

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 421 214**

51 Int. Cl.:

**F01N 1/02** (2006.01)  
**F01N 1/14** (2006.01)  
**F01N 3/30** (2006.01)  
**F01N 3/32** (2006.01)  
**F01N 1/00** (2006.01)  
**F01N 1/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.06.2009 E 09756230 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2013 EP 2163739**

54 Título: **Motor, vehículo, embarcación y método de suministro de aire secundario de motor**

30 Prioridad:

**13.06.2008 JP 2008155070**  
**22.07.2008 JP 2008188428**

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

**29.08.2013**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**TAKAHASHI, YUSUKE y**  
**KONAKAWA, TSUGUNORI**

74 Agente/Representante:

**ARIZTI ACHA, Monica**

**ES 2 421 214 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 suministro de aire secundario 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 suministro de aire secundario para un motor de combustión interna.

**ANTECEDENTES DE LA TÉCNICA**

10 Se conocen los sistemas de suministro de aire secundario para suministrar aire a un trayecto de escape de un motor de combustión interna. Un sistema de suministro de aire secundario suministra aire a los gases de escape a alta temperatura para quemar el monóxido de carbono o el hidrocarburo peligroso en los gases de escape y por tanto proporcionar agua o dióxido de carbono inocuo. El sistema de suministro de aire secundario también suministra aire a una parte de un trayecto de escape que está aguas arriba con respecto a un catalizador para limpiar los gases de escape para favorecer la reacción de oxidación en el catalizador. La publicación de patente japonesa abierta a consulta por el público n.º 09-324624 propone un sistema de suministro de aire secundario para suministrar, usando una válvula de avance, aire utilizando una presión negativa en un trayecto de escape. La publicación de patente japonesa abierta a consulta por el público n.º 07-205890 propone un sistema para suministrar de manera forzada aire a un trayecto de escape usando una bomba, en lugar de la presión negativa en el trayecto de escape. La bomba se acciona usando una parte de una potencia de salida del motor de combustión interna.

20 En el sistema que usa la presión negativa descrito en la publicación de patente japonesa abierta a consulta por el público n.º 09-324624, a diferencia de en el sistema descrito en la publicación de patente japonesa abierta a consulta por el público n.º 07-205890 que incluye una bomba para suministrar de manera forzada aire al trayecto de escape, no es necesario accionar una bomba y por tanto la pérdida de la potencia de salida del motor de combustión interna es pequeña. Sin embargo, cuando el motor de combustión interna se acciona en un estado de carga alta, la presión en el trayecto de escape en la proximidad del orificio de escape se vuelve alta y no puede suministrarse una cantidad suficiente de aire. En cambio, en el sistema descrito en la publicación de patente japonesa abierta a consulta por el público n.º 07-205890 que incluye una bomba para suministrar de manera forzada aire al trayecto de escape, incluso cuando el motor de combustión interna se acciona en un estado de carga alta, puede suministrarse aire. Sin embargo, puesto que la bomba se acciona por el motor de combustión interna, la pérdida de la potencia de salida del motor de combustión interna es grande.

30 El documento WO 02/064955 A1 describe un motor de pistones alternativos que incluye un sistema de escape que comprende un tubo de escape que se comunica con un silenciador, cuya parte aguas arriba es divergente en la dirección del flujo de gas que lo atraviesa, comunicándose un catalizador de oxidación y un conducto de suministro de aire con el tubo de escape en una posición aguas arriba del catalizador y el silenciador. El conducto de suministro de aire incluye una válvula Reed que está adaptada para abrirse bajo una presión diferencial para permitir que fluya aire al interior de tubo de escape.

**SUMARIO DE LA INVENCION**

35 Es un objeto de la presente invención proporcionar un enfoque que permita a un motor de combustión interna suministrar aire a un trayecto de escape incluso en un estado de carga alta con una menor pérdida de potencia de salida del mismo.

40 Este objeto se consigue mediante un motor de combustión interna según la reivindicación 1, y mediante un método según la reivindicación 11.

45 Los presentes inventores descubrieron una onda de choque que se propaga en una dirección aguas abajo en un trayecto de escape cuando se abre el orificio de escape, y pensaron que usando una presión negativa generada por detrás de la onda de choque, puede suministrarse aire incluso cuando el motor de combustión interna está en un estado de carga alta. Sin embargo, se encontró que debido a que esta onda de choque se genera en la proximidad del orificio de escape, la pérdida de bombeo aumenta y la potencia de salida del motor de combustión interna disminuye cuando se suministra una gran cantidad de aire a las proximidades del orificio de escape.

50 Los presentes inventores pensaron en generar una nueva presión negativa generando una nueva onda de choque en el trayecto de escape, que es diferente de la onda de choque que se propaga en la dirección aguas abajo en el trayecto de escape cuando se abre el orificio de escape. Esto supone aplicar el principio de la tobera convergente-divergente conocida generalmente, denominada generalmente "tobera de Laval", a un motor de combustión interna que incluye un sistema de suministro de aire secundario. Esta 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,  $P/P_0$ ) es menor que la razón de presión crítica (para el aire, de aproximadamente 0,528), la velocidad del fluido supera la velocidad del sonido en la sección divergente. Para generar una nueva onda de choque en el trayecto de escape, los presentes inventores han previsto 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 y también han previsto una sección divergente, aguas abajo con respecto a la sección convergente, que tiene una 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. Sin embargo, si se prevén meramente la sección convergente y la sección divergente en el trayecto de escape, la razón de presión de la presión  $P_0$  en la sección convergente y la presión  $P$  en la sección divergente (es decir,  $P/P_0$ ) no alcanza la razón de presión crítica y por tanto era imposible generar una nueva onda de choque.

Como resultado de estudios activos adicionales en los motores de combustión interna, los presentes inventores descubrieron que la onda de choque que se propaga en la dirección aguas abajo en el trayecto de escape cuando se abre el orificio de escape se propaga a mayor velocidad que los gases de escape que fluyen en ese momento al interior del trayecto de escape desde la cámara de combustión. Prestando atención a la diferencia en la velocidad entre la onda de choque y los gases de escape, los presentes inventores pensaron en una estructura para aumentar la presión  $P_0$  en la sección convergente. Se trata de una estructura que incluye una sección de ramificación para ramificar la onda de choque que precede a los gases de escape y por tanto propagar la onda de choque de vuelta al trayecto de escape. Entonces, los presentes inventores pensaron en una estructura mediante la cual la sección de ramificación se combina con una sección de suministro para suministrar aire a una parte del trayecto de escape que está aguas arriba con respecto a la sección 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; un dispositivo de escape que tiene un trayecto de escape para guiar los gases de escape descargados desde la cámara de combustión a través del orificio de escape; y un sistema de suministro de aire secundario para suministrar aire al dispositivo de escape. El dispositivo de escape comprende una sección convergente que tiene un área de sección transversal de trayecto de flujo menor 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 mayor velocidad que los gases de escape que fluyen al interior del trayecto de escape desde la cámara de combustión cuando se abre el orificio de escape, desde una parte del trayecto de escape que está aguas arriba con respecto a la sección divergente, y propagar la onda de choque de vuelta al trayecto de escape. Los gases de escape que fluyen al interior del trayecto de escape desde la cámara de combustión se hacen pasar por la sección convergente y se hacen colisionar contra la onda de choque que se ha propagado en la sección de ramificación, entre la sección de ramificación y la sección divergente, para aumentar así la presión de los gases de escape en la sección convergente. Los gases de escape se hacen pasar por la sección divergente para generar una nueva onda de choque. El sistema de suministro de aire secundario incluye una sección de suministro para suministrar aire a una parte del trayecto de escape que está aguas arriba con respecto a la sección divergente, usando una presión negativa generada en la parte del trayecto de escape que está aguas arriba con respecto a la sección divergente por la nueva onda de choque generada.

Otro 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; un dispositivo de escape que tiene un trayecto de escape para guiar los gases de escape descargados desde la cámara de combustión a través del orificio de escape; y un sistema de suministro de aire secundario para suministrar aire al dispositivo de escape. El dispositivo de escape comprende una sección convergente que tiene un área de sección transversal de trayecto de flujo menor 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 mayor velocidad que los gases de escape que fluyen al interior del trayecto de escape desde la cámara de combustión cuando se abre el orificio de escape, desde una parte del trayecto de escape que está aguas arriba con respecto a la sección divergente, y propagar la onda de choque de vuelta al trayecto de escape. El sistema de suministro de aire secundario incluye una sección de suministro para suministrar aire a una parte del trayecto de escape que está aguas arriba con respecto a la sección divergente. Si la velocidad de los gases de escape descargados desde la cámara de combustión cuando se abre el orificio de escape es  $V_e$  y la velocidad de propagación de la onda de choque que se propaga en el trayecto de escape es  $V_s$ , la distancia  $L_e$  entre el orificio de escape y una entrada de la sección de ramificación y la distancia  $L_s$  por la que se propaga la onda de choque en la sección de ramificación cumplen la relación de  $L_e/V_e \leq (L_e + 2L_s)/V_s$ ; y si el tiempo desde que se abre el orificio de escape hasta que se cierra el orificio de escape es  $t_v$ , la distancia  $L_d$  entre la entrada de la sección de ramificación y la sección divergente cumple la relación de  $(L_e + 2L_s + L_d)/V_s \leq t_v + (L_e + L_d)/V_e$ .

Un método de suministro de aire secundario para un motor de combustión interna según la presente invención comprende las etapas de quemar combustible en una cámara de combustión; abrir una válvula de escape para abrir o cerrar un orificio de escape de la cámara de combustión para descargar gases de escape desde la cámara de

5 combustión a un trayecto de escape y para generar una onda de choque que se propaga en el trayecto de escape a mayor velocidad que los gases de escape; ramificar al menos una parte de la onda de choque desde el trayecto de escape y propagar la onda de choque ramificada de vuelta al trayecto de escape para provocar que la onda de choque colisione contra los gases de escape, aumentando así la presión de los gases de escape; provocar que los gases de escape fluyan al interior de una parte del trayecto 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 así la presión de los gases de escape; y provocar que los gases de escape fluyan al interior de una parte del trayecto 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 así una nueva onda de choque que se propaga en una dirección aguas abajo en el trayecto de escape para generar una zona de una presión negativa en el trayecto de escape y suministrar aire a la zona.

#### EFECTO DE LA INVENCION

15 Según la presente invención, la onda de choque que precede a los gases de escape se retarda en la sección de ramificación y se propaga de vuelta al trayecto de escape y también se hace colisionar contra los gases de escape que avanzan con un retardo. Esto aumenta la presión de los gases de escape. Los gases de escape se hacen pasar por la sección convergente, lo que aumenta la presión de los gases de escape en la sección convergente. Puesto que tales gases de escape se hacen pasar por la sección divergente, se genera una nueva onda de choque, que es diferente de la onda de choque generada cuando se abre el orificio de escape, y se genera una gran presión negativa aguas arriba con respecto a la nueva onda de choque. Usando esta gran presión negativa, puede suministrarse aire al trayecto de escape incluso en un estado de carga alta del motor de combustión interna. Sobra decir que, puesto que se usa la presión negativa, la pérdida de la potencia de salida del motor de combustión interna puede ser pequeña.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

25 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 similares del mismo.

La figura 2 es una vista esquemática de una tobera convergente-divergente.

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

30 La figura 4 proporciona vistas en sección transversal del trayecto de escape y similares que muestran el avance de una onda de choque y de gases 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 hacia un trayecto de ramificación, y (C) muestra un estado en el que la onda de choque reflejada por el trayecto de ramificación colisiona contra los gases de escape.

La figura 5 es una vista esquemática del trayecto de escape y similares, que muestra una ruta en el trayecto de escape por la que avanza la onda de choque y una ruta en el trayecto de escape por la que avanzan los gases de escape.

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

35 La figura 7 es un gráfico que muestra la relación entre la velocidad de los gases de escape y la presión de los gases de escape en posiciones establecidas en un primer tubo de escape.

La figura 8 es un gráfico que muestra la relación entre la velocidad de los gases de escape y la temperatura de los gases de escape en posiciones establecidas en el primer tubo de escape.

40 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.

45 La figura 10 es un gráfico que muestra la relación entre una razón del área de sección transversal de trayecto de flujo de un trayecto de suministro de aire secundario con respecto al área de sección transversal de trayecto de flujo del trayecto de escape, y una razón de la razón aire/combustible  $R_0$  cuando no se suministra aire secundario con respecto a la razón aire/combustible  $R$  cuando se suministra aire secundario desde el trayecto de suministro de aire secundario.

La figura 11 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 similares del mismo.

La figura 12 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 similares del mismo.

50 La figura 13 muestra la relación entre la velocidad de los gases de escape y la presión de los gases de escape en el trayecto de escape en secuencia temporal.

La figura 14 muestra la relación entre la presión de los gases de escape y la temperatura de los gases de escape en el trayecto de escape en secuencia temporal.

La figura 15 muestra una embarcación marítima que tiene un motor de combustión interna según la presente invención montado en la misma.

5 La figura 16 muestra un vehículo que tiene un motor de combustión interna según la presente invención montado en el mismo.

La figura 17 proporciona vistas en sección transversal de un motor de combustión interna de múltiples cilindros al que se aplica la presente invención, y proporciona vistas en sección transversal de un trayecto de escape y similares que muestran el avance de una onda de choque y de gases de escape similar a la figura 4.

10 La figura 18 muestra una modificación de una de las realizaciones anteriores, y es una vista en sección transversal de un trayecto de escape y similar de las mismas.

### MEJOR MODO PARA LLEVAR A CABO LA INVENCION

15 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 de manera convencional. Los presentes inventores descubrieron que esto puede mejorar el rendimiento de un motor de combustión interna.

20 El método es el siguiente. (1) Se ramifica una onda de choque que precede a los gases de escape; (2) se retarda la onda de choque ramificada de manera que la onda de choque colisiona contra los gases de escape, aumentando así la presión de los gases de escape; (3) se hacen pasar los gases de escape que tienen la presión aumentada por la sección divergente para acelerarse hasta una velocidad ultrasónica, generando así 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>

25 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" se refieren respectivamente a aguas arriba y aguas abajo con respecto a la dirección en la que fluyen los gases de escape.

