(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 694 251**

(51) Int. CI.:

F01C 9/00 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.01.2005 PCT/US2005/000932**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **04.08.2005 WO05071230**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.01.2005 E 05711371 (4)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.10.2018 EP 1709296**

(54) Título: **Motor de combustión de ciclo híbrido y métodos**

(30) Prioridad:

12.01.2004 US 535891 P

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.12.2018

(73) Titular/es:

LIQUIDPISTON, INC. (100.0%)
1292 Blue Hills Avenue
Bloomfield CT 06002, US

(72) Inventor/es:

SHKOLNIK, ALEXANDER, CERGE y
SHKOLNIK, NIKOLAY

(74) Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

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 de combustión de ciclo híbrido y métodos

Referencia cruzada con solicitud relacionada

Campo de la invención

La presente invención está relacionada generalmente con motores de combustión interna, y, más particularmente, con motores de combustión de cuatro tiempos de volumen variable y métodos relacionados.

Antecedentes de la invención

Una variedad de motores de combustión interna convencionales ("ICE") conocidos en la técnica, a pesar de casi 150 años de desarrollo, todavía sufre baja eficiencia, altos niveles de productos de escape perjudiciales, y prestaciones dependientes de la carga, entre otras desventajas. La eficiencia de los motores térmicos es generalmente baja debido, al menos en parte, a limitaciones termodinámicas teóricas de los ciclos ideales, así como pérdidas adicionales de energía debidas a desviaciones de los ciclos ideales y fricción entre piezas móviles. Típicamente, únicamente hasta aproximadamente el 30 % de la energía química del combustible se convierte en trabajo útil. Alrededor del 40 % se elimina como calor por el agua de enfriamiento, mientras que el restante 30 % se pierde con los gases de escape.

Adicionalmente, como subproducto del funcionamiento del motor se forman diversos gases, perjudiciales para el medioambiente y los humanos, tales como combustible no quemado, NOx y otros, principalmente debido a una capacidad muy limitada para controlar el proceso de combustión. Además, la eficiencia de los motores térmicos se optimiza para un estrecho intervalo de cargas de potencia. En realidad, estos motores raramente funcionan en estos intervalos óptimos, así se reduce la eficiencia de funcionamiento.

El motor LPPE, descrito en la solicitud internacional n.º PCT/US03/05749 presentada el 26 de febrero de 2003 (Número de Publicación Internacional WO 03/074840) si bien tiene varias ventajas importantes, puede tener pocas desventajas, tales como que se tiene que empujar gran cantidad de agua durante cada ciclo y la necesidad de control informático.

El documento DE 2438410 describe una máquina rotatoria con pistones lenticulares y válvulas utilizables para motores de combustión interna y externa. La combustión se prefiere en una cámara hermética de volumen constante, con encendido desde una barra de filamento que permanece incandescente durante el funcionamiento del motor.

El motor descrito en el documento US 3.769.788, mantiene un volumen sustancialmente constante dentro de una zona de combustión al completarse un proceso de combustión y proporciona una expansión casi completa del gas calentado tras el término del proceso de combustión.

Un motor rotatorio de tipo "gato-y-ratón" se describe en el documento US 3.595.014, que incluye un vástago con una pareja de rotores, cada uno montado para rotación con respecto al vástago y para rotación oscilante relativamente entre sí.

Finalmente, el documento US 6.397.579 describe un motor cíclico que tiene cámaras de compresión, combustión y expansión separadas que realizan ciclos respectivos.

Compendio de la invención

Diversos aspectos de la presente invención se presentan en las reivindicaciones adjuntas.

Diversas realizaciones de la presente invención, que implementan un motor de combustión de ciclo híbrido (HCCE, *Hybrid Cycle Combustion Engine*) y métodos relacionados, ofrecen soluciones a algunos de los problemas inherentes en planteamientos de la técnica anterior.

En general, en un aspecto, la invención se dirige a un método mejorado para hacer funcionar un motor de combustión interna de tipo cuatro tiempos volumen variable que tiene una carrera de compresión para comprimir un medio de trabajo y una carrera de potencia. Una característica importante de este aspecto de la invención incluye abstenerse de introducir una cantidad sustancial del combustible en el medio de trabajo durante la carrera de compresión hasta haber alcanzado sustancialmente la presión máxima del medio de trabajo. Diversas realizaciones de este aspecto de la invención incluyen la etapa de provocar la carrera de compresión para producir una presión del medio de trabajo que provocaría autoencendido cuando se le añade combustible. Según este aspecto, la invención se define mediante la reivindicación 1.

Generalmente, en otro aspecto, la invención presenta un motor de combustión interna que incluye todas las características de la reivindicación 12.

En diversas realizaciones de este aspecto de la invención, el motor incluye un fluido de sellado movible unidireccionalmente a través del al menos un diodo fluídico.

En incluso otro aspecto de la invención, se proporciona una estructura que tiene una cámara sellable de manera controlada. La estructura incluye un miembro de alojamiento que tiene una superficie interior que define la cámara; y un miembro interior dispuesto al menos parcialmente dentro de la cámara, el miembro interior tiene una superficie exterior y, al menos uno del miembro de alojamiento y el miembro interior es movible de manera que el miembro de alojamiento y el miembro interior son movibles relativamente entre sí de tal manera que al menos una primera parte de la superficie exterior del miembro interior se puede disponer próxima a una primera parte de la superficie interior, al menos una de la primera parte de la superficie exterior del miembro interior y la primera parte de la superficie interior del miembro de alojamiento define al menos un diodo fluídico. Opcionalmente se puede proporcionar un fluido de sellado movible unidireccionalmente a través del al menos un diodo fluídico.

El medio de trabajo puede ser aire o una mezcla no combustible de aire y medio combustible. Opcionalmente, la temperatura del medio de trabajo se puede ajustar de modo que el medio de trabajo se comprime de manera sustancialmente isoterma. También opcionalmente, se puede añadir un medio fluido, tal como agua, al medio de trabajo durante la compresión. El método se puede implementar para que incluya reducir la temperatura de los subproductos de combustión mientras se aumenta el calor de combustión del medio combustible antes de la combinación del mismo con el medio de trabajo comprimido.

En realizaciones relacionadas adicionales, el segundo valor de volumen es igual al tercer valor de volumen, y reducir de manera controlada el volumen del medio de trabajo puede incluir trasferir el medio de trabajo a una cámara de combustión caracterizada por el tercer valor de volumen. Como alternativa o adicionalmente, combustionar la mezcla puede incluir encender la mezcla del medio combustible y el medio de trabajo comprimido. Opcionalmente, mantener el volumen de subproductos de combustión puede incluir añadir un medio fluido a la mezcla.

Breve descripción de los dibujos

En los dibujos, caracteres de referencia semejantes generalmente se refieren a las mismas piezas por todas las diferentes vistas. También, los dibujos no están necesariamente a escala, en cambio generalmente se hace hincapié en ilustrar los principios de la invención. En la siguiente descripción, se describen diversas realizaciones de la presente invención con referencia a los siguientes dibujos, en los que:

la figura 1 son diagramas de presión/volumen para un ciclo Otto típico, mostrado en líneas discontinuas, así como para un motor que usa un HCCE, mostrado en líneas continuas;

la figura 2 es un diagrama de bloques de un HCCE,

la figura 3 es una implementación de pistón líquido del ciclo híbrido de alta eficiencia (HEHC, *High Efficiency Hybrid Cycle*);

la figura 4 es una comparación de la distribución de energía dentro de ICE convencional y HCCE;

la figura 5 muestra más hoja detallada de equilibrio energético para HCCE;

la figura 6 representa un HCCE basado en pistón líquido en el que cámaras de combustión se integran con cilindros;

las figuras 7 y 8 representan un HCCE basado en pistón líquido con cámaras de combustión autónomas;

la figura 9 representa cámara de combustión / válvula de escape/admisión del HCCR según un ejemplo;

la figura 10 representa detalles de funcionamiento del HCCE basado en pistón líquido con cámaras de combustión autónomas;

la figura 11 representa una modificación ejemplar del HCCE basado en pistón líquido con cámaras de combustión autónomas;

las figuras 12 -20 representan diversas realizaciones del HCCE en el que la cantidad de líquido se puede hacer arbitrariamente pequeña;

las figuras 21-26 proporcionan detalles de construcción y explican principios de funcionamiento de un diseño de pistón oscilante de ángulo grande del HCCE según algunos ejemplos;

la figura 27 representa un ejemplo del diseño de pistón oscilante de ángulo grande del HCCE.

las figuras 28-33 proporcionar detalles de construcción e ilustran principios de funcionamiento de un ejemplo particular del HCCE basado en diseño de pistón de anchura constante.

la figura 34 representa diversos ejemplos del diseño basado en pistón de anchura constante de las figuras 28-33;

la figura 35 es una aplicación potencial diferente para el pistón en forma de triángulo de Reuleaux modificado;

las figuras 36-40 proporcionar detalles de construcción e ilustran principios de funcionamiento de un ejemplo del HCCE basado en diseño de cámara de anchura constante;

la figura 41 representa todavía otra realización del HCCE basado en diseño de pistones en tijera;

las figuras 42 A y B muestran la secuencia de posiciones de pistones que experimentan cuatro carreras HEHC;

la figura 43 es una demostración de la aplicación del concepto de diodo fluídico en aplicaciones de sellado dinámico;

la figura 44 muestra detalles de diversos tipos de sellado por diodo fluídico (FDS, *Fluidic Diode Seal*), canales del mismo se podrían rellenar con líquido; y

la figura 45 muestra cómo se puede aplicar el FDS para sellar cámaras de combustión autónomas en diversas realizaciones del HCCE.

