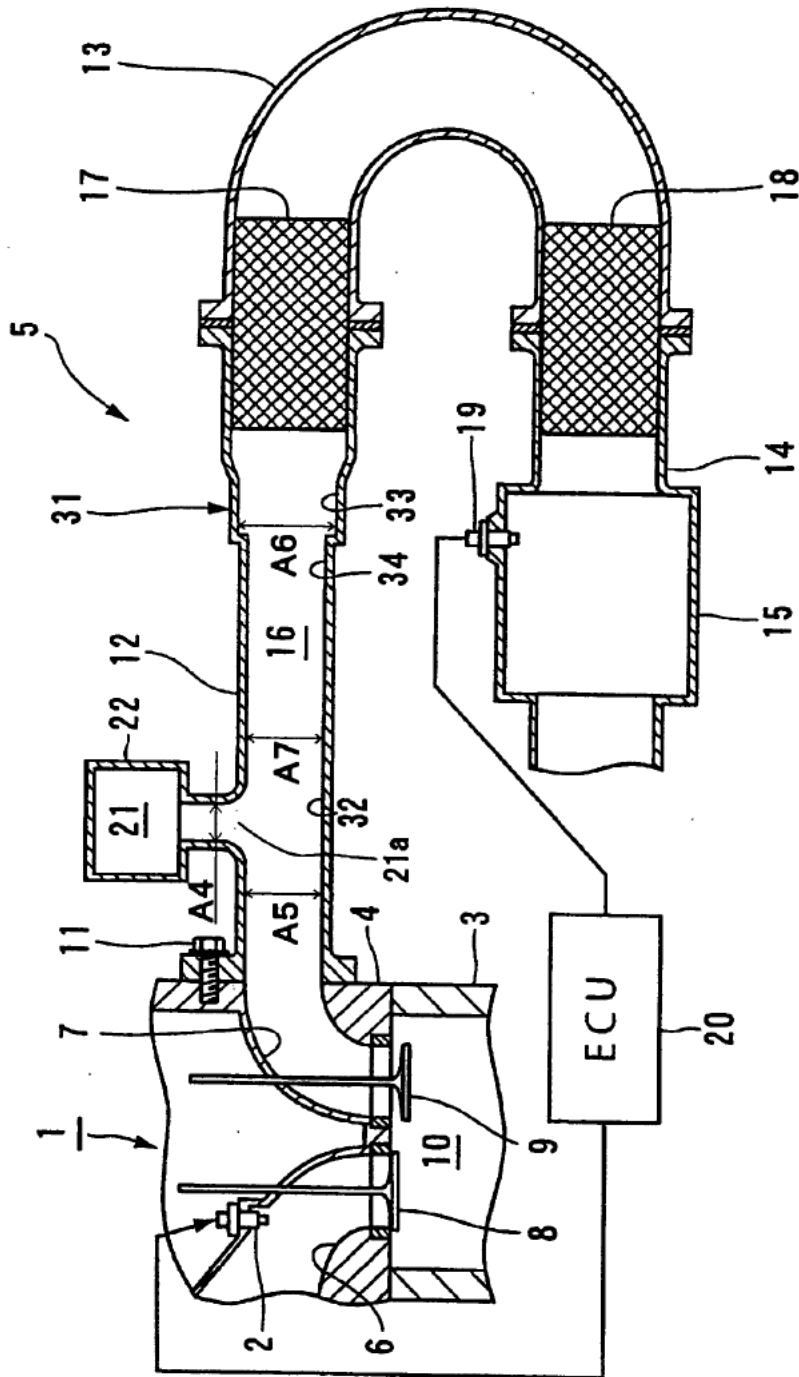


Fig. 13