30 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 prevista en un extremo del mismo. En el cuerpo 3 de cilindro y en la culata 4 de cilindro, está formada una cámara 10 de combustión. El motor 1 es un motor de combustión interna de gasolina de cuatro tiempos. El motor 1 de combustión interna es un motor de un solo cilindro. El motor 1 de combustión interna puede ser de tipo refrigerado por aire o de 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 16 de escape para una cámara 10 de combustión. Alternativamente, pueden preverse una pluralidad de orificios 8a de admisión, una pluralidad de válvulas 8 de admisión, una pluralidad de orificios 9a de escape y/o una pluralidad de válvulas 9 de escape para una cámara de combustión. Un inyector 2 para inyectar combustible está unido a la culata 4 de cilindro. Aunque no se muestra, el cilindro 4 también está dotado de una bujía de encendido.

Aguas arriba con respecto a la sección 6 aguas abajo del trayecto de admisión, está conectada una sección aguas arriba del trayecto de admisión (no mostrado). En el interior de la sección aguas arriba, se encuentra una válvula reguladora. La válvula reguladora puede manipularse o controlarse eléctricamente por un electromotor.

45 Un dispositivo 5 de escape incluye la culata 4 de cilindro, un primer tubo 12 de escape conectado a la culata 4 de cilindro, un segundo tubo 13 de escape conectado al primer tubo 12 de escape y un tercer tubo 14 de escape conectado al segundo tubo 13 de escape. El primer tubo 12 de escape está unido a la culata 4 de cilindro a través de un perno 11. El tercer tubo 14 de escape tiene una cámara 15 de escape formada en su interior. El dispositivo 5 de escape tiene el trayecto 16 de escape formado en su interior, que comunica la sección 7 aguas arriba con el exterior a través de la cámara 15 de escape.

50 En el interior del trayecto 16 de escape, está previsto un primer catalizador 17 y un segundo catalizador 18. El segundo catalizador 18 se sitúa aguas abajo con respecto al primer catalizador 17. El primer catalizador 17 y el segundo catalizador 18 tienen un espacio entre los mismos.

Un silenciador (no mostrado) está conectado aguas abajo con respecto a la cámara 15 de escape. Los gases de escape que fluyen al interior de la cámara 15 de escape pasan por el silenciador y se descargan después al exterior. La cámara

15 de escape está dotada de un sensor 19 de concentración de oxígeno para detectar una cantidad de oxígeno en los gases de escape.

Una ECU 20, que es un dispositivo de control, controla la cantidad de combustible que debe 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, o una señal detectada por el sensor 19 de concentración de oxígeno. En esta realización, la ECU 20 controla la cantidad de combustible que debe inyectarse desde el inyector 2 de manera que, por ejemplo, la razón aire/combustible del gas mezclado que debe absorberse en el motor 1 de combustión interna sea la razón aire/combustible teórica.

En una sección aguas arriba del primer tubo 12 de escape, está previsto un conducto 22 de ramificación. Un extremo del conducto 22 de ramificación está conectado al primer tubo 12 de escape, y el otro extremo del conducto 22 de ramificación está cerrado. El extremo cerrado del conducto 22 de ramificación actúa como sección 21b de reflexión para reflejar una onda de choque que se describirá más adelante. El conducto 22 de ramificación está formado solidariamente con el primer tubo 12 de escape. Alternativamente, el conducto 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 conducto 22 de ramificación pueden soldarse entre sí o fijarse entre sí a través de un elemento de apriete (no mostrado) tal como un perno, un remache o similar. El conducto 22 de ramificación está formado para tener una mayor área de sección transversal de trayecto de flujo en su otro extremo distinto de su primer extremo, pero la forma del conducto 22 de ramificación no está limitada a la mostrada en la figura 1. El área de sección transversal de trayecto de flujo del conducto 22 de ramificación en el otro extremo puede ser igual, o menor que, el área de sección transversal de trayecto de flujo en el primer extremo. En el interior del conducto 22 de ramificación está formada una sección 21 de ramificación. Un extremo de la sección 21 de ramificación se comunica con el trayecto 16 de escape, y su otro extremo está cerrado. Una entrada 21a de la sección 21 de ramificación (es decir, la parte que se comunica con el trayecto 16 de escape) tiene un área de sección transversal de trayecto de flujo que está dimensionada para permitir que la onda de choque que se propaga en el trayecto 16 de escape también se propague en la sección 21 de ramificación, tal como se describirá más adelante. En la figura, "X" representa la línea central de la sección transversal de trayecto de flujo de la entrada 21a de la sección 21 de ramificación.

Entre la sección 21 de ramificación y el primer catalizador 17 está prevista una tobera 31 convergente-divergente. La tobera 31 convergente-divergente se denomina generalmente "tobera de Laval". La tobera 31 convergente-divergente acelera la velocidad de los gases de escape que fluyen en el trayecto 16 de escape desde una velocidad subsónica a una velocidad ultrasónica. La tobera 31 convergente-divergente está formada por una sección 32 convergente, una sección 34 de garganta y una sección 33 divergente. La sección 32 convergente es una parte que tiene un área de sección transversal de trayecto de flujo que disminuye gradualmente hacia un extremo aguas abajo de la misma. La sección 33 divergente es una parte que tiene un área de sección transversal de trayecto de flujo que aumenta gradualmente hacia un extremo aguas abajo de la misma. La sección 34 de garganta es una parte prevista entre la sección 32 convergente y la sección 33 divergente y que tiene el área de sección transversal de trayecto de flujo mínima.

Está previsto un sistema 70 de suministro de aire secundario para suministrar aire al trayecto 16 de escape del dispositivo 5 de escape. El sistema 70 de suministro de aire secundario incluye un depurador 76 de aire que incluye un filtro 76a, una válvula 75 de control de cantidad de aire prevista aguas abajo con respecto al mismo para controlar una cantidad de aire, una válvula 74 de avance prevista aguas abajo con respecto al mismo, y un conducto 72 de suministro de aire secundario previsto aguas abajo con respecto al mismo. El conducto 72 de suministro de aire secundario está conectado entre el conducto 22 de ramificación y la tobera 31 convergente-divergente en el primer tubo 12 de escape. Un extremo delantero del conducto 72 de suministro de aire secundario está expuesto al trayecto 16 de escape. El sistema 70 de suministro de aire secundario forma un trayecto 71 de suministro de aire secundario que se extiende desde el espacio interior del depurador 76 de aire hasta el trayecto de escape. Una sección 73 de suministro del trayecto 71 de suministro de aire secundario está formada para ser a modo de hendidura en el extremo delantero del conducto 72 de suministro de aire secundario. Como resultado de esta estructura, el conducto 72 de suministro de aire secundario puede suministrar aire a una amplia zona del trayecto 16 de escape incluyendo una línea central Y de la sección transversal de trayecto de flujo del mismo.

Un extremo aguas arriba del conducto 72 de suministro de aire secundario está conectado al depurador 76 de aire a través de la válvula 74 de avance y la válvula 75 de control de cantidad de aire. La válvula 74 de avance impide que los gases de escape fluyan desde el conducto 72 de suministro de aire secundario a una parte aguas arriba con respecto a la válvula 74 de avance. La válvula 74 de avance está dispuesta para abrirse por una presión negativa generada en el trayecto 16 de escape para provocar que el aire fluya hacia la sección 73 de suministro del trayecto 71 de suministro de aire secundario. La válvula 75 de control de cantidad de aire está prevista para adaptar la cantidad del 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, accionados por una presión de admisión negativa o similar. El ángulo de apertura de la válvula 75 de control de cantidad de aire se controla por la ECU 20.

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 aire secundario 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.

La figura 2 es una vista esquemática de una tobera convergente-divergente general. Tal como se muestra en la figura 2, el área de sección transversal de trayecto de flujo A1 en el extremo aguas arriba de la sección 32 convergente, el área de sección transversal de trayecto de flujo A2 de la sección 34 de garganta, y el área de sección transversal de trayecto de flujo A3 en el extremo aguas abajo de la sección 33 divergente tienen las relaciones de  $A1 > A2$  y  $A2 < A3$ . El área de sección transversal de trayecto de flujo A2 de la sección 34 de garganta es igual que el área de sección transversal de trayecto de flujo en el extremo aguas arriba de la sección 33 divergente. En esta realización mostrada en la figura 1, las áreas de sección transversal de trayecto de flujo de la sección 32 convergente y la sección 33 divergente cambian respectivamente 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 que tengan una forma con un área de sección transversal de trayecto de flujo que cambia paso a paso tal como una tobera empleada en cohetes, o pueden formarse para tener una forma curvada suavemente.

La tobera 31 convergente-divergente está formada para cumplir las condiciones representadas por las expresiones (1) y (2) a continuación. Al alcanzar la velocidad de los gases de escape que fluyen al interior de la sección 34 de garganta Mach 1 (es decir, la velocidad del sonido), los gases de escape en la sección 33 divergente pueden acelerarse hasta una velocidad ultrasónica.

[Expresión 1]

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

[Expresión 2]

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

De estas expresiones, la expresión (1) representa la relación entre la forma del tubo de escape y el número de Mach en un flujo primario que va acompañado de fricción viscosa. La expresión (2) representa  $\Lambda$  en la expresión (1). En estas expresiones, M representa el número de 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,  $\gamma$  representa la razón de calor específica, x representa la distancia en la dirección de flujo y f representa el coeficiente de fricción.

Tal como se muestra en la figura 2 y la figura 3, generalmente con la tobera 31 convergente-divergente formada para cumplir las condiciones representadas por las expresiones (1) y (2), cuando la razón de presión de la presión total P0 en una parte aguas arriba con respecto a la sección 34 de garganta y la presión estática P en una parte aguas abajo con respecto a la sección 34 de garganta, es decir, P/P0, es menor que la razón de presión crítica (= 0,528; punto C en la figura 3), la velocidad se vuelve la velocidad del sonido (Mach 1) en la sección de garganta y se vuelve una velocidad ultrasónica en la sección 33 divergente. Cuando aumenta la presión total P0 con el fin de hacer P/P0 menor que la razón de presión crítica, puede formarse un flujo ultrasónico en la tobera 31 convergente-divergente.

Cuando la velocidad se vuelve una velocidad ultrasónica en la tobera 31 convergente-divergente, se generan una nueva onda 35b de choque que se propaga en una dirección aguas abajo en la sección 33 divergente y una onda 35c de expansión que se propaga en una dirección aguas arriba en la sección 33 divergente (véase la figura 6). Por tanto, el fluido en un espacio entre la onda 35b de choque que avanza en la dirección aguas abajo en el trayecto 16 de escape y la onda 35c de expansión que avanza en la dirección aguas arriba en el trayecto 16 de escape se expande rápidamente, y por tanto disminuye la presión de los gases de escape que fluyen en el trayecto 16 de escape. Como resultado, la temperatura de los gases de escape puede disminuir rápidamente por 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.

A continuación, con referencia a las figuras 4(A) a 4(C), se describirá el principio por el que los gases de escape se ponen en un estado de baja presión y baja temperatura en el trayecto 16 de escape. 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.

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, los gases 36 de escape a alta presión se inyectan 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 empieza 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 de los gases 36 de escape se vuelve la velocidad del sonido y por tanto se genera una onda 35 de choque en la sección aguas arriba del trayecto 16 de escape. A medida que aumenta el ángulo de apertura del orificio 9s de escape, la cantidad de los gases 36 de escape que fluyen al interior de la sección 7 aguas arriba del trayecto 16 de escape aumentan, pero la velocidad de los gases 36 de escape disminuye. La velocidad de los gases de escape también disminuye a medida que los gases de escape avanzan en la sección 7 aguas arriba del trayecto 16 de escape. Tal como se muestra en la figura 4(A), la onda 35 de choque se propaga hacia el interior del primer tubo 12 de escape desde la sección 7 aguas arriba del trayecto 16 de escape y se propaga adicionalmente en la dirección aguas abajo a alta velocidad. Mientras, los gases 36 de escape avanzan en la dirección aguas abajo en el trayecto 16 de escape con un retardo con respecto a la onda 35 de choque a una velocidad relativamente baja.

Tal como se muestra en la figura 4(B), la onda 35 de choque que avanza en el interior del primer tubo 12 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 la entrada 21a de la sección 21 de ramificación, y después 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 avanza en el trayecto 16 de escape se atenúa y desaparece tras pasar por la tobera 31 convergente-divergente. En cambio, la onda 35 de choque que avanza en la sección 21 de ramificación se refleja por la sección 21b de reflexión de la sección 21 de ramificación y avanza en sentido opuesto en la sección 21 de ramificación hasta volver al trayecto 16 de escape.

Tal como se muestra en la figura 4(C), la longitud de la sección 21 de ramificación se ajusta de manera que el momento en el que la onda 35 de choque reflejada vuelve al trayecto 16 de escape desde la sección 21 de ramificación es el mismo, o posterior, que el momento en el que los gases 36 de escape a alta presión llegan al centro de la entrada 21a de la sección 21 de ramificación. Por tanto, la onda 35 de choque y los gases 36 de escape colisionan entre sí en una posición del trayecto de escape que está aguas arriba con respecto a la sección 33 divergente y es la misma que, o está aguas abajo con respecto a, la sección 21 de ramificación.

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 de la entrada 21a de la sección 21 de ramificación se ajusta 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 ajusta como  $L_s$ . La velocidad de los gases 36 de escape se ajusta como  $V_e$ , y la velocidad de propagación de la onda 35 de choque se ajusta como  $V_s$ . En este caso, el tiempo  $T_1$ , que es desde que se abre el orificio 9a de escape hasta que los gases 36 de escape llegan a la entrada 21a, está representado por la expresión (3). El tiempo  $T_2$ , que es desde que se abre el orificio 9a de escape hasta que la onda 35 de choque se refleja por la sección 21b de reflexión y llega a la línea central Y del trayecto 16 de escape, se representa por la expresión (4).