Descripción detallada

Definiciones. A los efectos de esta descripción y las reivindicaciones de esta solicitud, los siguientes términos tendrán los significados indicados a menos que el contexto lo requiera claramente de otro modo:

“Medio de trabajo” es una mezcla gaseosa que consiste esencialmente en aire o incluye una mezcla de combustible/aire que no puede realizar autoencendido.

“Rotación-y-vaivén” es un tipo de movimiento de un pistón que incluye rotación del pistón alternadamente alrededor de dos ejes de rotación, mientras simultáneamente va en vaivén como conjunto.

“Fluido de sellado” es un fluido que incluye agua, aceite lubricante, líquido de enfriamiento, refrigerante, o cualquier otro líquido adecuado con fines de sellar.

“Compresión (o expansión) sustancialmente isotérmica” es el proceso de comprimir o expandir gas o mezcla de gas/vapor de agua durante el que la temperatura de la mezcla permanece sustancialmente constante.

“Movimiento del pistón” es un movimiento de los pistones del compresor y del expansor, que, dependiendo de la implementación específica, puede incluir movimiento complejo, tal como rotación no uniforme, movimiento en vaivén, oscilación o rotación-y-vaivén.

“Productos de combustión (o subproductos)” son productos de la combustión del combustible, que contienen vapor de agua formado en el transcurso de la combustión y, opcionalmente, vapor de agua del agua introducida adicionalmente.

“Mecanismo de inserción de baja presión” es un mecanismo para introducir agua y/o combustible en la cámara de combustión rotando un vástago que contiene cavidades rellenadas con un agua y/o combustible en la cámara de combustión o, por el contrario, rotando la cámara de combustión hasta una cavidad estacionaria rellenada con combustible y/o agua.

“Agua o combustible introducidos” - agua o combustible inyectados o introducidos por medio del mecanismo de inserción a baja presión.

“Tijeras” o “gato y ratón” es una configuración de pistón en la que el pistón rotando en un sentido se aproxima momentáneamente a otro pistón rotando en el mismo sentido y luego se retrae desde este segundo pistón debido a diferencia de velocidades angulares.

“PGM” (*Power Generating Module*) - módulo de generación de energía

“PCM” (*Power Conversion Module*) - módulo de conversión de energía

“ERS” (*Energy Recovery System*) - sistema de recuperación de energía opcional

“Sellado por diodo fluídico” (“FDS”) es un sello formado entre dos cuerpos en movimiento colineal relativamente entre sí, cuando uno o ambos de estos cuerpos tienen características que crean localmente alta presión para un flujo que se mueve en una dirección (flujo de fuga), este tipo de característica actuaría como sellado dinámico con potencial para disminuir o eliminar sustancialmente la fuga.

“Motor de combustión de ciclo híbrido” (“HCCE”) es un motor de combustión interna implementado según diversas realizaciones de la invención y que funciona según un diagrama de ciclo termodinámico mostrado en la figura 1.

Estructura Generalizada de un Motor HCCE según realizaciones en esta memoria

Hay muchos tipos diferentes de motores, que funcionan según diversos ciclos termodinámicos, y un número incluso mayor de modificaciones dentro de cada tipo. Estos tipos diferentes existen porque cada uno ofrece ciertas ventajas sobre otros. Por ejemplo, mientras los motores de ciclo Diésel son en cierto modo inferiores desde el punto de vista

de eficiencia a los motores de ciclo Otto (que a veces se denominan en esta memoria motores de “cuatro tiempos”, y las carreras como “admisión”, “compresión”, “expansión” y “escape”) cuando ambos funcionan en la misma relación de compresión, el motor diésel normalmente funciona en relaciones de compresión más altas y se vuelve más eficiente que el motor Otto. Los motores de ciclo Ericsson así como los motores de ciclo Stirling son superiores a los motores de ciclo Otto porque permiten recuperar parte de la energía de escape, pero estos motores son muy engorrosos (y por lo tanto caros) de construir y mantener. Al mismo tiempo, los motores de vapor de agua de ciclo Rankine ofrecen algunas ventajas sobre los motores de combustión interna, pero son muy grandes y lentos.

Una idea principal que soporta realizaciones descritas en esta solicitud es un nuevo ciclo termodinámico, significativamente mejorado, al que se le hace referencia como ‘ciclo híbrido de alta eficiencia’ (HEHC, *High Efficiency Hybrid Cycle*). Este nuevo ciclo combina las mejores características de varios ciclos conocidos. Se presentan varias implementaciones de este nuevo ciclo. Los motores que implementan este nuevo ciclo exhiben eficiencia termodinámica así como eficiencia mecánica más altas (con eficiencia total del 50 % - 60 %), son económicos de producir y mantener, y contaminan menos que los motores que utilizan otros ciclos.

El trabajo realizado, y, por lo tanto, la eficiencia de un ciclo dado, es igual al área delineada por un diagrama de presión/volumen (PV). La figura 1 representa un diagrama PV para un ciclo Otto típico, mostrado en líneas discontinuas, así como para un motor que usa un HEHC, mostrado en líneas continuas. Así para aumentar la eficiencia, realizaciones presentadas en esta memoria aumentan el área en el diagrama PV al “estirar” las curvas definitorias para el ciclo Otto, que tiene algunas de las eficiencias teóricas más altas. Véase, por ejemplo, “Engineering Termodynamics with Applications" de M. David Burghardt, p. 353, con referencia a la figura 1, el ciclo Otto empieza en el punto 1, que se caracteriza por el volumen de admisión $V_{Admisión}$ del motor y presión ambiente ~ 1 atm. Ahora se identifican características del HEHC, que se puede implementar para aumentar el área definida por el diagrama PV, y, por lo tanto, la eficiencia del motor. Por supuesto, implementar una cualquiera de estas características aumentará la eficiencia; e implementar más de estas características aumentará aún más la eficiencia. En otras palabras, no es necesario implementar todas las características a fin de realizar algunos beneficios de las realizaciones descritas en esta memoria.

Se describirán más en detalle a continuación motores que implementan HEHC y llamaremos a tales motores “motor de combustión de ciclo híbrido”, o HCCE. En diversas realizaciones ejemplares,

HCCE incluye los siguientes componentes descritos por toda esta descripción y representados en las figuras.

