

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 715 404**

51 Int. Cl.:

**F01C 1/356** (2006.01)

**F01C 21/08** (2006.01)

**F01C 21/18** (2006.01)

**F02B 55/02** (2006.01)

**F02B 55/14** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.02.2014** **PCT/US2014/018499**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.09.2014** **WO14149445**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.02.2014** **E 14709511 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.12.2018** **EP 2971511**

54 Título: **Motor rotativo de combustión interna**

30 Prioridad:

**15.03.2013 US 201313832876**

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

**04.06.2019**

73 Titular/es:

**KOCH, RANDY (100.0%)**  
**1000 Clear Lake Road**  
**Grass Lake, MI 49240, US**

72 Inventor/es:

**KOCH, RANDY**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 715 404 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 rotativo de combustión interna

### 5 Campo técnico

La divulgación del presente documento se refiere al campo de los motores de combustión interna rotativos.

### 10 Antecedentes

Los motores de combustión interna son motores en los que se prende una mezcla de carburante, tal como una mezcla de aire-combustible, en una cámara de combustión del motor, para así aplicar una fuerza a un componente del motor. En un motor de combustión interna de pistón alternativo, tal como un motor de ciclo Otto o un motor diésel, la cámara de combustión es un cilindro que aloja un pistón alternativo. La combustión del combustible provoca la alternancia continua del pistón, y el movimiento oscilante del pistón se convierte en una salida rotatoria gracias a un cigüeñal que está acoplado al pistón alternativo mediante una varilla de conexión. Las ineficacias están relacionadas con el movimiento alternativo del pistón. Por ejemplo, la combustión se produce en o cerca del punto muerto superior, donde el ángulo del par entre el pistón y el cigüeñal está a o cerca de cero.

Se han propuesto motores de combustión interna rotativos de muchos tipos como alternativa a los motores de combustión interna de pistón alternativo con diferentes grados de éxito. Algunos diseños del motor rotativo de combustión interna colocan uno o más pistones en el interior de un "cilindro" en forma de toro. En ocasiones, a estos motores se les denomina motores de combustión interna toroidales. Algunos de estos diseños incluyen uno o más pistones que se desplazan en un movimiento circular continuo sin alternancia mientras giran un árbol de salida al unísono con el movimiento del pistón. Aunque esta disposición evita algunas de las fuentes de las ineficacias experimentadas en los motores de combustión interna de pistón alternativo, los diseños anteriormente propuestos no han tenido éxito.

Los documentos GB19110622, US4127094 y DE1451715 divulgan todos ejemplos de los motores de combustión rotativos de la técnica anterior que comprenden una cámara de compresión arqueada, una cámara de expansión arqueada, un árbol de salida y un pistón, acoplado al árbol de salida para moverse a través de la expansión arqueada y de las cámaras de compresión. El pistón tiene un extremo delantero, un extremo trasero, una cámara interna, una válvula de entrada, que está ubicada en el extremo delantero del pistón para recibir un fluido compresible desde la cámara de compresión arqueada, y una válvula de salida, que está ubicada en el extremo trasero del pistón para expulsar un gas de combustión en la cámara de expansión arqueada.

### Sumario

Un aspecto de las realizaciones divulgadas es un motor rotativo de combustión interna que comprende las características que se definen en la reivindicación 1.

Otro aspecto de las realizaciones divulgadas es un método que comprende las características definidas en la reivindicación 10 para operar un motor rotativo de combustión interna que comprende las características que se definen en la reivindicación 1.

### Breve descripción de los dibujos

Las diversas características, ventajas y otros usos del presente aparato serán más evidentes al hacer referencia a la siguiente descripción detallada y a los dibujos, en los que:

- La figura 1 es una vista en sección transversal lateral de un motor rotativo de combustión interna;
- la figura 2 es una vista en perspectiva recortada que muestra el motor rotativo de combustión interna;
- la figura 3 es una vista lateral que muestra un primer conjunto de válvula transversal del motor rotativo de combustión interna, donde la posición cerrada de la primera válvula de la cámara de compresión y la segunda válvula de la cámara de expansión se muestran con una línea continua, y la posición abierta se muestra con líneas discontinuas;
- la figura 4 es una vista aérea en sección transversal de un pistón del motor rotativo de combustión interna;
- la figura 5A es una vista aérea en sección transversal del motor rotativo de combustión interna al comienzo de una fase de compresión/admisión;
- la figura 5B es una vista aérea en sección transversal del motor rotativo de combustión interna al final de la fase de compresión/admisión;
- la figura 6A es una vista aérea en sección transversal del motor rotativo de combustión interna al comienzo de una fase de expansión/escape;
- la figura 6B es una vista aérea en sección transversal del motor rotativo de combustión interna al final de una fase de expansión/escape; y
- la figura 7 es una vista aérea en sección transversal de un pistón alternativo del motor rotativo de combustión

interna.

#### Descripción detallada

La divulgación del presente documento se refiere a motores de combustión interna rotativos en los que un pistón se desplaza en una dirección constante a lo largo de una trayectoria circular dentro de un cilindro arqueado. Los motores de combustión interna rotativos comentados en el presente documento son mejores con respecto a los diseños anteriores gracias a la provisión de cualquiera o todos los oxidantes beneficiosos para las proporciones de combustible en diversas condiciones de carga, la compresión adecuada de la mezcla de combustible, la conservación de la energía térmica, las capacidades de los combustibles flexibles y la combustión y escape de la mezcla de combustible. Tal como se explicará en el presente documento, la ubicación de la cámara de combustión en el interior del pistón permite que la mezcla de combustible se comprima en el interior del pistón a medida que el pistón se desplaza por el interior del cilindro. El pistón incluye válvulas de entrada y salida que pueden abrirse y cerrarse para permitir que la mezcla de combustible se comprima en el interior del pistón y para permitir la expansión de la mezcla de combustible después de la ignición. Para maximizar la eficacia de las fases de compresión y expansión del ciclo del motor, el cilindro está dividido en una cámara de compresión arqueada y en una cámara de expansión arqueada, que están aisladas la una de la otra por unos ensambles de válvula transversales que se abren para permitir que el pistón pase desde la cámara de compresión al interior de la cámara de expansión y desde la cámara de expansión al interior de la cámara de compresión. En algunas implementaciones, los ensambles de válvula transversales y el pistón pueden tener una forma complementaria los unos con respecto a los otros para minimizar el espacio muerto entre el pistón y las válvulas cuando las válvulas se abren o se cierran.

La figura 1 es una vista en sección transversal lateral de un motor rotativo de combustión interna 100. El motor rotativo de combustión interna 100 incluye una carcasa 110 que define una cámara de compresión arqueada 120 y una cámara de expansión arqueada 130. La cámara de compresión 120 y la cámara de expansión 130 cooperan para definir un cilindro sustancialmente toroide a través del que se desplaza un pistón 140 en una trayectoria circular, unidireccional y continua.

El pistón 140 está acoplado a un árbol de salida 160. El árbol de salida 160 se puede extender a lo largo de un eje central 102 del motor rotativo de combustión interna 100, en donde el cilindro sustancialmente toroidal, que está definido por la cámara de compresión 120 y la cámara de expansión 130, está dispuesto alrededor del eje central 102, estando el eje central 102 en su punto central. En algunas implementaciones, pueden combinarse dos o más de los motores de combustión interna rotativos descritos en el presente documento, tal como mediante la interconexión de los ejes de salida 160, para permitir que la salida de potencia del motor aumente hasta una aplicación deseada.