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

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

Cuando  $T_1 \leq T_2$ , la onda 35 de choque reflejada y los gases 36 de escape colisionan entre sí. Específicamente, cuando  $L_e/V_e \leq (L_e + 2L_s)/V_s$ , la onda 35 de choque reflejada y los gases 36 de escape colisionan entre sí en una posición del trayecto de escape que está aguas arriba con respecto a la sección 33 divergente y es igual que, o está aguas abajo con respecto a, la sección 21 de ramificación. Para mayor comodidad, por ejemplo, la velocidad máxima de los gases 36 de escape puede considerarse como la velocidad  $V_e$ , o la velocidad promedio de los gases 36 de escape puede considerarse como la velocidad  $V_e$ . De forma 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 promedio de propagación de la onda 35 de choque puede considerarse como la velocidad de propagación  $V_s$ .

Tal como se muestra en la figura 5, la distancia desde la línea central X de la sección transversal de trayecto de flujo de la entrada 21a de la sección 21 de ramificación hasta un extremo aguas arriba de la sección 33 divergente se ajusta como  $L_d$ , y el tiempo desde que se abre el orificio 9a de escape hasta que se cierra el orificio 9a de escape se ajusta como  $t_v$ . El tiempo  $T_3$ , que es desde que se abre el orificio 9a de escape hasta que un extremo posterior de los gases 36 de escape llega al 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 35 de choque se refleja por la sección 21b de reflexión y llega al extremo aguas arriba de la sección 33 divergente, se representa por la expresión (6).

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

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

5 Cuando  $T_4 \leq T_3$ , la onda 35 de choque reflejada y los gases 36 de escape pueden hacerse colisionar entre sí antes de que la totalidad de los gases 36 de escape hayan pasado por la sección 34 de garganta. Específicamente, cuando  $(L_e + 2L_s + L_d) / V_s \leq t_v + (L_e + L_d) / V_e$ , la onda 35 de choque reflejada y los gases 36 de escape pueden hacerse colisionar entre sí antes de que la totalidad de los gases 36 de escape pasen por la sección 34 de garganta.

En caso de que la distancia  $L_s$  entre la línea central  $Y$  de la sección transversal de trayecto de flujo del trayecto 16 de escape y la sección 21b de reflexión sea 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  $L_e$ .

10 La presión de los gases 36 de escape en la sección 32 convergente aumenta adicionalmente al comprimirse los gases 36 de escape en la sección 32 convergente y también al colisionar los gases 36 de escape contra la onda 35 de choque. Cuando esto sucede, 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 de garganta, es decir,  $P/P_0$ , se vuelve menor que la razón de presión crítica de 0,528. Como resultado, la velocidad de los gases 36 de escape alcanza la velocidad del sonido en la sección 34 de garganta.

15 La figura 6 es una vista esquemática dibujada basándose en una fotografía del interior de la tobera convergente-divergente tomada mediante el método de Schlieren. Al alcanzar la velocidad de los gases 36 de escape la velocidad del sonido, se genera una nueva onda de choque en la tobera 31 convergente-divergente. A continuación en el presente documento, la nueva onda de choque generada se denominará la "onda 35b de choque que avanza" por comodidad. La onda 35b de choque que avanza 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 que avanza, se genera una onda 35c de expansión que avanza en sentido opuesto a la onda 35b de choque que avanza. Al acelerarse la onda 35b de choque que avanza en la sección 33 divergente y al avanzar la onda 35c de expansión en sentido opuesto a la onda 35b de choque que avanza, la presión y la temperatura de los gases 36 de escape presentes entre la onda 35b de choque que avanza y la onda 35c de expansión disminuyen de manera significativa. Tal como se describirá más adelante, la presión de los gases de escape se vuelve igual o menor que la presión atmosférica, concretamente, una presión negativa.

La figura 7 y la figura 8 muestran los resultados de simulaciones realizadas por los presentes inventores. La figura 7 muestra la velocidad de los gases de escape y la presión de los gases 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 los gases de escape y la temperatura de los gases 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 sucede, tal como se muestra en la figura 7 y la figura 8, la velocidad de los gases de escape aumenta rápidamente, mientras que la presión y la temperatura de los gases de escape disminuyen rápidamente. La figura 7 y la figura 8 muestran la velocidad de los gases 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 está ajustada para que sea relativamente larga. Después de que la onda 35 de choque reflejada por la sección 21 de ramificación colisione contra los gases 36 de escape, la onda 35 de choque se propaga en la sección 34 de garganta precediendo a los gases 36 de escape. En este punto, se genera una expansión adiabática en el espacio entre los gases 36 de escape y la onda 35a de choque y por tanto la presión disminuye. Por tanto, los gases 36 de escape se absorben por la onda 35 de choque para que fluyan en la sección 34 de garganta, sin disminuir su velocidad. Por tanto, ajustando 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 de los gases de escape deben disminuirse, puede ajustarse según el motor de combustión interna.

Tal como se describió anteriormente, el motor 1 de combustión interna según esta realización puede disminuir de manera significativa la presión y la temperatura de los gases de escape en el trayecto 16 de escape en comparación con la técnica convencional.

50 Según esta realización, puede suministrarse aire 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, concretamente, la presión es significativamente menor, que en un motor de combustión interna general que no incluye la tobera 31 convergente-divergente o el conducto 22 de ramificación. El fenómeno de que se genera una presión negativa por la acción de la tobera 31 convergente-divergente continúa incluso cuando la velocidad de rotación del motor 1 de combustión interna aumenta para ser superior a la velocidad de rotación en el momento de potencia de salida máxima. Por tanto, en esta realización, incluso cuando el intervalo de velocidad de rotación del motor 1 de combustión interna es un intervalo relativamente alto, puede suministrarse una cantidad suficiente de aire. El "intervalo de velocidad de rotación relativamente alto del motor 1 de combustión interna" significa un intervalo de accionamiento de velocidad alto o un intervalo de accionamiento de carga alto en el que el motor de combustión interna general mencionado anteriormente no puede absorber aire. Por tanto, 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. Sobra decir que, dado que se usa una presión negativa, la pérdida de la potencia de salida del motor de combustión interna puede ser pequeña. Aun cuando se use una bomba para suministrar aire, la carga sobre la bomba puede ser pequeña y por tanto la pérdida de la potencia de salida del motor de combustión interna puede ser pequeña.

En esta realización, la temperatura de los gases 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 aumente en exceso. En caso de que el primer catalizador 17 y el segundo catalizador 18 sean un catalizador de tres vías, cuando la temperatura es excesivamente alta, se produce el fenómeno denominado "sinterización" lo que disminuye la eficacia de depuración. Sin embargo, en esta realización, puede impedirse eficazmente que se produzca tal sinterización. Por este motivo, aun cuando el motor de combustión interna se accione a una velocidad de rotación alta, el combustible puede quemarse a la razón aire/combustible teórica. Por tanto, los gases 36 de escape pueden depurarse eficazmente por el primer catalizador 17 y el segundo catalizador 18. En otras palabras, en esta realización, puede mejorarse el rendimiento de depuración, que es una propiedad 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 está limitada a esto. Puede haber sólo un catalizador, o tres o más catalizadores. Pueden disponerse una pluralidad de catalizadores en paralelo.

La temperatura del aire que va a suministrarse al trayecto de escape es aproximadamente igual a la temperatura del aire exterior, y es significativamente menor que la de los gases de escape. Por tanto, en esta realización, la temperatura de los gases de escape pueden disminuirse adicionalmente por el aire que tiene una temperatura relativamente baja, que se suministra al interior del trayecto 16 de escape en gran cantidad. También en esta realización, puede suministrarse una gran cantidad de aire aguas arriba con respecto al primer catalizador 17. Por tanto, aun cuando la cantidad de combustible que debe inyectarse aumente para hacer la razón aire/combustible del motor 1 de combustión interna menor que la razón aire/combustible teórica, pueden suministrarse al primer catalizador 17 gases de escape que contienen una cantidad equivalente de oxígeno que cuando la razón aire/combustible es la razón aire/combustible teórica. Por tanto, en esta realización, la temperatura de los gases de escape también puede disminuirse haciendo la razón aire/combustible del motor 1 de combustión interna 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 la proximidad 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, que es una propiedad del motor 1 de combustión interna.

Debido a la significativa disminución de la presión de los gases de escape en esta realización, la pérdida de bombeo del motor 1 de combustión interna puede reducirse. Esto se debe a lo siguiente. Cuando la presión de los gases de escape en el trayecto 16 de escape disminuye significativamente, se tira del pistón (no mostrado) del motor 1 de combustión interna hacia el trayecto 16 de escape, concretamente, hacia el centro muerto superior, y por tanto se reduce el trabajo necesario para accionar el pistón en la carrera de escape. Esto se describirá 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. Tal como se muestra en la figura 9(B), cuando la presión de los gases de escape disminuye significativamente, se tira del pistón por los gases de escape aunque el cigüeñal (no mostrado) no accione el pistón. Por tanto, el motor 1 de combustión interna puede efectuar un trabajo positivo en la carrera de escape. La zona encerrada por la línea de rayas y puntos representa el trabajo positivo.

Tal como se muestra en la figura 1, en el dispositivo 5 de escape según esta realización, la sección 73 de suministro del trayecto 71 de suministro de aire secundario se sitúa aguas arriba con respecto al extremo aguas arriba de la sección 33 divergente. Por tanto, el sistema 70 de suministro de aire secundario nunca obstruye la onda 35b de choque que avanza. Tal como se muestra también en la figura 1, en el dispositivo 5 de escape según esta realización, la sección 73 de suministro del trayecto 71 de suministro de aire secundario se sitúa aguas abajo con respecto a la sección 21 de ramificación. Por tanto, el sistema 70 de suministro de aire secundario nunca obstruye la onda 35 de choque.

La presión en el trayecto 16 de escape disminuye en mayor medida en una posición más próxima a la sección 7 aguas arriba del trayecto 16 de escape. Por este motivo, la sección 73 de suministro del trayecto 71 de suministro de aire secundario puede situarse generalmente en la misma posición que, o aguas arriba con respecto a, la sección 21 de ramificación. Esto puede evitar que la onda 35c de expansión se atenúe por el sistema 70 de suministro de aire secundario, y por tanto el aire puede suministrarse de manera más eficaz.

La figura 10 es un gráfico obtenido a partir de una simulación y muestra la relación entre tres parámetros. En el gráfico de la figura 10, el eje vertical representa el valor obtenido al dividir la razón aire/combustible R cuando se suministra aire desde el sistema 70 de suministro de aire secundario entre la razón aire/combustible R0 cuando no se suministra aire. Cuando la cantidad del aire suministrado aumenta, el valor de R/R0 aumenta. Por tanto, el eje vertical representa la cantidad del aire suministrado. El eje horizontal representa el valor obtenido al dividir la presión K en la sección 32 convergente en la que está previsto el conducto 22 de ramificación entre la presión K0 en la sección 32 convergente en la que no está previsto ni el sistema 70 de suministro de aire secundario ni el conducto 22 de ramificación. Cuando la

presión en la sección 32 convergente aumenta por la colisión de los gases 36 de escape y la onda 35 de choque,  $K/K_0$  aumenta. Por tanto, el eje horizontal representa cuánto aumenta la presión en la sección 32 convergente por la colisión de los gases 36 de escape y la onda 35 de choque. Un aumento del valor del eje horizontal significa que la razón de presión crítica  $P/P_0$  disminuye y la onda 35b de choque que avanza se acelera en la tobera 31 convergente-divergente. Otro parámetro es la razón del área de sección transversal de trayecto de flujo de la entrada 21a de la sección 21 de ramificación con respecto al área de sección transversal de trayecto de flujo del trayecto 16 de escape en el que está prevista la sección 21 de ramificación (a continuación en el presente documento se denomina simplemente "razón de área").

Tal como se muestra en la figura 10, cuando la razón de área es del 10% al 50%,  $R/R_0$  y  $K/K_0$  están en proporción uno con respecto a otro. Sin embargo, cuando la razón de área es del 50% o más,  $R/R_0$  aumenta pero  $K/K_0$  no aumenta casi nada. Descrito a la inversa, se observa que  $K/K_0$  puede aumentarse hasta casi el valor máximo haciendo que la razón de área sea del 50% o más.

Tal como se muestra en la figura 3, cuando la razón de presión crítica  $P/P_0$  es de 0,2 a 0,8 o cuando el número de Mach es de 0,5 a 1,7, la razón de presión crítica y el número de Mach son proporcionales uno con respecto al otro. Sin embargo, tal como se muestra en la figura 3, cuando la razón de presión crítica es de 0,2 o menos o cuando el número de Mach es de 1,7 o más, el número de Mach aumenta rápidamente en comparación con la disminución de la razón de presión crítica. La zona en la que el número de Mach aumenta rápidamente en comparación con la disminución de la razón de presión crítica se considera que corresponde a la zona en la que la razón de área es del 50% o más en la figura 10. Específicamente, se considera que se genera una onda de choque que tiene un número de Mach de 1,7 o más en la tobera 31 convergente-divergente al proporcionar el trayecto 71 de suministro de aire secundario con una razón de área del 50% o más.

Cuando la razón de área es del 50% o más, incluso cuando la razón de área aumenta,  $K/K_0$  no aumenta pero  $R/R_0$  sí aumenta. Específicamente, se observa que incluso cuando la razón de área es del 50% o más, se suministra una mayor cantidad de aire ya que la razón de área aumenta. Por tanto, la razón de área puede ser del 100%. Específicamente, el área de sección transversal de trayecto de flujo del trayecto 16 de escape en el que está prevista la sección 21 de ramificación puede ser igual que el área de sección transversal de trayecto de flujo de la entrada 21a de la sección 21 de ramificación. Alternativamente, la razón de área puede ser superior al 100%. Específicamente, el área de sección transversal de trayecto de flujo de la entrada 21a de la sección 21 de ramificación puede ser mayor que el área de sección transversal de trayecto de flujo del trayecto 16 de escape en el que está prevista la sección 21 de ramificación. Por ejemplo, la entrada 21a de la sección 21 de ramificación puede tener un área de sección transversal elíptica o similar que es mayor que el área de sección transversal del trayecto 16 de escape en el que está prevista la sección 21 de ramificación.