Componentes

100 - PGM (Módulo de Generación de Potencia)

110 - cubierta de compresor

111 - protuberancia adentro de la cámara de compresión

113 - alojamiento izquierdo de válvula (aberturas cilíndricas)

114 - alojamiento derecho de válvula (aberturas cilíndricas)

115 - alojamiento de vástago (aberturas cilíndricas)

120 - vástago oscilante

121 - pistón del compresor

122 - pistón del expansor

123 - leva de impulsión

124 - rodillo seguidor de leva

125 - rodillo guía

126 - vástago de impulsión central

127 - vástago de impulsión superior

128 - vástago de impulsión inferior

130 - cuerpo de compresor

131 - cámara de compresión

132 - cámara de compresión

133 - cámara de combustión

134 - cámara de combustión

135 - válvula de aire de una vía

136 - válvula de aire de una vía

137 - inyector de agua

140 - separador

141 - lumbrera de admisión de aire

142 - lumbrera de admisión de aire

143 - lumbrera de escape

144 - lumbrera de escape

145 - canal de aire

146 - canal de escape

150 - válvula de admisión de aire fresco

151 - válvula de trasferencia de productos de combustión

152 - canal

153 - válvula izquierda de aire/escape

154 - -válvula derecha de aire/escape

155 - vástago

157 - válvula de escape

161 - cojinete radial

162 - -cojinete radial

163 - cojinete radial

164 - cojinete radial

170 - -cuerpo de expansor

171 - cámara de expansor

172 - cámara de expansor

180 - cubierta de expansor

181 - protuberancia adentro de la cámara de expansión

191 - cigüeñal

192 - imanes

200 - ERS (Sistema de Recuperación de Energía)

300 - PCM (Módulo de Conversión de Potencia)

Características de HCCE:

1. Alta relación de compresión. En el ciclo Otto (y otros motores típicos de encendido por chispa), la mezcla de aire/combustible se comprime pero únicamente a condiciones de presión y temperatura que paran poco antes de provocar autoencendido. Como comprimir a una relación más alta puede obtener eficiencia más alta, el HCCE comprime aire a una relación muy alta, típicamente por encima de las condiciones de presión-temperatura que provocarían autoencendido con combustible presente. Sin embargo, la compresión en diversas realizaciones es únicamente de aire (o medio de trabajo, como se ha definido anteriormente), y se añade combustible únicamente después de que se completa sustancialmente la fase de compresión - como en el ciclo Diésel convencional. Sin embargo, a diferencia del planteamiento de los motores de ciclo Diésel, en diversas realizaciones de HCCE, el combustible combustiona en condiciones de volumen sustancialmente constante.

2. Compresión casi isotérmica. La compresión isotérmica requiere menos trabajo para la compresión de una cantidad dada de medio de trabajo a una presión que la compresión adiabática. La compresión casi isotérmica se puede lograr enfriando el medio de trabajo durante la compresión, p. ej. añadiendo agua durante la compresión.

3. Combustión a volumen constante (isocórico) o volumen decreciente. El encendido empieza en el punto “2” en el diagrama PV y procede al punto “3”. Preferiblemente, esto debe suceder en condiciones isocóricas. En motores Otto en la práctica, esta condición no se satisface, porque el pistón, que se conecta a un cigüeñal rotatorio, se desplaza una distancia finita durante el tiempo que tarda el combustible en quemarse.

Para lograr un proceso verdaderamente isocórico, en diversas realizaciones de HCCE, el pistón se detendrá momentáneamente hasta que se complete sustancialmente la combustión y/o el motor se configura para aislar la mezcla de aire/combustible quemándose en una cámara de combustión separada.

Además es posible reducir el volumen del medio de trabajo “moviendo” el punto 3 en el diagrama PV a la “izquierda” añadiendo un medio fluido, tal como agua, durante la combustión. El agua se evapora, reduciendo la temperatura dentro de la cámara de combustión y por lo tanto la presión de los productos de combustión. Sin embargo, al mismo tiempo, el agua añadida de esta manera reduce el volumen ocupado por los productos de combustión dentro de la cámara de combustión, dedo que la evaporación de vapor de agua ocupa 1400 veces el espacio del agua líquida. La disminución de volumen tiene un efecto opuesto en la presión de los productos de combustión - la disminución de volumen (en ausencia de cambio de temperatura) aumenta la presión de los productos de combustión. Por lo tanto, si bien el efecto neto de la adición de agua líquida a la cámara de combustión podría ser una ligera disminución en la presión en el punto 3, el vapor de agua sobrecalentado generado durante este proceso se puede recoger durante la siguiente fase de expansión del medio de trabajo, que ahora contendrá los productos de combustión así como este vapor de agua sobrecalentado a alta presión. También, la evaporación de agua enfría la cámara de combustión, lo que permite el uso de materiales menos caros para la construcción del motor. La temperatura reducida también reduce la formación de gases NOx no deseables.

4. Aumento de presión durante la carrera de expansión. En motores modernos las paredes de cilindro se enfrían para impedir la degradación y fusión de material. El enfriamiento de las paredes de cilindro reduce la curva entre los puntos “3” y “4” en el diagrama PV - lo que tiene un efecto negativo en el área total bajo la curva. En nuestro caso, el agua evaporada durante la combustión ayuda a estirar la curva de ciclo hacia arriba. Se puede añadir agua adicional para disminuir la temperatura de pared, mientras que se usarán vapor de agua generado adicional para realizar más trabajo.

5. Expansión a volumen más grande que el volumen de admisión. El punto “4” en el diagrama PV mostrado en la figura 1 se puede desplazar a la derecha extendiendo la carrera de expansión, esto es, configurando la carrera de expansión para proporcionar un volumen que sea significativamente más grande que el volumen proporcionado durante la carrera de admisión. Este resultado se puede conseguir expandiendo los productos de combustión (y vapor de agua) adentro de una cámara de expansión que tiene un volumen más grande que la cámara usada para la carrera de compresión. Una manera de implementar dicha configuración es utilizar cámaras de compresión y de expansión separadas y/o, si se usa agua, añadiendo una cantidad variable de líquido (agua) en una cámara de compresión y/o de expansión, de modo que haya presente más líquido durante la compresión que durante la expansión.

6. Recuperación termoquímica. Se puede obtener eficiencia adicional trasfiriendo parte del calor desde los gases de escape nuevamente al sistema, como se hace en ciclos Stirling o Ericsson. Si bien técnicamente dicha trasferencia de calor se podría conseguir en motores Otto o Diésel instalando un simple intercambiador de calor, que trasferiría el calor desde los gases de escape a aire fresco entrante, consideraciones prácticas impiden este tipo de solución dado que el volumen de este tipo de intercambiador de calor “gas a gas” sería excesivamente grande, y temperaturas de aire más caliente reducirían eficazmente la densidad de potencia del motor. En nuestro caso estamos forzados a reducir la temperatura de los gases de escape por debajo de 100 grados C para recuperar el agua que se añadió durante las carreras de compresión, combustión y/o expansión. Sin embargo, en lugar de trasferir calor a aire entrante, se trasfiere este calor a combustible gaseoso, como se describe en la solicitud internacional n.º PCT/US03/05749, mencionada anteriormente. Una ventaja adicional de este planteamiento es que la gran cantidad de calor asociado con el cambio de fase del agua entre estados gaseoso y líquido permite usar agua como medio de trasferencia de

calor en un intercambiador de calor que ocupa un volumen comparable al volumen de un radiador usado en los ICE modernos. En esta realización, el calor recuperado del agua se puede usar para provocar la descomposición termoquímica del combustible gaseoso entrante a hidrógeno y monóxido de carbono, de modo que el combustible descompuesto resultante tiene un calor más alto de la combustión que antes de la descomposición termoquímica.

Además de permitir el ciclo híbrido descrito anteriormente, es deseable que diversas realizaciones de un motor acorde con la presente invención tengan baja fricción entre pistón y cilindros así como factor de forma compacto. En diversas realizaciones, un motor según la presente invención puede tener características, tratadas con detalle adicional más adelante, que incluyen las siguientes:

1. Un compresor, que comprime aire a una o más cámaras de combustión, preferiblemente durante las carreras de avance y de retorno del funcionamiento, de tal manera que mientras se está comprimiendo aire en un lado del pistón del compresor, se induce aire fresco en el otro lado del pistón del compresor.

2. Un conjunto de una o más cámaras de combustión, para aceptar aire caliente presurizado desde el compresor. Cuando se introduce combustible en las cámaras de combustión, por medio de un mecanismo de introducción de combustible, comienza la combustión y (opcionalmente) continúa hasta que ocurre la combustión completa.

3. Un mecanismo de introducción de combustible, que inserta el combustible en la cámara(s) de combustión. Este mecanismo puede inyectar combustible con una bomba de inyección, o puede insertar un combustible gaseoso a baja presión en una cámara de combustión a alta presión por medio de inserción mecánica. Cuando se usa inserción mecánica, se puede implementar en varias configuraciones. Una configuración implica hacer rotar un vástago ubicado dentro de la cámara de combustión de tal manera que la cavidad dentro del vástago que contiene el combustible es rotada gradualmente en la cámara de combustión. Por el contrario, otra configuración implica hacer rotar la cámara de combustión a una cavidad estacionaria que se rellena con combustible gaseoso. En otra realización, se puede usar cualquier mecanismo de inyección de combustible a alta presión.