El pistón 140 está acoplado al árbol de salida 160, de modo que el desplazamiento del pistón a través de la cámara de compresión 120 y de la cámara de expansión 130 provoca la rotación del árbol de salida 160. En particular, el pistón 140 puede acoplarse al árbol de salida 160, de modo que el árbol de salida 160 rota al unísono con el desplazamiento del pistón 140. Para provocar la rotación del árbol de salida 160 al unísono con el pistón 140, el pistón 140 puede acoplarse de forma rígida al árbol de salida 160. En un ejemplo, el pistón 140 y el árbol de salida 160 están acoplados cada uno a un rotor 170 que está dispuesto en el interior de la carcasa 110. En algunas implementaciones, el árbol de salida 160 y/o el pistón 140 puede conformarse de manera íntegra con el rotor 170. En otras implementaciones, el rotor 170 puede conectarse de forma rígida al pistón 140 y/o al árbol de salida 160 mediante medios convencionales, como con fijaciones mecánicas. Aunque la implementación descrita en el presente documento incluye un solo pistón 140 acoplado al rotor 170, otras implementaciones pueden incluir dos o más pistones 140 que estén cada uno acoplados al rotor 170.

Para sellar la cámara de compresión 120 y la cámara de expansión 130, pueden proporcionarse elementos de sellado 112 en las interfaces entre el rotor 170 y la carcasa 110 para permitir la presurización en el interior de la cámara de compresión 120 y de la cámara de expansión 130.

Para permitir el accionamiento de las válvulas en correspondencia con el movimiento del pistón 140 en el interior de la cámara de compresión 120 y de la cámara de expansión 130, el rotor 170 puede incluir una superficie de leva 172 que tiene características de superficie 174, como cambios en la elevación de la superficie de la leva 172, que están configurados para provocar el accionamiento de las válvulas o de otras partes del motor rotativo de combustión interna 100, como se describirá con detalle en el presente documento.

Como se observa mejor en la figura 2, la cámara de compresión 120 se extiende desde un primer extremo 122 hasta un segundo extremo 124. El pistón 140 está adaptado para desplazarse a través de la cámara de compresión 120, de modo que entra en la cámara de compresión 120 por el primer extremo 122 de la cámara de compresión 120 y sale por el segundo extremo 124 de la cámara de compresión 120.

Para permitir la admisión de un fluido compresible en la cámara de compresión 120, se conforma en la carcasa un orificio de admisión 126, que está comunicado con la cámara de compresión 120 para suministrar el fluido compresible a la cámara de compresión 120. En el ejemplo ilustrado, se proporciona un solo orificio de admisión 126, adyacente al primer extremo 122 de la cámara de compresión. En otras implementaciones, pueden

proporcionarse varios orificios de admisión 126 en diversas ubicaciones a lo largo de la cámara de compresión 120. Pueden proporcionarse varios orificios de admisión, por ejemplo, para conseguir diferentes proporciones de compresión o para ayudar a eliminar los productos residuales de la combustión del pistón 140.

El fluido compresible es un oxidante gaseoso, tal como el aire. Así mismo, el fluido compresible puede consistir esencialmente en aire. El fluido compresible que se introduce en la cámara de compresión 120 por el orificio de admisión 126 es un oxidante y no incluye un combustible; el combustible se introduce en el interior del pistón 140 y se mezcla con el fluido compresible en el interior del pistón para definir una mezcla de combustible, tal como una mezcla de aire-combustible, dentro del pistón 140, tal y como se describirá adicionalmente en el presente documento.

La cámara de compresión 120 está sustancialmente arqueada y se extiende a lo largo de un arco que está centrado sobre el eje central 102, de modo que la forma de la cámara de compresión 120 sea sustancialmente la de una parte de un toro. Tal y como se ha medido con respecto al eje central 102, la cámara de compresión 120 en el ejemplo ilustrado se extiende a través de un arco de aproximadamente 110°. Debería entenderse, sin embargo, que la longitud de la cámara de compresión 120 en este ejemplo es ilustrativa, y el motor rotativo de combustión interna 100 no está limitado a los diseños que incorporan una cámara de compresión 120 de cualquier longitud en particular.

La cámara de expansión 130 se extiende desde un primer extremo 132 hasta un segundo extremo 134. El pistón 140 está adaptado para desplazarse a través de la cámara de expansión 130, entrando en la cámara de expansión 130 por el primer extremo 132 y saliendo de la cámara de expansión 130 por el segundo extremo 134. Se conforma un orificio de escape 136 en la carcasa 110 y se ubica adyacente al segundo extremo 134 de la cámara de expansión 130. El orificio de escape 136 está comunicado con la cámara de expansión 130 para recibir los gases de combustión producto de la combustión de la mezcla de combustible. La cámara de expansión 130 está sustancialmente arqueada y tiene forma de arco que está centrado sobre el eje central 102. Por tanto, la cámara de expansión 130 tiene la forma de una parte de un toro que está centrado sobre el eje central 102. En el ejemplo ilustrado, la cámara de expansión 130 se extiende a través de un arco de aproximadamente 220°, medido desde el eje central 102. Aunque el motor rotativo de combustión interna 100 no se limita a su uso con cámaras de expansión 130 de ninguna longitud en particular, se observa que la longitud de la cámara de expansión 130 está relacionada con el ángulo a través del que el pistón 140 puede aplicar el par en el árbol de salida 160. Por tanto, algunas ventajas pueden realizarse al proveer al motor rotativo de combustión interna 100 de una cámara de expansión 130 que se extienda a través de un arco de más de 180° medido desde el eje central 102.

Para aislar la cámara de compresión 120 y la cámara de expansión 130, la una con respecto a la otra, se proporcionan un primer ensamble de válvula transversal 180 y un segundo ensamble de válvula transversal 190. El primer ensamble de válvula transversal 180 está colocado entre el segundo extremo 134 de la cámara de expansión 130 y el primer extremo 122 de la cámara de compresión 120. Para sellar la cámara de compresión 120, el primer ensamble de válvula transversal 180 incluye una primera válvula de la cámara de compresión 182, y el segundo ensamble de válvula transversal 190 incluye una segunda válvula de la cámara de compresión 192. La primera válvula de la cámara de compresión 182 está ubicada en el primer extremo 122 de la cámara de compresión 120 y se puede mover desde una posición cerrada, en donde el primer extremo 122 de la cámara de compresión 120 está sellado, hasta una posición abierta, en donde el primer extremo 122 de la cámara de compresión 120 no está sellado, para así permitir que el pistón 140 entre en la cámara de compresión 120. La segunda válvula de la cámara de compresión 192 puede moverse desde una posición cerrada, en donde el segundo extremo 124 de la cámara de compresión 120 está sellado, hasta una posición abierta, en donde el segundo extremo 124 de la cámara de compresión 120 no está sellado, para así permitir que el pistón 140 salga de la cámara de compresión 120 por el segundo extremo 124 de esta.

Para sellar la cámara de expansión 130, el segundo ensamble de válvula transversal 190 incluye una primera válvula de la cámara de expansión 194, y el primer ensamble de válvula transversal 180 incluye una segunda válvula de la cámara de expansión 184. La primera válvula de la cámara de expansión 194 está ubicada en el primer extremo 132 de la cámara de expansión 130. La segunda válvula de la cámara de expansión 184 está ubicada en el segundo extremo 134 de la cámara de expansión 130. La primera válvula de la cámara de compresión 194 puede moverse desde una posición cerrada, en donde la cámara de expansión 130 está sellada por el primer extremo 132, hasta una posición abierta, en donde la cámara de expansión 130 no está sellada por el primer extremo 132, para permitir que el pistón 140 entre en la cámara de expansión 130. La segunda válvula de la cámara de expansión 184 puede moverse desde una posición cerrada, en donde la cámara de expansión 130 está sellada por el segundo extremo 134, hasta una posición abierta, en donde la cámara de expansión 130 no está sellada por el segundo extremo 134, para así permitir que el pistón 140 salga de la cámara de expansión 130 por el segundo extremo 134 de esta.