<Realización 2>

Tal como se muestra en la figura 11, en la realización 2, el conducto 22 de ramificación se usa como parte del conducto de suministro de aire secundario. Excepto por esta diferencia estructural la realización 2 es exactamente igual que la realización 1. Por consiguiente, la descripción detallada de la realización 2 se proporciona mediante la descripción detallada de la figura 1 a la figura 10 en relación con la realización 1. La válvula 74 de avance está unida al conducto 72 de suministro de aire secundario actuando también como conducto 22 de ramificación. La válvula 74 de avance actúa como el extremo cerrado del conducto 22 de ramificación actuando también como conducto 72 de suministro de aire secundario. En otras palabras, la válvula 74 de avance, que forma parte del sistema 70 de suministro de aire secundario, actúa como sección 21b de reflexión de la sección 21 de ramificación del dispositivo 5 de escape. En esta realización, la entrada 21a de la sección 21 de ramificación del dispositivo 5 de escape actúa como la sección 73 de suministro del sistema 70 de suministro de aire secundario. Además, la sección 21 de ramificación del dispositivo 5 de escape actúa como parte del trayecto 71 de suministro de aire secundario del sistema 70 de suministro de aire secundario. En la realización 2, el conducto 22 de ramificación actúa también como el conducto 72 de suministro de aire secundario. Alternativamente, el conducto 72 de suministro de aire secundario descrito en la realización 1 puede insertarse en una parte intermedia del conducto 22 de ramificación desde fuera.

Con el dispositivo 5 de escape en esta realización, cuando se abre el orificio 9a 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 por la acción de la tobera 31 convergente-divergente, la válvula 74 de avance se abre y puede suministrarse aire al interior del trayecto 16 de escape a través de la sección 21 de ramificación. En esta realización también, puede suministrarse suficiente cantidad 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 1. Además, puede mejorarse el grado de libertad del diagrama.

## &lt;Realización 3&gt;

Tal como se muestra en la figura 12, en la realización 3, el conducto 22 de ramificación se usa como parte de la tobera convergente-divergente. Excepto por esta diferencia estructural, la realización 3 es exactamente igual 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 10 en relación con la realización 1. En las realizaciones 1 y 2, la sección 32 convergente, la sección 34 de garganta y la sección 33 divergente están formadas 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 la continuación de los estudios activos, los presentes inventores pensaron en una estructura que proporciona el mismo efecto con una estructura más sencilla. Según la presente invención, para 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 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 caso de que el área de sección transversal de trayecto de flujo A5 de una parte del trayecto 16 de escape que está aguas arriba con respecto a la entrada 21a de la sección 21 de ramificación sea aproximadamente igual que el área de sección transversal de trayecto de flujo A7 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, la suma del área de sección transversal de trayecto de flujo A5 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 de sección transversal de trayecto de flujo A4 de la sección 21 de ramificación es mayor que el área de sección transversal de trayecto de flujo A7 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, simplemente proporcionando 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 prolongada a lo largo de la dirección de flujo tal como se muestra en el presente 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.

En las realizaciones 1, 2 y 3, el motor 1 de combustión interna suministra aire al trayecto 16 de escape de la siguiente manera. 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 los gases 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 mayor velocidad que los gases 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 los gases de escape, aumentando así la presión de los gases de escape. El área de sección transversal de trayecto de flujo del trayecto 16 de escape disminuye para aumentar la presión de los gases 36 de escape. Específicamente, la presión de los gases de escape aumenta provocando que los gases de escape fluyan 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 de los gases 36 de escape aumenta al aumentar el área de sección transversal de trayecto de flujo del trayecto 16 de escape. Específicamente, la velocidad de los gases de escape aumenta provocando que los gases de escape fluyan en una parte del trayecto 16 de escape en la que el área de sección transversal de trayecto de flujo aumenta en la dirección aguas abajo. Se genera la nueva onda 35b de choque que se propaga en la dirección aguas abajo en el trayecto 16 de escape para formar una zona de una presión negativa en el trayecto 16 de escape. Se suministra aire a esta zona. Por tanto, el aire puede suministrarse al trayecto de escape aun cuando el motor 1 de combustión interna se accione en un estado de carga alta o a alta velocidad. Sobra decir que, debido a que se usa la presión negativa, la pérdida de la potencia de salida del motor de combustión interna puede ser pequeña.

Con referencia a la figura 13 y la figura 14 se describirá en detalle el método de suministro de aire secundario. La figura 13 muestra la relación entre la velocidad de los gases de escape y la presión de los gases de escape en el trayecto 16 de escape en secuencia temporal. La figura 14 muestra la relación entre la presión de los gases de escape y la temperatura de los gases de escape en el trayecto 16 de escape en secuencia temporal. Las formas de onda mostradas en la figura 7 representan la relación entre la velocidad de los gases de escape y la presión de los gases 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 abrirse el orificio de escape. La figura 13(B) y la figura 14(B) muestran la respectiva relación inmediatamente después de que los gases 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 la onda de choque se haya acelerado.

1) El combustible se quema en la cámara de combustión. Al abrir el orificio 9a de escape en la cámara de combustión, los gases 36 de escape fluyen al interior del trayecto 16 de escape desde la cámara 10 de combustión, y también se

genera la onda 35 de choque que se propaga en el trayecto 16 de escape a mayor velocidad que los gases 36 de escape. La figura 13(A) muestra la velocidad de los gases de escape y la presión de los gases de escape inmediatamente después de abrirse el orificio 9a de escape. Tal como se muestra en la figura 13(A), cuando se abre el orificio 9a de escape, la presión de los gases de escape en la proximidad del orificio 9a de escape se vuelve mayor que la presión atmosférica. La figura 14(A) muestra la presión de los gases de escape y la temperatura de los gases de escape inmediatamente después de abrirse el orificio 9a de escape. Tal como se muestra en la figura 14(A), la temperatura de los gases 36 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 35 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 35 de choque ramificada. La onda 35 de choque reflejada se propaga en la sección 21 de ramificación y de nuevo de vuelta al trayecto 16 de escape. La onda 35 de choque reflejada colisiona contra los gases 36 de escape que fluyen en el trayecto 16 de escape, lo que aumenta la presión de los gases 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 de los gases de escape. Ya sea el aumento de la presión de los gases de escape provocado por la colisión de la onda 35 de choque y los gases 36 de escape, o el aumento de la presión de los gases de escape provocado por la disminución del área de sección transversal de trayecto de flujo, puede suceder en primer lugar. Concretamente, la colisión de la onda 35 de choque y los gases 36 de escape puede suceder antes o después del aumento de la presión de los gases de escape en la sección 32 convergente. La figura 13(B) muestra la velocidad de los gases de escape y la presión de los gases de escape inmediatamente después de que aumente la presión de los gases de escape. Tal como se muestra en la figura 13(B), en la proximidad de la sección 32 convergente, la presión de los gases 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 los gases de escape es mayor que la del momento de la figura 13(A). La figura 14(B) muestra la presión de los gases de escape y la temperatura de los gases de escape inmediatamente después de que aumente la presión de los gases de escape. Tal como se muestra en la figura 14(B), la temperatura de los gases de escape es menor en la proximidad 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) Cuando aumenta el área de sección transversal de trayecto de flujo del trayecto 16 de escape en la sección 33 divergente para aumentar la velocidad de los gases de escape, se genera una nueva onda 35b de choque que se propaga en la dirección aguas abajo en el trayecto 16 de escape. Cuando se genera la onda 35b de choque, se genera al mismo tiempo una onda 35c de expansión que avanza en la dirección aguas arriba. La nueva onda 35b de choque se acelera en la sección 33 divergente. Por tanto, el fluido presente en el espacio entre la onda 35b de choque que avanza en la dirección aguas abajo en el trayecto 16 de escape y la onda 35c de expansión que avanza en la dirección aguas arriba en el trayecto 16 de escape se expande rápidamente. Esto puede disminuir la presión de los gases de escape que fluyen 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 los gases de escape puede disminuir aguas arriba con respecto a la onda 35b de choque por un efecto de enfriamiento adiabático provocado por la expansión adiabática. La figura 13(C) muestra la velocidad de los gases de escape y la presión de los gases de escape cuando la onda 35b de choque está acelerándose en la sección 33 divergente. Tal como se muestra en la figura 13(C), la presión de los gases de escape disminuye rápidamente respecto a 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 los gases de escape aguas arriba con respecto a la sección 33 divergente aumenta rápidamente. La figura 14(C) muestra la presión de los gases de escape y la temperatura de los gases de escape cuando la onda 35b 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 los gases de escape aguas arriba con respecto a la sección 33 divergente, la temperatura de los gases de escape disminuye rápidamente respecto a la del momento de la figura 14(B).

La figura 13(D) muestra la velocidad de los gases de escape y la presión de los gases de escape después de acelerarse la onda 35b de choque. Tal como se muestra en la figura 13(D), la influencia de la presión de los gases de escape, que disminuye aguas arriba con respecto a la sección 33 divergente en el momento de la figura 13(C), se ejerce incluso sobre el orificio 9a de escape aguas arriba con respecto a la sección 32 convergente. Por tanto, la presión de los gases de escape se vuelve una presión negativa también en la proximidad del orificio 9a de escape. La figura 14(D) muestra la presión de los gases de escape y la temperatura de los gases de escape después de acelerarse la onda 35b de choque. Tal como se muestra en la figura 14(D), puesto que la presión de los gases de escape se vuelve una presión negativa también en la proximidad del orificio 9a de escape, la temperatura de los gases de escape también puede disminuir significativamente en la proximidad del orificio de escape.

Tal como se muestra en la figura 14, la temperatura de los gases de escape aguas abajo con respecto a la sección 33 divergente no cambia mucho. En otras palabras, puesto que los gases de escape a alta temperatura en la proximidad del orificio 9a de escape mostrado en la figura 14(A) se enfrían por un efecto de enfriamiento adiabático en la sección 33 divergente, puede impedirse que cambie la temperatura de los gases 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 los gases de escape aguas abajo con respecto a la sección 33 divergente, tal como se ha descrito anteriormente, puede

impedirse que la temperatura de los gases de escape que pasan por el primer catalizador 17 y por 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 con una carga alta o en un intervalo de velocidad de rotación alto.

5 Cuando se conecta el conducto 72 de suministro de aire secundario para suministrar aire a una zona en la que se genera una presión negativa, puede suministrarse aire al trayecto 16 de escape. Específicamente, tal como se muestra en la figura 13(C) y la figura 13(D), después de acelerarse la onda 35b de choque, se genera una zona presión de negativa aguas arriba con respecto a la sección 33 divergente. Por tanto, al proporcionar la sección 73 de suministro del trayecto 71 de suministro de aire secundario aguas arriba con respecto a la sección 33 divergente, puede suministrarse una gran cantidad de aire al trayecto 16 de escape.

10 <Otras realizaciones>

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. 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 de la carrocería de la misma. No hay limitación alguna en cuanto al objetivo de aplicación del motor de combustión interna según la presente invención.

La figura 17 muestra un motor de múltiples cilindros en el que los orificios 9a de escape de una pluralidad de cámaras 10 de combustión se fusionan entre sí en un trayecto 16 de escape y está prevista una tobera 31 convergente-divergente aguas abajo con respecto a la parte de fusión. En esta realización, una parte del trayecto de escape conectada a uno de los orificios 9a actúa como sección 21 de ramificación. La descripción detallada de la figura 17 es igual que la de la figura 4. Por tanto, se entiende fácilmente que la presente invención es aplicable a un motor de múltiples cilindros tal como se muestra en la figura 17.

En las realizaciones anteriores, está previsto un orificio de escape para una cámara de combustión. Alternativamente, puede estar prevista una pluralidad de orificios de escape para una cámara de combustión. En las realizaciones anteriores, está prevista una tobera convergente-divergente para una cámara de combustión. Alternativamente, pueden estar previstas dos o más toberas para una cámara de combustión. Sobra decir que tales estructuras son aplicables a un motor de combustión interna de múltiples cilindros con una pluralidad de cámaras de combustión. La presente invención es aplicable a cualquiera de diversos tipos de motores de combustión interna.

En las realizaciones anteriores, está prevista una sección de ramificación para un trayecto de escape. Alternativamente, puede estar prevista una pluralidad de secciones de ramificación para un trayecto de escape. Aún alternativamente, los extremos de una pluralidad de secciones de ramificación ramificados desde una posición común del trayecto 16 de escape pueden conectarse entre sí para formar una sección de ramificación con un trayecto cíclico. En este caso, las ondas de choque que se han propagado en las respectivas secciones de ramificación colisionan unas contra otras y se reflejan en la parte de conexión. La parte de conexión actúa como sección de reflexión. La sección de reflexión puede estar prevista incluso sin un elemento tal como una pared.

La figura 18 muestra una modificación de una de las realizaciones anteriores, y es una vista en sección transversal de un trayecto de escape y similares de la misma. En la realización 1, tal como se muestra de nuevo en la figura 18, el conducto 72 de suministro de aire secundario, concretamente, la sección 73 de suministro del trayecto 71 de suministro de aire secundario está prevista aguas abajo con respecto a la sección 21 de ramificación. Alternativamente, en una modificación, el conducto 72 de suministro de aire secundario, concretamente, la sección 73 de suministro del trayecto 71 de suministro de aire secundario puede estar prevista aguas arriba con respecto a la sección 21 de ramificación (véase el número de referencia 72b) o en la misma posición que la sección 21 de ramificación (véase el número de referencia 72a).