4. Un mecanismo opcional de introducción de agua, que puede inyectar agua líquida con una bomba de inyección de agua, o insertar agua líquida en la cámara de combustión a alta presión por medio de inserción mecánica. La inserción mecánica se puede implementar justo como se describe con respecto al mecanismo de introducción de combustible: ya sea haciendo rotar un vástago ubicado dentro de la cámara de combustión de tal manera que la cavidad dentro del vástago que contiene el agua es rotada gradualmente en la cámara de combustión o, por el contrario, la cámara de combustión es rotada a la cavidad estacionaria que está rellenada con agua. También, en otra realización, el agua puede ser inyectada o insertada en el compresor y/o en las cámaras de expansor para fines de enfriamiento.

5. Un expansor, que recibe productos de combustión a alta presión, alta temperatura, y (opcionalmente) vapor de agua a alta presión, desde el conjunto de cámaras de combustión, y expande dichos productos de combustión y vapor de agua, convirtiendo calor y energía potencial en trabajo, preferiblemente durante las carreras de avance y de retroceso del funcionamiento, de tal manera que mientras se están expandiendo productos de combustión y vapor de agua en un lado del pistón del expansor, los productos de combustión y vapor de agua gastados escapan por el otro lado del pistón del expansor. Es deseable que el volumen de expansión del expansor sea más grande que el volumen de admisión del compresor. Esto se implementa fácilmente si el expansor es un volumen separado del compresor. En otra realización, el propio compresor se puede usar como expansor (es decir, se puede usar el mismo volumen tanto para compresión como para expansión, como se hace en un motor Otto o Diésel típico basado en pistón). Incluso si se usa el mismo volumen, el expansor puede tener volumen de expansión gas más grande que el volumen de compresión si hay presente más líquido en la cámara durante la compresión que durante la expansión.

6. Un sistema opcional de recuperación termoquímica en el que se condensa agua contenida en el escape y la energía recuperada de este tipo de proceso se trasfiere al combustible, en un proceso de descomposición del combustible hasta una mezcla de hidrógeno y monóxido de carbono (y posiblemente algunos otros gases), que tiene un calor de combustión más alto que el combustible original.

Cabe señalar que si bien únicamente una combinación de todas las características anteriores produce eficiencia óptima, diversas realizaciones de la invención podrían omitir algunas de ellas. Numerosas maneras en las que las características anteriores se pueden implementar son contempladas por la invención. Varias realizaciones ejemplares se tratan a continuación.

En la figura 2, se ilustran módulos mayores de una realización de HCCE: un Módulo de Generación de Potencia (PGM), 100, un Módulo de Conversión de Potencia (PCM), 300, y Sistema de Recuperación de Energía opcional (ERS), 200, Módulo Adquisición y Control de Datos (DAC), 400. ERS y DAC se describen en la solicitud internacional n.º PCT/US03/05749 mencionada anteriormente.

Haciendo referencia a la figura 2, los pistones del compresor y el expansor pueden ejecutar un movimiento complejo,

que incluye movimiento que hemos llamado “rotación-y-vaivén”. En términos generales, en la sección “Definiciones”, no se ha limitado un movimiento del “pistón” a movimiento en vaivén relacionado con un movimiento rotatorio sustancialmente uniforme de un vástago de salida conectado. Con estas definiciones en mente, las funciones del PCM 300 son convertir movimiento del pistón en movimiento de vástago de salida o directamente en energía eléctrica; para limitar la amplitud del movimiento del pistón a fin de impedir las colisiones de los pistones con paredes del motor; y, opcionalmente, para suavizar fluctuaciones de potencia, mediante la utilización de un volante de inercia.

Hay muchos mecanismos, basados en levas y engranajes no circulares que permiten a los expertos en la técnica implementar PCM simples y eficientes. Véase, por ejemplo, “Mechanism & Mechanical Devices Sourcebook” de Nicholas P. Chironis, McGraw-Hill Companies, El ISBN 0-07-010918-4, de abril de 1991, págs. 71, 74 y 105.

El PGM 100 de un HCCE según realizaciones de la presente invención se puede implementar de varias maneras, por ejemplo para producir movimiento rotacional, oscilatorio o de rotación-y-vaivén (se darán ejemplos más adelante). Si se produce movimiento oscilatorio, se puede convertir en movimiento rotatorio de un vástago de salida usando el PCM 300. La conversión de movimiento del pistón en movimiento rotacional del vástago de salida o directamente en energía eléctrica por el PCM 300 se describirá en detalle más adelante.

PGM - Pistón de Líquido

Se empezará con la descripción del PGM 100. En una realización, el PGM se puede implementar usando un concepto de pistón líquido mostrado en la figura 3 y descrito en la solicitud internacional n.º PCT/US03/05749 mencionada anteriormente. Se hará referencia a un ICE que implementa el concepto de pistón líquido que es “Fluid ICE™”.

El pistón de metal rígido de ICE convencionales se sustituye por un pistón líquido, por ejemplo, un volumen de agua. La superficie superior del agua puede no ser plana o incluso continua durante el movimiento del pistón líquido. La superficie de agua sustituye la superficie superior del pistón de metal. La siguiente tabla resume las diferencias clave en un motor de 4 tiempos que usa un pistón metal vs. líquido

Carrera	**Descripción de cada carrera de un motor de 4 tiempos, un cilindro, 2 válvulas (aire y escape)**	**Funcionamiento de ICE convencional**	**Funcionamiento de Fluid ICE™ basado en pistón líquido**
1. Admisión	con válvula de aire abierta se succiona una mezcla de aire/combustible	el pistón se mueve hacia abajo, impulsado por el cigüeñal	el pistón líquido se mueve hacia abajo, impulsado por la bomba
2. Compresión	con ambas válvulas cerradas se comprime la mezcla de aire/combustible	el pistón se mueve hacia arriba, impulsado por el cigüeñal	el pistón líquido se mueve hacia arriba, impulsado por la bomba
3. Expansión	con ambas válvulas cerradas una mezcla de aire/combustible combustiona creando presión muy alta en el cilindro	Se requiere una bujía para encender la mezcla de aire/combustible. El pistón se mueve hacia abajo, impulsado por la alta presión. El pistón en movimiento impulsa el cigüeñal	No se requiere una bujía para la combustión. Temperaturas altas de gas, provocadas por alta relación de compresión, permiten la combustión espontánea. El pistón líquido se mueve hacia abajo impulsado por la alta presión. El flujo de agua impulsa un motor hidráulico
4. Escape	con válvula de escape abierta se expulsa una mezcla de aire/combustible combustionada del cilindro	el pistón se mueve hacia arriba, impulsado por el cigüeñal	el pistón líquido se mueve hacia arriba, impulsado por la bomba

Cabe señalar las siguientes características del ICE que tiene un pistón líquido:

Los cilindros de los motores convencionales son redondos para facilitar el sellado del espacio entre pistón y paredes de cilindro. Como manifiesta la figura 3, la sección transversal de cilindro del motor basado en líquido no tiene que ser redonda ya que no hay cuestión de sellado. El diseño rectangular facilita la eficiencia volumétrica (es decir, la misma potencia en un volumen más pequeño) y, lo que es más importante, también permite un nuevo diseño de válvulas de admisión y escape. La figura 6 muestra, como ejemplo, que una válvula rotatoria puede hacer funcionar válvulas de Admisión y Escape - esto simplifica considerablemente el diseño. También cabe señalar que las válvulas rotatorias funcionan mucho más silenciosas y no generan ruido de golpeteo de las válvulas de retención convencionales.

El agua se evapora durante expansión de pistón. Esto es beneficioso para ICE porque:

a. Evaporar agua aumenta la presión dentro del cilindro durante la expansión, como se ha tratado anteriormente. Esto significa efectivamente que Fluid ICE es una combinación sinérgica de un motor de combustión interna y un motor de vapor de agua, excepto que no hay caldera y el proceso de evaporación es casi instantáneo.

b. El agua de evaporación lleva una gran cantidad de calor (latente) de evaporación, que potencialmente se puede usar para hacer más trabajo. Esto se consigue enviando productos de escape calientes, que contienen vapores de agua, a través de un sistema de recuperación de energía (ERS), mostrado en la figura 2 y 5 y explicado más adelante en este documento.

c. El agua se enfría y lubrica el cilindro aliviando la necesidad de enfriamiento y lubricación adicionales.

