

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 733 071**

51 Int. Cl.:

F02B 19/12 (2006.01)

F02B 19/10 (2006.01)

F02M 21/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.02.2017 E 17154740 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2019 EP 3203050**

54 Título: **Cámara de precombustión de mezcla pobre**

30 Prioridad:

06.02.2016 US 201662292301 P
02.02.2017 US 201615422751 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
27.11.2019

73 Titular/es:

PROMETHEUS APPLIED TECHNOLOGIES, LLC
(100.0%)
1613 Prospect Parkway, Suite 120
Fort Collins, CO 80525 , US

72 Inventor/es:

TOZZI,, LUIGI P.;
SOTIROPOULOU,, MARIA-EMMANUELLA;
BESHOURI,, GREG y
LEPLEY, DAVID THOMAS

74 Agente/Representante:

ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 733 071 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

Cámara de precombustión de mezcla pobre

5 I. REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS

Esta solicitud reivindica la prioridad de la Solicitud de patente de los Estados Unidos número 62/292.301, titulada "Lean-Burn Pre-Combustion Chamber", y presentada el 6 de febrero de 2016.

10 II. CAMPO DE LA INVENCION

La divulgación se refiere generalmente a sistemas y procedimientos para una cámara de precombustión de mezcla pobre, y más particularmente a una cámara de precombustión de mezcla pobre que utiliza un método dinámico de flujo único y la estructura de la precámara resultante para garantizar una propagación de llama muy eficiente de
15 mezcla de combustible y aire ($\lambda = \lambda$) pobre dentro de la PCC de motores de gas natural.

III. ANTECEDENTES DE LA INVENCION

El encendido de la cámara de precombustión (PCC, por sus siglas en inglés) es un procedimiento común para
20 extender el límite de mezcla pobre y reducir la variabilidad de la combustión en motores de gas natural de gran calibre (360-560 mm). Sin embargo, todos los diseños de PCC existentes operan bajo condiciones de mezcla "rica", dando como resultado un rendimiento de la combustión inferior al óptimo en términos del trade-off (capacidad de intercambio) entre la eficiencia del motor y las emisiones de NOx.

25 Los documentos WO2015060236 y US20150176474 muestran cámaras de precombustión.

IV. BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 representa una cámara de precombustión en conformidad con ciertas formas de realización.

30

La figura 2 representa una cámara de precombustión en conformidad con ciertas formas de realización.

Las figuras 3A-B representan una cámara de precombustión enroscable en conformidad con ciertas formas de
realización.

35

La figura 3C representa una cámara de precombustión sujeta con abrazadera en conformidad con ciertas formas de realización.

Las figuras 4A-B representan cámaras de precombustión ejemplares con diversos ángulos de tobera en conformidad
40 con ciertas formas de realización.

La figura 5 representa una cámara de precombustión de mezcla pobre en conformidad con ciertas formas de
realización.

45 Las figuras 6A-B representan una cámara de precombustión de mezcla pobre en conformidad con ciertas formas de
realización.

Las figuras 7A-B representan una cámara de precombustión de mezcla pobre con una bujía de electrodo de masa
única en conformidad con ciertas formas de realización.

50

Las figuras 8A-B representan un patrón de flujo de una mezcla de combustible y aire en una cámara de
precombustión de mezcla pobre en conformidad con ciertas formas de realización.

Las figuras 9A-B representan una distribución de la mezcla de combustible y aire en una cámara de precombustión
55 de mezcla pobre en conformidad con ciertas formas de realización.

Las figuras 10A-B representan un patrón de flujo de una mezcla de combustible y aire y una distribución de la
mezcla de combustible y aire en una cámara de precombustión de mezcla pobre en conformidad con ciertas formas
de realización.

60

Las figuras 11A-B representan llamas de antorcha en una cámara de precombustión de mezcla pobre en conformidad con ciertas formas de realización.

5 Las figuras 12A-B representan el efecto positivo de chorros de llama potentes y consistentes sobre la Eficiencia térmica indicada (ITE, por sus siglas en inglés) en una cámara de precombustión de mezcla pobre en conformidad con ciertas formas de realización.

La figura 13 representa una cámara de precombustión con una sola tobera en conformidad con ciertas formas de realización.

10 La figura 14 representa una cámara de precombustión con múltiples toberas en conformidad con ciertas formas de realización.

La figura 15 representa los resultados de la Dinámica de fluidos computacional (CFD, por sus siglas en inglés) para una cámara de precombustión en conformidad con ciertas formas de realización.

La figura 16 representa una distribución lambda para una cámara de precombustión en conformidad con ciertas formas de realización.

20 Las figuras 17A-B representan un patrón de flujo de una mezcla de combustible y aire y una distribución de la mezcla de combustible y aire en una cámara de precombustión en conformidad con ciertas formas de realización.

La figura 18 representa una baja Energía cinética turbulenta (TKE, por sus siglas en inglés) para una cámara de precombustión en conformidad con ciertas formas de realización.

25 Las figuras 19A-B representan un patrón de flujo de una mezcla de combustible y aire para una cámara de precombustión convencional (19A) y en una cámara de precombustión de mezcla pobre (19B) en conformidad con ciertas formas de realización.

30 Las figuras 20A-B representan la distribución lambda para una cámara de precombustión convencional (20A) y en una cámara de precombustión de mezcla pobre (20B) en conformidad con ciertas formas de realización.

Las figuras 21A-D representan una cámara de precombustión convencional (21A-B) y en una cámara de precombustión de mezcla pobre (21C-D) en conformidad con ciertas formas de realización.

35 Las figuras 22A-D representan configuraciones de tobera de una cámara de precombustión convencional (22A-B) y en una cámara de precombustión de mezcla pobre (22C-D) en conformidad con ciertas formas de realización.

Las figuras 23A-F representan los campos de velocidad del flujo de una cámara de precombustión convencional (23A-C) y en una cámara de precombustión de mezcla pobre (23D-F) en conformidad con ciertas formas de realización.

40 Las figuras 24A-B representan la Energía cinética turbulenta (TKE) de una mezcla de combustible y aire para una cámara de precombustión convencional (24A) y en una cámara de precombustión de mezcla pobre (24B) en conformidad con ciertas formas de realización.

Las figuras 25A-D representan el impulso de los chorros de llama de una cámara de precombustión convencional (25A-B) y en una cámara de precombustión de mezcla pobre (25C-D) en conformidad con ciertas formas de realización.

50 La figura 26 representa una eficiencia/emisión mejoradas para una cámara de precombustión convencional y una cámara de precombustión de mezcla pobre en conformidad con ciertas formas de realización.

Las figuras 27A-B representan los campos de velocidad del flujo de una cámara de precombustión convencional (27A) y en una cámara de precombustión de mezcla pobre (27B) en conformidad con ciertas formas de realización.

Las figuras 28A-B representan la distribución de la mezcla de combustible y aire de una cámara de precombustión convencional (28A) y en una cámara de precombustión de mezcla pobre (28B) en conformidad con ciertas formas de realización.

60

Las figuras 29A-C representan el desarrollo del frente de llama para una cámara de precombustión convencional en conformidad con ciertas formas de realización.

Las figuras 30A-C representan el desarrollo del frente de llama para una cámara de precombustión de mezcla pobre en conformidad con ciertas formas de realización.

La figura 31 representa una cámara de precombustión de mezcla pobre en conformidad con ciertas formas de realización.

10 V. DESCRIPCIÓN DETALLADA

En ciertas formas de realización, un método dinámico de flujo único y la estructura de la precámara resultante pueden garantizar una propagación de llama muy eficiente de mezcla de combustible y aire ($\lambda = \lambda$) pobre dentro de la PCC de motores de gas natural. La λ pobre se puede conseguir reduciendo la cantidad de combustible admitido en la PCC.

En ciertas formas de realización, se da a conocer una cámara de precombustión de mezcla pobre que comprende: una superficie externa y una superficie interna que encierra un volumen de la precámara; una o más toberas que se comunican entre la superficie externa y la superficie interna, en la que cada una de la una o más toberas comprende un desplazamiento de tobera; una garganta; un ensamblaje de electrodos con distancia disruptiva, que comprende: un electrodo primario dispuesto dentro del volumen de la precámara; y uno o más electrodos de tierra dispuestos dentro del volumen de la precámara y desplazados con respecto al electrodo primario para formar una o más separaciones entre electrodos; una válvula de admisión de combustible; y un mecanismo de unión configurado para unir de forma retirable la cámara de precombustión de mezcla pobre a una culata. El mecanismo de unión puede comprender una pluralidad de roscas externas configuradas para acoplarse de forma retirable a una pluralidad de roscas internas en la culata o una abrazadera para sujetar la cámara de precombustión de mezcla pobre a la culata. La cámara de precombustión puede comprender además una zona de inducción que comprenda la una o más toberas, una zona de transición que comprenda la garganta, y una zona de estabilización que comprenda el ensamblaje de electrodos con distancia disruptiva y la válvula de admisión de combustible. La zona de inducción puede comprender un contraflujo a alta velocidad. La pluralidad de roscas externas puede comprender un tamaño de rosca de 22 mm x 1,5 o 7/8" - 18 para permitir que la cámara de precombustión se enrosque en la culata en lugar de una bujía. El desplazamiento de tobera y el diámetro de inducción pueden estar configurados para generar un patrón de flujo de vórtice compuesto en el volumen de la precámara que tenga una vorticidad primaria en un plano ortogonal a una dirección axial y una segunda vorticidad toroidal que forme un patrón de anillo de vórtice alrededor de la dirección axial. El anillo de vórtice puede comprender velocidades periféricas inferiores a las velocidades internas que hagan que una llama sea atraída hacia el anillo de vórtice, para energizarse y para desarrollarse a ritmos acelerados. Cualquier pequeña gota de aceite lubricante involucrado en el patrón de vorticidad compuesta puede experimentar una rápida vaporización y mezclarse con mezcla de combustible circundante para impedir el autoencendido de la pequeña gota de aceite lubricante. El patrón de vorticidad compuesta puede estar configurado para impedir que el combustible no quemado sea expulsado antes de uno o más chorros de llama, evitándose de ese modo que se queme mezcla rica de combustible y aire y evitándose la formación de altas concentraciones de NOx y CO. El patrón de vorticidad compuesta puede comprender velocidades relativamente más altas en la zona de inducción y velocidades relativamente más bajas en la zona de estabilización. El patrón de vorticidad compuesta puede comprender una mezcla de combustible y aire distribuida sustancialmente de manera uniforme con una λ relativamente más pobre en la zona de inducción y una λ relativamente más rica en la zona de estabilización. La válvula de admisión de combustible puede comprender una válvula de admisión de flujo reducido configurada para suministrar tasas de flujo de combustible de hasta aproximadamente el 70 % menos a la cámara de precombustión para conseguir mezclas pobres de combustible y aire. El desplazamiento de tobera puede ser de entre 1 mm aproximadamente y 10 mm aproximadamente. El desplazamiento de tobera puede ser proporcional a al menos uno de un diámetro interior del cilindro del motor, una velocidad del pistón, una velocidad de flujo de la cámara de combustión y una o más densidades de carga. La precámara de mezcla pobre puede comprender además un diámetro de inducción de entre 5 mm aproximadamente y 30 mm aproximadamente.

La cámara de precombustión de mezcla pobre puede comprender además un diámetro de inducción proporcional a al menos uno de un diámetro interior del cilindro del motor, una velocidad del pistón, una velocidad de flujo de la cámara de combustión y una o más densidades de carga. La cámara de precombustión de mezcla pobre puede comprender además una longitud de inducción entre aproximadamente 3 y aproximadamente 9 veces un diámetro de inducción. La cámara de precombustión de mezcla pobre puede comprender además una longitud de inducción proporcional a al menos uno de un diámetro interior del cilindro del motor, una velocidad del pistón, una velocidad de flujo de la cámara de combustión y una o más densidades de carga. La cámara de precombustión de mezcla pobre

puede comprender además una longitud de transición entre aproximadamente 0,25 y aproximadamente 1,75 veces una longitud de inducción. La cámara de precombustión de mezcla pobre puede comprender además una longitud de transición proporcional a al menos uno de un diámetro interior del cilindro del motor, una velocidad del pistón, una velocidad de flujo de la cámara de combustión y una o más densidades de carga. La cámara de precombustión de mezcla pobre puede comprender además una longitud de estabilización entre aproximadamente 0,25 y aproximadamente 2,5 veces una longitud de inducción. La cámara de precombustión de mezcla pobre puede comprender además una longitud de estabilización proporcional a al menos uno de un diámetro interior del cilindro del motor, una velocidad del pistón, una velocidad de flujo de la cámara de combustión y una o más densidades de carga. La mezcla de combustible y aire puede comprender un flujo de vórtice compuesto con velocidades de hasta 300 m/s aproximadamente. La mezcla de combustible y aire puede comprender velocidades axiales de hasta 200 m/s. La mezcla de combustible y aire puede comprender una distribución uniforme de la mezcla de combustible y aire con λ entre 1,2 aproximadamente y 2,0 aproximadamente o entre 1,6 aproximadamente y 1,9 aproximadamente. La mezcla de combustible y aire puede comprender una estratificación de la λ en la dirección axial en el margen de λ de,1 aproximadamente a 1,0 aproximadamente con una mezcla más rica de combustible y aire en la zona de estabilización y una mezcla más pobre de combustible y aire en la zona de inducción. La mezcla de combustible y aire puede comprender una Energía cinética turbulenta (TKE) de entre 100 m^2/s^2 aproximadamente y 200 m^2/s^2 aproximadamente con una TKE más alta hacia la una o más toberas y una TKE más baja hacia el ensamblaje de electrodos con distancia disruptiva. La cámara de precombustión de mezcla pobre puede comprender además un sensor de ionización para la combustión próximo al núcleo del flujo de vórtice compuesto. La cámara de precombustión de mezcla pobre puede comprender además una relación de diámetro máximo-diámetro mínimo de más de 2 aproximadamente. La cámara de precombustión de mezcla pobre puede comprender además una relación de longitud total-diámetro máximo de más de 2 aproximadamente. La mezcla de combustible y aire puede comprender además un crecimiento de llama progresivo desde una región de λ rica hasta una región de λ pobre en las direcciones radial y axial para conseguir la quema casi completa de la mezcla de combustible y aire en la cámara de precombustión antes de que una pluralidad de chorros de llama salga de la cámara de precombustión.

En ciertas formas de realización, se da a conocer un procedimiento de combustión de mezcla pobre que comprende: proporcionar una precámara que comprende: una superficie externa y una superficie interna que encierra un volumen de la precámara; una o más toberas que se comunican entre la superficie externa y la superficie interna, en la que cada una de la una o más toberas comprende un desplazamiento de tobera; una garganta; un ensamblaje de electrodos con distancia disruptiva, que comprende: un electrodo primario dispuesto dentro del volumen de la precámara; y uno o más electrodos de tierra dispuestos dentro del volumen de la precámara y desplazados con respecto al electrodo primario para formar una o más separaciones entre electrodos; y una válvula de admisión de combustible; unir de forma retirable la precámara a una culata; introducir al menos una corriente de relleno de combustible al volumen de la precámara a través de la válvula de admisión de combustible; e introducir una chispa a través de al menos una de la una o más separaciones entre electrodos para encender la mezcla de combustible y aire. La precámara puede comprender además una pluralidad de roscas externas; y unir de forma retirable la precámara a la culata puede comprender enroscar la pluralidad de roscas externas a una pluralidad de roscas internas en una culata. Unir de forma retirable la precámara a la culata puede comprender sujetar con abrazadera la precámara a la culata.