En la realización 2 de la presente invención, se suministra aire a la sección 21 de ramificación. Por tanto, no se forma un trayecto que actúa exclusivamente como sección 21 de ramificación. Por este motivo, en comparación con la realización 1 y la realización 3 en la que se usa la sección 21 de ramificación dedicada, los costes se reducen y puede mejorarse el grado de libertad del diagrama.

Según la presente invención, el área de sección transversal de trayecto de flujo de la entrada 21a de la sección 21 de ramificación se ajusta para ser igual o mayor que el 50% del área de sección transversal de trayecto de flujo del trayecto 16 de escape en el que está prevista la sección 21 de ramificación. Como resultado, la presión en la sección 32 convergente puede aumentar por la colisión de los gases 36 de escape y la onda 35 de choque, por tanto aumentar  $K/K_0$ . Al aumentar  $K/K_0$ , la razón de presión crítica  $P/P_0$  puede disminuir para acelerar adicionalmente la onda 35b de choque que avanza en la sección 33 divergente.

Según la presente invención, el área de sección transversal de trayecto de flujo de una parte del trayecto 71 de suministro de aire secundario que está aguas arriba con respecto a la sección 73 de suministro se ajusta para ser igual o mayor que el área de sección transversal de trayecto de flujo de la sección 73 de suministro. Por tanto, el flujo de aire

no se estrangula por la válvula 74 de avance o similar, y por tanto, puede suministrarse una cantidad de aire necesaria y suficiente al trayecto 16 de escape.

5 Según la presente invención, se ha descubierto que la presión negativa es mayor en una posición más próxima al orificio 9a de escape. Al estructurar la sección 73 de suministro de manera que se suministre aire aguas arriba con respecto a la sección 21 de ramificación en la dirección de flujo en el trayecto 16 de escape, puede suministrarse aire de manera más eficaz.

10 Según la presente invención, la sección 73 de suministro suministra aire en la misma posición que la sección 21 de ramificación en la dirección de flujo en el trayecto 16 de escape. Por tanto, el trayecto 71 de suministro de aire secundario puede usarse como otra sección de ramificación. Esto puede aumentar la presión negativa y por tanto puede suministrar aire de manera todavía más eficaz.

Según la presente invención, la sección 73 de suministro suministra aire aguas abajo con respecto a la sección 21 de ramificación en la dirección de flujo en el trayecto 16 de escape. Por tanto, la temperatura en una parte aguas abajo del trayecto 16 de escape puede disminuir de manera eficaz.

#### 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
	21b	Sección de reflexión
	31	Tobera convergente-divergente
25	32	Sección convergente
	33	Sección divergente
	34	Sección de garganta
	35	Onda de choque
	35b	Onda de choque que avanza
30	35c	Onda de expansión
	36	Gases de escape
	71	Trayecto de suministro de aire secundario

**REIVINDICACIONES**

1. Motor (1) de combustión interna, que comprende:

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

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

5 un dispositivo (5) de escape que tiene un trayecto (16) de escape para guiar los gases de escape descargados desde la cámara (10) de combustión a través del orificio (9a) de escape; y

un sistema (70) de suministro de aire secundario para suministrar aire al dispositivo (5) de escape;

en el que:

el dispositivo (5) de escape comprende:

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

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 mayor en un extremo aguas abajo de la misma que en un extremo aguas arriba de la misma; y

15 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 mayor velocidad que los gases de escape que fluyen al interior del trayecto (16) de escape desde la cámara (10) de combustión cuando el orificio (9a) de escape está abierto, 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 de vuelta al trayecto (16) de escape;

20 los gases de escape que fluyen al interior del trayecto (16) de escape desde la cámara (10) de combustión se hacen pasar por la sección (32) convergente y se hacen 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 de los gases de escape en la sección (32) convergente;

25 los gases de escape se hacen pasar por la sección (33) divergente para generar una nueva onda de choque; y

30 el sistema (70) de suministro de aire secundario incluye una sección (72) de suministro para suministrar aire a una parte del trayecto (16) de escape que está aguas arriba con respecto a la sección (33) divergente, usando una presión negativa generada en la parte del trayecto (16) de escape que está aguas arriba con respecto a la sección (33) divergente por la nueva onda de choque generada.

2. Motor (1) de combustión interna según la reivindicación 1, en el que

35 la velocidad de los gases de escape descargados desde la cámara (10) de combustión cuando el orificio (9a) de escape está abierto es  $V_e$  y la velocidad de propagación de la onda de choque que se propaga en el trayecto (16) de escape es  $V_s$ , la distancia  $L_e$  entre el orificio (9a) de escape y una entrada de la sección (21) de ramificación y la distancia  $L_s$  por la que se propaga la onda de choque en la sección (21) de ramificación cumplen la relación de:

$$L_e/V_e \leq (L_e + 2L_s)/V_s; \text{ y}$$

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

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

45 3. Motor (1) de combustión interna según la reivindicación 1 ó 2, en el que la sección (72) de suministro suministra aire a la sección (21) de ramificación.

4. Motor (1) de combustión interna según la reivindicación 1, 2 ó 3, en el que el área de sección transversal de trayecto de flujo de la entrada de la sección (21) de ramificación es igual o mayor que el 50% del

área de sección transversal de trayecto de flujo del trayecto (16) de escape en el que está prevista la sección (21) de ramificación.

- 5 5. Motor (1) de combustión interna según la reivindicación 1, 2, 3 ó 4, en el que el área de sección transversal de trayecto de flujo de una parte del trayecto de sistema (70) de aire secundario que está aguas arriba con respecto a la sección (72) de suministro es igual o mayor que el área de sección transversal de trayecto de flujo de la sección (72) de suministro.
6. Motor (1) de combustión interna según la reivindicación 1, en el que la sección (72) de suministro suministra aire a una parte aguas arriba con respecto a la sección (21) de ramificación en una dirección de flujo en el trayecto (16) de escape.
- 10 7. Motor (1) de combustión interna según la reivindicación 1, en el que la sección (72) de suministro suministra aire a la misma posición que la sección (21) de ramificación en una dirección de flujo en el trayecto (16) de escape.
- 15 8. Motor (1) de combustión interna según la reivindicación 1, en el que la sección (72) de suministro suministra aire a una parte aguas abajo con respecto a la sección (21) de ramificación en una dirección de flujo en el trayecto (16) de escape.
9. Vehículo, que comprende un motor (1) de combustión interna según una de las reivindicaciones 1 a 8.
10. Embarcación marítima, que comprende un motor (1) de combustión interna según una de las reivindicaciones 1 a 8.
- 20 11. Método de suministro de aire secundario para un motor (1) de combustión interna, que comprende las etapas de:
- quemar combustible en una cámara (10) de combustión;
- 25 abrir una válvula (9) de escape para abrir o cerrar un orificio (9a) de escape de la cámara (10) de combustión para descargar gases 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 mayor velocidad que los gases de escape;
- 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 provocar que la onda de choque colisione contra los gases de escape, aumentando así la presión de los gases de escape;
- 30 provocar que los gases de escape fluyan al interior de una parte 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 así la presión de los gases de escape; y
- 35 provocar que los gases de escape fluyan al interior de una parte 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 así 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 y suministrar aire a la zona.
12. Motor (1) de combustión interna que adopta un método de suministro de aire secundario según la reivindicación 11.