El volumen de agua en los cilindros es controlado por válvulas. En diversas realizaciones de la invención, esto tiene un efecto positivo en la eficiencia termodinámica del motor:

a. El volumen de admisión de aire es menor que el volumen de escape en el final de la carrera de expansión. Como se muestra en la figura 1 - esto por sí solo aumenta la eficiencia termodinámica hasta un 20 %.

b. En un motor convencional, tan pronto como comienza la combustión, el pistón comienza para expandirse, lo que enfría la mezcla de combustible/aire, provocando una combustión incompleta. En Fluid ICE, la combustión puede ocurrir en un volumen constante - una condición preferible que permite el quemado completo del combustible.

Para acomodar flujos de agua muy altos (pequeñas cantidades pero velocidad muy alta), una bomba estándar, disponible comercialmente, y un motor hidráulico tienen que ser muy grandes. En cambio, aquí se usan accionadores tipo paleta, que sirven simultáneamente como bomba y motor hidráulico. Estos accionadores se describen en la sección “Juntando todo”, más adelante.

Sistema de recuperación de energía (ERS)

El ERS (figura 1) sirve para una pluralidad de finalidades. Convierte carburante en bruto, tal como gas de hidrocarburo (Gas Natural o carburante líquido vaporizado) y vapor de agua en gas reformado, que contiene H_2, CO y otros gases que tienen un calor de combustión hasta un 27 % más alto que gas de carburante en bruto. La conversión ocurre en un recuperador termoquímico por medio de reacciones endotérmicas, ayudadas por catalizador, que ocurren a una temperatura constante entre 450 y 750 grados C. La temperatura necesaria para este proceso depende de las propiedades del catalizador y de cantidad de vapor de agua y/o dióxido de carbono. Los productos de escape suministran energía adicional necesaria para esta conversión, así este proceso aumenta significativamente la eficiencia del funcionamiento del motor. El motor puede funcionar también con combustible en bruto, por lo que estos componentes de reformación son opcionales. Una comparación de la distribución de energía dentro de Motores convencionales y Fluid ICE™ se muestra en la figura 4. Un hoja más detallada de equilibrio energético para motor Fluid ICE™ se muestra en la figura 5.

Una segunda finalidad para ERS es la recuperación de agua. Como el agua (de evaporación) no debe dejar el sistema con una tasa mayor que con la que la genera el proceso de combustión, se debe recuperar agua de los productos de escape. Los productos de escape se deben enfriar por debajo de 100 grados C, como se hace eficazmente cuando se usa con el ERS. El sistema termoquímico de recuperación se ofreció primero para centrales energéticas grandes en “The Thermo-chemical Recovery System - Advanced Heat Recovery”, de D.K. Fleming y M.J. Khinkis, 12ª Energy Technology Conference and Exposition, Washington D.C. 25-27 de marzo de 1985, así como se describe en las patentes de EE. UU. 4.900.333; 5.501.162; y 5.595.059, pero nunca se explicó para ICE porque este tipo de sistema de recuperación de energía crearía componentes adicionales, grandes y caros que manejan agua y vapores de agua. Para Fluid ICE, estos componentes son integrales y sinérgicos.

Eficiencia

Las razones para eficiencias termodinámicas más altas del motor Fluid ICE se muestran en la figura 1. El área delineada por líneas continuas 1 →2 →3 →4 representa la cantidad de energía que se puede extraer durante un único ciclo del motor Fluid ICE. Los cálculos muestran que la eficiencia termodinámica teórica del motor Fluid ICE es el 74 %, mientras que para ICE convencional es únicamente alrededor del 50-57 %.

Juntando todo

La figura 3 muestra tanto una vista en perspectiva como una vista en despiece ordenado de un motor de 4 tiempos 4 cilindros que usa un pistón líquido como se ha descrito. El PGM del motor de pistón líquido, que trasforma energía química del combustible en movimiento de vástago oscilatorio, se implementa aquí mediante cuatro cilindros y dos accionadores, ubicados entre los cilindros. Un accionador comprende una paleta oscilante y dos volúmenes. Los dos volúmenes están rellenos siempre con agua. Así, A-1 (accionador #1), se forma por la paleta oscilante OV-1 y el volumen V1, adyacente al cilindro #1 y el volumen V2, adyacente a cilindro #2. De manera similar, A-2 (accionador #2), se forma por la paleta oscilante OV-2 y el volumen V3, adyacente al cilindro #3 y el volumen V4, adyacente a cilindro #4.

La paleta se puede impulsar aplicando agua a alta presión sobre un lado, por lo que la paleta actúa como motor hidráulico. Simultáneamente, el otro lado de la paleta empuja agua afuera, por lo que la paleta también está actuando como bomba. Así, se usan accionadores para que sirvan tanto como motor hidráulico como una bomba.

La paleta oscilante #1 (OV-1) se muestra en la figura 6 entre los cilindros #1 y #2. La paleta oscilante #2 (OV2) en la parte posterior del motor está entre los cilindros #3 y #4. Ambas paletas se mueven juntas porque están conectadas rígidamente al mismo vástago, que ejecuta movimiento oscilante.

Asumiendo que el vástago y ambos OV-1 y OV-2 se mueven en sentido antihorario (como se muestra con la flecha en la figura 6. El funcionamiento del motor Fluid ICE™ es de la siguiente manera:

En el cilindro 1:

La válvula de aire abre la lumbrera de admisión de aire. La válvula de agua se abre para permitir que fluya agua entre el cilindro #1 y V1 (lado izquierdo de A-1). Conforme OV-1 se mueve en sentido antihorario, se bombea agua afuera del cilindro #1 y al compartimento V1 de A-1. Se atrae aire adentro del cilindro; así, el cilindro 1 está experimentando la fase de admisión.

En el cilindro 2:

La válvula de agua para el cilindro # 2 está abierta, por lo que conforme OV-1 se mueve en sentido antihorario, se bombea agua desde V2 (el compartimento derecho de A-1) al cilindro #2. La válvula de escape del cilindro #2 está abierta - permitiendo que salgan gases de escape a través de la lumbrera de escape. Esto significa que el cilindro #2 está experimentando la fase de escape.

En el cilindro 3:

Asúmase que la combustión ha ocurrido recientemente en el cilindro 3. Agua desde el cilindro # 3, bajo presión por los gases en expansión, fluye al V3. El flujo entrante de agua a A-2 impulsa OV-2 (y correspondientemente, OV-1) para mover en sentido antihorario. Ambas lumbreras de Escape y Aire del cilindro # 3 están cerradas, ya que el cilindro #3 está experimentando la fase de expansión.

En el cilindro 4:

Se bombea agua por OV-2 desde V4 al cilindro #4, ambas lumbreras Escape y Aire del mismo también están cerradas. Así, el cilindro #4 experimenta la fase de compresión.

Al completarse estas fases, la válvula de agua para el cilindro 4 se cierra y se introduce combustible en este cilindro por lo que se autoenciende. Tras un corto retraso, la válvula de agua se reabre, y la presión impulsa la OV-2. En este punto, el cilindro #1 experimenta compresión, el cilindro #2 experimenta escape, el cilindro #3 experimenta admisión, y el cilindro #4 experimenta expansión. Las descripciones para cada carrera son las mismas que anteriormente, la única diferencia es que el cilindro está en una carrera dada. El proceso continúa, y cada cilindro experimenta a su vez las carreras de admisión, compresión, combustión/expansión, y escape. El resultado neto de este sistema es un vástago oscilante, impulsado por A-1 o A-2. Para que sea útil para generar movimiento rotacional, se usa un convertidor Oscilatorio a Rotatorio (O-2-R) como se describirá más adelante en esta solicitud.

Implementación de motor de pistón líquido usando cámaras de compresión y de expansión separadas

Cámaras de compresión y de expansión separadas es una modificación del diseño de motor tratado anteriormente. También se basa en un diseño de pistón líquido, pero emplea cámaras de compresión y de expansión separadas. Esto diseño emplea dos cámaras de combustión ubicadas dentro de dos válvulas de admisión/escape. La construcción de este motor es similar al ICE de 4 válvulas basado en pistón líquido, mostrado en la figura 3 y 6, las principales excepciones son que no hay válvulas de agua y las válvulas de aire/escape se combinan con la cámara de combustión. El diseño resultante se muestra en las figuras 7 a 11.