Cada una de la primera válvula de la cámara de compresión 182, la segunda válvula de la cámara de compresión 192, la primera válvula de la cámara de expansión 194 y la segunda válvula de la cámara de expansión 184 pueden estar provistas de un elemento de contacto 186, tal como un rodillo, que está adaptado para acoplarse a la superficie de la leva 172 del rotor 170 y abrir su válvula respectiva al acoplarse a una o más características conformadas sobre la superficie de la leva 172, tal como las características de la superficie 174. Para fomentar el acoplamiento con la superficie de la leva 172 y para inclinar las válvulas hacia la posición cerrada, cada una de la primera válvula de la

cámara de compresión 182, la segunda válvula de la cámara de compresión 192, la primera válvula de la cámara de expansión 194 y la segunda válvula de la cámara de expansión 184 pueden incluir un elemento de inclinación 188, tal como un resorte de tensión, que está adaptado para inclinar la válvula respectiva hacia su posición cerrada.

La figura 3 es una vista lateral que muestra el primer ensamble de la válvula transversal 180 del motor rotativo de combustión interna 100. Debido a que el segundo ensamble de la válvula transversal 190 es sustancialmente similar en estructura al primer ensamble de válvula transversal 180, la descripción del primer ensamble de la válvula transversal 180 que se ha realizado con respecto a la figura 3 puede aplicarse igualmente al segundo conjunto de válvula transversal 190.

La primera válvula de la cámara de compresión 182 y la segunda válvula de la cámara de compresión 192 incluyen, cada una, una parte de válvula superior 185 y una parte de válvula inferior 187. La parte de válvula superior 185 y la parte de válvula inferior 187 tienen sustancialmente, cada una, la forma de un cuarto de hemisferio, de modo que la parte de válvula superior 185 y la parte de válvula inferior 187 de cada una de la primera válvula de cámara de compresión 182 y la segunda válvula de cámara de compresión 192 cooperen para definir una forma sustancialmente semi-hemisférica para cada una de la primera válvula de cámara de compresión 182 y la segunda válvula de cámara de compresión 192. Proporcionando una forma interior para cada una de la primera válvula de la cámara de compresión 182 y la segunda válvula de la cámara de compresión 192, que es complementaria a una forma exterior del pistón 140, el ritmo de la válvula del primer ensamble de válvula transversal 180 puede ser tal que pueda minimizarse la distancia entre el pistón 140 y la superficie interior 189 de la segunda válvula de la cámara de expansión 184 antes de abrir la segunda válvula de la cámara de expansión 184. Asimismo, la distancia entre la superficie interior de la primera válvula de cámara de compresión 182 y el exterior del pistón 140 puede minimizarse al cerrar la primera válvula de la cámara de compresión 182. Aunque se ha descubierto que la forma semi-hemisférica de la primera válvula de la cámara de compresión 182 y de la segunda válvula de la cámara de compresión 192 es bastante adecuada para minimizar la distancia entre la primera válvula de la cámara de compresión 182 y la segunda válvula de la cámara de compresión 192 con respecto al pistón 140, debería entenderse que podrían usarse otras formas para la primera válvula de la cámara de compresión 182 y la segunda válvula de la cámara de compresión 192.

Tal y como se muestra en la figura 4, el pistón 140 se extiende desde un extremo delantero 142 hasta un extremo trasero 144. La forma del pistón 140 es complementaria a la forma de la cámara de compresión 120 y de la cámara de expansión 130, así como a la forma de la superficie interior 189 de las válvulas de cada uno del primer ensamble de válvula transversal 180 y el segundo ensamble de válvula transversal 190.

El pistón 140 incluye una válvula de entrada 146 y una válvula de salida 148. La válvula de entrada 146 está situada en el extremo delantero 142 del pistón 140, y la válvula de salida 148 está situada en el extremo trasero 144 del pistón 140. La válvula de entrada 146 y la válvula de salida 148 están comunicadas, cada una, con una cámara interna 150 del pistón 140. La válvula de entrada 146 y la válvula de salida 148 pueden moverse de manera independiente entre las respectivas posiciones abierta y cerrada, que permiten y bloquean, respectivamente, la comunicación fluida entre la cámara interna 150 y el exterior del pistón 140.

La válvula de entrada 146 y la válvula de salida 148 pueden ser cualquier tipo de válvula adecuada que pueda establecer e interrumpir selectivamente la comunicación fluida entre la cámara interna 150 y el exterior del pistón 140. A modo de ejemplo, la válvula de entrada 146 y la válvula de salida 148 pueden ser válvulas que se accionan de forma neumática y que se abren y cierran como respuesta a las condiciones de presión de fuera del pistón 140. Por ejemplo, la válvula de entrada 146 se podría abrir como respuesta a una condición de presión alta adyacente al extremo principal 142 del pistón 140, y la válvula de salida 148 se podría abrir como respuesta a una condición de presión alta en la cámara interna 150 del pistón 140. Según otro ejemplo, la válvula de entrada 146 y la válvula de salida 148 pueden ser válvulas que operen de forma mecánica y que se abran y cierren como respuesta a la operación de un mecanismo de leva (no mostrado) que opera dependiendo de la posición del pistón 140 con respecto a la cámara de compresión 120 y la cámara de expansión 130. Según otro ejemplo, la válvula de entrada 146 y la válvula de salida 148 podrían ser válvulas que operen de manera eléctrica, tal como válvulas de solenoide, que se controlan de manera electrónica para abrirse y cerrarse en puntos predeterminados durante el desplazamiento del pistón 140 a través de la cámara de compresión 120 y la cámara de expansión 130. Como válvula de entrada 146 y válvula de salida 148 se pueden utilizar otros tipos de válvulas.

Para permitir el sellado del pistón 140 con respecto a la carcasa 110, el sello 152 puede colocarse en una ranura 154 que está definida en el pistón 140 y se extiende circunferencialmente alrededor del pistón 140, de modo que el sello 152 selle el pistón 140 con respecto a la carcasa 110, sellando así el área enfrente del pistón 140 para que no se comuniquen de forma fluida con el área de la parte de atrás del pistón 140, externa al pistón 140. El sello 152 puede tener una parte interna acampanada 156 que se ensancha en el interior de la ranura 154 con una configuración de cola de milano, de modo que el sello 152 queda retenido en el interior de la ranura 154 cuando el pistón 140 se desplaza entre la cámara de compresión 120 y la cámara de expansión 130.

El pistón 140 puede incluir una fuente de ignición en el interior de la cámara interna 150. A modo de ejemplo, puede ubicarse un electrodo generador de chispa 158 en el interior de la cámara interna 150 para provocar de manera

selectiva la combustión de la mezcla de combustible en el interior de la cámara interna 150. En implementaciones alternativas, el pistón 140 no tiene que incorporar una fuente de ignición. Por ejemplo, en algunas implementaciones, la ignición puede ocurrir presurizando la mezcla de combustible, igual que en la operación de los motores de ciclo diésel.