La cámara de precombustión puede comprender además una zona de inducción que comprenda la una o más toberas, una zona de transición que comprenda la garganta, y una zona de estabilización que comprenda el ensamblaje de electrodos con distancia disruptiva y la válvula de admisión de combustible. La zona de inducción puede comprender un contraflujo a alta velocidad. La pluralidad de roscas externas puede comprender un tamaño de rosca de 22 mm x 1,5 o 7/8" - 18 para permitir que la cámara de precombustión se enrosque en la culata en lugar de una bujía. El procedimiento puede comprender además generar un patrón de flujo de vórtice compuesto en el volumen de la precámara que tenga una vorticidad primaria en un plano ortogonal a una dirección axial y una segunda vorticidad toroidal que forme un patrón de anillo de vórtice alrededor de la dirección axial. El anillo de vórtice puede comprender velocidades periféricas inferiores a las velocidades internas que hagan que una llama sea atraída hacia el anillo de vórtice, para energizarse y para desarrollarse a ritmos acelerados. El procedimiento puede comprender además vaporizar rápidamente y mezclar con combustible circundante cualquier pequeña gota de aceite lubricante que se involucre en la mezcla del patrón de vorticidad compuesta para impedir el autoencendido de la pequeña gota de aceite lubricante. El patrón de vorticidad compuesta puede impedir que el combustible no quemado sea expulsado antes de uno o más chorros de llama, evitándose de ese modo que se queme mezcla rica de combustible y aire y evitándose la formación de altas concentraciones de NO_x y CO . El patrón de vorticidad compuesta puede comprender velocidades relativamente más altas en la zona de inducción y velocidades relativamente más bajas en la zona de estabilización. El patrón de vorticidad compuesta puede comprender una mezcla de combustible y aire distribuida sustancialmente de manera uniforme con una λ relativamente más

pobre en la zona de inducción y una λ relativamente más rica en la zona de estabilización. La válvula de admisión de combustible puede comprender una válvula de admisión de flujo reducido configurada para suministrar tasas de flujo de combustible de hasta aproximadamente el 70 % menos a la cámara de precombustión para conseguir mezclas pobres de combustible y aire. El desplazamiento de tobera puede ser de entre 1 mm aproximadamente y 10 mm aproximadamente. El desplazamiento de tobera puede ser proporcional a al menos uno de un diámetro interior del cilindro del motor, una velocidad del pistón, una velocidad de flujo de la cámara de combustión y una o más densidades de carga. La cámara de precombustión puede comprender además un diámetro de inducción de entre 5 mm aproximadamente y 30 mm aproximadamente. La cámara de precombustión puede comprender además un diámetro de inducción proporcional a al menos uno de un diámetro interior del cilindro del motor, una velocidad del pistón, una velocidad de flujo de la cámara de combustión y una o más densidades de carga. La cámara de precombustión puede comprender además una longitud de inducción entre aproximadamente 3 y aproximadamente 9 veces un diámetro de inducción. La cámara de precombustión puede comprender además una longitud de inducción proporcional a al menos uno de un diámetro interior del cilindro del motor, una velocidad del pistón, una velocidad de flujo de la cámara de combustión y una o más densidades de carga. La cámara de precombustión puede comprender además una longitud de transición entre aproximadamente 0,25 y aproximadamente 1,75 veces una longitud de inducción. La cámara de precombustión puede comprender además una longitud de transición proporcional a al menos uno de un diámetro interior del cilindro del motor, una velocidad del pistón, una velocidad de flujo de la cámara de combustión y una o más densidades de carga. La cámara de precombustión puede comprender además una longitud de estabilización entre aproximadamente 0,25 y aproximadamente 2,5 veces una longitud de inducción. La cámara de precombustión puede comprender además una longitud de estabilización proporcional a al menos uno de un diámetro interior del cilindro del motor, una velocidad del pistón, una velocidad de flujo de la cámara de combustión y una o más densidades de carga. La mezcla de combustible y aire puede comprender un flujo de vórtice compuesto con velocidades de hasta 300 m/s aproximadamente. La mezcla de combustible y aire puede comprender velocidades axiales de hasta 200 m/s. La mezcla de combustible y aire puede comprender una distribución uniforme de la mezcla de combustible y aire con λ entre 1,2 aproximadamente y 2,0 aproximadamente o entre 1,6 aproximadamente y 1,9 aproximadamente. La mezcla de combustible y aire puede comprender una estratificación de la λ en la dirección axial en el margen de λ de,1 aproximadamente a 1,0 aproximadamente con una mezcla más rica de combustible y aire en la zona de estabilización y una mezcla más pobre de combustible y aire en la zona de inducción. La mezcla de combustible y aire puede comprender una Energía cinética turbulenta (TKE) de entre 100 m²/s² aproximadamente y 200 m²/s² aproximadamente con una TKE más alta hacia la una o más toberas y una TKE más baja hacia el ensamblaje de electrodos con distancia disruptiva. La cámara de precombustión puede comprender además un sensor de ionización para la combustión próximo al núcleo del flujo de vórtice compuesto. La cámara de precombustión puede comprender además una relación de diámetro máximo-diámetro mínimo de más de 2 aproximadamente. La cámara de precombustión puede comprender además una relación de longitud total-diámetro máximo de más de 2 aproximadamente. El procedimiento puede comprender además que crezca progresivamente una llama desde una región de λ rica hasta una región de λ pobre en las direcciones radial y axial para conseguir la quema casi completa de la mezcla de combustible y aire en la cámara de precombustión antes de que una pluralidad de chorros de llama salga de la cámara de precombustión.

Una PCC puede incluir un volumen encerrado, que puede ser el 1-3 % aproximadamente del volumen de la cámara de combustión principal (MCC, por sus siglas en inglés), con una bujía y un pasaje de combustible ubicados en el lado opuesto del (los) orificio(s) de descarga de la PCC. Tal dispositivo puede crear una mezcla rica de combustible y aire en un volumen relativamente pequeño, que se puede encender de manera fiable, dando como resultado un chorro de llama/llama de antorcha a alta velocidad que salga de la precámara hacia la cámara principal, mejorándose de ese modo la combustión de mezclas pobres de combustible y aire. Un ejemplo de tal dispositivo se muestra en la figura 1. Se puede observar que (101) es una bujía, (102) es un pasaje de combustible, (103) es el volumen de la precámara, (104) es la tobera de descarga que genera la llama de antorcha y (105) puede ser un tamaño de rosca de 22 mm x 1,5 o 7/8"-18, que hace posible que la PCC se enrosque en la culata en lugar de una bujía.

Otro ejemplo de PCC se proporciona en la figura 2. Se puede observar que, la disposición general de la PCC se puede mantener con el receptáculo de la válvula de admisión de combustible (205) y el receptáculo de la bujía (206) puestos uno al lado del otro en la parte de arriba de la PCC. En este caso, sin embargo, la única tobera de descarga se puede reemplazar por múltiples toberas de descarga (204). Mientras que esto puede ser una mejora respecto al tipo de una sola tobera, se puede seguir presentando la limitación de requerirse una mezcla rica de combustible y aire para combustionar de manera eficiente y para generar llamas de antorcha de alta potencia. Esta limitación puede ser debida al hecho de que la combustión se produce en un espacio relativamente pequeño en el que la relación entre la superficie y el volumen puede ser relativamente alta causándose una pérdida de calor relativamente alta y, por tanto, la tendencia elevada a apagar la llama. Además, debido al gran diámetro en el área de las toberas,

este tipo de PCC no se puede enroscar en la culata en lugar de una bujía.

Con referencia a la figura 2, la configuración general de una PCC puede estar dividida en 3 zonas críticas para una combustión de mezcla pobre eficiente:

- 5
 - Zona 1, definida como zona de "inducción" (203), que incluye las toberas. Esta zona puede definir el patrón dinámico de flujo principal durante la fase de compresión.
 - Zona 2, definida como zona de "transición" (202), que incluye la garganta. Esta zona puede definir la transición del flujo de alta velocidad a baja velocidad.
- 10
 - Zona 3, definida como zona de estabilización (201), que incluye la válvula de admisión de combustible y la bujía.

En ciertas formas de realización, con el método dinámico de flujo único y la estructura de la precámara resultante proporcionados por esta invención, puede ser posible ordenar el flujo y la distribución de la mezcla de combustible y aire de modo que se consiga una combustión muy eficiente de mezclas pobres de combustible y aire en la PCC, a la vez que se mantiene la característica de equiparse con un tamaño de rosca de 22 mm o 7/8", (605 y 705), para enroscarse directamente en la culata en lugar de una bujía.

En ciertas formas de realización como se muestra en las figuras 3A-B, una PCC enroscable, con una disposición de rosca (301) puede tener un desplazamiento de tobera (303) y un diámetro de inducción (302) de valores predeterminados que pueden ser adecuados para generar un flujo de rotación combinado con un flujo axial dando como resultado un patrón de flujo de vórtice compuesto que tenga un patrón de vorticidad primaria en un plano ortogonal a la dirección axial y una vorticidad toroidal secundaria, que forme un patrón de anillo de vórtice alrededor de la dirección axial. Este tipo de flujo puede tener velocidades relativamente más altas en la zona 1 de las toberas (204) y velocidades relativamente más bajas en la zona 3 de la bujía (201). En ciertas formas de realización, una vez que se ha iniciado la llama en un área relativamente inactiva, puede ser atraída posteriormente hacia un anillo de vórtice en el que las velocidades periféricas pueden ser inferiores a las velocidades internas. Bajo esta condición, la llama se puede energizar y se puede desarrollar a ritmos acelerados. Esto también puede ser el resultado de que el anillo de vórtice sea hermético a la pérdida de calor, reteniéndose, por tanto, la energía dentro del vórtice. Como resultado, la combustión de mezclas más pobres se puede conseguir de manera muy eficiente.

En ciertas formas de realización como se muestra en la figura 3C, una cámara de precombustión de mezcla pobre (304) puede incorporar un casquillo (305) configurado para recibir la bujía (306). El casquillo puede incluir además el pasaje de combustible (307) para admitir combustible en la cámara de precombustión de mezcla pobre (304). La cámara de precombustión puede incluir una abrazadera (308) para unir de forma retirable la cámara de precombustión a una culata (309) y un sello (310) para impedir la fuga de los gases de combustión.

En ciertas formas de realización, debido a la presencia del patrón de flujo de vórtice compuesto en la zona 3 (201), cualquier pequeña gota de aceite lubricante involucrado en este patrón de flujo puede experimentar una rápida vaporización y mezclarse con lo que la rodea. Esta característica particular puede impedir el autoencendido de las pequeñas gotas de líquido que se conoce que causan una inestabilidad de la combustión en motores de alta densidad de potencia. Asimismo, la zona 1 (203) puede estar caracterizada por un contraflujo a alta velocidad que dé como resultado una alta Energía cinética turbulenta (TKE). Esta alta TKE también fomenta la rápida vaporización y mezcla de las pequeñas gotas de aceite lubricante que entran en la PCC, ayudando de ese modo a impedir el autoencendido de las pequeñas gotas de líquido que se conoce que causan una inestabilidad de la combustión en motores de alta densidad de potencia.

En ciertas formas de realización, la mezcla de combustible y aire ($\lambda = \lambda$) en la PCC se puede distribuir de manera uniforme con una λ más rica en la zona 3 de la bujía y una λ más pobre en la zona 1 de las toberas. Esto puede impedir la expulsión de la PCC de combustible no quemado antes del (los) chorro(s) de llama, evitándose de ese modo quemar excesivamente mezcla rica que puede dar como resultado la formación de altas concentraciones de NOx y CO.

En ciertas formas de realización se muestra en las figuras 4A-B una comparación entre las toberas en ángulo (402) de esta invención, necesarias para conseguir la dinámica de flujo única y mejorada reivindicada en la PCC de mezcla pobre, y las toberas rectas (401) de una PCC convencional. También se puede observar que, debido al diámetro relativamente más pequeño del área de las toberas de la PCC de mezcla pobre, se puede usar una rosca de 22 mm o 7/8" (301) para enroscar la PCC de mezcla pobre en la culata en lugar de una bujía convencional.

En ciertas formas de realización, como resultado de las distribuciones de la velocidad de flujo y λ estables dentro de la PCC, una región con fluctuaciones insignificantes de la velocidad de flujo y de la concentración de

combustible se puede conseguir en la parte de arriba de la PCC, en medio de la válvula de combustible (501) y la bujía (503) como se muestra en la figura 5. Esta región puede constituir una ubicación ideal para un sensor de ionización para la combustión (502) para generar una señal fiable y consistente con un ruido sustancialmente reducido de las fluctuaciones de las velocidades de flujo y de la concentración de combustible. Tal señal se puede usar para controlar con precisión la cantidad de combustible admitido en la PCC, manteniéndose, por tanto, la operación de la PCC dentro del estrecho margen deseado que maximiza la eficiencia del motor y reduce las emisiones de NOx. La PCC puede incluir además las toberas (504) y la disposición de rosca (505).

En ciertas formas de realización, se muestra una PCC de mezcla pobre en las figuras 6A-B que incluye la válvula de combustible (601) y un sensor de ionización para la combustión (602). Se puede observar que, en este caso, una bujía de distancia radial (603) con separación entre electrodos (604) se puede usar como la fuente de encendido para la PCC de mezcla pobre. La PCC puede incluir además las toberas (606/607). Las figuras 7A-B muestran el mismo concepto incluyendo la válvula de combustible (701) y un sensor de ionización para la combustión (702), pero con el uso de una bujía de electrodo de masa único (703) con separación entre electrodos (704). La PCC puede incluir además las toberas (706/707). Debido a la diferencia en el diseño de la separación entre electrodos de la bujía, la geometría de la zona de estabilización, la zona de transición y el área de las toberas en las dos PCCs puede ser algo diferente. Cualquier forma de realización puede estar equipada con un tamaño de rosca de 22 mm x 1,5 o 7/8"-18 (605 y 705), que permite que la PCC de mezcla pobre se enrosque en la culata en lugar de una bujía convencional.

En ciertas formas de realización, se puede usar la dinámica de fluidos computacional (CFD). En ciertas formas de realización mostradas en las figuras 8A-B, que representan los vectores de velocidad de flujo, cuando la PCC está configurada según las enseñanzas de ciertas formas de realización, un flujo de rotación (809/810/811) se puede combinar con un flujo axial (807) dando como resultado una estructura de vórtice compuesto (804) que tenga una vorticidad primaria (809/810/811) en un plano ortogonal a la dirección axial (mostrada en la figura 8B) y una vorticidad toroidal secundaria, que forme un anillo de vórtice forzado (805), alrededor de la dirección axial. La velocidad de flujo puede ser más alta en la región de las toberas y más baja en la región de la bujía (803), la válvula de combustible (801) y el sensor de ionización para la combustión (802). Asimismo, en ciertas formas de realización mostradas en las figuras 9A-B, se puede observar que la distribución de la mezcla de aire y combustible (λ) se puede distribuir de manera uniforme, con una λ más rica (903) en la proximidad de la válvula de combustible (901 y 911), el sensor de ionización para la combustión (902 y 912) y la bujía (904 y 913) con separación entre electrodos (905). La λ puede ser incluso mayor en la región (906) y más pobre en la región de las toberas (910). Cualquier forma de realización puede estar equipada con un tamaño de rosca de 22 mm x 1,5 o 7/8"-18 (806 y 907), que permite que la PCC de mezcla pobre se enrosque en la culata (808) en lugar de una bujía convencional.

En ciertas formas de realización, las figuras 10A-B representan las distribuciones de la velocidad de flujo y λ que resultan de una PCC de mezcla pobre con una bujía (603) de distancia radial (604). Se puede observar que a través de toda la superficie de la distancia (1001) y (1003), la velocidad (1002) y la λ (1004) pueden ser muy uniformes. Estas condiciones pueden hacer posible un crecimiento consistente del núcleo de la llama, minimizándose, por tanto, las variaciones cíclicas.

En ciertas formas de realización, una distribución única de la velocidad de flujo y λ combinada con el anillo de vórtice puede permitir conseguir una combustión muy eficiente en la PCC de mezcla pobre. En tales formas de realización, pueden salir chorros de llama o llamas de antorcha muy estables y potentes (1106/1107) de las toberas hacia la cámara principal como se ilustra mediante las simulaciones CFD de la combustión mostradas en las figuras 11A-B. Estas formas de realización pueden incluir la válvula de combustible (1101), el sensor de ionización para la combustión (1102), la bujía (1103) con distancia disruptiva (1104). Estas formas de realización pueden estar equipadas con un tamaño de rosca de 22 mm x 1,5 o 7/8"-18 (1105), que permite que la PCC de mezcla pobre se enrosque en la culata en lugar de una bujía convencional.

En ciertas formas de realización como se muestra en las figuras 12A-B, los chorros de llama potentes y consistentes pueden tener un efecto positivo sobre la Eficiencia térmica indicada (ITE) del motor. Se puede observar que se pueden conseguir diferentes presiones de combustión con diferentes estilos de bujías (es decir, de electrodo de masa único o de distancia radial). Sin embargo, independientemente del tipo de bujía usada, una combustión muy eficiente en la PCC puede dar como resultado una combustión muy eficiente en la Cámara de combustión principal (MCC), que puede producir una Eficiencia térmica indicada (ITE) del motor por encima del 45 %.

En la figura 13 se representa un ejemplo de una PCC convencional con una sola tobera, que incluye la bujía (1301), el pasaje de combustible (1302), el volumen de la precámara (1303), la tobera de descarga (1304) que genera la

llama de antorcha y la disposición de rosca (1305) puede tener un tamaño de rosca de 22 mm x 1,5 o 7/8"-18, que hace posible que la PCC se enrosque en la culata en lugar de una bujía. El rendimiento de este tipo de PCC ha demostrado ser inferior al de una PCC con múltiples toberas mostrada en la figura 14, que incluye el receptáculo del pasaje de combustible (1401), el receptáculo de la bujía (1402), el volumen de la precámara (1403), y las toberas de descarga (1404). Por esta razón, la PCC con múltiples toberas se considera el estado de la técnica de la PCC y se usa para la comparación con la PCC de mezcla pobre de ciertas formas de realización.

En ciertas formas de realización como se muestra en la figura 15 se hallan los resultados de la simulación CFD para la configuración de la PCC convencional. Se puede observar que la velocidad de flujo puede ser muy desordenada.

10 Puede haber regiones de velocidad relativamente alta en la dirección hacia arriba (1503), próximas a regiones de velocidad relativamente más alta en la dirección hacia abajo (1502), próximas a regiones de velocidad relativamente más baja (1501) en el plano ortogonal.

La distribución lambda también puede ser muy heterogénea, lo cual puede ser debido a que el flujo no sigue un patrón consistente en la PCC convencional de la figura 15. En ciertas formas de realización, la figura 16 muestra la distribución lambda en este tipo de PCC teniendo grandes focos de lambda excesivamente rica (1601) y (1602), donde la velocidad de propagación de la llama cae significativamente causando un aumento de pérdida de calor y, por tanto, una pérdida de eficiencia. La figura 16 también presenta una región de lambda más pobre (1603).

20 Las distribuciones de la velocidad de flujo y lambda no uniformes también pueden estar presentes en la distancia disruptiva como se muestra en las figuras 17A-B. Se puede observar que las regiones de alta velocidad en una dirección (1703) pueden contrastar con las regiones en las que la velocidad es algo más baja y en la dirección opuesta (1704). De forma similar, se puede observar que grandes focos de lambda excesivamente rica (1701) y grandes focos de lambda excesivamente pobre (1702) pueden estar presentes dentro de la distancia disruptiva. Esta

25 condición puede añadir una mayor variabilidad al proceso de combustión en la PCC.