La figura 7 presenta una vista en despiece ordenado del Módulo de Generación de Potencia (PGM) de un Motor HCCE de 4 tiempos, mientras la figura 8 muestra detalles específicos de los componentes. Una descripción adicional se referirá, a menos que se indique de otro modo, a la figura 7 y la figura 8. En diversos ejemplos, el PGM 100 de este motor incluye

a. un cuerpo de motor que incluye el cuerpo de compresor 130, un separador 140 y el cuerpo de expansor 170;

b. un pistón de compresión 121 - un cuerpo sólido, rodeado en conjunto o en parte por líquido (agua, en el caso más simple), véase la figura 10. El pistón 121, separa la cavidad de aire en la cámara de compresión 131 y la cámara de compresión 132, y se mueve en movimiento oscilatorio entre estas cámaras de compresión;

c. un pistón de expansión 122 - un cuerpo sólido, rodeado en conjunto o en parte por líquido. El pistón 122 separa la cavidad de escape en la cámara de expansor 171 y cámara de expansor 172, y se mueve en movimiento oscilatorio dentro de esta cavidad de expansión.

d. vástago oscilante 120 que acopla mecánicamente el pistón de compresión 121 al pistón de expansión 122;

e. dos válvulas de aire/escape: válvula izquierda 153 y válvula derecha 154. Cada válvula contiene un canal de aire, que permite que entre aire fresco a la cámara de compresión y/o canal de escape, que permite que salgan productos de combustión de la cámara de expansión. Cada válvula también contiene cámaras de combustión 133, 134, correspondientemente). Las válvulas izquierda y derecha son imágenes reflejadas entre sí y, durante el funcionamiento, rotan en sentidos opuestos. Los detalles de la válvula derecha se muestran en la figura 9;

f. dos cámaras de compresión 131 y 132, cada una de las cuales se forma por el espacio entre el cuerpo de compresor 130, pistón de compresión 121, y uno del cuerpo de la válvula 153, 154 o el cuerpo de la cámara de combustión 133/134, o ambos; y

g. dos cámaras de expansión 171 y 172, cada una de las cuales se forma por el espacio entre el cuerpo de expansor 170, pistón de expansión 122, y uno del cuerpo de las válvulas 153, 154 o el cuerpo de la cámara de combustión 133, 134, o ambos.

h. Cubiertas, apoyos y pernos no se muestran;

Líquido (agua) rellena parcialmente cada cámara de compresión y/o de expansión. La superficie del líquido expuesta a aire o productos de escape representa un pistón líquido (figura 10).

El volumen de compresor, que es la suma de los volúmenes de las cámaras de compresión 131 y 132, denotado V_{131}+ V_{132}, está separado del volumen de expansión, V_{171} + V_{172}; el volumen de expansión es mayor que el volumen de compresión, en este caso 2,5 veces. Dependiendo de la posición del pistón de compresión 121, los volúmenes de las cámaras de compresión V_{131} y V_{132} varían desde el $V_{Admisión}$, volumen máximo durante la fase inicial de la carrera de admisión, a cero al final de la carrera de admisión. Los volúmenes de las cámaras de compresión 131 y 132 son complementarios, es decir, V_{131} + V_{132} = $V_{Admisión}$.

De manera similar, dependiendo de la posición del pistón de expansión 122, los volúmenes de las cámaras de expansión V_{171} y V_{172} varían desde el V_{Escape}, durante la fase inicial de la carrera de escape, a cero. Los volúmenes de las cámaras de expansión 171 y 172 son complementarios, es decir, V_{171} + V_{172} = V_{Escape}.

Funcionamiento

El pistón de expansión 122 impulsado por productos de combustión, expandiéndose en la cámara de expansión 171 (que actúa como motor hidráulico), hace rotar el vástago oscilante 120. Simultáneamente, 122 hace escapar de la cámara de expansión 172 productos de combustión ya expandidos, (el pistón 122 del expansor empuja agua afuera, actuando como bomba). Así, el pistón 122 del expansor se usa para que sirva tanto como motor hidráulico como bomba. Al mismo tiempo, el pistón de compresión 121, impulsado por el vástago oscilante 120, comprime aire fresco en la cámara de compresión 132, mientras induce aire a la cámara de compresión 131 en ambos casos el pistón 121 del compresor, está actuando como bomba. El vástago oscilante 120, es impulsado por el pistón de expansión 122, al comienzo de la carrera de expansión y por un volante de inercia (no se muestra) que se podría conectar ya sea al vástago oscilante 120 o al vástago de salida de PCM.

Para explicar aún más el funcionamiento del motor, se necesita realizar un examen más cercano del funcionamiento de las válvulas. Como el funcionamiento de válvula en muchos casos es similar en diversos diseños de motores y con la finalidad de conservar espacio, se hará referencia a la figura 22, para posicionamiento de pistones y válvulas, a pesar del hecho de que esta figura está relacionada con un diseño diferente de motor. El funcionamiento del motor es de la siguiente manera:

Posición 1

Ambos pistones 121 y 122 están en posiciones izquierdas extremas, empezando a rotar en sentido horario.

V_{131} = 0, V_{132} = $V_{Admisión}$, V_{171} = 0, V_{172} = V_{Escape};

La válvula izquierda de aire/escape 153 está estacionaria y en dicha posición esa lumbrera de admisión de aire de la cámara de compresor 131 está abierta. Se inducirá aire fresco a la cámara de compresor 131 cuando el pistón de compresión 121, empiece a moverse, así, la cámara de compresor 131 comenzará la carrera de admisión.

La lumbrera de escape de la cámara de expansor 132 está cerrada. La combustión se acaba de completar y el volumen de cámara de combustión se conecta a la cámara de expansión 171. Los productos de combustión se expandirán a la cámara de expansión 171 cuando el pistón de expansión 122 empiece a moverse, así, el volumen 171 comenzará la carrera de expansión.

La válvula izquierda de aire/escape 153 está estacionaria y en dicha posición esa lumbrera de admisión de aire de la cámara de compresor 132 está cerrada. El aire, ya contenido en la cámara de compresor 132, se comprimirá cuando

el pistón de compresión 121 empiece a moverse, así, la cámara de compresor 132 empezará la carrera de compresión.

La lumbrera de escape de la cámara de compresor 132 está abierta. Los productos de combustión ya expandidos saldrán de la cámara de expansión 172 cuando el pistón de expansión 122, empiece a moverse, así, la cámara de expansión 172 empezará la carrera de escape.

Posición 2

Ambos pistones 121 y 122, acaban de llegar a sus posiciones derechas extremas.

$V_{131} = V_{Admisión}$, $V_{132} = 0$, $V_{171} = 0$, $V_{172} = V_{Escape}$;

Ambas válvulas están estacionarias y en la misma posición que anteriormente.

- la cámara de compresión 131 ha completado la carrera de admisión y la presión en la misma está cerca de la ambiente.
- la cámara de expansión 171 ha completado la carrera de expansión. La presión en la cámara de combustión de la válvula izquierda, 153, y la cámara de expansión 171 es cerca de la ambiente.
- la cámara de expansión 172 ha completado la carrera de escape. No hay productos de escape en la cámara de expansión 172, ya que su volumen es cero.
- la cámara de compresión 132 ha completado la carrera de compresión. No hay aire en la cámara de compresión 132, ya que su volumen es cero. En la cámara de compresión dentro de la válvula derecha, 154 hay aire comprimido caliente.

Posición 3

Ambos pistones 121 y 122 están momentáneamente estacionarios, en la posición derecha extrema.

$V_{131} = V_{Admisión}$, $V_{132} = 0$, $V_{171} = 0$, $V_{172} = V_{Escape}$;

La válvula izquierda de aire/escape 153, es rotada 180 grados. En el proceso de rotación ocurre lo siguiente: la cámara de combustión comienza a exponerse a aire ambiente. Al final de la rotación de 180 grados se desconecta del aire ambiente y se alinea con la cámara de compresión 131. Está preparada para la carrera de compresión. Al final de la rotación de 180 grados el canal de escape se alinea con la cámara de expansión 171 y está preparado para la carrera de escape.

La válvula derecha de aire/escape 154 es rotada 180 grados. En el proceso de rotación ocurre lo siguiente: la cámara de combustión 134 atraviesa una cavidad dentro del cuerpo de compresor 130, que contiene combustible gaseoso a baja presión. Se mezcla aire caliente, debido a la compresión, con el combustible gaseoso y como su temperatura es superior a la temperatura de autoencendido del combustible, ocurre una combustión espontánea. Opcionalmente, se podría insertar agua en la cámara de combustión (antes, durante o después del encendido). La rotación de válvula de aire/escape tarda un tiempo suficientemente largo como para que se complete la combustión. Al final de la rotación, la cámara de combustión 134 se conecta a la cámara de expansión 172 mientras la lumbrera de aire en 132 se abre (es decir, la cámara de compresión 132 se expone a aire ambiente). La cámara de expansión 172, está preparada para empezar la carrera de expansión, mientras que la cámara de compresión 132 está preparada para empezar la carrera de admisión.