El pistón 140 incluye un componente de suministro de combustible 159. A modo de ejemplo, el componente de suministro de combustible puede ser o incluir un canal a lo largo del que se suministra el combustible. Según otro ejemplo, el componente de suministro de combustible puede ser o incluir una tobera, un inyector de combustible y/o una válvula. El fluido compresible que se introduce en la cámara de compresión 120 por el orificio de admisión es un oxidante que no incluye combustible. El combustible se suministra hacia la cámara interna 150 del pistón 140 gracias al componente de suministro de combustible 159. A modo de ejemplo, el combustible puede suministrarse hacia la cámara interna 150 mientras el pistón se mueve a través de la cámara de compresión 120, estando la válvula de entrada 146 en la posición abierta y la válvula de salida 148 en la posición cerrada. Por tanto, cuando el fluido compresible se comprime en la cámara interna 150, el fluido compresible se mezcla con el combustible para definir la mezcla de combustible, mientras que el combustible permanece en la cámara interna 150 del pistón como resultado de la presurización del fluido compresible.

Para permitir la refrigeración del pistón 140, los conductos de fluido (no mostrados en la figura 4) pueden conformarse en el pistón 140 adyacente a la cámara interna 150, y el fluido de refrigeración, tal como una solución de refrigeración líquida o agua, puede hacerse circular a través de los conductos de fluido.

A continuación, haciendo referencia a las figuras 5A-5B, se explicará una fase de compresión/admisión del motor rotativo de combustión interna 100. La figura 5A muestra el motor rotativo de combustión interna 100 al comienzo de la fase de compresión/admisión. El pistón 140 está dispuesto en el interior de la cámara de compresión 120, en el primer extremo 122 de la cámara de compresión 120. La primera válvula de la cámara de compresión 182 está cerrada, y el extremo trasero 144 del pistón 140 está dispuesto directamente adyacente a la primera válvula de la cámara de compresión 182, de modo que existe una distancia mínima entre el pistón 140 y la primera válvula de la cámara de compresión 182. Cuando el pistón 140 entra en la cámara de compresión 120, el fluido compresible está presente en el interior de la cámara de compresión 120, la primera válvula de la cámara de compresión 182 se cierra, y también lo hace la segunda válvula de la cámara de compresión 192. La válvula de entrada 146 del pistón 140 se abre, bien cuando el pistón 140 entra en la cámara de compresión 120, o bien durante el movimiento del pistón 140 a través de la cámara de compresión 120. La válvula de salida 148 del pistón 140 se cierra antes de que el pistón entre 140 en la cámara de compresión 120, cuando el pistón 140 entra en la cámara de compresión 120, o durante el movimiento del pistón 140 a través de la cámara de compresión 120. Mientras el pistón 140 se mueve en el interior de la cámara de compresión 120 después de que la válvula de salida 148 se mueva hasta la posición cerrada, el fluido compresible que está ubicado en el interior de la cámara de compresión 120 se comprime y se empuja hacia el pistón 140. Debido a que la válvula de salida 148 se cierra, el pistón 140 se sella con respecto a la cámara de compresión 120, y se evita que el fluido compresible que está por delante del pistón 140 se mueva hacia dentro del área de la cámara de compresión 120 y hasta la parte trasera del pistón 140, facilitando así la compresión. Al mismo tiempo, se atrae un volumen adicional del fluido compresible hacia dentro de la cámara de compresión 120, por detrás del pistón 140, por medio del orificio de admisión 126.

Tal y como se muestra en la figura 5B, cuando el pistón 140 se dispone en el segundo extremo 124 de la cámara de compresión 120, queda definida una distancia mínima entre el extremo delantero 142 del pistón 140 y la segunda válvula de la cámara de compresión 192, la válvula de entrada 146 del pistón 140 se cierra, atrapando así el fluido compresible en el interior de la cámara interna 150 del pistón 140, y el volumen adicional del fluido compresible se ha atraído hacia dentro de la cámara de compresión 120 para utilizarlo durante la siguiente vez que se produzca la fase de compresión/admisión. En este punto, hay una mezcla de combustible en la cámara interna 150 del pistón, bien mediante el suministro de la mezcla de combustible como fluido compresible, o bien mediante el suministro de combustible en la cámara interna 150 del pistón 140 con el componente de suministro de combustible 159, para así definir la mezcla de combustible mezclando el fluido compresible con el combustible durante la compresión del fluido compresible.

Durante la fase de compresión/admisión, la primera válvula de la cámara de compresión 182 y la segunda válvula de la cámara de compresión 192 se quedan cerradas, aislando así la cámara de compresión 120 para que no exista la comunicación fluida con otras partes del motor rotativo de combustión interna 100, incluyendo la cámara de expansión 130. Al alcanzar la segunda válvula de la cámara de compresión 192, la segunda válvula de la cámara de compresión 192 se abre y, después, se abre la primera válvula de la cámara de expansión 194, permitiendo así que el pistón 140 atraviese la cámara de compresión 120 y vaya hacia dentro de la cámara de expansión 130. A medida que el pistón 140 hace eso, la válvula de entrada 146 y la válvula de salida 148 se cierran.

A continuación, haciendo referencia a las figuras 6A-6B, se explicará la fase de expansión/escape del motor rotativo de combustión interna 100. Tal y como se muestra en la figura 6A, el pistón 140 se localiza en el primer extremo 132 de la cámara de expansión 130 al comienzo de la fase de expansión/escape. La primera válvula de la cámara de expansión 194 se cierra cuando el pistón 140 se coloca de modo que se ubica en el interior de la cámara de expansión 130 y se crea una distancia mínima entre el extremo trasero 144 del pistón 140 y la primera válvula de la

cámara de expansión 194. En este momento, la primera válvula de la cámara de expansión 194 y la segunda válvula de la cámara de expansión 184 se cierran.

La combustión de la mezcla de combustible comienza en el interior de la cámara interna 150 del pistón 140, después de que se haya cerrado la válvula de entrada 146 del pistón. Esto puede ocurrir cuando el borde delantero del pistón está en su posición más cercana a la válvula de compresión 192 o en cualquier punto después de que la mezcla de combustible se haya aislado dentro de la cámara interna 150 del pistón mediante el cierre de la válvula de entrada 146 del pistón. El ritmo de esta acción puede seleccionarse con respecto a la velocidad de propagación delantera de la llama de un combustible en particular. Cuando el pistón 140 está colocado en el interior de la cámara de expansión 130 y la primera y segunda válvulas de la cámara de expansión 194 y 184 se disponen ambas en sus respectivas posiciones cerradas, la válvula de salida 148 del pistón 140 se abre mientras la válvula de entrada 146 del pistón 140 permanece cerrada. A medida que la mezcla de combustible se expande durante la combustión, los gases de combustión que se expanden actúan contra el interior del pistón y salen por la válvula de salida 148 del pistón 140. La presión entre el pistón 140 y la primera válvula de la cámara de expansión 194 hace que se ejerza la fuerza rotacional en el pistón 140 y el rotor 170, para así empujar el pistón 140 en el interior de la cámara de expansión 130.

Cuando el pistón 140 se desplaza hacia el segundo extremo 134 de la cámara de expansión 130, enfrente del pistón 140 se ubica un volumen adicional del gas de combustión que se produjo anteriormente por la combustión de la mezcla de combustible en el interior de la cámara de expansión, y se expulsa de la cámara de expansión 130 y al interior del orificio de escape 136 gracias al movimiento del pistón 140, de modo que el gas de combustión se puede eliminar del motor rotativo de combustión interna 100 y escaparse.