En ciertas formas de realización, una baja Energía cinética turbulenta (TKE) como se muestra en la figura 18 se puede encontrar en las PCCs convencionales (1801 y 1802). La baja TKE puede causar una velocidad de propagación de la llama baja en la PCC que puede dar como resultado pérdidas de calor aumentadas y un impulso de los chorros de llama/llamas de antorcha reducido. Como resultado, la efectividad global de la PCC puede ser baja.

En ciertas formas de realización y el uso correcto de una dinámica de fluidos computacional (CFD) avanzada puede ser posible concebir una Cámara de precombustión (PCC) de mezcla pobre readaptable que pueda estar

35 configurada para enrosarse en la culata de un motor de Gas natural de gran calibre, reemplazando una bujía con tamaño de rosca de 22 mm x 1,5 o 7/8"-18. Este nuevo tipo de construcción de PCC puede ser capaz de mantener una combustión eficiente de mezclas pobres (margen lambda de $\lambda = 1,2 - 2,0$) dentro de la PCC. Tales mezclas pobres se pueden conseguir reduciendo la cantidad de combustible admitido en la PCC. Las operaciones con una PCC de mezcla pobre pueden mejorar significativamente la Eficiencia térmica del freno (BTE, por sus siglas en inglés) del motor hasta aproximadamente 5 puntos porcentuales, a la vez que mantienen niveles de NOx muy bajos

40 por debajo de 0,25 g/bhp-hr y con una variabilidad de la combustión muy baja por debajo de aproximadamente el 2 % de coeficiente de variación (COV, por sus siglas en inglés). Asimismo, debido a la estabilidad y uniformidad de las distribuciones de la velocidad de flujo y de la mezcla de combustible y aire (lambda) en ciertas formas de realización, puede ser posible usar un sensor de ionización para la combustión que pueda proporcionar una señal de control de

45 realimentación de ionización para la combustión confiable y pueda permitir operar la PCC de esta invención dentro de un estrecho margen de máxima eficiencia y mínimas emisiones de NOx y CO.

En ciertas formas de realización como se muestra en las figuras 19A-B, se muestra una comparación entre las características dinámicas de flujo de una PCC convencional y una PCC de mezcla pobre de ciertas formas de

50 realización. La PCC convencional puede tener un flujo caótico e inestable (1901, 1902, y 1903), y el flujo en la PCC de mezcla pobre puede estar caracterizado por un flujo ordenado que consiste en un vórtice ortogonal (1907), un anillo de vórtice (1909) y un patrón de flujo de vórtice axial (1910). También, se representa en la figura 19B el sensor de iones (1905) ubicado en una zona relativamente inactiva, entre el puerto de inducción de combustible (1904) y la bujía (1906). Las otras características representadas en la figura 19B son el área roscada (1908) que permite la

55 instalación de la PCC de mezcla pobre en la culata (1911).

De forma similar, la distribución lambda en una PCC convencional en comparación con una PCC de mezcla pobre puede ser mucho más heterogénea con grandes focos de mezcla rica (2001 y 2002) y grandes regiones de mezclas pobres (2003). En contraste, la PCC de mezcla pobre que incluye la válvula de combustible (2004), un sensor de

60 ionización para la combustión (2005), y la bujía (2006) con distancia disruptiva (2007) puede conseguir

distribuciones lambda muy uniformes, con regiones moderadamente ricas (2008) y regiones moderadamente pobres (2010). La figura 20B también muestra la culata (2009).

En ciertas formas de realización representadas en las figuras 21A-B, hay una comparación estructural entre la PCC convencional y la PCC de mezcla pobre. Se puede observar que, a diferencia de la PCC convencional (2102), que incluye el receptáculo del pasaje de combustible (2100), el receptáculo de la bujía (2101), el volumen de la precámara (2102) y las toberas de descarga (2103/2104), la PCC de mezcla pobre tiene toberas en ángulo (2110, 2111), un área roscada (2109) y un sensor de ionización para la combustión (2106) ubicado en medio de la bujía (2107) con separación entre electrodos (2108) y la válvula de admisión de combustible (2105). Estas formas de realización pueden estar equipadas con un tamaño de rosca de 22 mm x 1,5 o 7/8"-18 (2109), que permite que la PCC de mezcla pobre se enrosque en la culata en lugar de una bujía convencional.

En ciertas formas de realización, se muestra una comparación más detallada de las toberas en las figuras 22A-B. Se puede observar que, a diferencia de una PCC convencional con las toberas (2201/2202), una PCC de mezcla pobre puede tener toberas en ángulo (2203/2204) adecuadas para conseguir el patrón de flujo de vórtice compuesto (1907), con un flujo axial (1910) y un anillo de vórtice (1909), lo cual puede ser necesario para la combustión eficiente de mezclas pobres en la PCC de mezcla pobre.

En ciertas formas de realización como se muestra en las figuras 23A-F, se muestra una comparación de los campos de velocidad del flujo que se pueden conseguir en la distancia disruptiva. Se puede observar que, mientras que la PCC convencional puede tener un flujo muy inconsistente (2301, 2302, 2304), la PCC de mezcla pobre puede tener una magnitud de velocidad de flujo y dirección muy uniformes (2305, 2306, 2307).

En ciertas formas de realización como se muestra en las figuras 24A-B, se muestran los niveles de Energía cinética turbulenta (TKE) conseguidos en la PCC convencional (2401, 2402) en comparación con los conseguidos con la PCC de mezcla pobre (2408, 2407). Se puede observar que la TKE conseguida con la PCC de mezcla pobre que incluye la válvula de combustible (2403), un sensor de ionización para la combustión (2404), y la bujía (2405) con distancia disruptiva (2406) puede ser mucho más alta debido a la interacción entre los patrones de flujo de vórtice compuesto (1907), con el anillo de vórtice (1909). La TKE más alta puede dar como resultado la eficiencia de la combustión mayor. Estas formas de realización pueden estar equipadas con un tamaño de rosca de 22 mm x 1,5 o 7/8"-18 (2409), que permite que la PCC de mezcla pobre se enrosque en la culata en lugar de una bujía convencional.

En ciertas formas de realización, el rendimiento superior de una PCC de mezcla pobre en comparación con la PCC convencional se muestra en las figuras 25A-D en términos del impulso de los chorros de llama que salen de la PCC. Se puede observar que en el caso de la PCC de mezcla pobre que incluye la válvula de combustible (2503), el sensor de ionización para la combustión (2504), y la bujía (2505) con distancia disruptiva (2506), los chorros de llama (2508, 2509) pueden ser más consistentes y mucho más grandes en comparación con los que salen de la PCC convencional (2501, 2502). Estas formas de realización pueden estar equipadas con un tamaño de rosca de 22 mm x 1,5 o 7/8"-18 (2507), que permite que la PCC de mezcla pobre se enrosque en la culata en lugar de una bujía convencional.

En ciertas formas de realización, con los chorros de llama más grandes y más consistentes se puede conseguir un mejor rendimiento de la combustión. La figura 26 muestra el trade-off mejorado entre eficiencia/emisión (ITE/NOx), estando por encima de 1 punto porcentual (del 45 % a más del 46 %).

En ciertas formas de realización mostradas en las figuras 27A-B hay una comparación de velocidad de flujo en la ubicación del sensor de ionización para la combustión. Se puede observar que para la PCC convencional, figura 27A, el campo de velocidad del flujo puede ser muy desordenado ya que los vectores de velocidad tienen una magnitud y dirección diferentes (2701, 2702 y 2703). Bajo estas condiciones, la señal de un sensor de ionización para la combustión puede tener mucho ruido, haciendo que el control en bucle cerrado en el proceso de combustión sea muy poco fiable. Por otro lado, con la PCC de mezcla pobre, figura 27B, el campo de velocidad del flujo puede ser muy ordenado ya que los vectores de velocidad tienen una magnitud y dirección similares (2704, 2705 y 2706). Bajo estas condiciones, la señal del sensor de ionización para la combustión (2705) puede ser muy fuerte y consistente con una relación de señal-ruido alta, haciendo que el control en bucle cerrado en el proceso de combustión sea muy fiable.

Con respecto a la distribución de la mezcla de combustible y aire en la ubicación del sensor de ionización para la combustión, en ciertas formas de realización como se muestra en la figura 28A la distribución de la mezcla de combustible y aire para la PCC convencional puede ser muy heterogénea con regiones de mezclas muy ricas (2801,

2802) y regiones de mezclas muy pobres (2803). Esta condición puede introducir un ruido de señal considerable y puede hacer que el control en bucle cerrado del proceso de combustión sea muy poco fiable. En contraste, la distribución de la mezcla de combustible y aire con la PCC de mezcla pobre, figura 28B, puede ser muy uniforme por toda la precámara (2804, 2805, 2806 y 2807), incluyendo en la ubicación del sensor de ionización para la combustión (2805). Bajo estas condiciones, la señal del sensor de ionización para la combustión (2805) puede ser fuerte y consistente y puede tener una relación de señal-ruido alta, haciendo que el control en bucle cerrado del proceso de combustión sea muy fiable.

En ciertas formas de realización, la dinámica de flujo controlada de una PCC de mezcla pobre puede tener un efecto notable sobre el modo en el que se queme el combustible. En las figuras 29 A-C, se representa el desarrollo del frente de llama en la PCC convencional. Se puede observar que el desarrollo de la llama puede estar muy polarizado en un lado de la PCC (2901, 2902, 2903), dando como resultado una combustión parcial del volumen de la PCC. Bajo esta condición los chorros de llama que salen pueden no ser concurrentes (2904).

En el caso de la PCC de mezcla pobre, el desarrollo de la llama puede ser mucho más uniforme como se muestra en las figuras 30 A-B. El frente de llama inicial puede estar centrado (3001) dando como resultado el efecto del vórtice compuesto y puede además desarrollarse por igual hacia las toberas (3002) acelerado por la alta TKE. Como consecuencia, como se muestra en la figura 30 C, el volumen de la PCC se puede combustionar por completo (3003) y chorros de llama concurrentes salen de las toberas (3004).

Ciertas formas de realización de una PCC de mezcla pobre se muestran en la figura 31. Una PCC de mezcla pobre con un desplazamiento de tobera (303) y un diámetro de inducción (3103) de valores predeterminados puede generar un flujo de rotación combinado con un flujo axial (3102) dando como resultado un patrón de flujo de vórtice compuesto (3101 a-b) que tenga un patrón de vorticidad primario en un plano ortogonal a la dirección axial y una vorticidad toroidal secundaria, que forme un patrón de anillo de vórtice (3101 b) alrededor de la dirección axial. El anillo de vórtice (3101 b) puede tener velocidades periféricas inferiores a las velocidades internas, que hagan que la llama sea atraída hacia el anillo de vórtice, para energizarse y para desarrollarse a ritmos acelerados. El patrón de flujo de vórtice compuesto (3101 a-b) puede hacer que cualquier pequeña gota de aceite lubricante involucrado en este patrón de flujo se vaporice rápidamente y se mezcle con lo que la rodea, impidiéndose de ese modo el autoencendido de las pequeñas gotas de líquido. La mezcla de combustible y aire se puede distribuir de manera uniforme con una mezcla más rica de combustible y aire en la región de la bujía y una mezcla más pobre de combustible y aire hacia la región de las toberas. La distribución de la mezcla de combustible y aire del patrón de flujo de vórtice compuesto (3101 a-b) puede impedir la expulsión de la PCC de combustible no quemado antes del (los) chorro(s) de llama, evitándose de ese modo que se queme mezcla rica de combustible y aire y evitándose la formación de altas concentraciones de NO_x y CO. Una PCC enroscable con la disposición de rosca (3108) puede permitir la instalación de la PCC enroscable en lugar de la bujía con tamaño de rosca de M22 x 1,5 o 7/8"-18. La válvula de admisión de combustible de flujo reducido (3109) puede ser capaz de suministrar tasas de flujo de combustible de hasta el 70 % menos en la PCC para conseguir condiciones de mezcla pobre de combustible y aire. La estructura geométrica de la PCC puede estar definida por los siguientes intervalos paramétricos:

- a. El desplazamiento de tobera (303) puede ser de entre 1 mm aproximadamente y 10 mm aproximadamente.
- b. El diámetro de inducción o interno (3103) puede ser de entre 5 mm aproximadamente y 30 mm aproximadamente.
- c. La longitud de inducción (3104) puede ser entre 3 y 9 veces el diámetro interno (3103).
- d. La longitud de transición (3105) puede ser entre 0,25 y 1,75 veces la longitud de inducción (3104).
- e. La longitud de estabilización (3106) puede ser entre 0,25 y 2,5 veces la longitud de inducción (3104).

Los intervalos de la estructura geométrica precedentes pueden tener relaciones proporcionales con el diámetro interior del cilindro del motor, la velocidad del pistón, las velocidades de flujo de la cámara de combustión y las densidades de carga. Los intervalos de la estructura geométrica precedentes; pueden crear velocidades de flujo de vórtice compuesto (3101) de hasta 300 m/s aproximadamente; velocidades axiales de hasta 200 m/s aproximadamente; velocidades de flujo más rápidas hacia las toberas (1910) y velocidades de flujo más lentas en la bujía (1907); una distribución uniforme de la mezcla de combustible y aire hasta $\lambda = 1,6-1,9$ (2007, 2008 y 2010); una estratificación de la λ en la dirección axial en el margen de $\lambda = ,1-1,0$, con una mezcla más rica de combustible y aire en la región de la bujía (2007) y una mezcla más pobre de combustible y aire hacia las toberas (2010); una alta TKE en el margen de aproximadamente 100 o mayor de aproximadamente 200 m²/s² (2407, 2408) con una TKE más alta hacia las toberas y una TKE más baja hacia la bujía. El sensor de ionización para la combustión (3107) puede estar ubicado en la proximidad del núcleo del campo de flujo de vórtice compuesto en el que el margen de velocidades y variaciones de la mezcla de combustible y aire puede ser mínimo, permitiendo que la señal de ionización resultante tenga una relación de ruido-senal baja. La relación de diámetro máximo (3110)-diámetro mínimo (3103) de la PCC puede ser mayor de 2. La relación de aspecto de la PCC, definida como la longitud total =

$(3104) + (3105) + (3106)$ dividida por el diámetro máximo (3110) puede ser mayor de 2.

Los intervalos de la estructura geométrica precedentes pueden crear un crecimiento de llama progresivo (3001) desde la región de λ rica hasta la región de λ pobre, en las direcciones radial y axial (3002), que puede
5 conseguir la quema casi completa (3003) de la mezcla de combustible y aire en la PCC antes de que los chorros de llama salgan de la PCC, dando como resultado chorros de llama potentes y concurrentes.

REIVINDICACIONES

1. Una cámara de precombustión de mezcla pobre (304) que comprende:
 - 5 una superficie externa y una superficie interna que encierra un volumen de la precámara (103); una pluralidad de toberas (104, 204, 402, 504, 606, 607, 706, 707, 910) que se comunican entre la superficie externa y la superficie interna, que comprenden una zona de inducción (203) y en la que cada una de la pluralidad de toberas (104, 204, 402, 504, 606, 607, 706, 707, 910) está en ángulo dentro del plano y fuera del plano con respecto a un diámetro de la zona de inducción dando como resultado un desplazamiento de tobera (303) entre un centro de
 - 10 la zona de inducción y un eje central de cada tobera, una zona de transición (202) que comprende una garganta; una zona de estabilización (201) que comprende un ensamblaje de electrodos con distancia disruptiva (306), que comprende:
 - un electrodo primario dispuesto dentro del volumen de la precámara (103); y
 - 15 uno o más electrodos de tierra dispuestos dentro del volumen de la precámara (103) y desplazados con respecto al electrodo primario para formar una o más separaciones entre electrodos (604, 704, 905, 2108); una válvula de admisión de combustible (205, 501, 601, 701, 801, 901, 1101, 2004) que comprende una válvula de admisión de flujo configurada para reducir las tasas de flujo de combustible hasta el 70 %; y
 - 20 un mecanismo de unión (301, 308, 806, 1908) configurado para unir de forma retirable la cámara de precombustión de mezcla pobre (304) a una culata (309, 808, 1911), y en la que la cámara de precombustión de mezcla pobre (304) comprende además un sensor de ionización para la combustión (502, 602, 702, 802, 902, 912, 1102, 2005, 2006) próximo a un núcleo de un flujo de vórtice compuesto (1907, 3101a-b) para proporcionar una señal usada para controlar la cantidad de combustible que admitir en la cámara de precombustión.
 - 25 2. La cámara de precombustión de mezcla pobre (304) de la reivindicación 1, en la que el mecanismo de unión (301, 308, 806, 1908) comprende una pluralidad de roscas externas configuradas para acoplarse de forma retirable a una pluralidad de roscas internas en la culata (309, 808, 1911).
 - 30 3. La cámara de precombustión de mezcla pobre (304) de la reivindicación 1, en la que el mecanismo de unión 301, 308, 806, 1908) comprende una abrazadera (308) para sujetar la cámara de precombustión de mezcla pobre (304) a la culata (309, 808, 1911).
 4. La cámara de precombustión de mezcla pobre (304) de la reivindicación 1, en la que la pluralidad de
 - 35 roscas externas comprende un tamaño de rosca de 22 mm x 1,5 para permitir que la cámara de precombustión se enrosque en la culata (309, 808, 1911) en lugar de una bujía (101, 201, 306, 503, 603, 703, 803, 904, 903, 1103, 1301, 1906, 2006, 2405).
 5. La cámara de precombustión de mezcla pobre (304) de la reivindicación 1, en la que el
 - 40 desplazamiento de tobera (303) es de entre 1 mm y 10 mm.
 6. La cámara de precombustión de mezcla pobre (304) de la reivindicación 1, que comprende además una longitud de inducción (3104) entre 3 y 9 veces un diámetro de inducción (302, 3103).
 - 45 7. La cámara de precombustión de mezcla pobre (304) de la reivindicación 1, que comprende además una longitud de transición (3105) entre 0,25 y 1,75 veces una longitud de inducción (3104).
 8. La cámara de precombustión de mezcla pobre (304) de la reivindicación 1, que comprende además una longitud de estabilización (3106) entre 0,25 y 2,5 veces una longitud de inducción (3104).
 - 50 9. La cámara de precombustión de mezcla pobre (304) de la reivindicación 1, en la que una mezcla de combustible y aire comprende una distribución uniforme de la mezcla de combustible y aire con λ entre 1,2 y 2,0, al controlarse la cantidad admitida de combustible.
 - 55 10. Un procedimiento de combustión de mezcla pobre que comprende:
 - proporcionar una precámara (304) que comprende:
 - una superficie externa y una superficie interna que encierra un volumen de la precámara (103);
 - 60