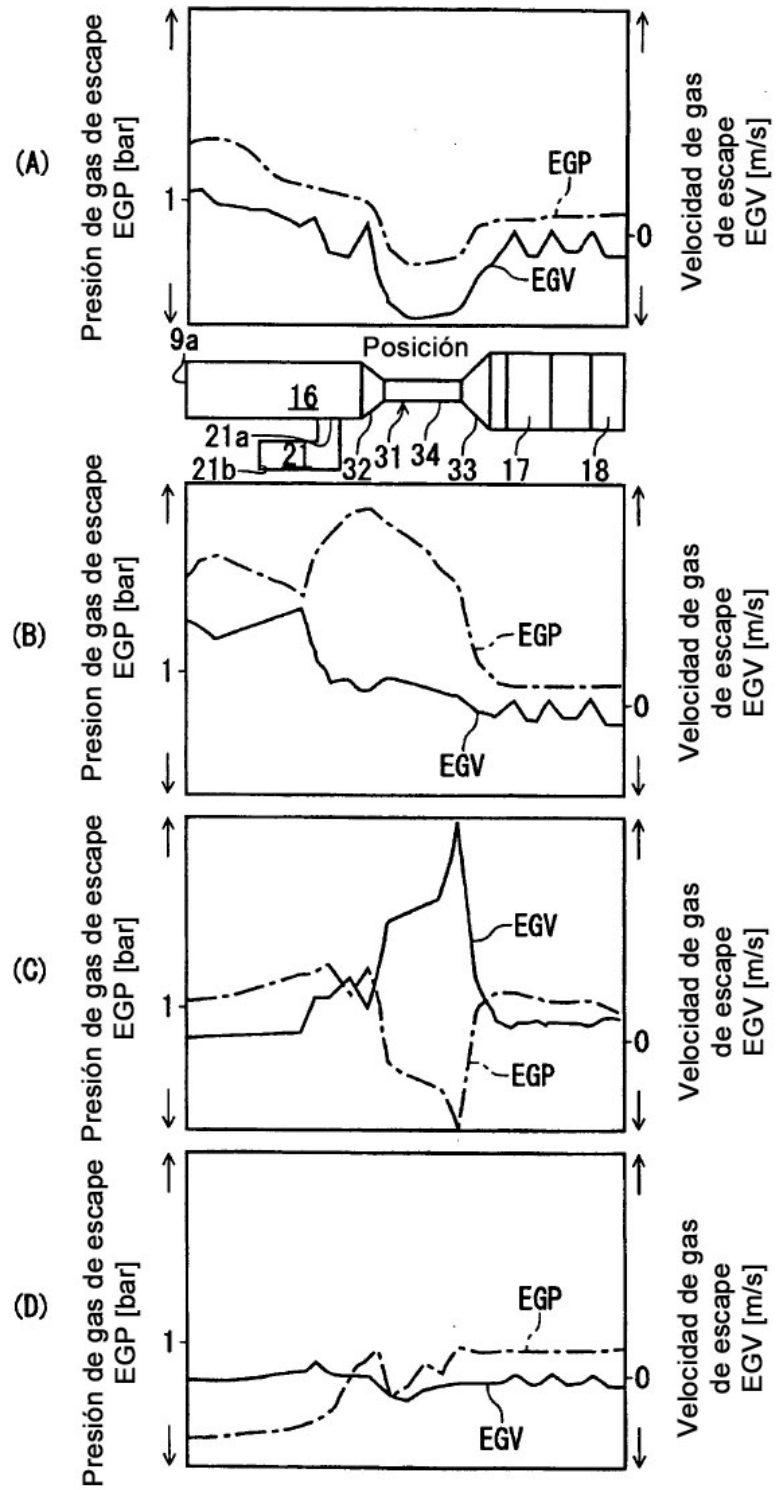


Fig. 14

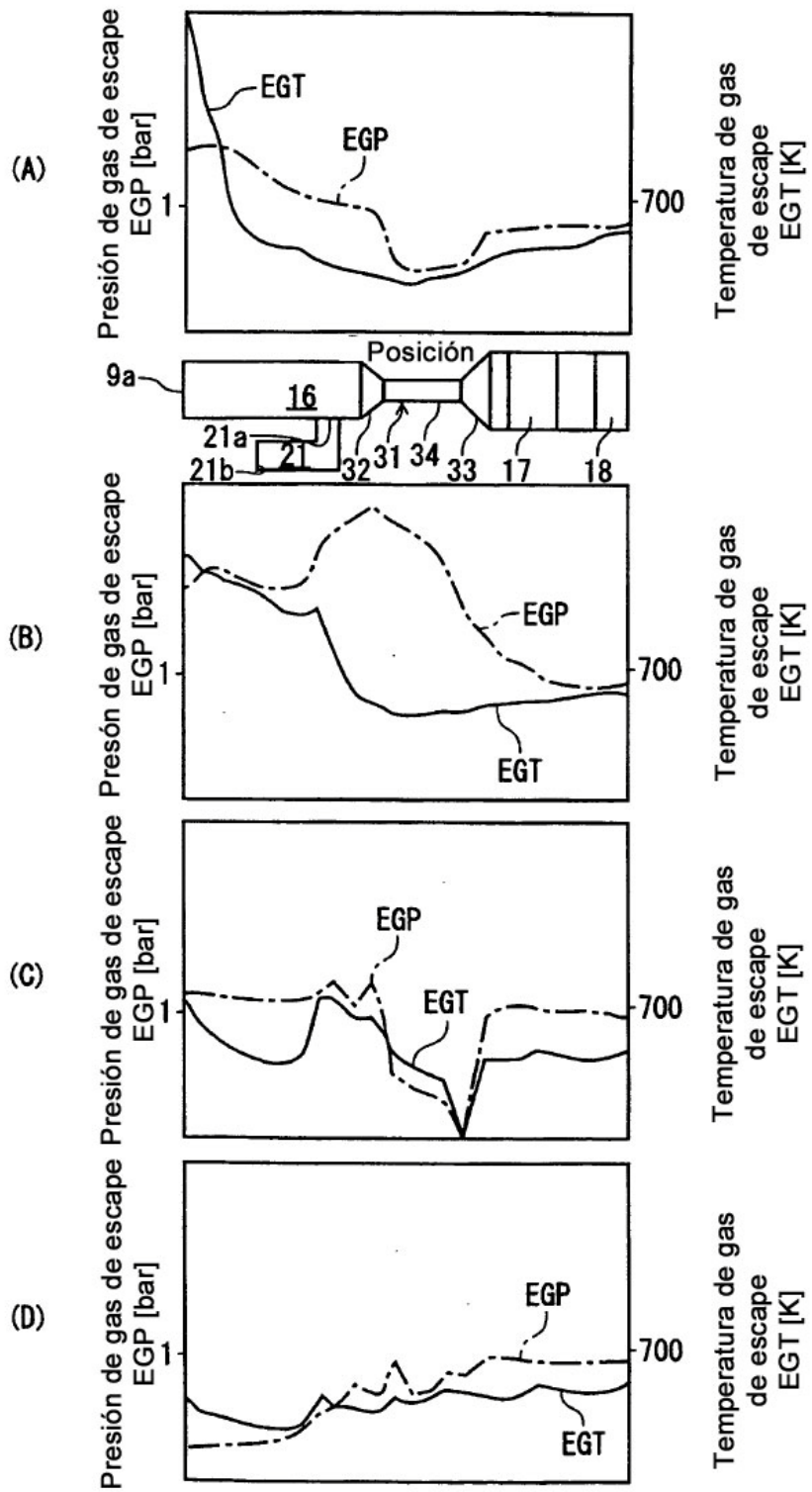