Cuando el pistón 140 alcanza el segundo extremo 134 de la cámara de expansión 130, como se muestra en la figura 6B, la válvula de entrada 146 del pistón 140 se abre para facilitar la eliminación de los productos residuales del proceso de combustión que hay en la cámara interna 150 del pistón. Hasta este punto, la primera válvula de la cámara de expansión 194 y la segunda válvula de la cámara de expansión 184 se han dispuesto en sus respectivas posiciones cerradas, de modo que la cámara de expansión 130 se ha aislado de otros componentes del motor rotativo de combustión interna 100, tal como la cámara de compresión 120. Cuando se ha conseguido una distancia mínima entre el extremo delantero 142 del pistón 140 y la segunda válvula de la cámara de compresión 184, la segunda válvula de la cámara de expansión 184 se abre para permitir que el pistón 140 atraviese la cámara de expansión 130. La primera válvula de la cámara de compresión 182 se abre posteriormente para permitir que el pistón 140 entre en la cámara de compresión 120, reiniciando así el proceso de producción de potencia de cuatro ciclos.

En una implementación alternativa, el ciclo de combustión-propulsión descrito anteriormente puede combinarse con un ciclo de refrigeración-propulsión, que se describirá en el presente documento. A modo de ejemplo, el ciclo de combustión puede repetirse tres veces, y después, el ciclo de refrigeración-propulsión. El número de repeticiones de cada tipo de ciclo puede ajustarse para permitir diferentes características de operación.

Además de la operación de cuatro ciclos del motor rotativo de combustión interna 100, comprendida por la admisión, compresión, expansión y escape de los productos residuales de la combustión, puede implementarse un segundo ciclo de expansión gracias a la expansión de una sustancia, tal como agua, utilizada para refrigerar el pistón. La figura 7 muestra un pistón 240 que puede incorporarse en el motor rotativo de combustión interna 100. El pistón 240 es idéntico al pistón 140, excepto como se indica aquí. El pistón 240 incluye una cámara de intercambio de calor 153 y orificios de salida 155. En el ciclo de expansión, una sustancia de refrigeración se expande en el interior de un intercambiador de calor 153, que está conformado entre las paredes interna y externa del pistón 240. En un ejemplo, la sustancia de refrigeración es un refrigerante líquido, tal como agua.

Mientras el pistón 140 está en la cámara de combustión 130, la sustancia de refrigeración se introduce en el intercambiador de calor 153. Cuando la sustancia de refrigeración de expansión refrigera los componentes que están en contacto con la fase de combustión, produce una presión, que después actúa contra el interior del intercambiador de calor 153 o el pistón 240 y sale por los orificios de salida 155. En un ejemplo alternativo, los orificios de salida 155 se omiten y la sustancia que se expande se dirige hacia fuera por la válvula de salida 148 del pistón 140, que en una implementación de este tipo abre y cierra el intercambiador de calor 153, así como la cámara interna 150. La presión entre el pistón 140 y la primera válvula de la cámara de expansión 194 hace que se ejerza la fuerza rotacional en el pistón 140 y el rotor 170, para así empujar el pistón 140 en el interior de la cámara de expansión 130. Como alternativa, la sustancia de refrigeración puede directamente los orificios de salida 155 se omiten y la sustancia que se expande sale por la válvula de salida 148 del pistón 140, que en una implementación de este tipo abre y cierra el intercambiador de calor 153, así como la cámara interna 150. La presión entre el pistón 140 y la primera válvula de la cámara de expansión 194 hace que se ejerza la fuerza rotacional en el pistón 140 y el rotor 170, para así empujar el pistón 140 en el interior de la cámara de expansión 130. Como alternativa, la sustancia de refrigeración puede inyectarse directamente en la cámara de combustión interna 150 y la propulsión debida a la expansión del material de refrigeración puede producirse a través de la válvula de salida 148 del pistón.

Aunque la descripción del presente documento se ha realizado en relación con lo que se considera actualmente

como la realización más práctica y preferida, se ha de entender que las reivindicaciones no se limitan a las realizaciones divulgadas.

# REIVINDICACIONES

1. Un motor rotativo de combustión interna (100), que comprende:

5 una cámara de compresión arqueada (120);  
una cámara de expansión arqueada (130);  
un árbol de salida (160); y  
un pistón (140) acoplado al árbol de salida (160) para moverse a través de la cámara de compresión arqueada  
10 (120) y la cámara de expansión arqueada (130), teniendo el pistón (140) un extremo delantero (142), un extremo  
trasero (144), una cámara interna (150), una válvula de entrada (146), que está ubicada en el extremo delantero  
del pistón (140) para recibir un fluido compresible desde la cámara de compresión arqueada (120), una válvula  
de salida (148), que está ubicada en el extremo trasero del pistón (140) para expulsar un gas de combustión  
dentro de la cámara de expansión arqueada (130), caracterizado por que el motor (100) incluye, además, un  
15 componente de suministro de combustible (159), que está adaptado para suministrar un combustible  
directamente en la cámara interna (150) del pistón (140).

2. El motor rotativo de combustión interna (100) de la reivindicación 1, en donde la cámara de compresión arqueada  
(120) está sellada sin comunicación con la cámara de expansión arqueada (130) mientras el pistón (140) está  
dispuesto en el interior de la cámara de compresión arqueada (120), y la cámara de compresión arqueada (120) está  
20 sellada sin comunicación con la cámara de expansión arqueada (140) mientras el pistón está dispuesto en el interior  
de la cámara de expansión arqueada (130).

3. El motor rotativo de combustión interna (100) de la reivindicación 1, que además comprende:

25 una primera válvula de la cámara de compresión (182), ubicada en un primer extremo (122) de la cámara de  
compresión arqueada (120), en donde la primera válvula de la cámara de compresión (182) puede moverse  
desde una posición cerrada hasta una posición abierta para permitir que el pistón (140) entre en la cámara de  
compresión arqueada (120); y  
una segunda válvula de la cámara de compresión (192), ubicada en un segundo extremo (124) de la cámara de  
30 compresión arqueada (120), en donde la segunda válvula de la cámara de compresión (192) puede moverse  
desde una posición cerrada hasta una posición abierta para permitir que el pistón (140) salga de la cámara de  
compresión arqueada (120).

4. El motor rotativo de combustión interna (100) de la reivindicación 3, que además comprende:

35 un orificio de admisión (126), comunicado con la cámara de compresión arqueada (120) para suministrar el fluido  
compresible en la cámara de compresión arqueada (120), en donde el orificio de admisión (126) está ubicado  
adyacente al primer extremo (122) de la cámara de compresión arqueada (120).

40 5. El motor rotativo de combustión interna (100) de la reivindicación 1, en donde la válvula de entrada (146) del  
pistón (140) está configurada de modo que está en una posición abierta mientras el pistón (140) se está  
desplazando a través de la cámara de compresión arqueada (120).

6. El motor rotativo de combustión interna (100) de la reivindicación 3, que además comprende:

45 una primera válvula de la cámara de expansión (194), ubicada en un primer extremo (132) de la cámara de  
expansión arqueada (130), en donde la primera válvula de la cámara de expansión (194) puede moverse desde  
una posición cerrada hasta una posición abierta para permitir que el pistón (140) entre en la cámara de  
expansión arqueada (130); y  
una segunda válvula de la cámara de expansión (184), ubicada en un segundo extremo (134) de la cámara de  
50 expansión arqueada (130), en donde la segunda válvula de la cámara de expansión (184) puede moverse desde  
una posición cerrada hasta una posición abierta para permitir que el pistón (140) salga de la cámara de  
expansión arqueada (130).