- una pluralidad de toberas (104, 204, 402, 504, 606, 607, 706, 707, 910) que se comunican entre la superficie externa y la superficie interna, que comprenden una zona de inducción (203) y en la que cada una de la pluralidad de toberas (104, 204, 402, 504, 606, 607, 706, 707, 910) está en ángulo dentro del plano y fuera del plano con respecto a un diámetro de la zona de inducción dando como resultado un desplazamiento de tobera (303) entre un centro de la zona de inducción y un eje central de cada tobera;
- una zona de transición (202) que comprende una garganta;
- una zona de estabilización (201) que comprende un ensamblaje de electrodos con distancia disruptiva (306), que comprende:
- 10 un electrodo primario dispuesto dentro del volumen de la precámara (103); y
uno o más electrodos de tierra dispuestos dentro del volumen de la precámara (103) y desplazados con respecto al electrodo primario para formar una o más separaciones entre electrodos (604, 704, 905, 2108); y
una válvula de admisión de combustible (205, 501, 601, 701, 801, 901, 1101, 2004) que comprende una válvula de admisión de flujo configurada para reducir las tasas de flujo de combustible hasta el 70 %;
 - 15 unir de forma retirable la precámara a una culata (309, 808, 1911);
introducir al menos una corriente de relleno de combustible al volumen de la precámara (103) a través de la válvula de admisión de combustible (205, 501, 601, 701, 801, 901, 1101, 2004); e
introducir una chispa a través de al menos una de la una o más separaciones entre electrodos (604, 704, 905, 2108) para encender la mezcla de combustible y aire
 - 20 en el que la cámara de precombustión (304) comprende además un sensor de ionización para la combustión (502, 602, 702, 802, 902, 912, 1102, 2005, 2006) próximo al núcleo del flujo de vórtice compuesto para proporcionar el control de la cantidad de combustible que admitir.
11. El procedimiento de la reivindicación 10, que comprende además generar un patrón de flujo de vórtice compuesto (1907, 3101a-b) en el volumen de la precámara (103) que tenga una vorticidad primaria en un plano ortogonal a una dirección axial (3002) y una segunda vorticidad toroidal que forme un patrón de anillo de vórtice (1909, 3101b) alrededor de la dirección axial (3002).
12. El procedimiento de la reivindicación 11, en el que el anillo de vórtice (1909, 3101b) comprende velocidades periféricas inferiores a las velocidades internas que hacen que una llama sea atraída hacia el anillo de vórtice (1909), para energizarse y para desarrollarse a ritmos acelerados.
13. El procedimiento de la reivindicación 11, que comprende además que se vaporice rápidamente y se mezcle con combustible circundante cualquier pequeña gota de aceite lubricante que sea atraída hacia la mezcla del patrón de vorticidad compuesta (1907, 3101a-b) para impedir el autoencendido de la pequeña gota de aceite lubricante debido a la presencia del patrón de flujo de vórtice compuesto en la zona de estabilización.
14. El procedimiento de la reivindicación 11, en el que el patrón de flujo de vórtice compuesto (1907, 3101a-b) comprende una mezcla de combustible y aire distribuida sustancialmente de manera uniforme con una λ relativamente más pobre (1603) en la zona de inducción (203) y una λ relativamente más rica (903) en la zona de estabilización (201) en la proximidad de la válvula de combustible.
15. El procedimiento de la reivindicación 10, que comprende además que crezca progresivamente una llama desde una región de λ rica hasta una región de λ pobre en las direcciones radial y axial para conseguir la quema casi completa de la mezcla de combustible y aire en la cámara de precombustión (304) antes de que una pluralidad de chorros de llama salga de la cámara de precombustión (304) debido a una relación de longitud total de la cámara de precombustión-diámetro máximo de la cámara de precombustión de más de 2.