Fig. 1

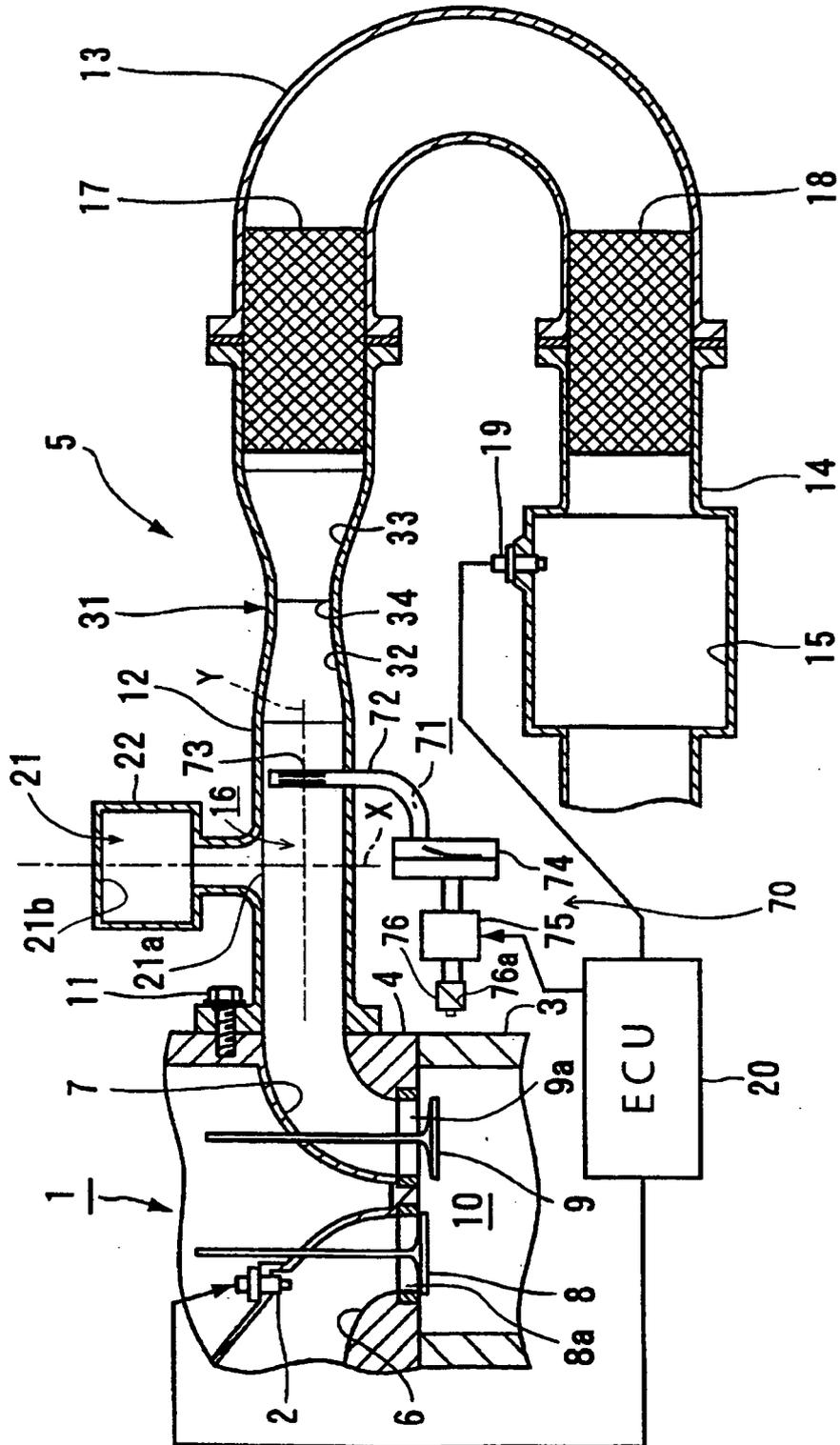


Fig. 2

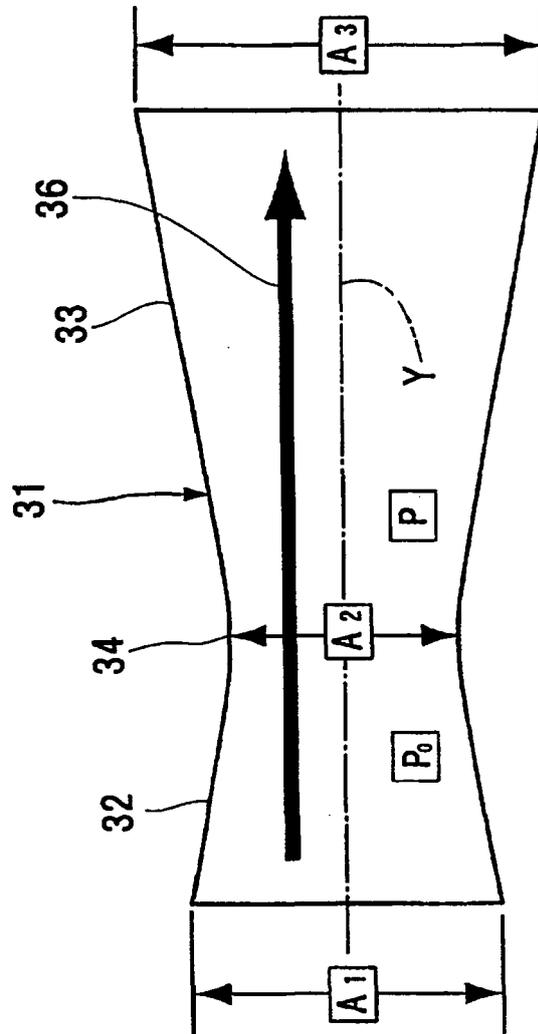


Fig. 3

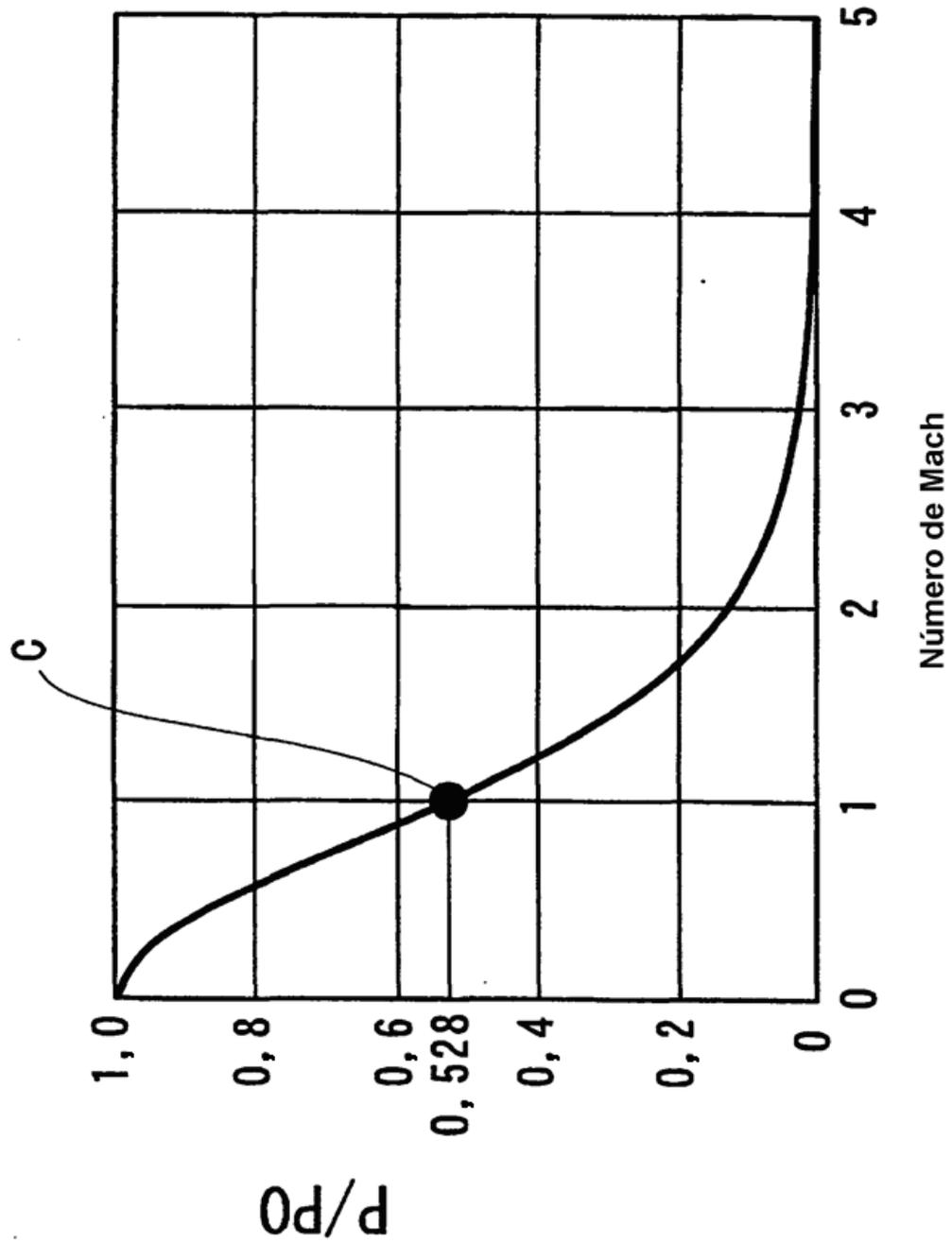


Fig. 4

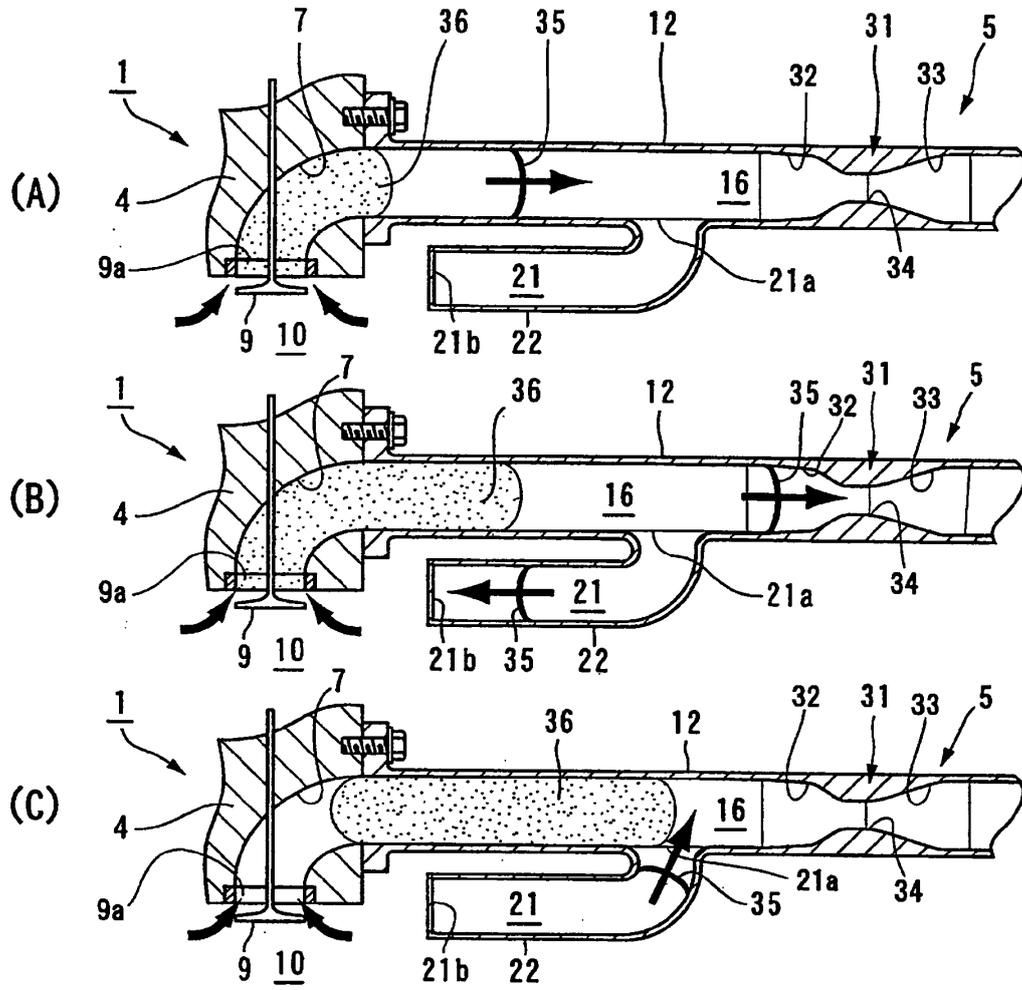


Fig. 5

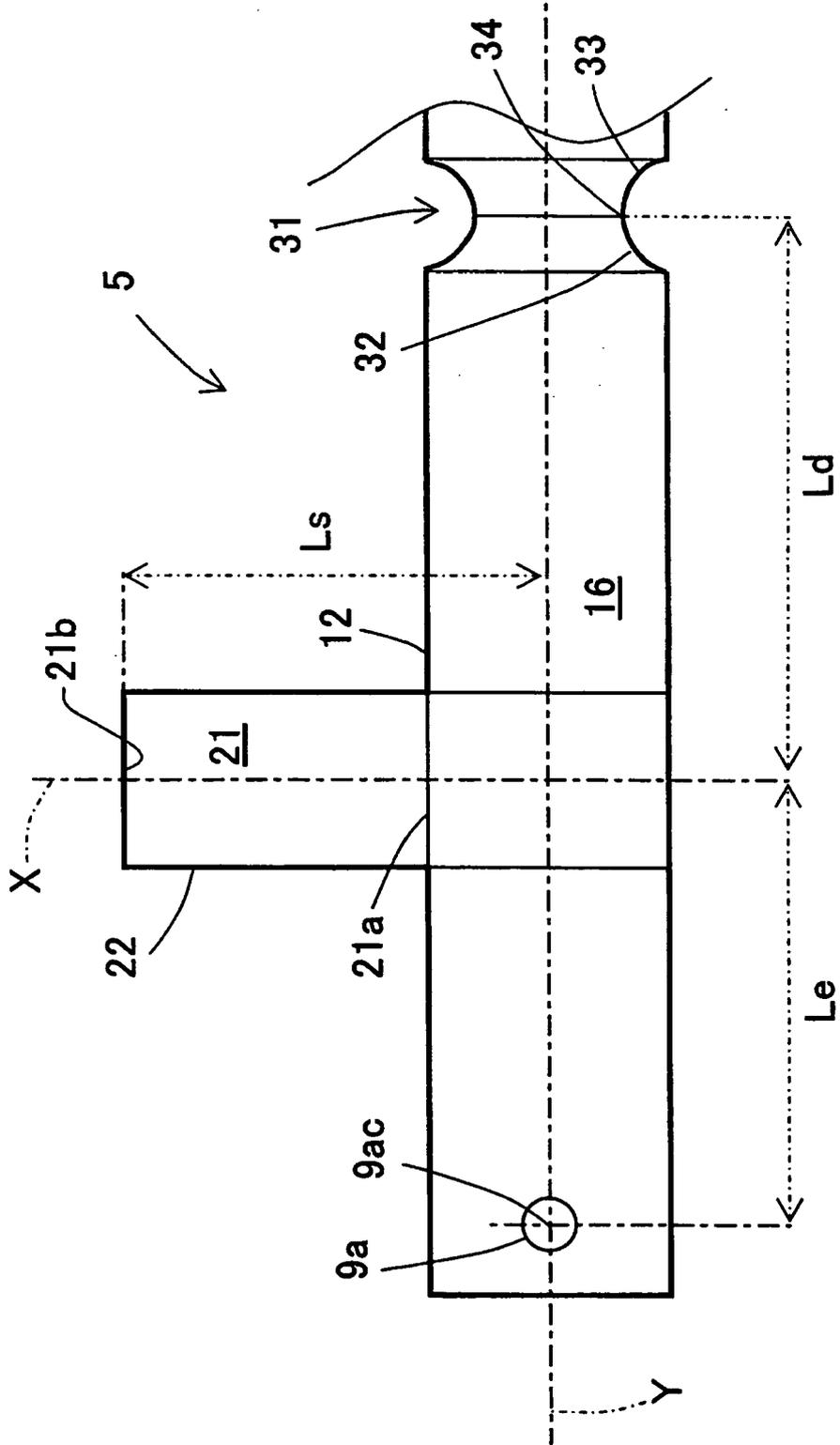