7. El motor rotativo de combustión interna (100) de la reivindicación 1, que además comprende:

55 un orificio de escape, comunicado con la cámara de expansión arqueada (130) para recibir el gas de combustión,  
en donde el orificio de escape está ubicado adyacente al segundo extremo (134) de la cámara de expansión  
arqueada (130).

60 8. El motor rotativo de combustión interna (100) de la reivindicación 1, en donde la válvula de entrada (146) del  
pistón (140) está adaptada para estar en una posición cerrada y la válvula de salida (140) del pistón está adaptada  
para estar en una posición abierta durante el movimiento del pistón (140) a través de la cámara de expansión  
arqueada (130).

9. El motor rotativo de combustión interna (100) de la reivindicación 1, en donde la cámara interna (150) está

comunicada con la válvula de entrada (146) y la válvula de salida (148), y el motor rotativo de combustión interna (100) comprende, además:

5 un primer ensamble de válvula (180) para aislar un primer extremo (122) de la cámara de compresión arqueada (120) de un segundo extremo (134) de la cámara de expansión arqueada (130); y un segundo ensamble de válvula (190) para aislar un segundo extremo (134) de la cámara de compresión arqueada (120) de un primer extremo (132) de la cámara de expansión arqueada (130).

10 10. Un método para operar el motor rotativo de combustión interna (100) de la reivindicación 1, comprendiendo el método la introducción de un fluido compresible en la cámara de compresión arqueada (120), siendo el fluido compresible un oxidante que no incluye combustible, el uso del componente de suministro de combustible (159) para suministrar un combustible directamente en la cámara interna (150) del pistón (140), la mezcla del oxidante con el combustible en la cámara interna (150) del pistón (140) para definir una mezcla de combustible, y la combustión de la mezcla de combustible en el interior de la cámara interna (150) del pistón durante el movimiento del pistón (140) a través de la cámara de expansión arqueada (130) para producir un gas de combustión.

11. El método de la reivindicación 10, en donde el motor rotativo de combustión interna (100) comprende, además:

20 una primera válvula de la cámara de compresión (182), ubicada en un primer extremo (122) de la cámara de compresión arqueada (120), pudiendo moverse la primera válvula de la cámara de compresión (182) desde una posición cerrada hasta una posición abierta para permitir que el pistón (140) entre en la cámara de compresión arqueada (120); y  
25 una segunda válvula de la cámara de compresión (192), ubicada en un segundo extremo (124) de la cámara de compresión arqueada (120), pudiendo moverse la segunda válvula de la cámara de compresión (192) desde una posición cerrada hasta una posición abierta para permitir que el pistón (140) salga de la cámara de compresión arqueada (120),  
30 en donde el fluido compresible se ubica en el interior de la cámara de compresión arqueada (120) cuando el pistón (140) entra en la cámara de compresión arqueada (120), y el fluido compresible se comprime entre la segunda válvula de la cámara de compresión (192) y el pistón (140) y es empujado hacia el pistón (140) a medida que el pistón (140) se mueve a través de la cámara de compresión arqueada (120) hacia la segunda válvula de la cámara de compresión (192).

12. El método de la reivindicación 11, en donde el motor rotativo de combustión interna (100) comprende, además:

35 un orificio de admisión (126), comunicado con la cámara de compresión arqueada (120) para suministrar el fluido compresible en la cámara de compresión arqueada (120), en donde el orificio de admisión (126) está ubicado adyacente al primer extremo (122) de la cámara de compresión arqueada (120),  
40 en donde un volumen adicional del fluido compresible es atraído hacia dentro de la cámara de compresión arqueada (120) desde el orificio de admisión (126) detrás del extremo trasero (144) del pistón (140), durante el movimiento del pistón (140), a través de la cámara de compresión arqueada (120), desde la primera válvula de la cámara de compresión (182) hacia la segunda cámara de compresión (192).

13. El método de la reivindicación 10, en donde el motor rotativo de combustión interna (100) comprende, además:

45 un orificio de escape, comunicado con la cámara de expansión arqueada (130) para recibir el gas de combustión, en donde el orificio de escape está ubicado adyacente al segundo extremo (132) de la cámara de expansión arqueada (130),  
50 en donde hay presente un volumen adicional de gas de combustión en la cámara de expansión arqueada (130) y este es expulsado de la cámara de expansión (130) y hacia dentro del orificio de escape, por delante del extremo delantero (142) del pistón (140), a medida que el pistón (140) se mueve a través de la cámara de expansión arqueada (130).

55 14. Un método de acuerdo con la reivindicación 10, en donde la cámara interna (150) está comunicada con la válvula de entrada (146) y con la válvula de salida (148), la válvula de entrada (146) del pistón (140) está adaptada para recibir el fluido compresible desde la cámara de compresión arqueada (120) en la cámara interna (150) del pistón (140), mientras el pistón (140) se mueve a través de la cámara de compresión arqueada (120), y la válvula de salida (148) del pistón (140) está adaptada para expulsar los productos residuales de la combustión de la mezcla de combustible desde la cámara interna (150) del pistón (140) en la cámara de expansión arqueada (130), mientras el pistón (140) se mueve a través de la cámara de expansión arqueada (130).

60 15. Un método de acuerdo con la reivindicación 10, en donde la válvula de entrada (146) del pistón (140) y la válvula de salida (148) del pistón (140) están controladas de manera que la válvula de entrada (146) se cierre y la válvula de salida (148) se abra durante la combustión de una mezcla de combustible, para así empujar el pistón (140) dentro de la cámara de expansión arqueada (120) y de modo que la válvula de entrada (146) y la válvula de salida (148) se abran simultáneamente después de la combustión de la mezcla de combustible, para facilitar la eliminación de productos residuales de la combustión de la mezcla de combustible de la cámara interna (150) del pistón (140).