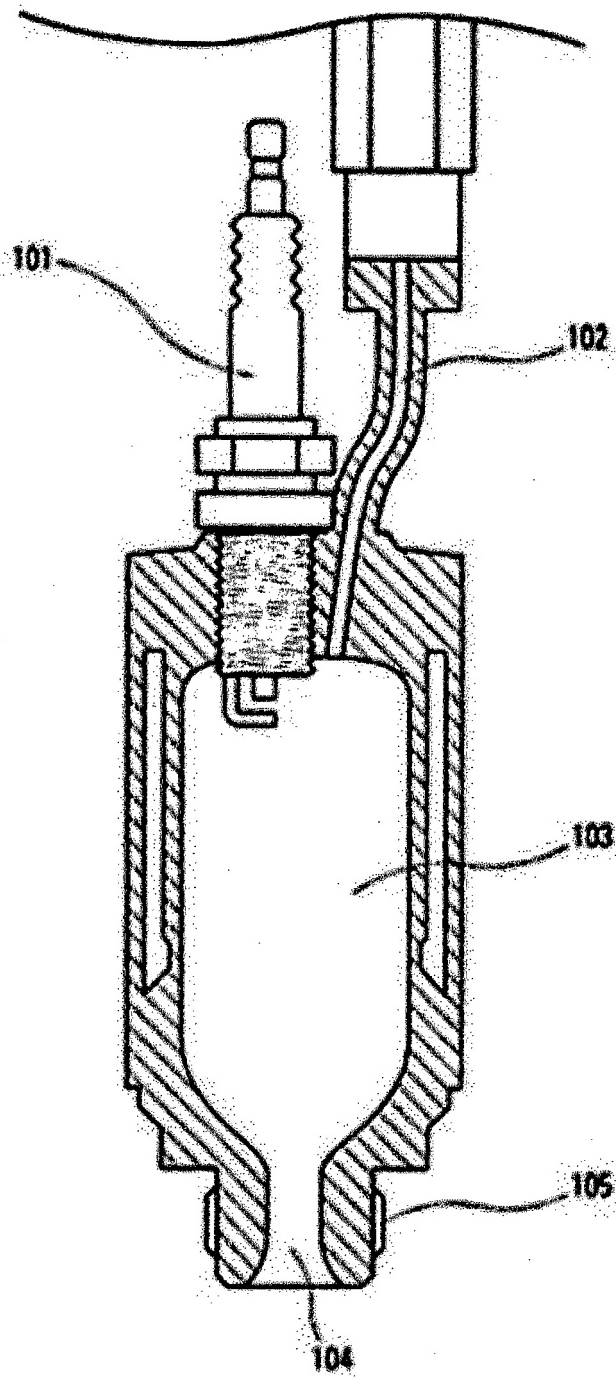


Fig. 1

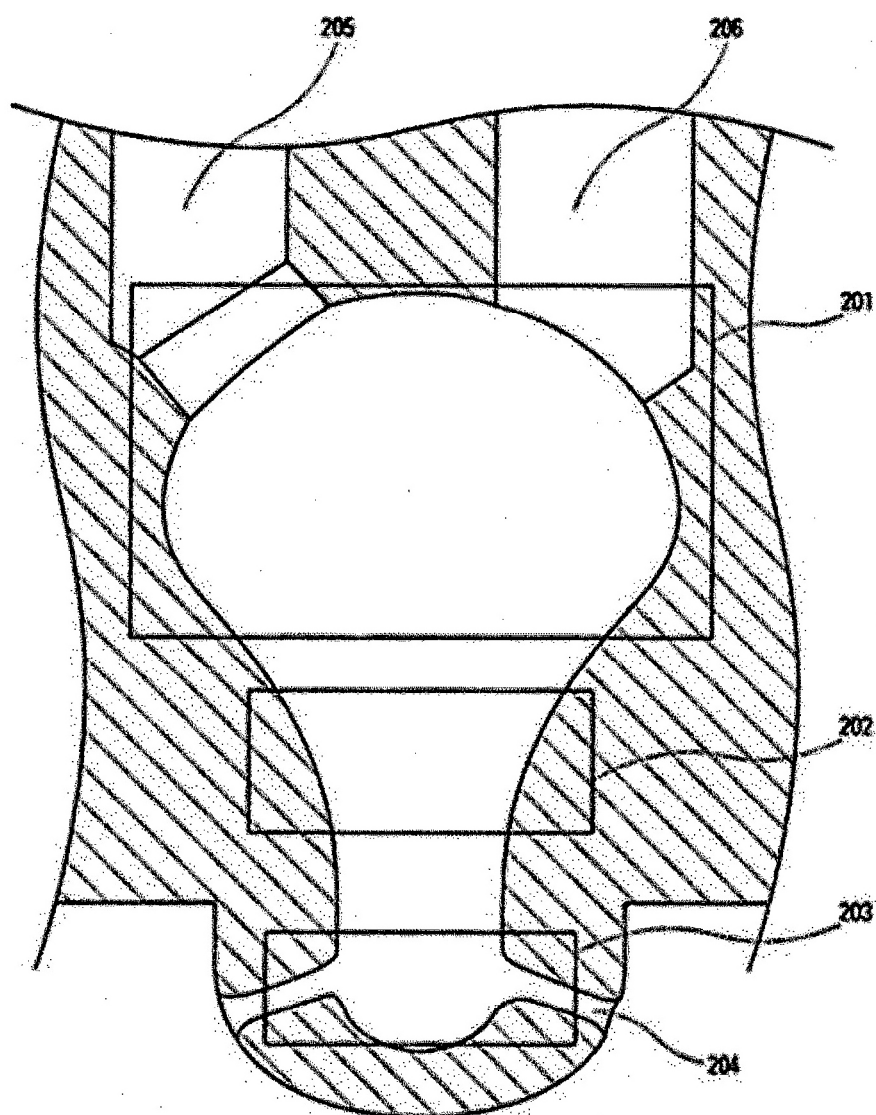


Fig. 2

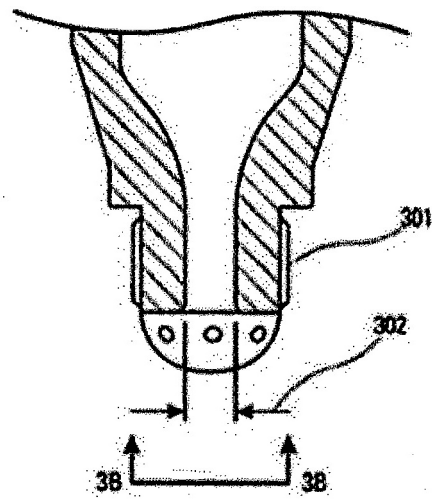


Fig. 3A

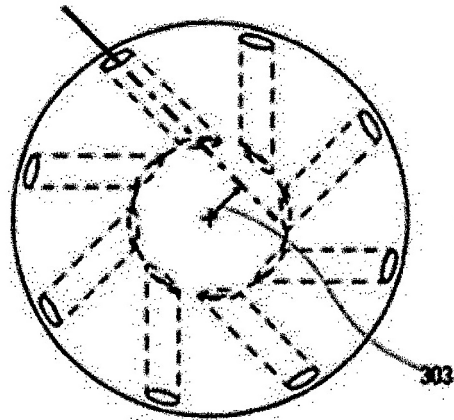


Fig. 3B

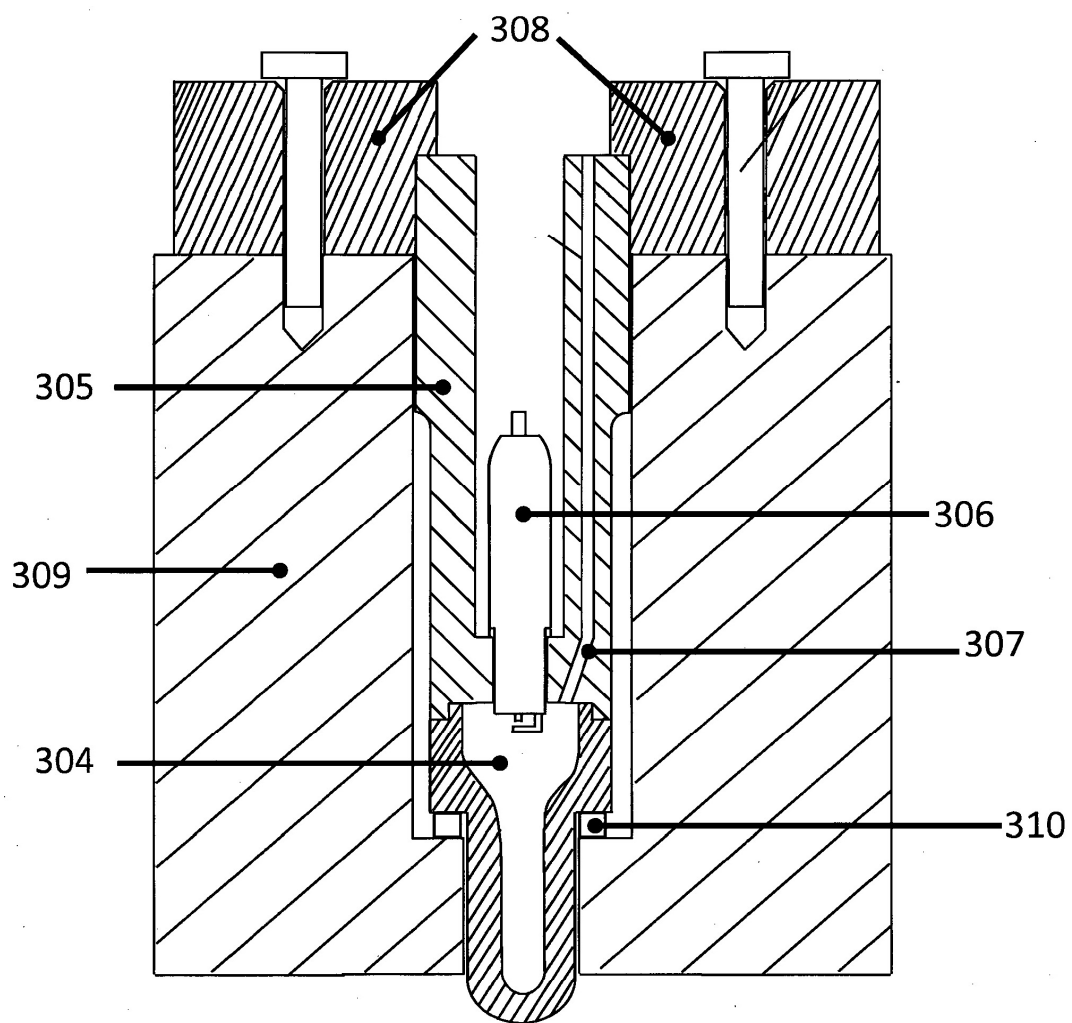


Fig. 3C

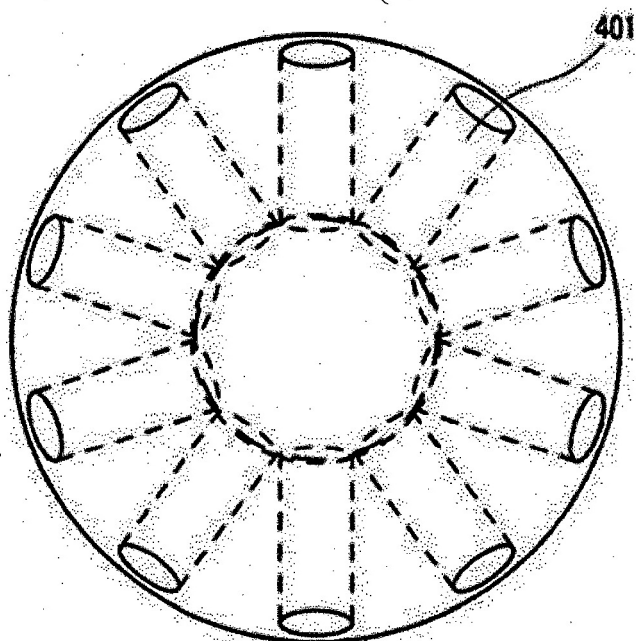


Fig. 4A

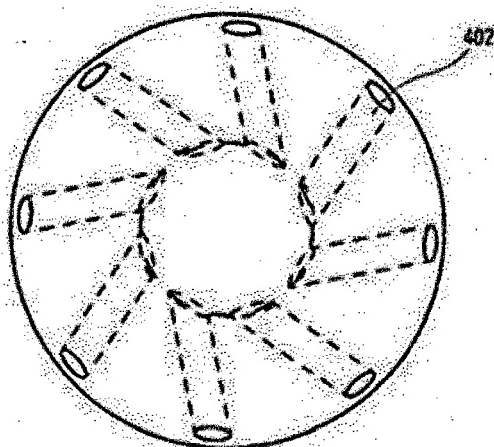


Fig. 4B

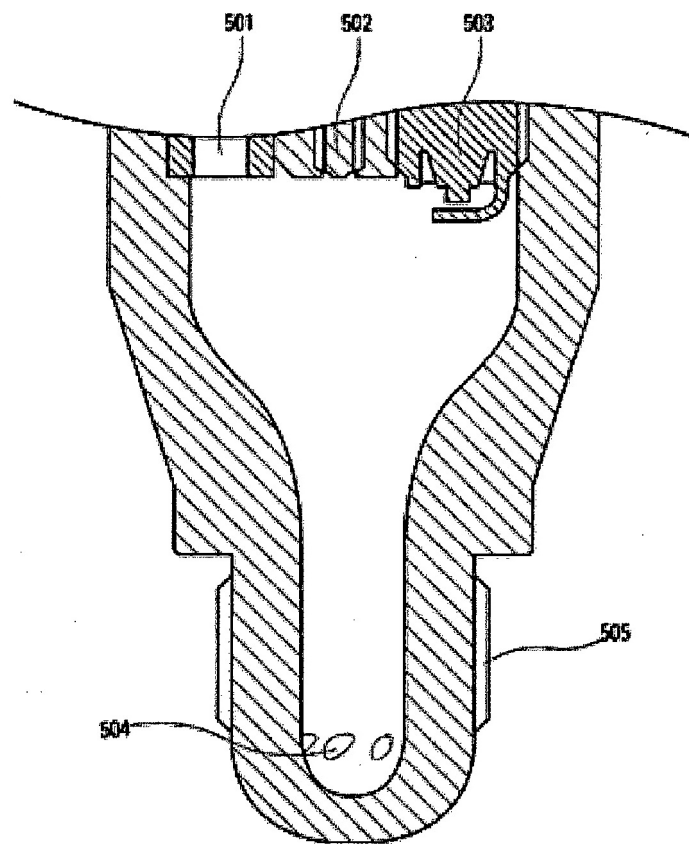


Fig. 5

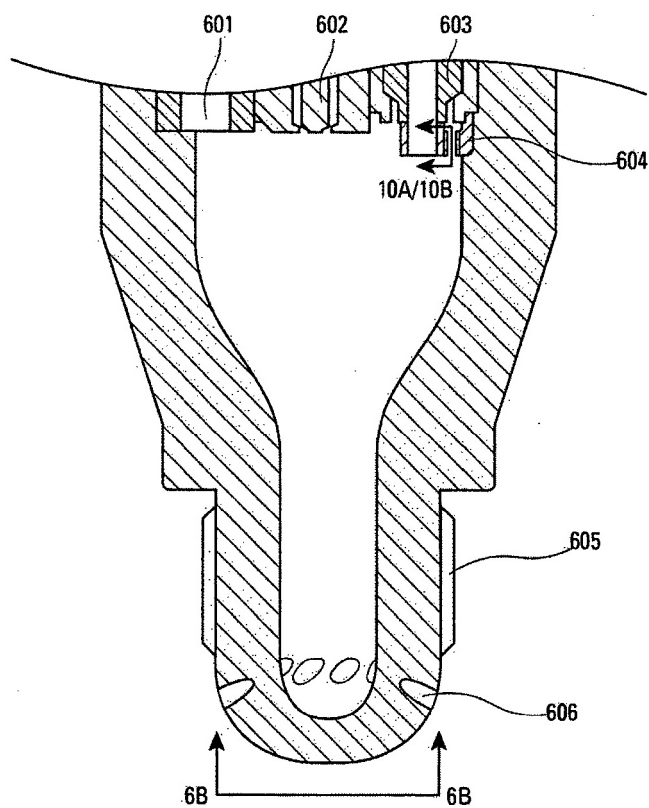


Fig. 6A

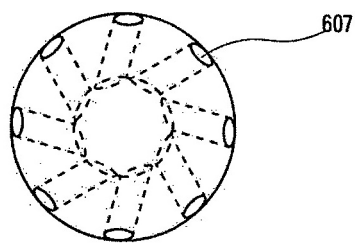


Fig. 6B

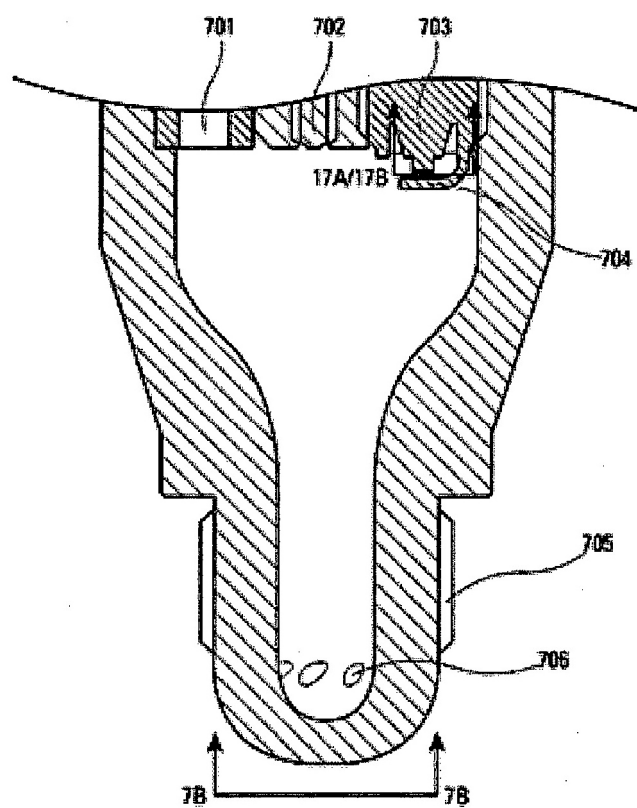


Fig. 7A

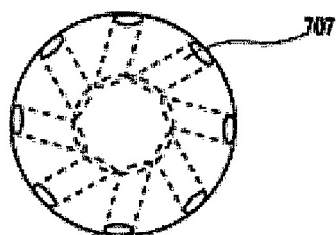


Fig. 7B

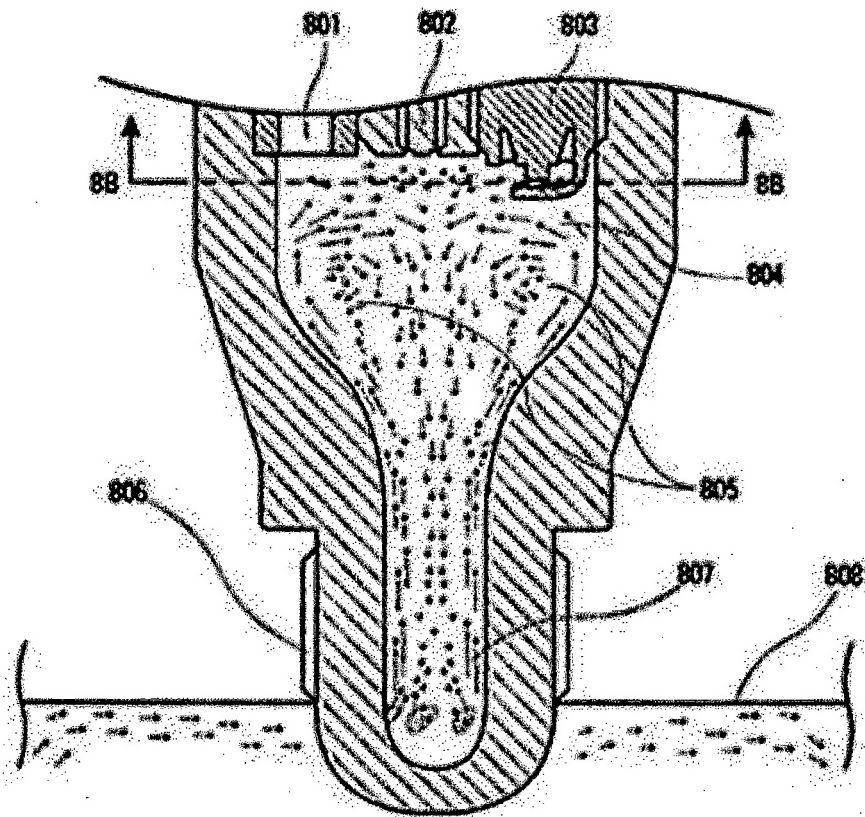


Fig. 8A

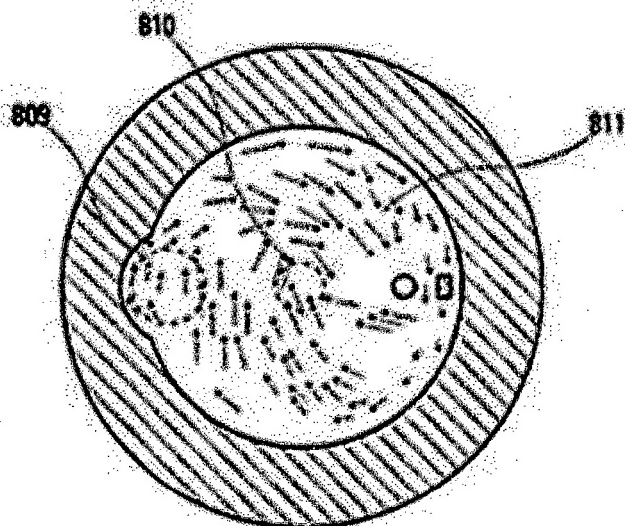
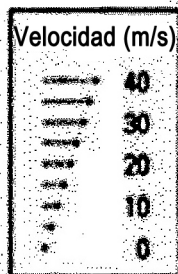


Fig. 8B

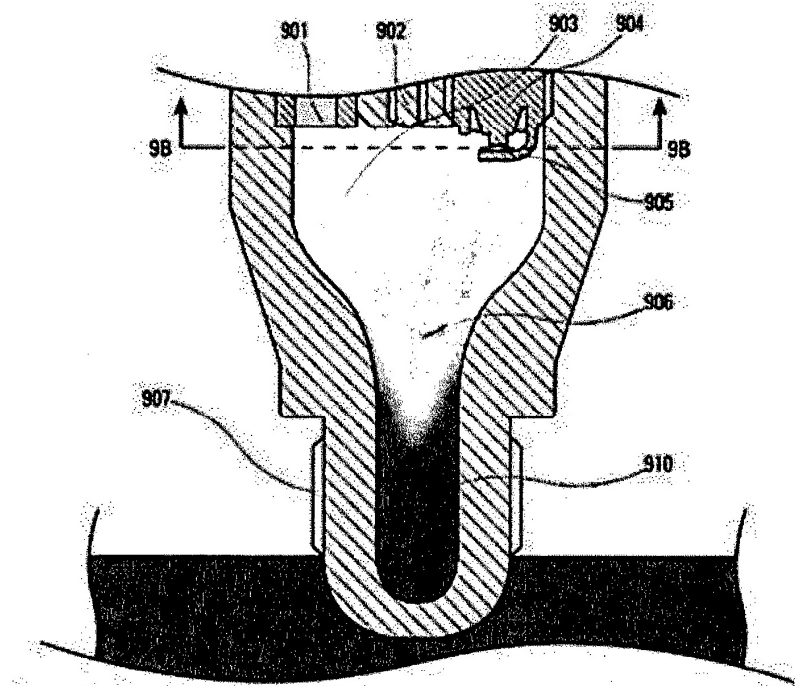


Fig. 9A

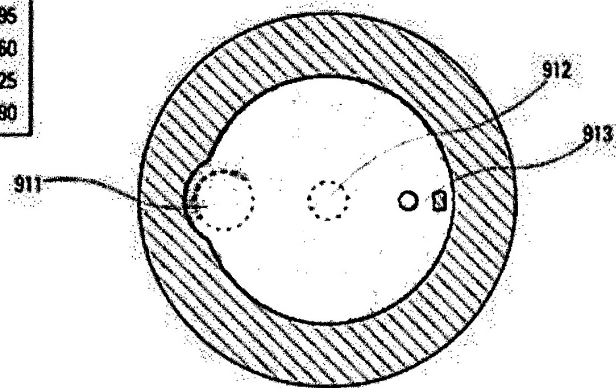
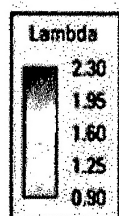