Posición 4

Ambos pistones 121 y 122 están en la posición izquierda extrema, empezando a rotar en sentido antihorario.

$V_{131} = 0$, $V_{132} = V_{Admisión}$, $V_{171} = 0$, $V_{172} = V_{Escape}$;

Ambas válvulas están estacionarias y en la misma posición que anteriormente.

- la cámara de compresión 131 ha completado la carrera de compresión. No hay aire en la cámara de compresión 131, ya que su volumen es cero. En la cámara de compresión dentro de la válvula izquierda, 153 hay aire comprimido caliente.
- la cámara de expansión 171 ha completado la carrera de escape. No hay productos de escape en la cámara de expansión 171, ya que su volumen es cero.
- la cámara de compresión 132 ha completado la carrera de admisión y presión en la misma está cerca de la ambiente.
- la cámara de expansión 171 ha completado la carrera de expansión. La presión en la cámara de combustión 133 de la válvula izquierda, 153, y la cámara de expansión 171 está cerca de la ambiente.

Transición de la Posición 4 a la Posición 1

Ambos pistones 121 y 122 están momentáneamente estacionarios, en la posición izquierda extrema.

$V_{131} = 0$, $V_{132} = V_{Admisión}$, $V_{171} = 0$, $V_{172} = V_{Escape}$;

La válvula izquierda de aire/escape 153, es rotada 180 grados. En el proceso de rotación ocurre lo siguiente: la cámara de combustión 133 atraviesa la cavidad dentro del cuerpo B, que contiene combustible gaseoso a baja presión. Se mezcla aire caliente, debido a la compresión, con el combustible gaseoso y como su temperatura es superior a la temperatura de autoencendido del combustible, ocurre una combustión espontánea. Opcionalmente, se podría insertar agua en la cámara de combustión (antes, durante o después del encendido). La rotación de la válvula de aire/escape tarda un tiempo suficientemente largo como para que ocurra una combustión completa. Al final de la rotación, la cámara de combustión 133 se conecta a la cámara de expansión 171 mientras la lumbrera de aire en la cámara de compresión 131 se abre (es decir, la cámara de compresión 131 se expone a aire ambiente). La cámara de expansión 171, está preparada para empezar la carrera de expansión, mientras 131 está preparada para empezar la carrera de admisión.

La válvula derecha de aire/escape 154 es rotada 180 grados. En el proceso de rotación ocurre lo siguiente: la cámara de combustión comienza a exponerse a aire ambiente. Al final de la rotación de 180 grados se desconecta del aire ambiente y se alinea con la cámara de compresión 132. Está preparada para la carrera de compresión. Al final de la rotación de 180 grados el canal de escape se alinea con la cámara de expansión 172 y está preparado para la carrera de escape. Obsérvese que la combustión, y por lo tanto la expansión, ocurre en cada giro del vástago oscilante 120.

Implementaciones del HCCE descrito anteriormente dan como resultado los siguientes beneficios:

- Comprimir aire, en lugar de mezcla de aire/combustible, permite una relación de compresión muy alta (15 a 30+). Se introduce combustible por separado en la cámara de combustión;
- Opcionalmente inyectar agua en una cámara de compresión durante la carrera de compresión reduce el trabajo necesario para comprimir el aire y acerca el proceso a compresión isotérmica;
- una cámara separada de combustión de volumen constante permite una combustión isocórica. Si se añade agua a la cámara de combustión antes de que se complete la combustión, entonces, la combustión ocurrirá en condición de volumen reducido (debido al agua en evaporación), que es incluso más eficiente que la combustión isocórica. Esta agua también reduce la temperatura de los gases en la cámara de combustión, lo que reduce los niveles de emisión de NOx, y permite usar materiales de menor grado para la construcción del motor;
- hay presión adicional durante la expansión, debido al vapor de agua formado durante el procesos de combustión y expansión; y
- la presión de escape es baja porque el volumen de expansión es más grande, de 2 a 5 veces el volumen de admisión, lo que se consigue fácilmente porque el expansor está separado del compresor.
- El sistema de recuperación de energía se puede implementar como se describe en la presente memoria

Modificaciones

Para conservar la cantidad de líquido necesario para un funcionamiento apropiado de este motor así como el volumen total del motor, es posible usar la modificación mostrada en la figura 11. También son posibles otras diversas formas y hechuras de cámara de combustión, cámara de expansión, válvulas, pistones (por ejemplo, los pistones 121, 122 pueden tener diferentes formas entre sí), etc.

Pistón oscilante, Configuración en V

Los ejemplos mostrados en las figuras 12-20 se pueden implementar con o sin agua. La figura 15 presenta una vista en despiece ordenado de un motor HCCE de 4 tiempos, 4 cilindros. En las figuras 16 y 17 se muestran los detalles de algunos componentes, que son importantes para entender el funcionamiento del motor. La descripción adicional se referirá, a menos que se indique de otro modo indicado, a la figura 17. En este motor el volumen de expansor (V_{C3} + V_{C4}) está separado de, y es mayor que este, el volumen de compresor (V_{131} + V_{132}).

Haciendo referencia a las figuras 14 y 15, en un ejemplo, el PGM 100 incluye:

- El cuerpo de motor que incluye el cuerpo de compresor 130, un separador 140 y el cuerpo de expansor 170;
- pistón de compresión 121 - un cuerpo sólido, opcionalmente rodeado en conjunto o en parte por líquido (agua, en un ejemplo particular). El pistón 121, separa la cavidad de aire en cámara de compresión 131 y cámara de compresión 132, y se mueve en movimiento oscilante dentro de la cavidad de aire;

- pistón de expansión 122 - un cuerpo sólido, opcionalmente rodeado en conjunto o en parte por líquido. El pistón 122, separa la cavidad de escape en cámara de expansor 171 y cámara de expansor 172, y se mueve en movimiento oscilante dentro de la cavidad de escape;

- vástago oscilante 120, que acopla mecánicamente el pistón 121 al pistón 122;

- Dos válvulas de aire/escape: válvula izquierda 153 y válvula derecha 154. Cada válvula contiene un canal de aire 145, que permite que entre aire fresco a la cámara de compresión, y/o canal de escape 146, que permite que salgan productos de combustión de la cámara de expansión. Cada válvula también contiene una cámara de combustión (133 y 134, correspondientemente). Las válvulas izquierda y derecha son imágenes reflejadas entre sí y, durante el funcionamiento, rotan en sentidos opuestos. Los detalles de la válvula izquierda se muestran en la figura 9;

- Dos cámaras de compresión 131 y 132, cada una de las cuales se forma por el espacio entre el cuerpo de compresor 130, pistón de compresión 121, y ya sea el cuerpo de la válvula 153/154 o el cuerpo de la cámara de combustión 133/134, o ambos;

- Dos cámaras de expansión 171 y 172, cada una de las cuales se forma por el espacio entre el cuerpo de expansor 170, el pistón de expansión 122, y ya sea el cuerpo de la válvula 153/154 o el cuerpo de las cámaras de combustión 133, 134), o ambos;

- Cubiertas 180 y 110, sostenidas en el cuerpo con pernos 151;

- El cuerpo de motor (130, 140, 170), figuras 14 y 16, es una pieza sólida con varias características: cámara de compresión 131, cámara de compresión 132; dos aberturas cilíndricas (113 y 114) para las válvulas izquierda y derecha de aire/escape; abertura cilíndrica (115) para el vástago (120); dos lumbreras de admisión de aire (141) y (142), dos lumbreras de escape (143) y (144), y canales opcionales de combustible y agua (no se muestran) ubicados dentro de 113 y 114 dentro del cuerpo del motor.

- el pistón de compresión 121 se mueve dentro de cavidad de compresor de aire, como se muestra en la figura 18, mientas el pistón de escape 122 se mueve dentro de la cavidad de expansión de escape. Ambos pistones se acoplan por medio del vástago oscilante 120 y, por lo tanto, se mueven juntos sincrónicamente.

- El vástago oscilante 120, figura 15, tiene loma, que coincide con surcos en el pistón de compresión 121 y el pistón de escape 122, así como otra loma que permite el acoplamiento al PCM (300).