Fig. 15

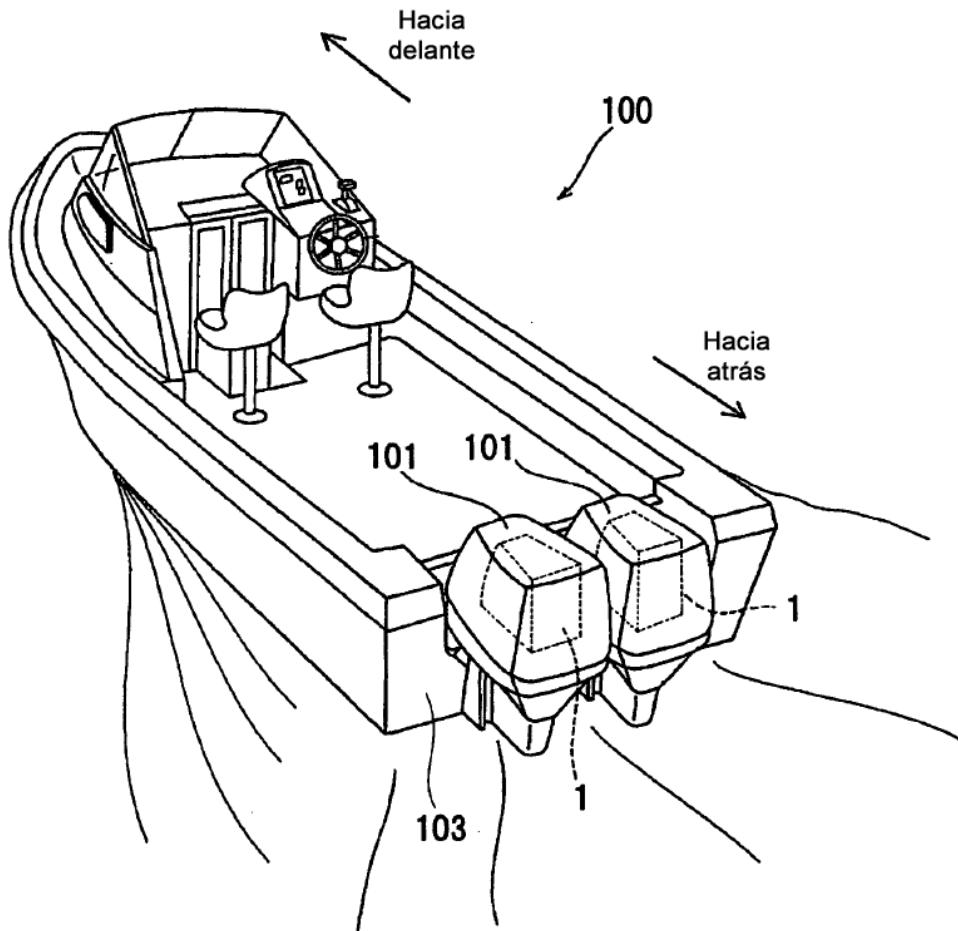


Fig. 16