Fig. 9B

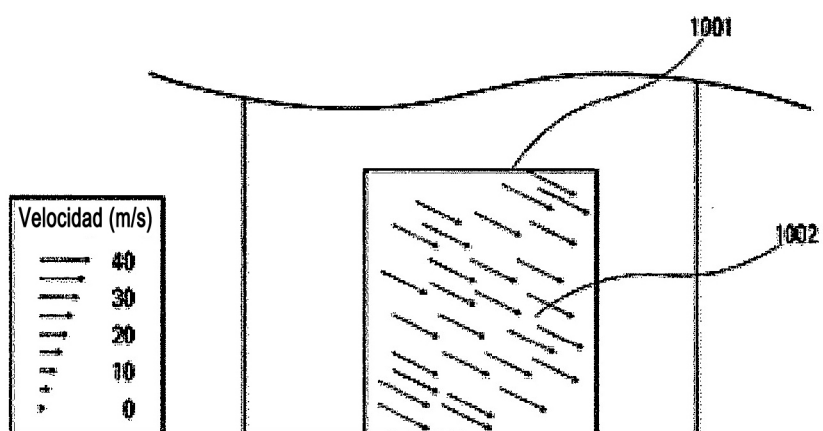


Fig. 10A

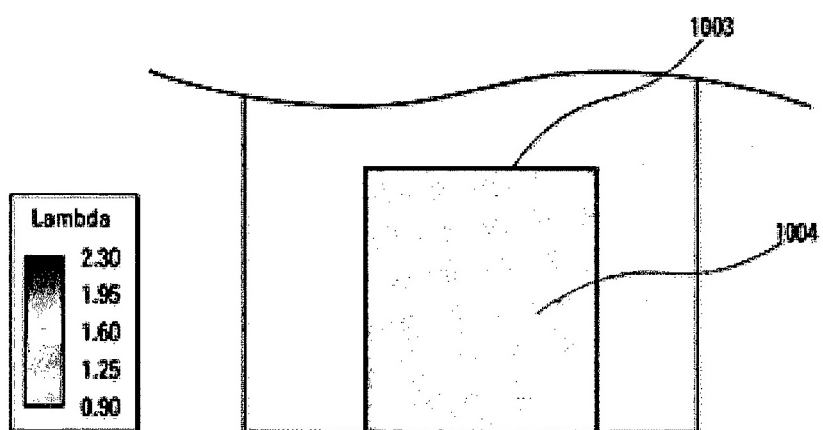


Fig. 10B

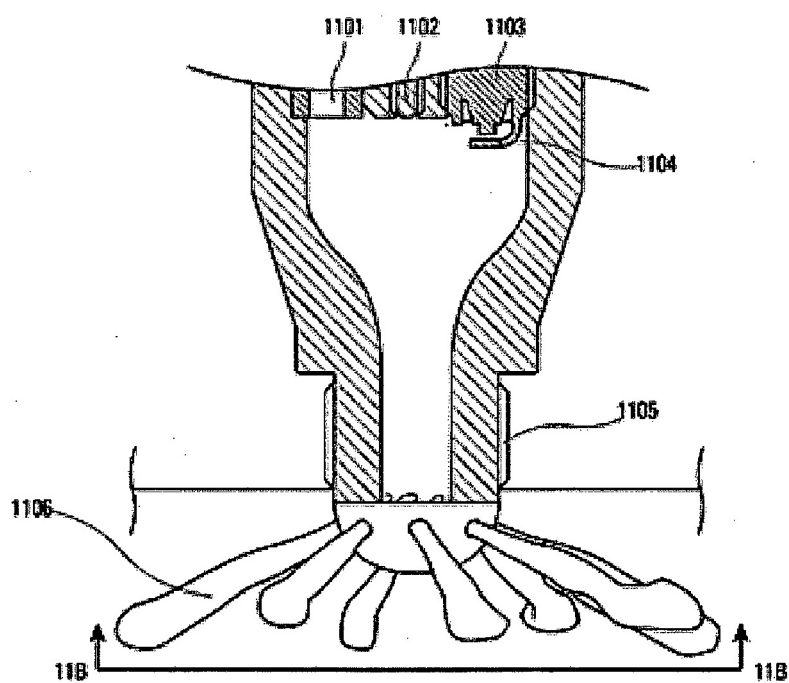


Fig. 11A

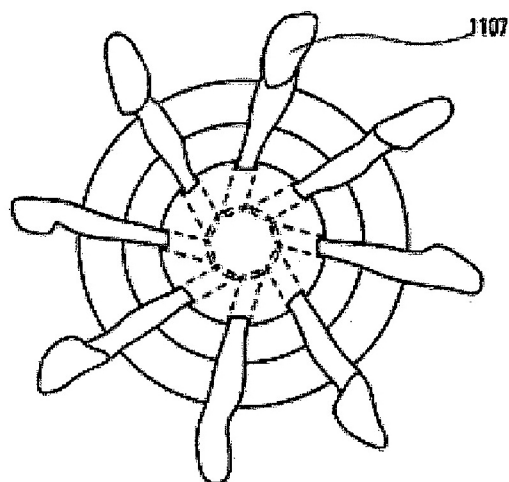


Fig. 11B

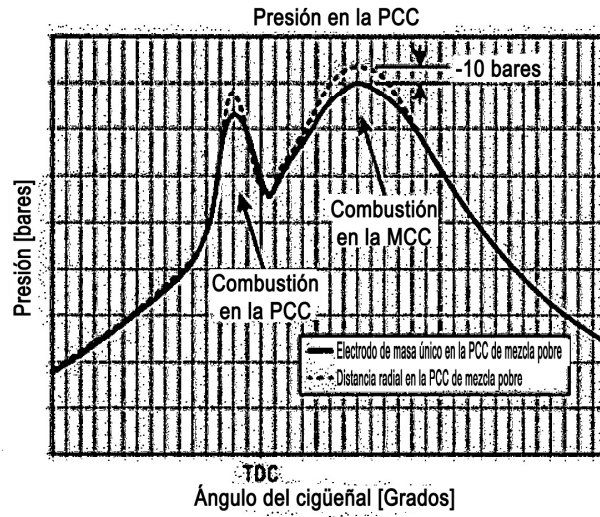


Fig. 12A

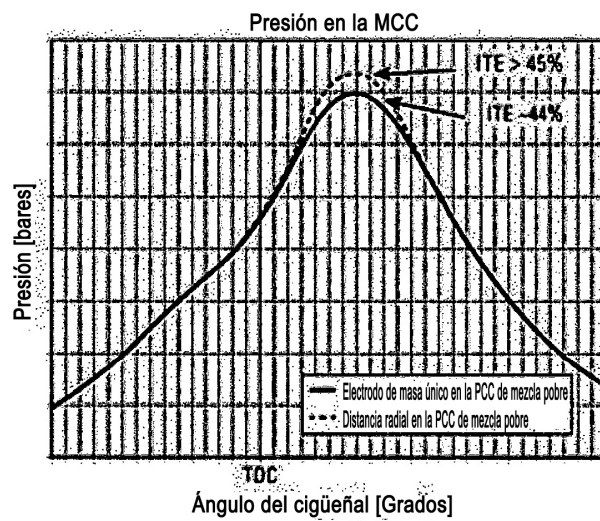


Fig. 12B

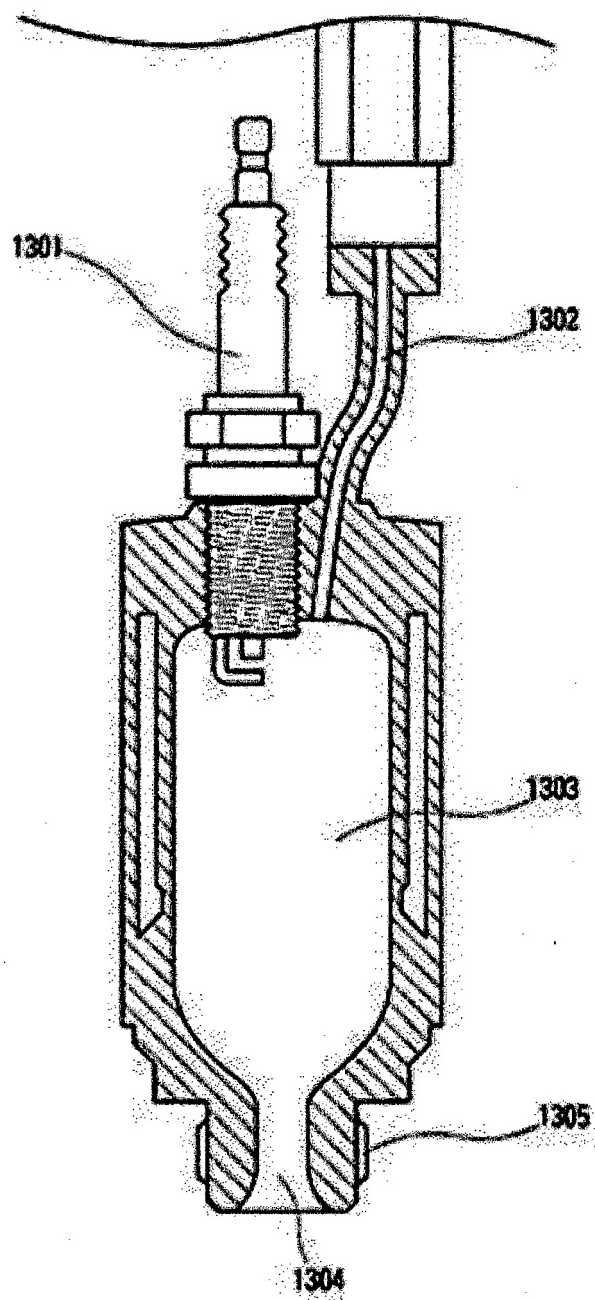


Fig. 13

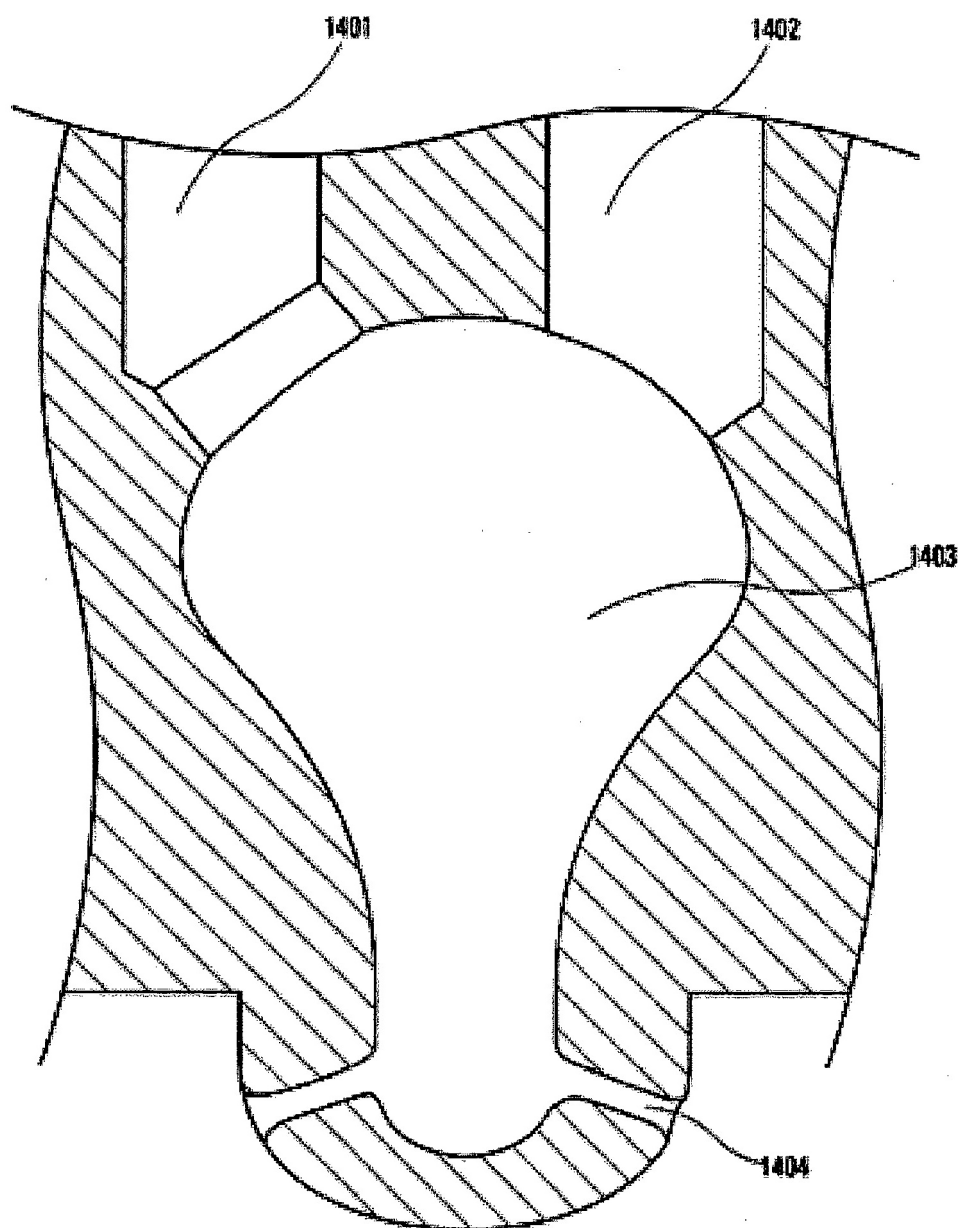


Fig. 14

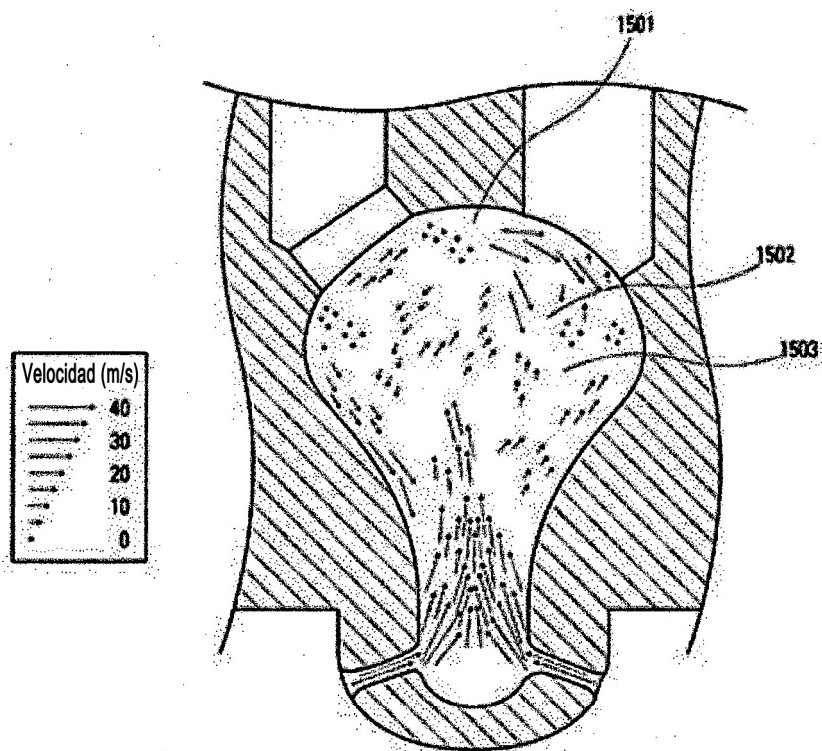


Fig. 15

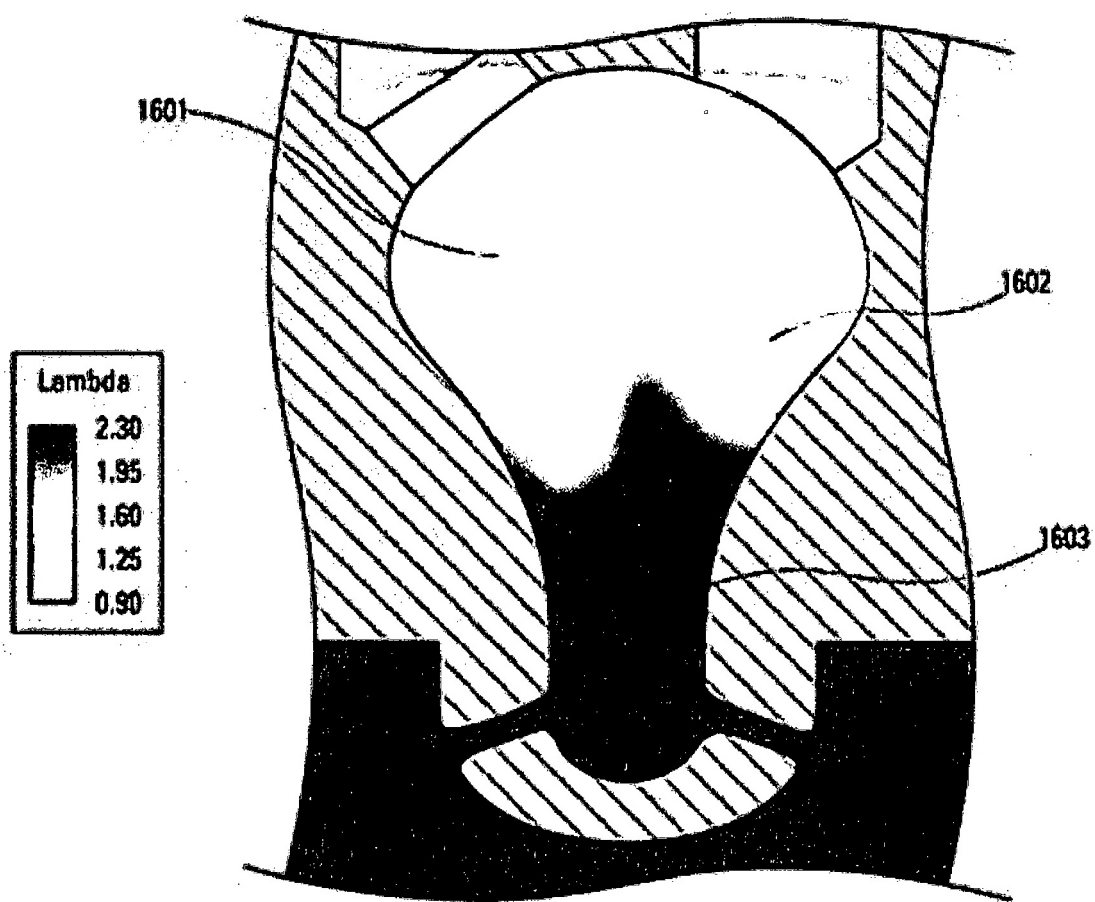


Fig. 16

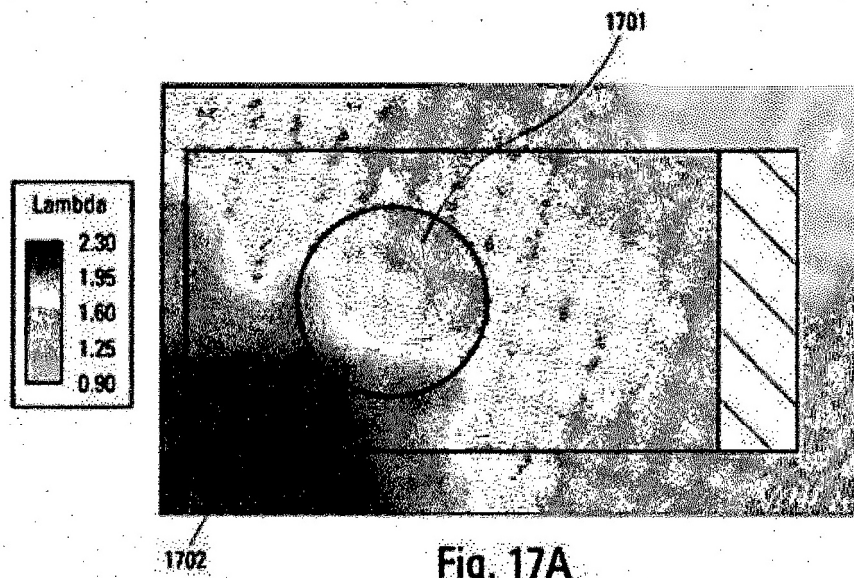


Fig. 17A

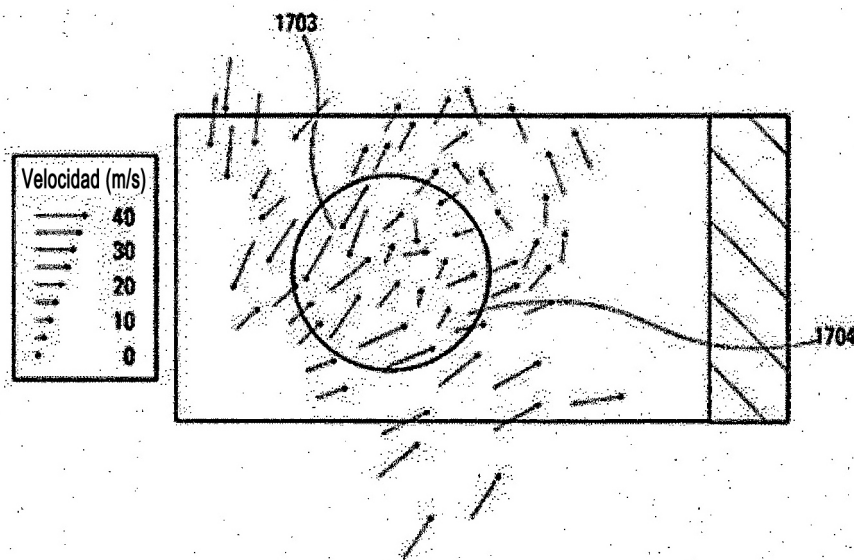


Fig. 17B

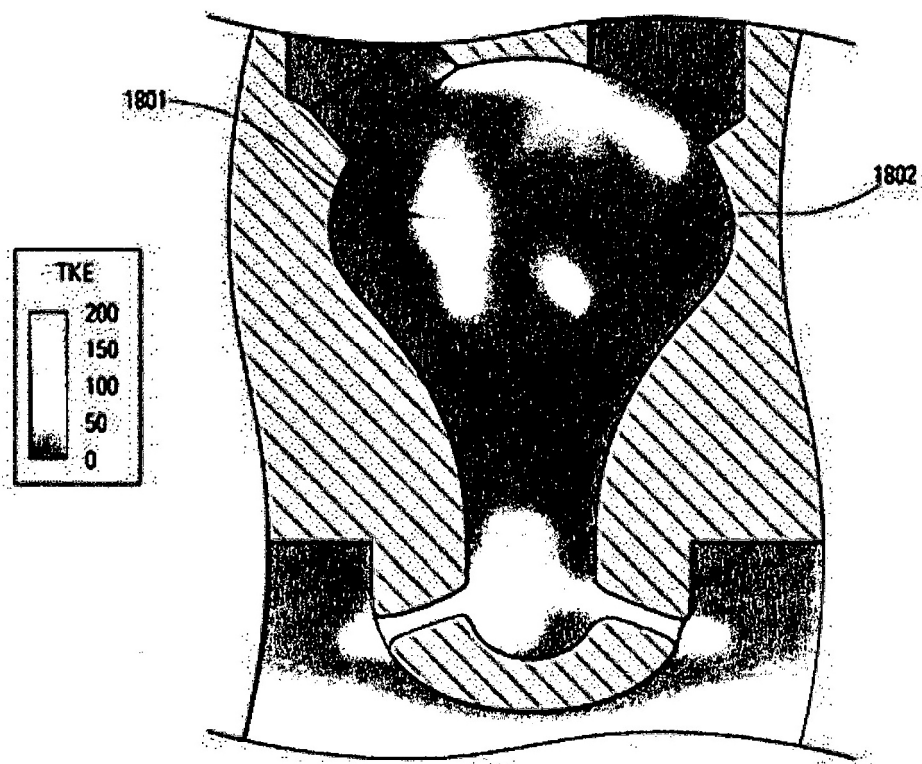
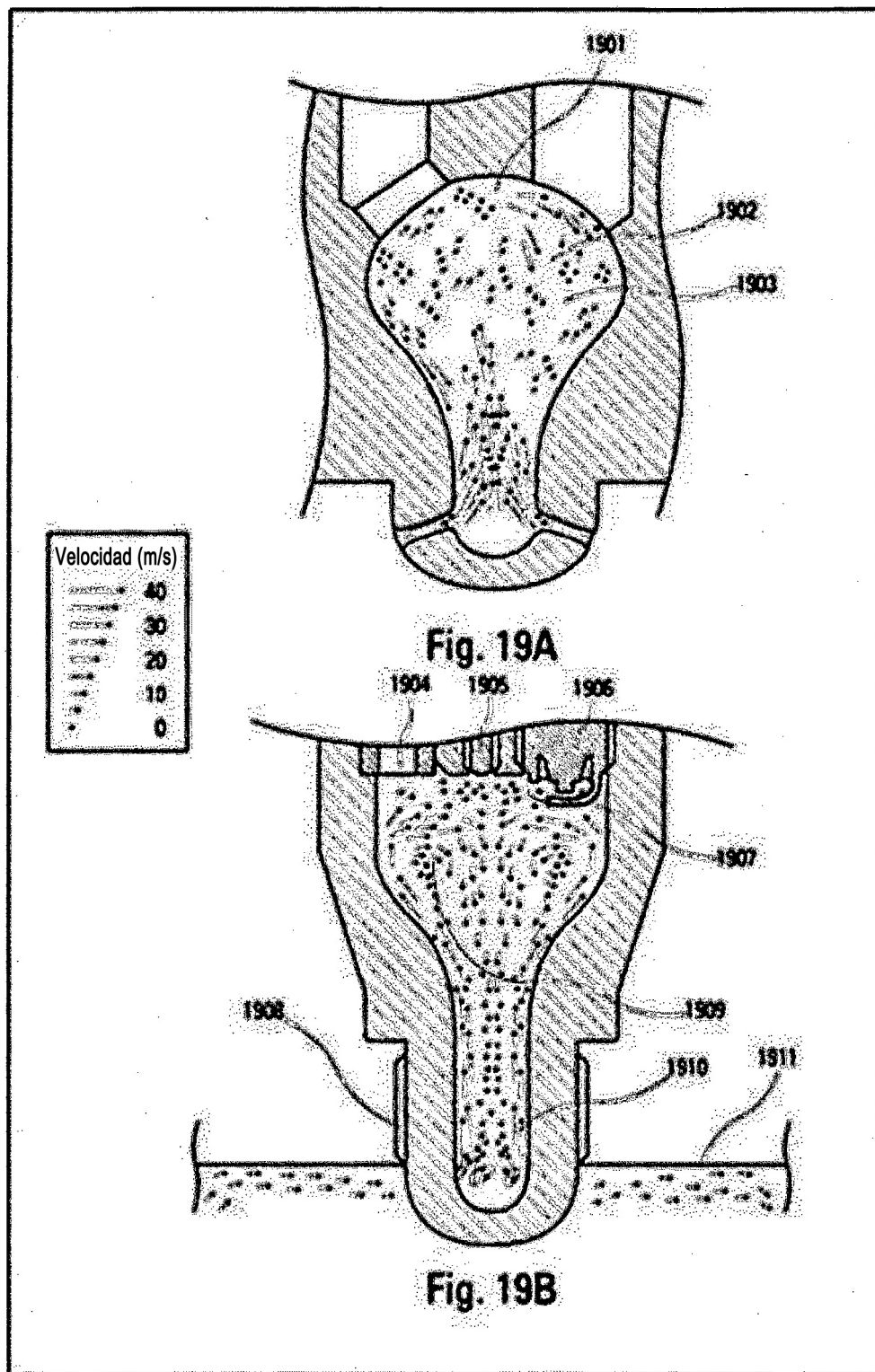
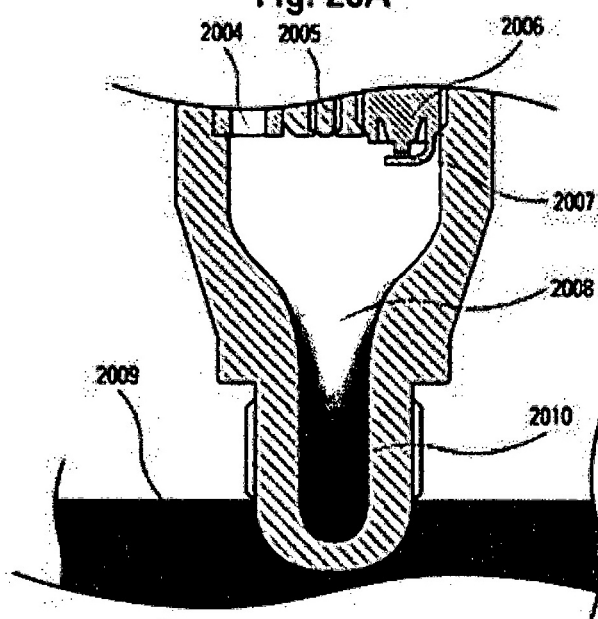
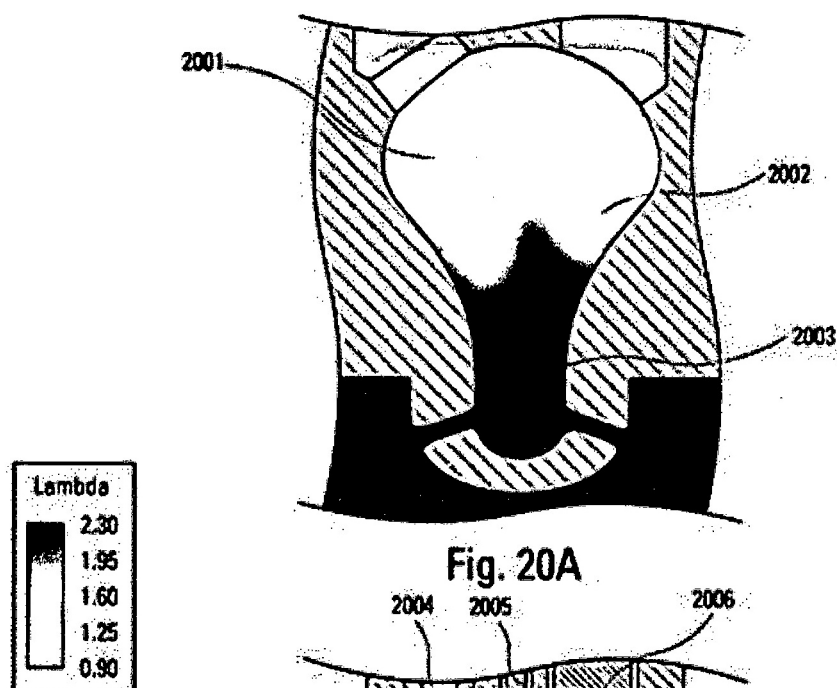


Fig. 18