Fig. 6

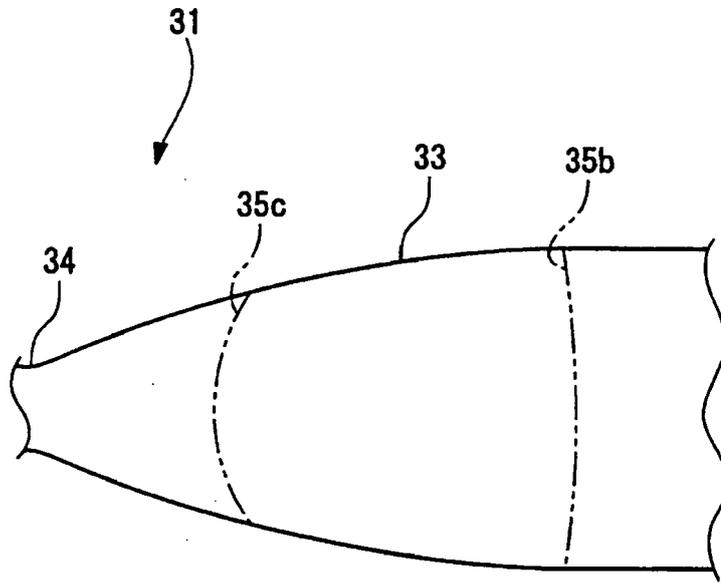


Fig. 7

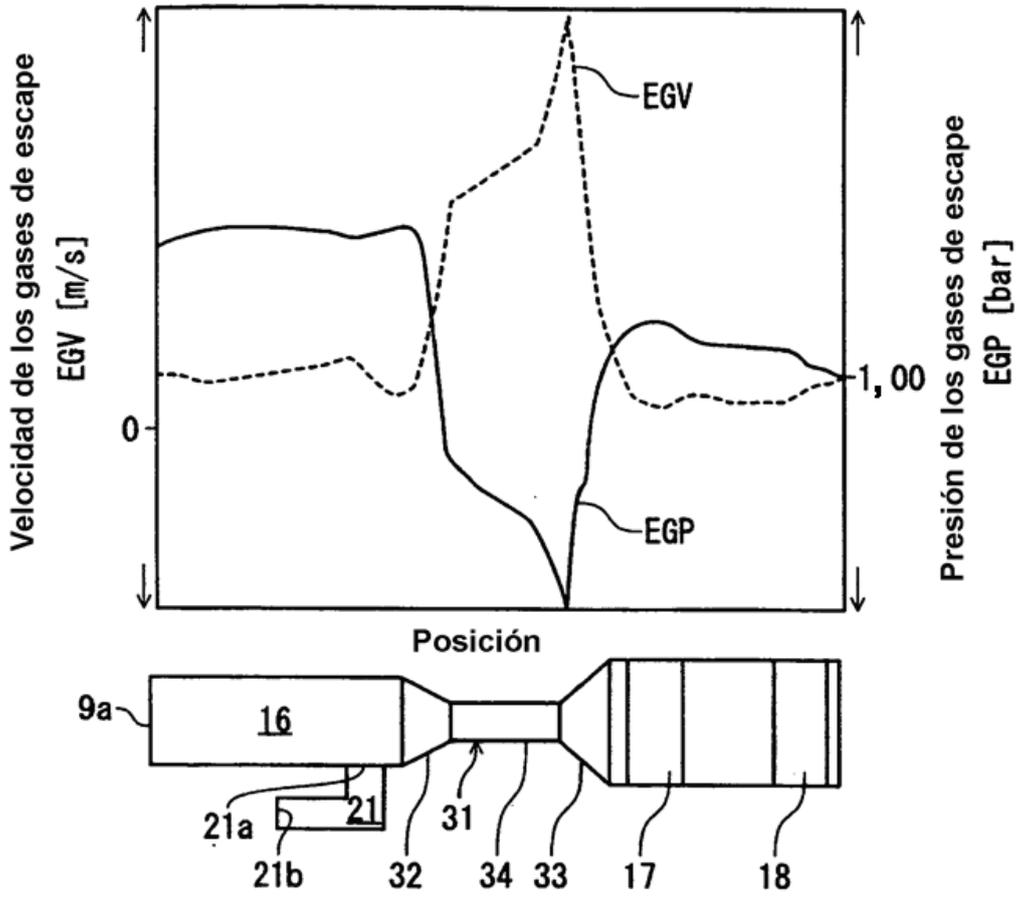


Fig. 8

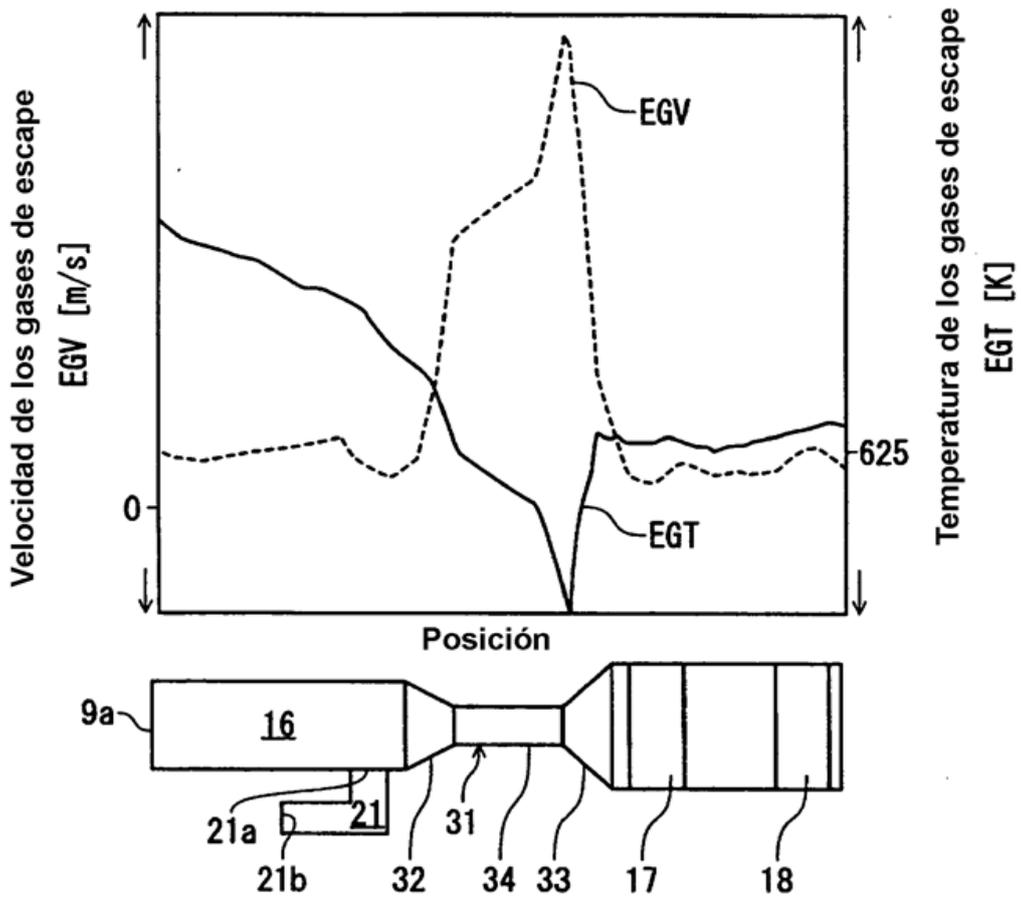
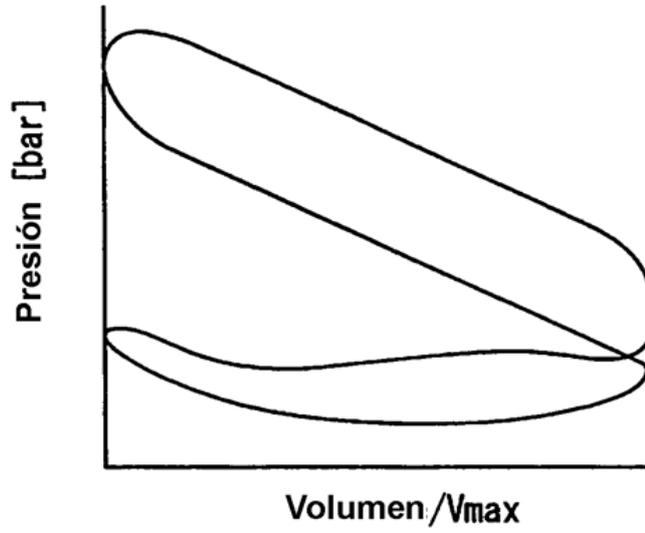


Fig. 9

(A)



(B)