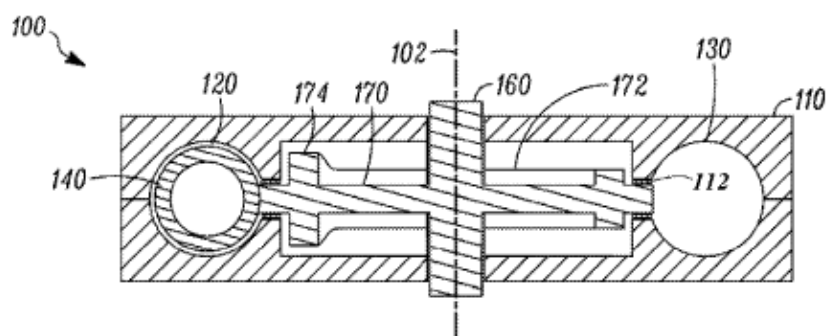


FIG. 1

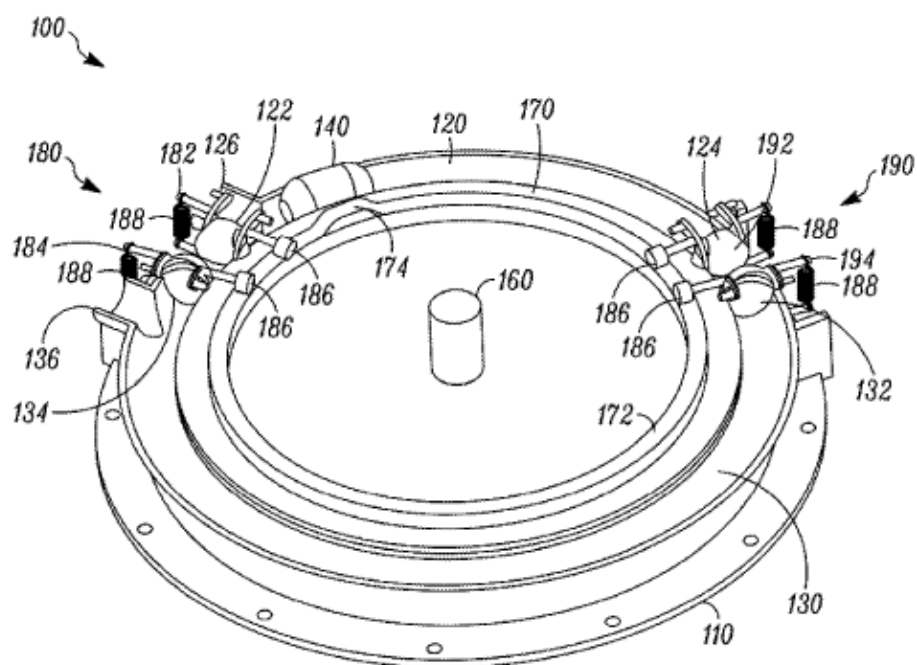


FIG. 2

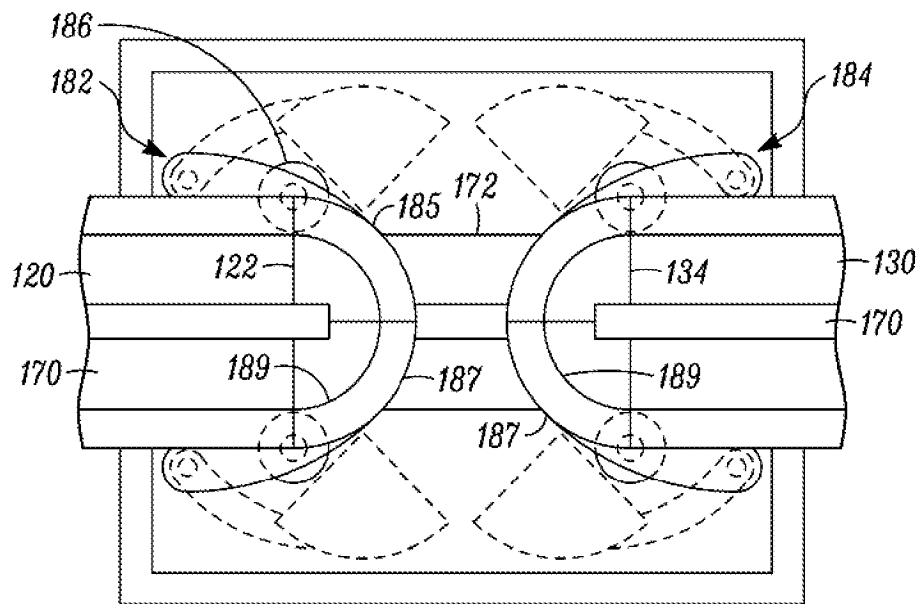


FIG. 3

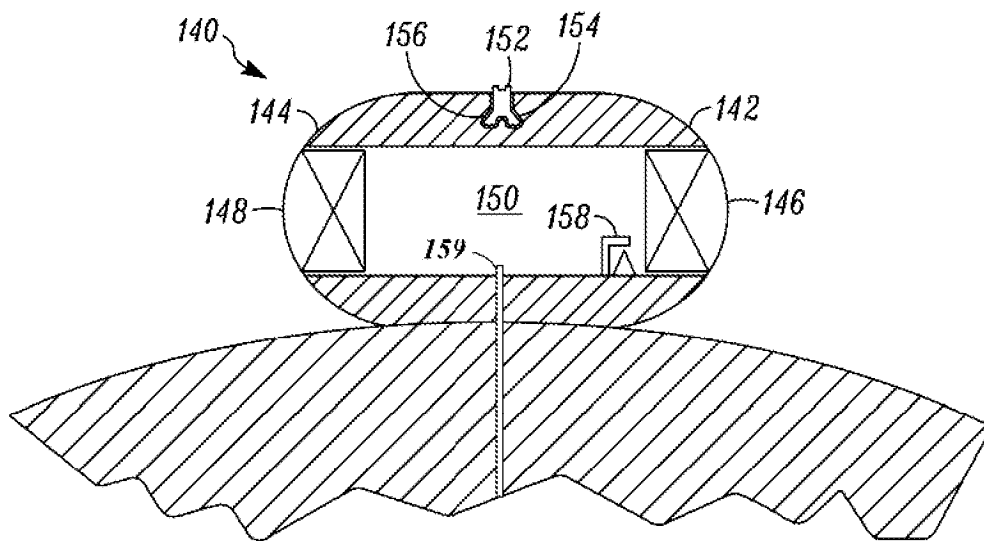


FIG. 4

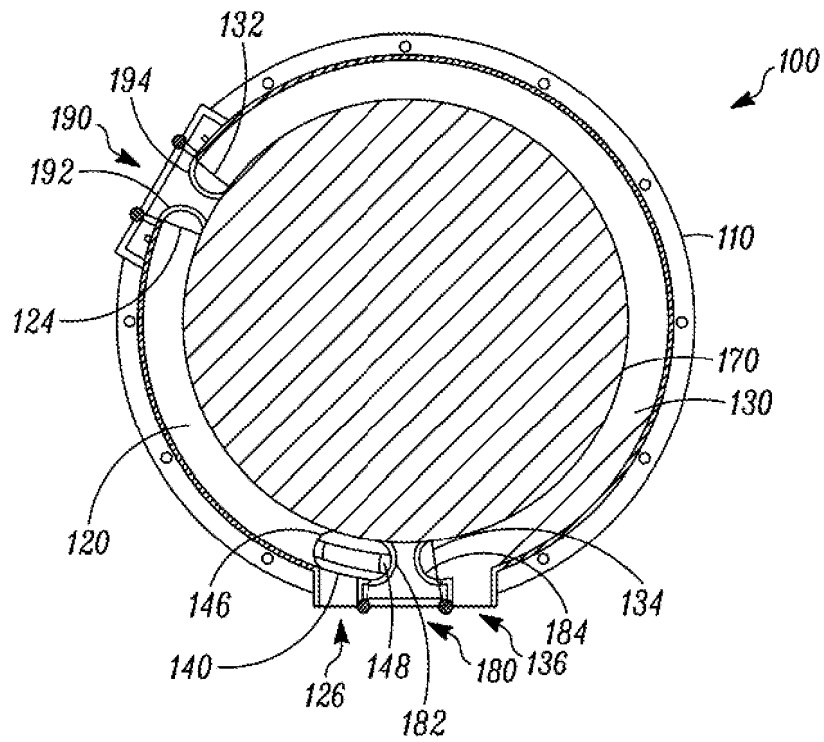