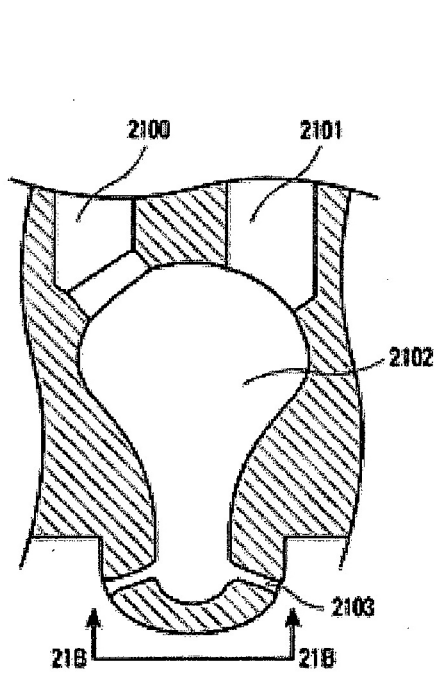


Fig. 21A

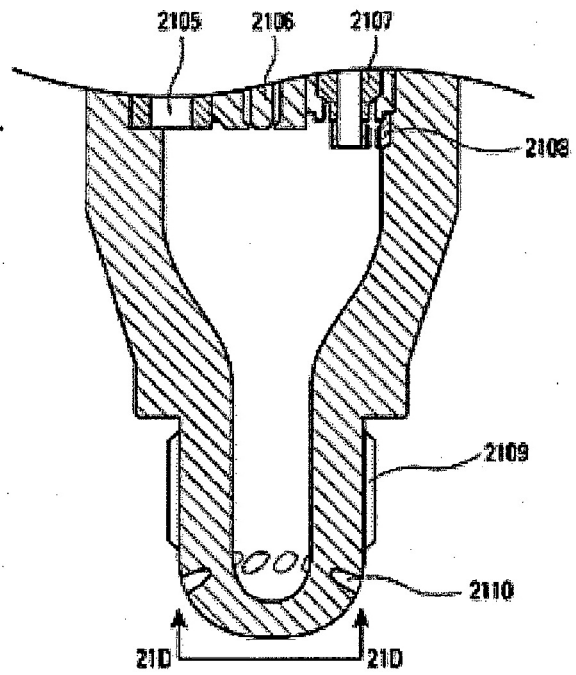


Fig. 21C

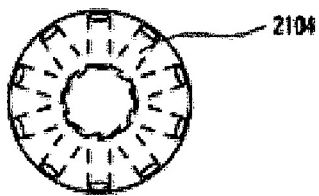


Fig. 21B

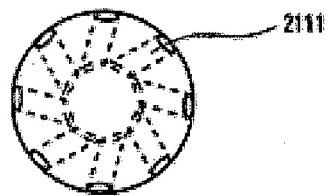


Fig. 21D

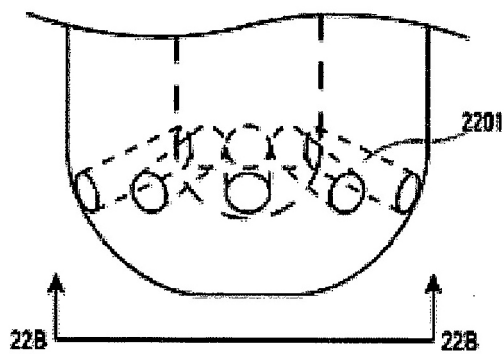


Fig. 22A

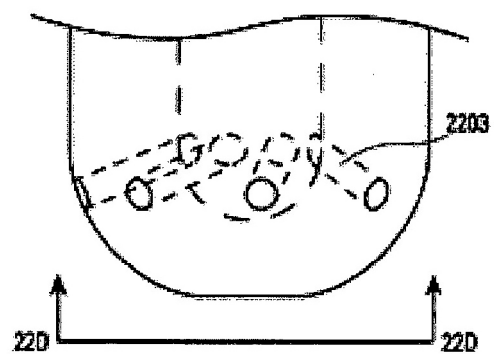


Fig. 22C

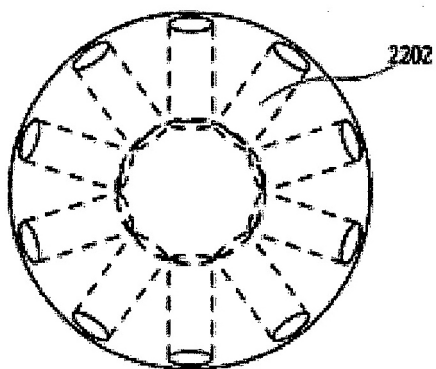


Fig. 22B

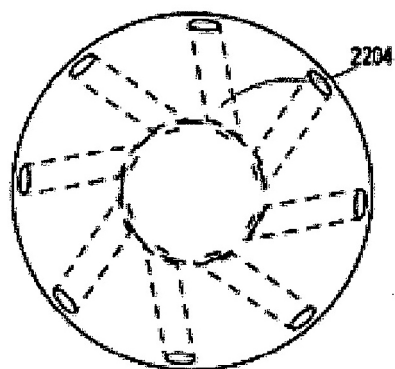


Fig. 22D

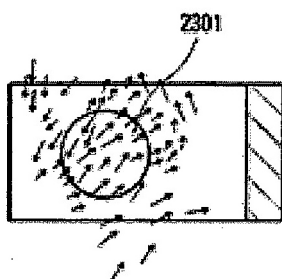


Fig. 23A

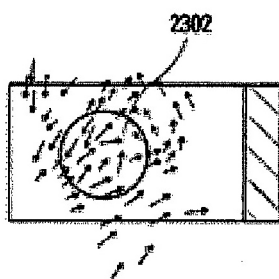


Fig. 23B

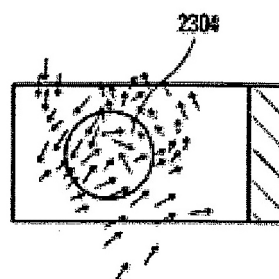


Fig. 23C

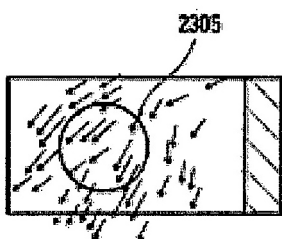


Fig. 23D

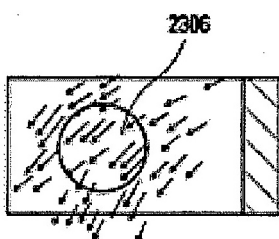


Fig. 23E

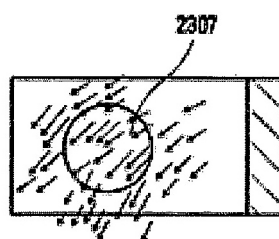
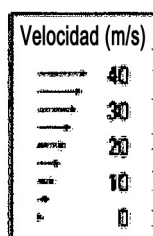
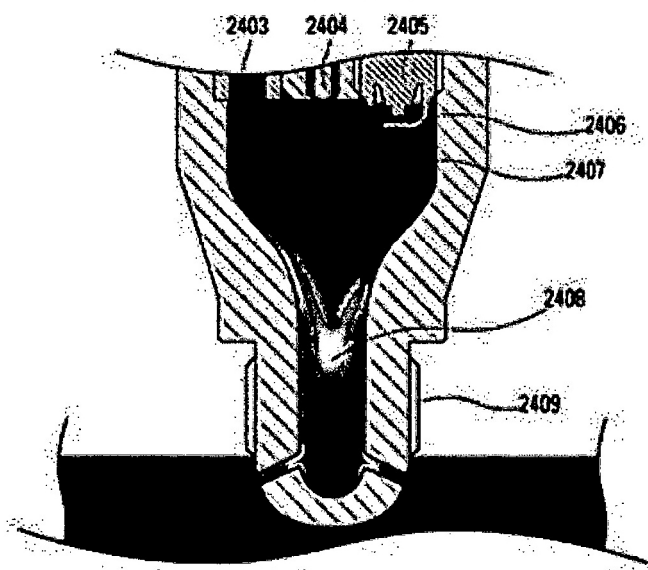
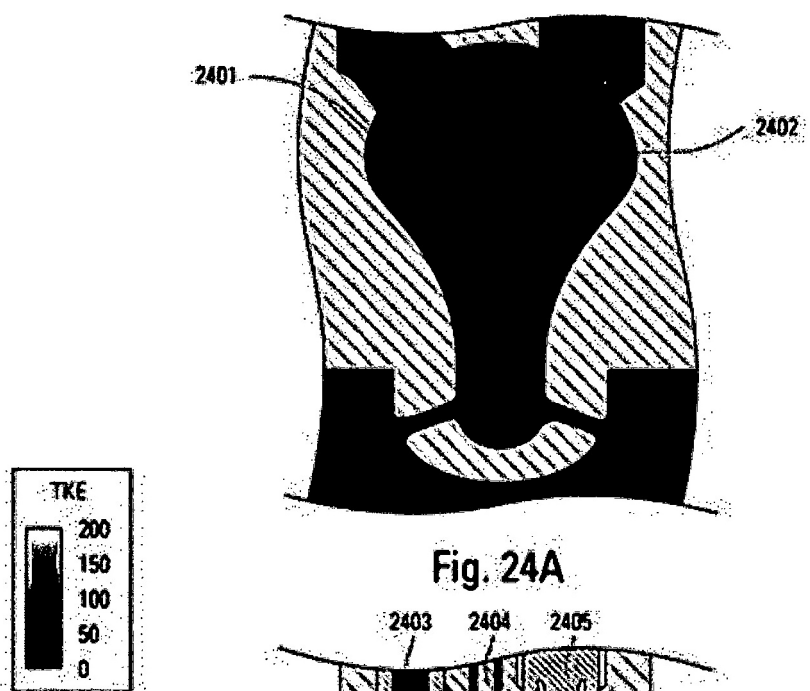