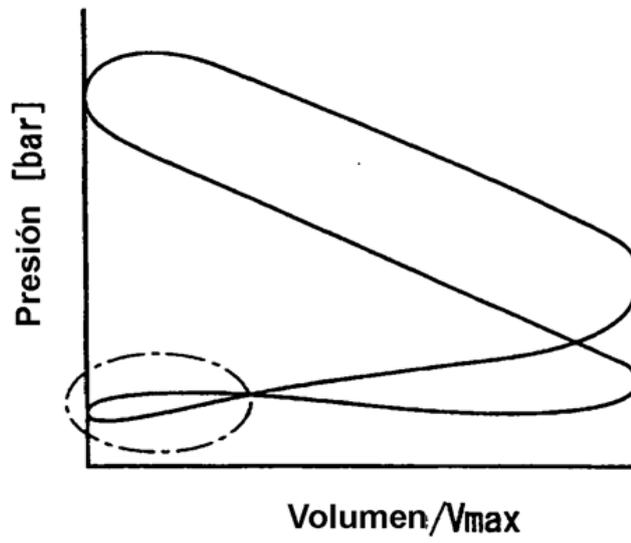


Fig. 10

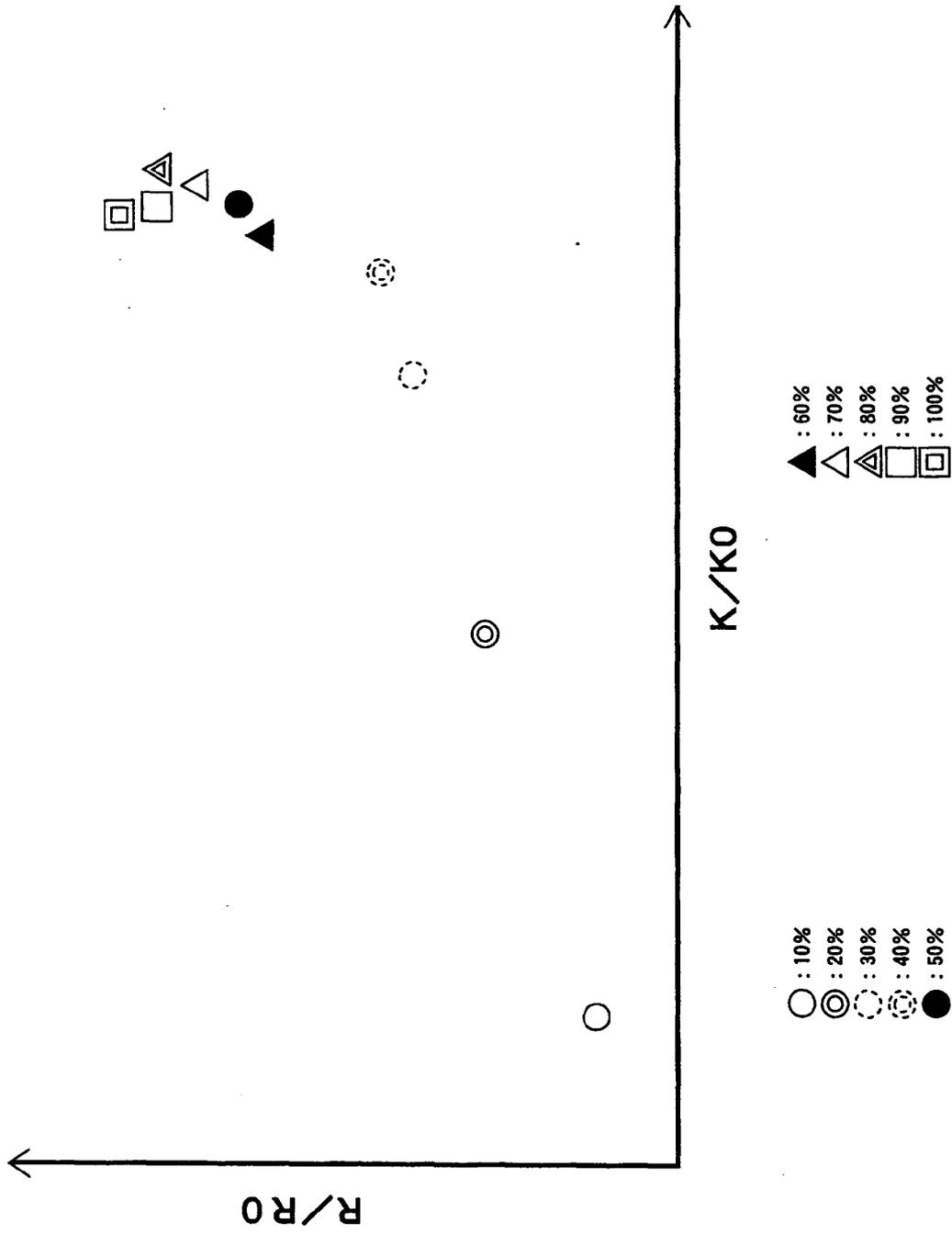






Fig. 13

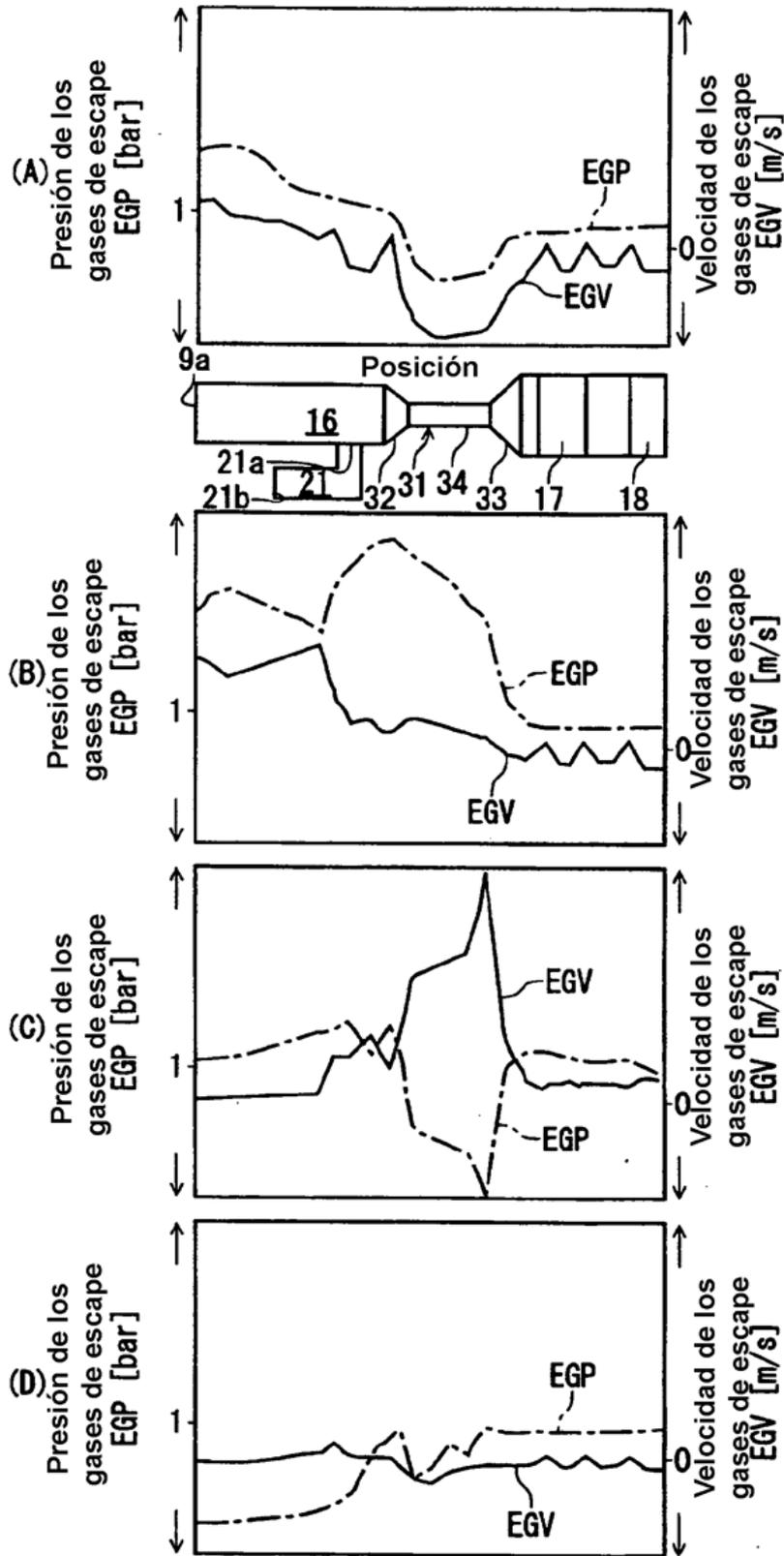


Fig. 14

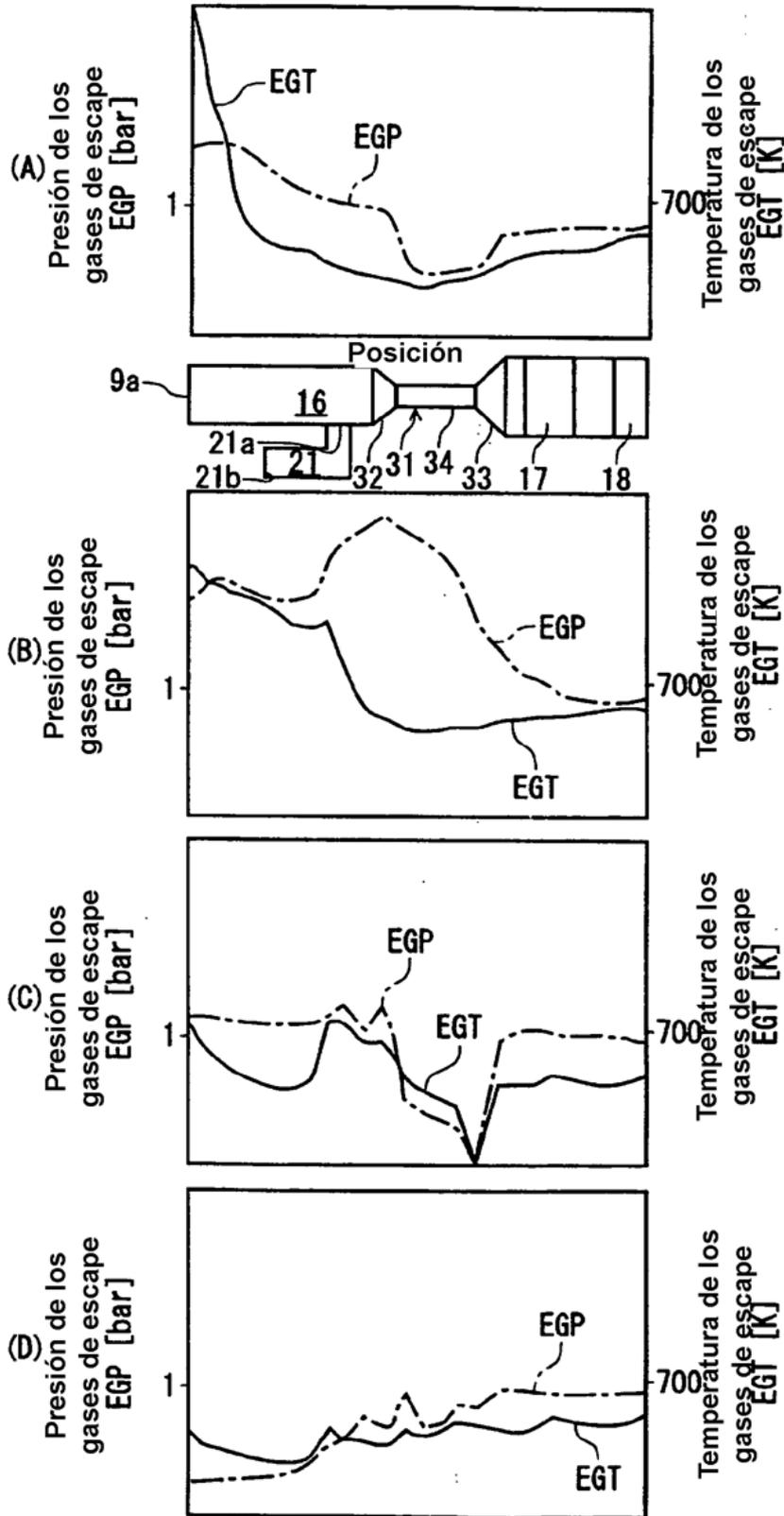


Fig. 15

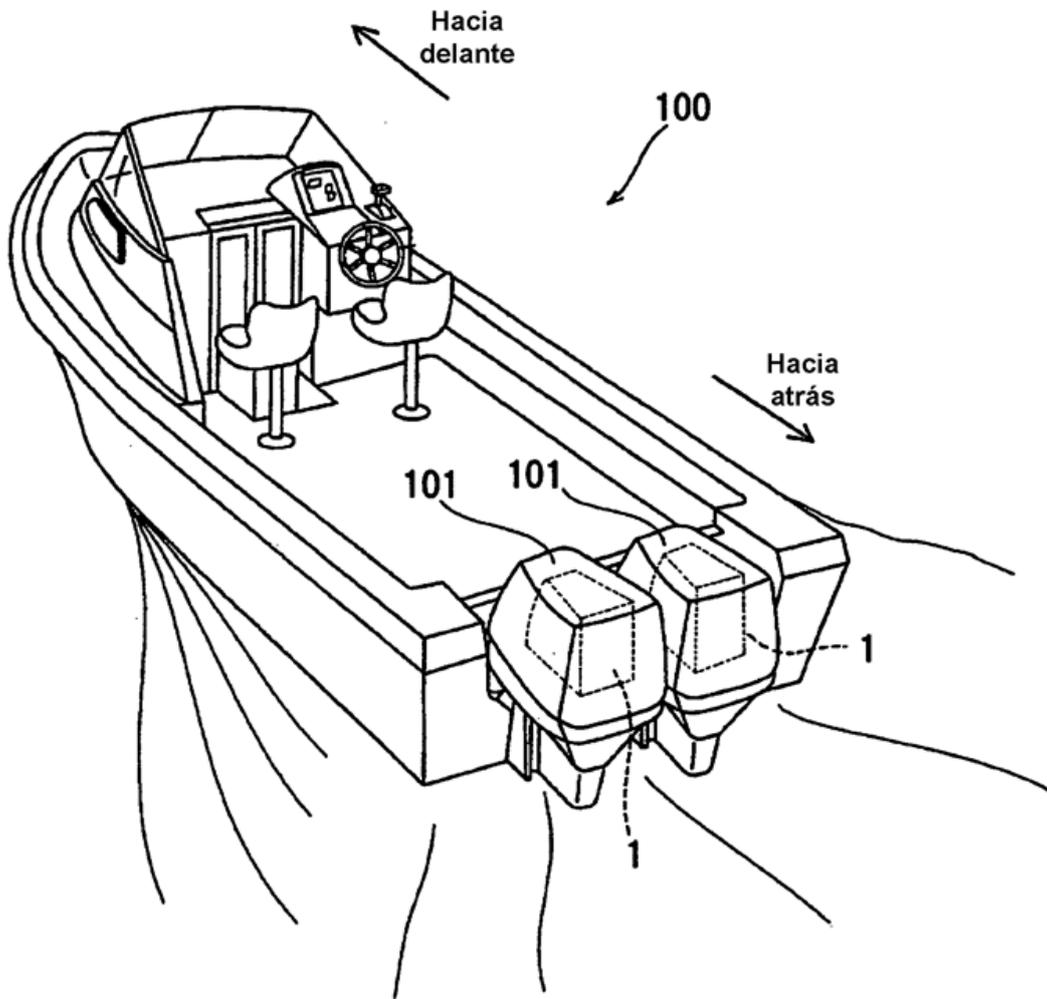


Fig. 16

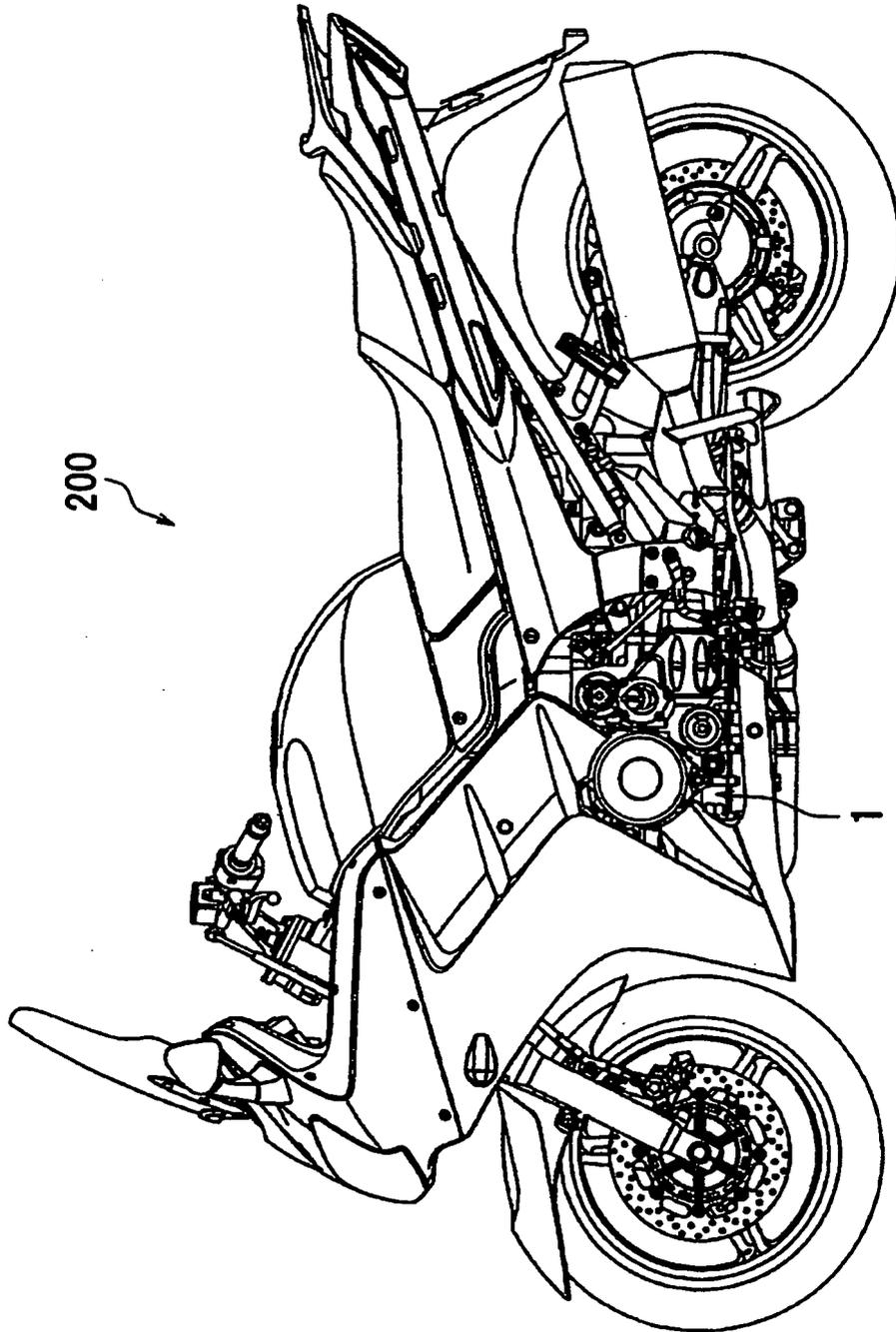


Fig. 17

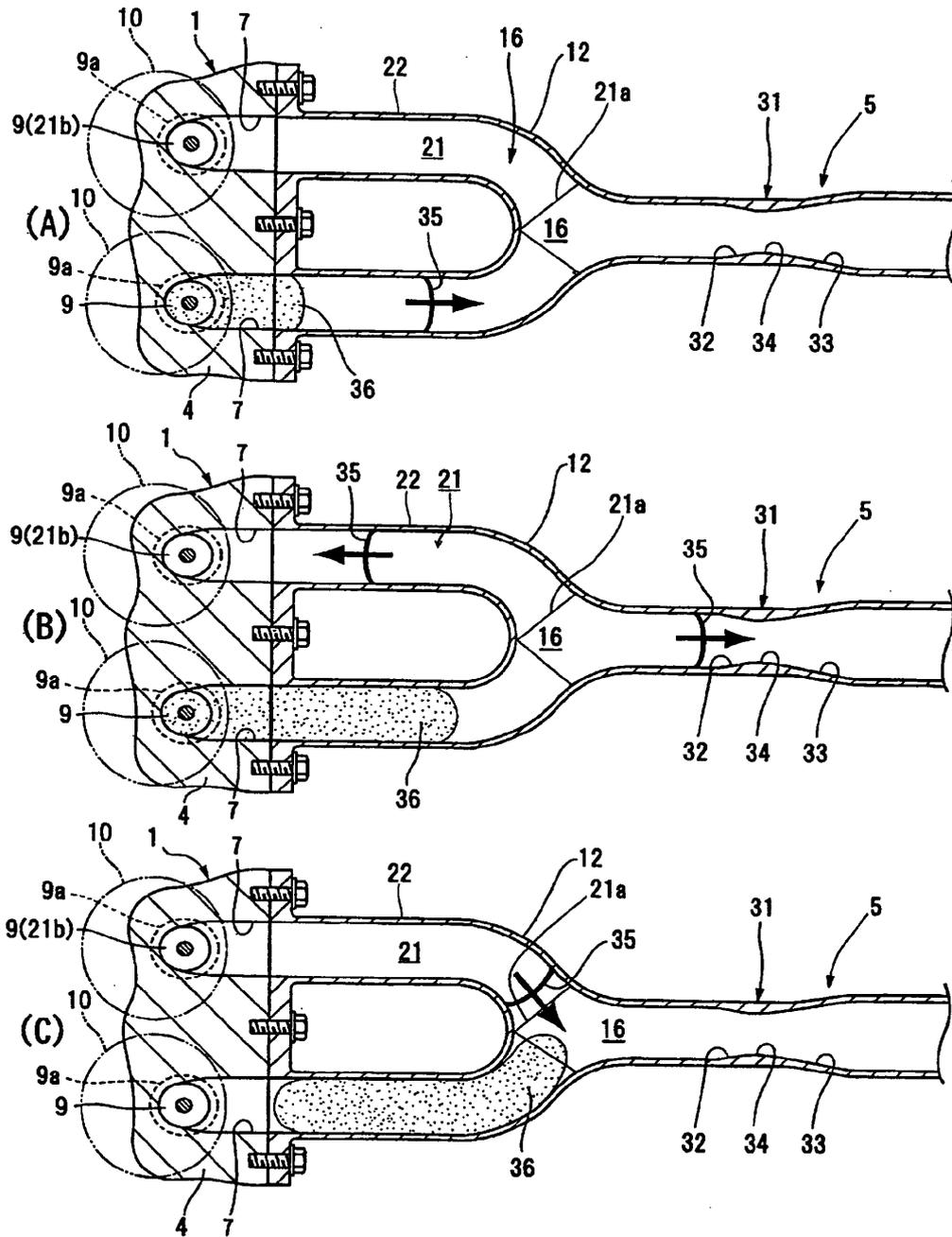


Fig. 18