FIG. 5A

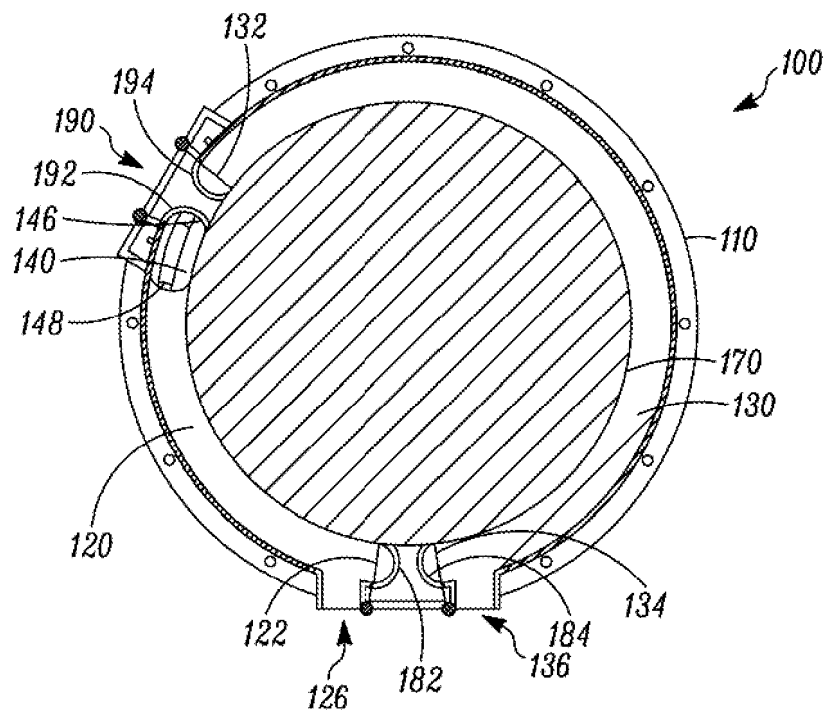


FIG. 5B

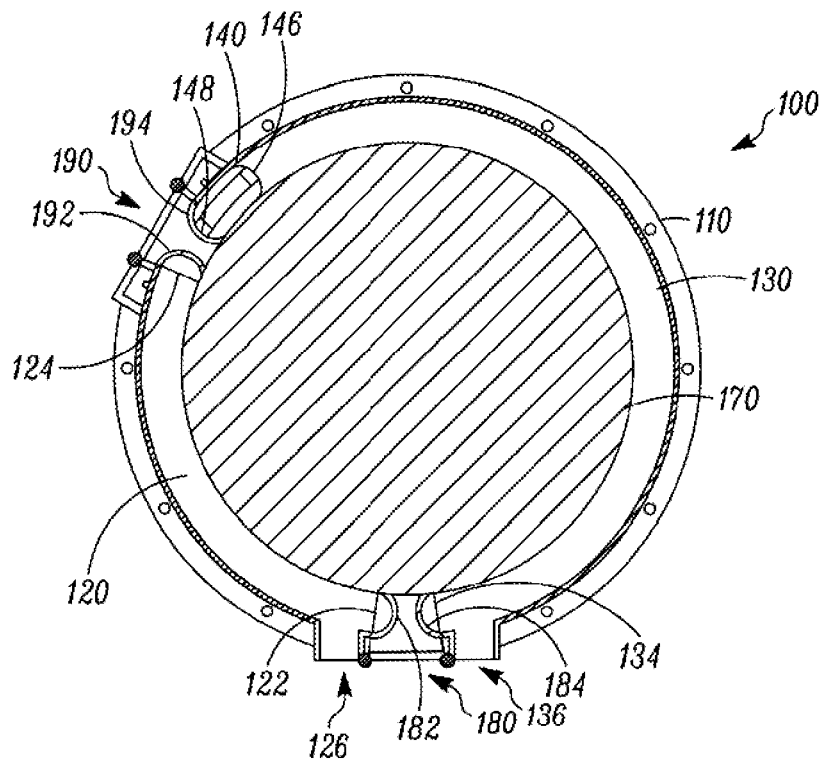


FIG. 6A

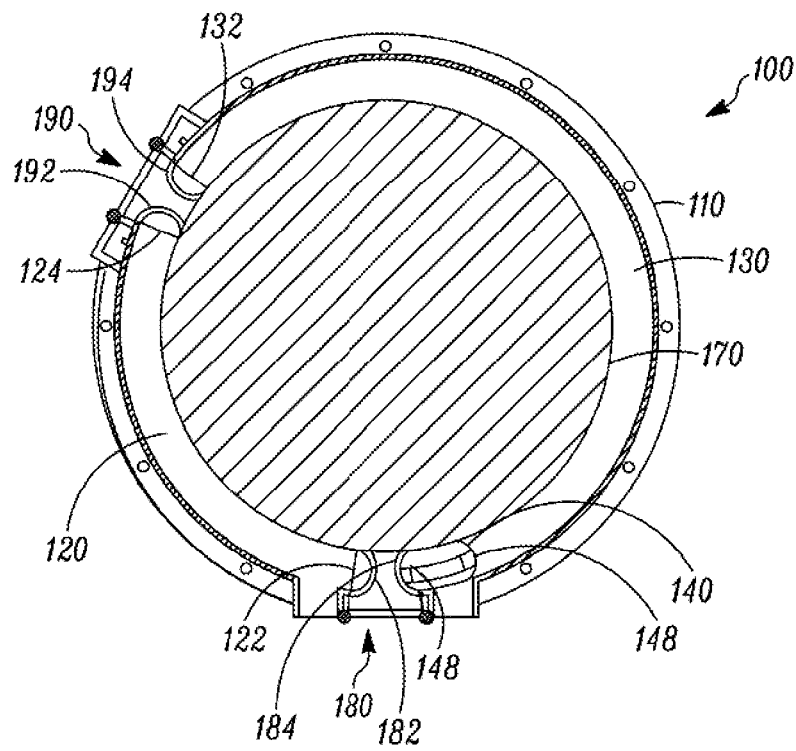


FIG. 6B

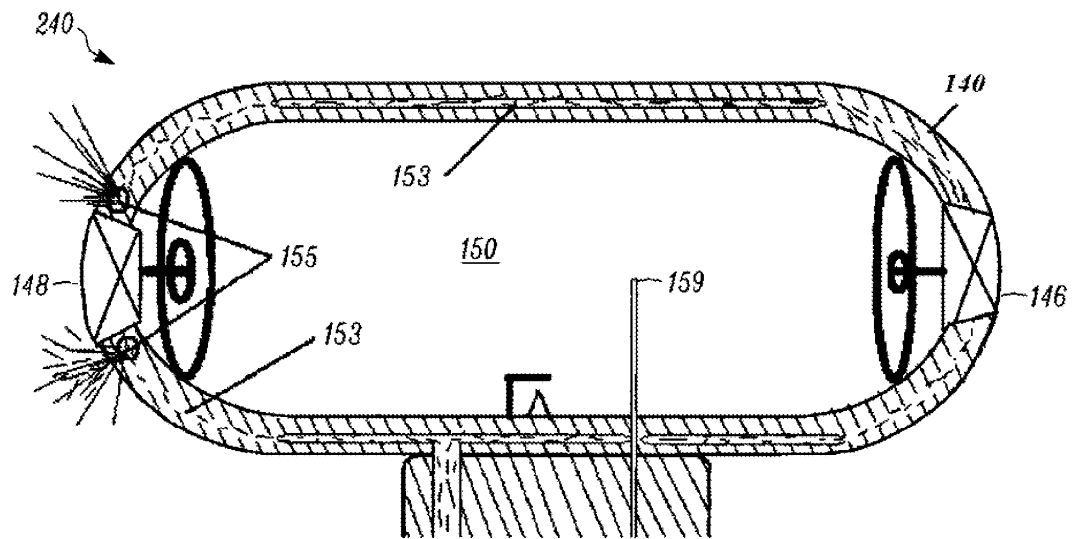


FIG. 7