Fig. 23F





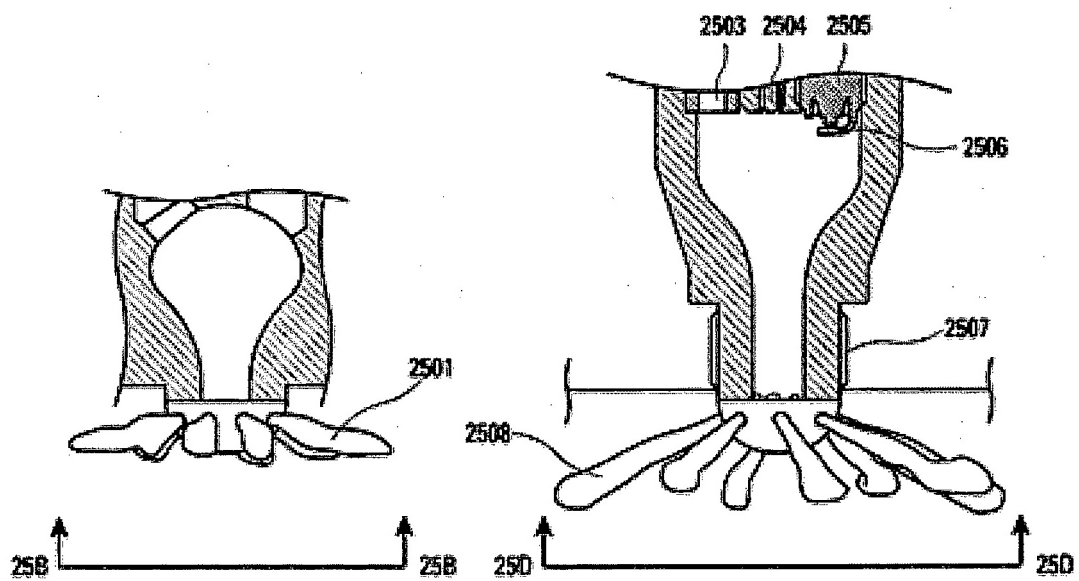


Fig. 25A

Fig. 25C

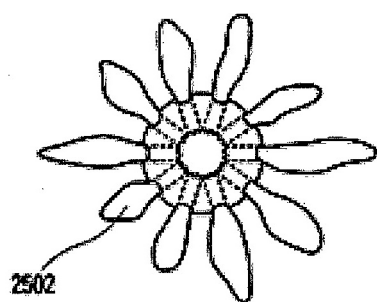


Fig. 25B

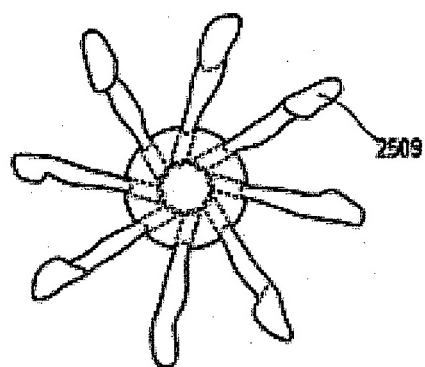


Fig. 25D

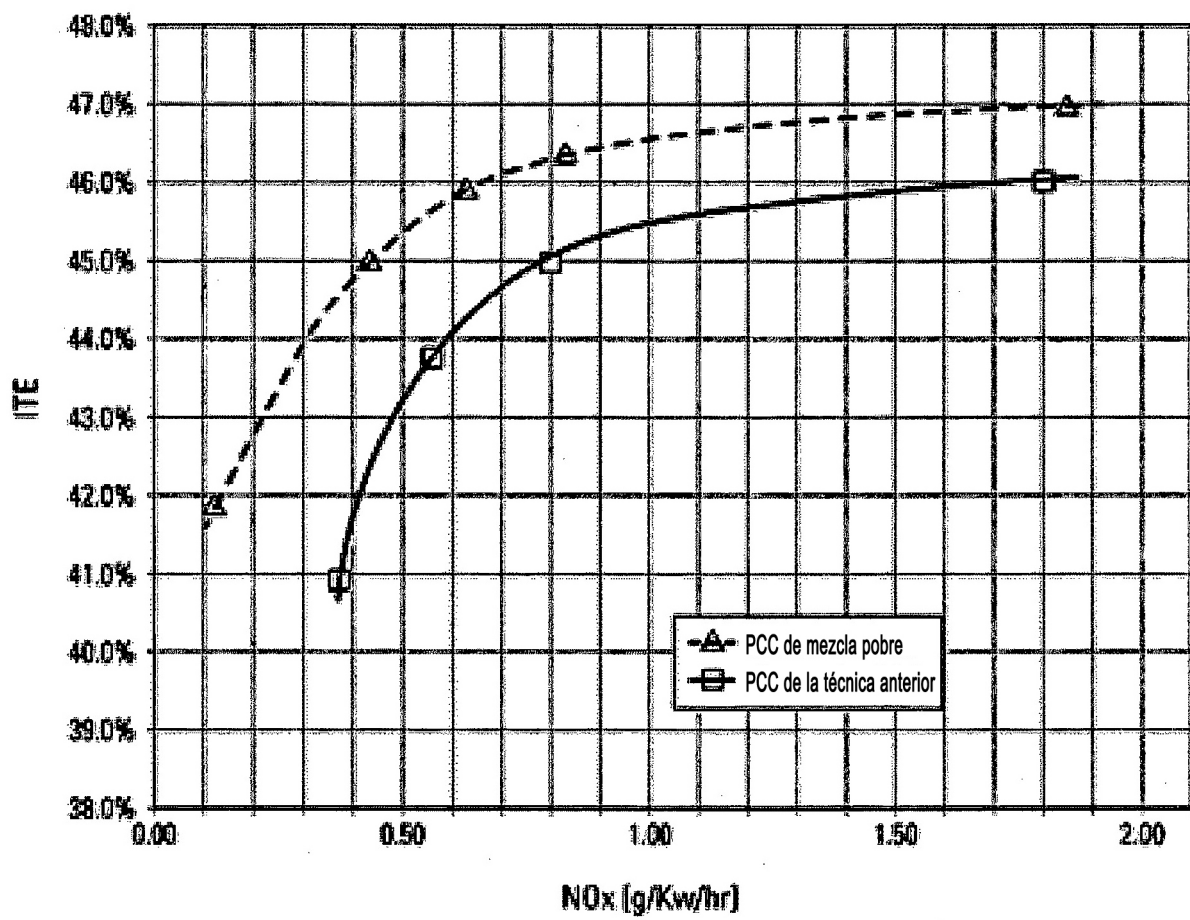


Fig. 26

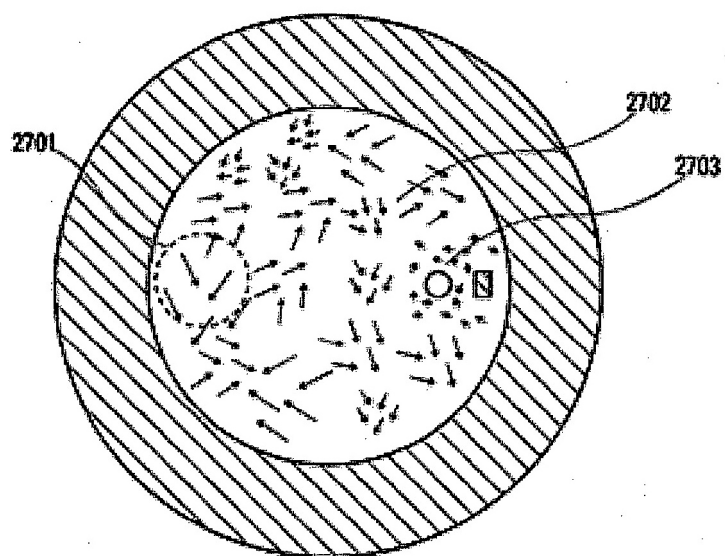


Fig. 27A

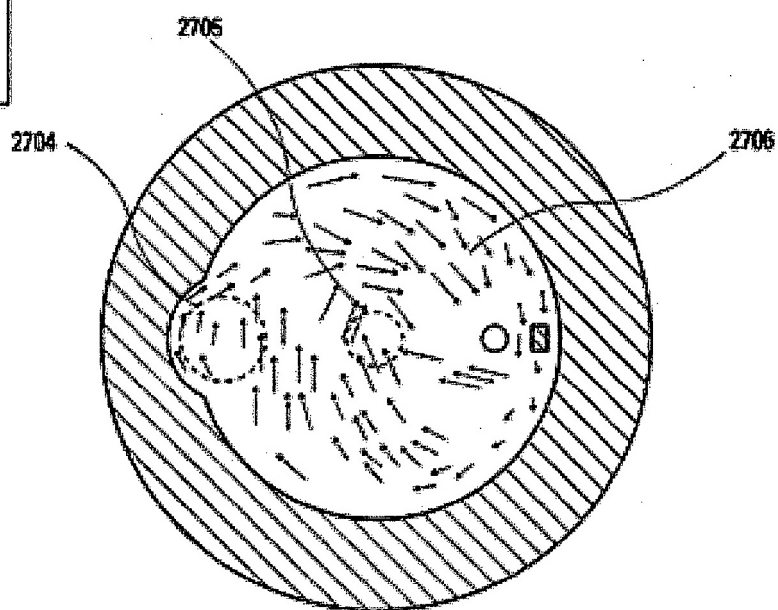
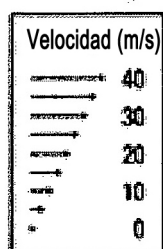


Fig. 27B

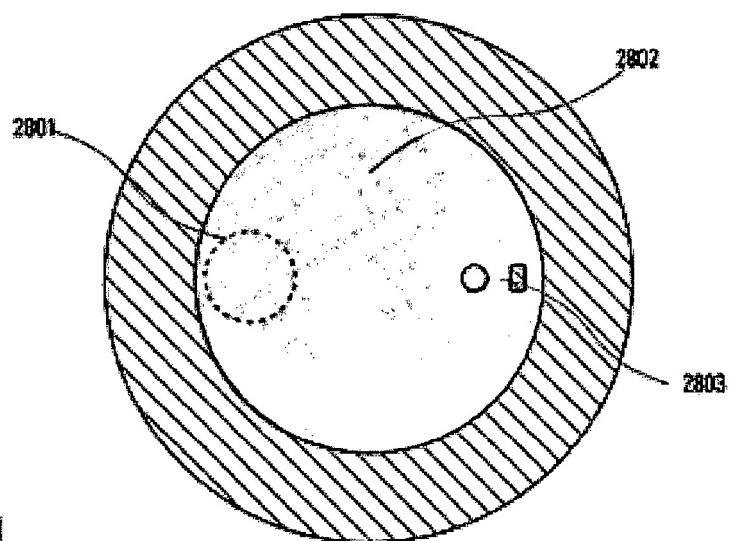


Fig. 28A

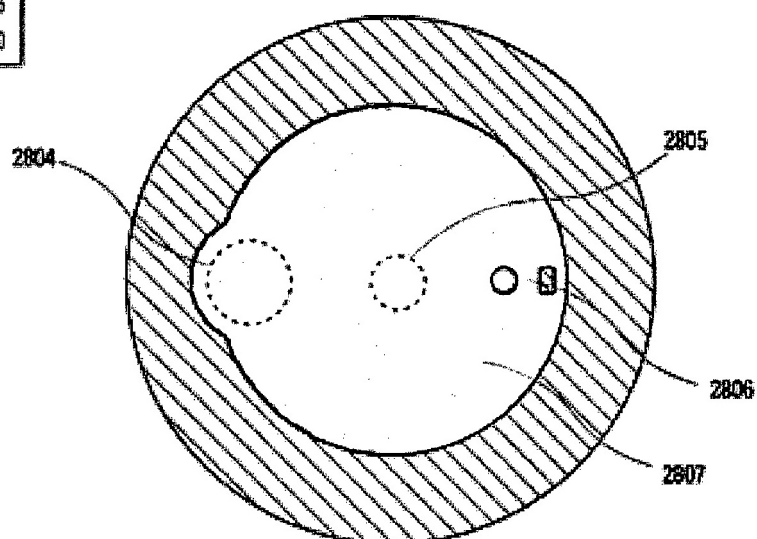
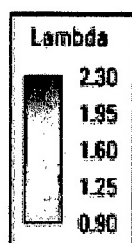


Fig. 28B

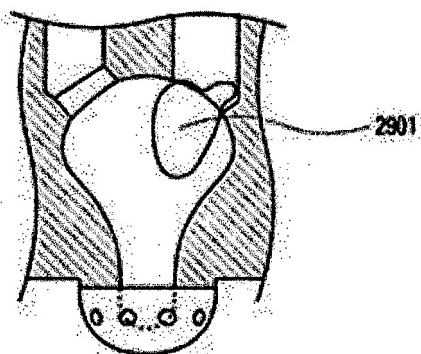


Fig. 29A

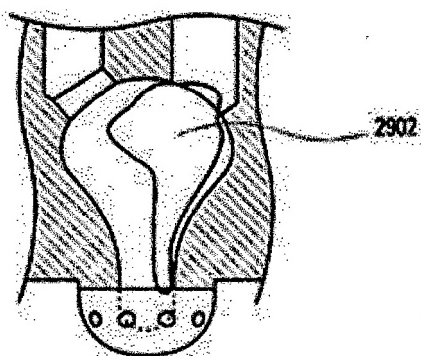


Fig. 29B

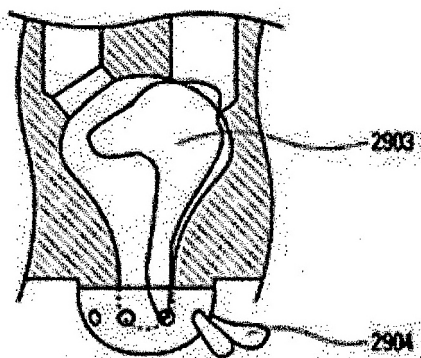


Fig. 29C

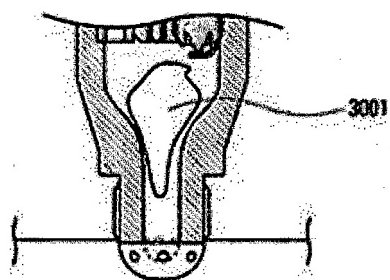


Fig. 30A

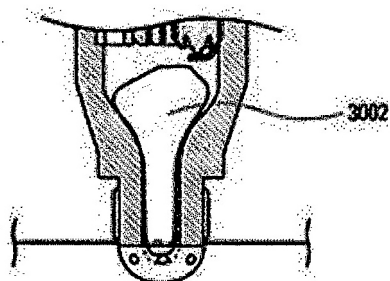


Fig. 30B

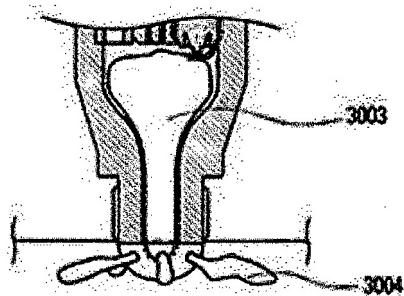


Fig. 30C

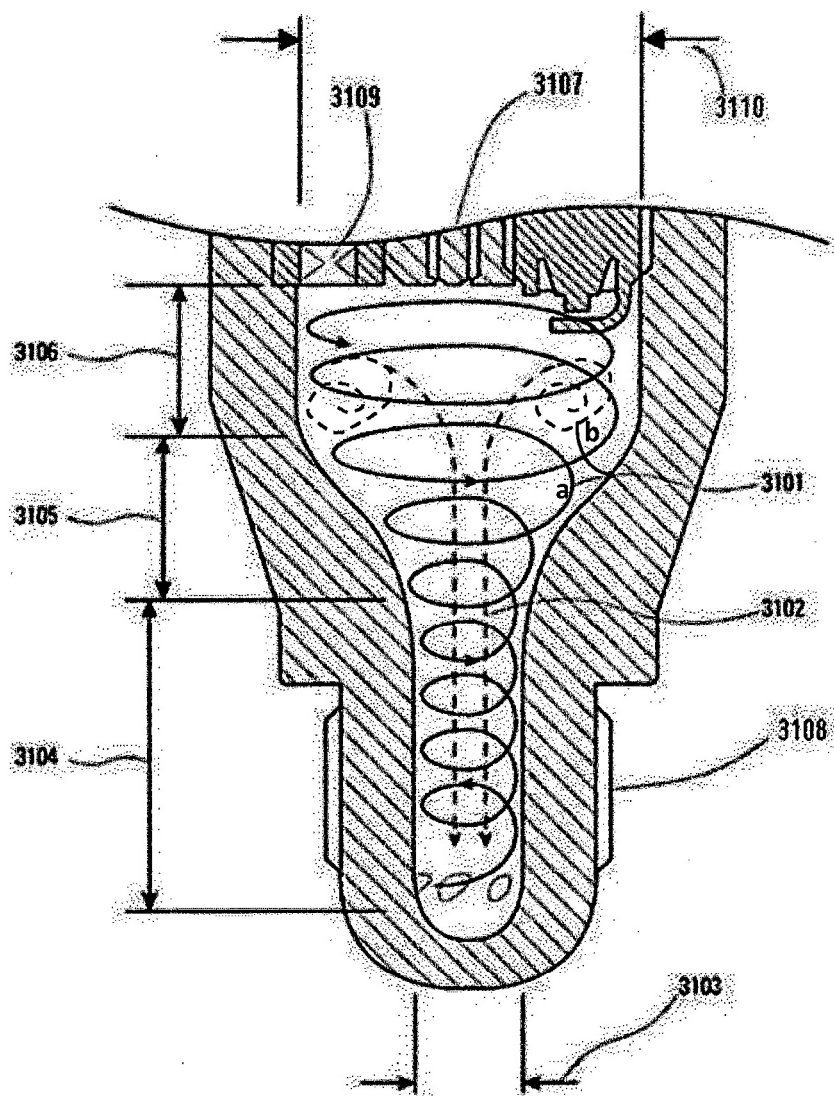


Fig. 31