- La válvula (154) es una imagen reflejada de la válvula (153), figura 15, es un cuerpo cilíndrico con canal de aire (145), canal de escape (146) y cavidad de cámara de combustión (133 o 134).

Dependiendo de la posición del pistón de compresión 121, los volúmenes de las cámaras de compresión V_{131} y V_{132} varían desde el $V_{Admisión}$, volumen máximo durante la fase inicial de la carrera de admisión, a cero al final de la carrera de admisión. Los volúmenes de las cámaras de compresión 131 y 132 son complementarios, es decir, V131 + V132 = $V_{Admisión}$. De manera similar, dependiendo de la posición de pistón de expansión 122, los volúmenes de las cámaras de expansión V_{171} y V_{172} varían desde el V_{Escape}, durante la fase inicial de la carrera de escape, a cero. Los volúmenes de las cámaras de expansión 171 y 172 son complementarios, es decir, $V_{171} + V_{172} = V_{Escape}$.

Funcionamiento

El pistón de expansión 122 impulsado por productos de combustión, expandiéndose en la cámara de expansión 171, hace rotar el vástago oscilante 120. Simultáneamente, el pistón de expansión 122 hace escapar productos de combustión ya expandidos desde la cámara de expansión 172. Al mismo tiempo, el pistón de compresión 121, impulsado por el vástago oscilante 120, comprime aire fresco en la cámara de compresión 132, mientras induce aire a la cámara de compresión 131.

Considerando la figura 18, el funcionamiento del motor es de la siguiente manera:

Posición 1

Ambos pistones, pistón de compresión 121 y pistón de expansión 122, están en posición izquierda extrema, empezando a rotar en sentido horario.

$V_{131} = 0$, $V_{132} = V_{Admisión}$, $V_{171} = 0$, $V_{172} = V_{Escape}$;

La válvula izquierda de aire/escape 153 está estacionaria y en dicha posición esa lumbrera de admisión de aire de la cámara de compresión 131 está abierta. Se inducirá aire fresco a la cámara de compresión 131 cuando el pistón de compresión 121, empiece a moverse, así, la cámara de compresión 131 comenzará la carrera de admisión.

La lumbrera de escape de la cámara de compresión 132 está cerrada. La combustión se acaba de completar y el volumen de cámara de combustión se conecta a la cámara de expansión 171. Los productos de combustión se

expandirán a la cámara de expansión 171 cuando el pistón de expansión 122 empiece a moverse, así, la cámara de expansión 171 comenzará la carrera de expansión.

La válvula derecha de aire/escape 154 está estacionaria y en dicha posición esa lumbrera de admisión de aire de la cámara de compresor 132 está cerrada. El aire, ya contenido en la cámara de compresión 132, se comprimirá cuando el pistón de compresión 121 empiece a moverse, así, la cámara de compresión 132 empezará la carrera de compresión.

La lumbrera de escape de la cámara de compresión 132 está abierta. Los productos de combustión ya expandidos saldrán de la cámara de expansión 172 cuando el pistón de expansión 122, empiece a moverse, así, la cámara de expansión 172 empezará la carrera de escape.

Posición 2

Ambos pistones 121 y 122, acaban de llegar a sus posiciones derechas extremas.

$V_{131} = V_{Admisión}$, $V_{132} = 0$, $V_{171} = 0$, $V_{172} = V_{Escape}$;

Ambas válvulas están estacionarias y en la misma posición que anteriormente.

- la cámara de compresión 131 ha completado la carrera de admisión. La presión en la 131 está cerca de la ambiente.
- las cámaras de expansión 171 han completado la carrera de expansión. La presión en la cámara de combustión de la válvula izquierda, 153, y la cámara de expansión 171 es cerca de la ambiente.
- las cámaras de expansión 172 han completado la carrera de escape. No hay productos de escape en 172, ya que su volumen es cero.
- la cámara de compresión 132 ha completado la carrera de compresión. No hay aire en 132, ya que su volumen es cero. En la cámara de compresión dentro de la válvula derecha, 154 hay aire comprimido caliente.

Posición 3

Ambos pistones, pistón de compresión 121 y pistón de expansión 122, están momentáneamente estacionarios, en la posición derecha extrema. $V_{131} = V_{Admisión}$, $V_{132} = 0$, $V_{171} = 0$, $V_{172} = V_{Escape}$;

La válvula izquierda de aire/escape, 153, es rotada 180 grados. En el proceso de rotación ocurre lo siguiente: la cámara de combustión comienza a exponerse a aire ambiente. Al final de la rotación de 180 grados se desconecta del aire ambiente y se alinea con 131. Está preparada para la carrera de compresión. Al final de la rotación de 180 grados el canal de escape se alinea con 171 y está preparado para la carrera de escape.

La válvula derecha de aire/escape, 154, es rotada 180 grados. En el proceso de rotación ocurre lo siguiente: la cámara de combustión atraviesa una cavidad (no se muestra) dentro del cuerpo de compresor 130, que contiene combustible gaseoso a baja presión. Se mezcla aire caliente, debido a la compresión, con el combustible gaseoso y como su temperatura es superior a la temperatura de autoencendido del combustible, ocurre una combustión espontánea. Opcionalmente, se podría insertar agua en la cámara de combustión (antes, durante o después del encendido). La rotación de la válvula de aire/escape tarda un tiempo suficientemente largo como para que ocurra una combustión completa. Al final de la rotación, la cámara de combustión se conecta a la cámara de expansor 172 mientras la lumbrera de aire en la cámara de compresión 132, se abre (es decir, la cámara de compresión se expone a aire ambiente). La cámara de expansor 172, está preparada para empezar la carrera de expansión, mientras que la cámara de compresión 132 está preparada para empezar la carrera de admisión.

Posición 4

Ambos pistones, pistón de compresión 121 y pistón de expansión 122, están en la posición izquierda extrema, empezando a rotar en sentido antihorario. $V_{131} = 0$, $V_{132} = V_{Admisión}$, $V_{171} = 0$, $V_{172} = V_{Escape}$;

Ambas válvulas están estacionarias y en la misma posición que anteriormente.

- la cámara de compresión 131 ha completado la carrera de compresión. No hay aire en 132, ya que su volumen es cero. En la cámara de compresión dentro de la válvula izquierda, 153 hay aire comprimido caliente.
- la cámara de expansión 171 ha completado la carrera de escape. No hay productos de escape en 171, ya que su volumen es cero.
- la cámara de compresión 132 ha completado la carrera de admisión. La presión en 132 está cerca de la ambiente.

- la cámara de expansión 171 ha completado la carrera de expansión. La presión en la cámara de combustión de la válvula izquierda, 153, y la cámara de expansión 171 es cerca de la ambiente.

Transición de la Posición 4 a la Posición 1

Ambos pistones, pistón de compresión 121 y pistón de expansión 122, están momentáneamente estacionarios, en la posición izquierda extrema. $V_{131} = 0$, $V_{132} = V_{Admisión}$, $V_{171} = 0$, $V_{172} = V_{Escape.}$ La válvula izquierda de aire/escape, 153, es rotada 180 grados. En el proceso de rotación ocurre lo siguiente:

La cámara de combustión atraviesa la cavidad dentro del cuerpo, 130, que contiene combustible gaseoso a baja presión. Se mezcla aire caliente, debido a la compresión, con el combustible gaseoso y como su temperatura es superior a la temperatura de autoencendido del combustible, ocurre una combustión espontánea. Opcionalmente, se podría insertar agua en la cámara de combustión (antes, durante o después del encendido). La rotación de la válvula de aire/escape tarda un tiempo suficientemente largo como para que ocurra una combustión completa. Al final de la rotación, la cámara de combustión se conecta a la cámara de expansión 171 mientras la lumbrera de aire en la cámara de compresión 131, se abre (es decir, la cámara de compresión 131 se expone a aire ambiente). La cámara de expansión 171, está preparada para empezar la carrera de expansión, mientras que la cámara de compresión 131 está preparada para empezar la carrera de admisión.

La válvula derecha de aire/escape, 154, es rotada 180 grados. En el proceso de rotación ocurre lo siguiente: la cámara de combustión empieza a exponerse a aire ambiente. Al final de la rotación de 180 grados se desconecta del aire ambiente y se alinea con 132. Está preparada para la carrera de compresión. Al final de la rotación de 180 grados el canal de escape se alinea con la cámara de expansión 172 y está preparado para la carrera de escape. Obsérvese que la combustión, y por lo tanto la expansión, ocurre en cada giro del vástago oscilante 120.

Implementaciones del HCCE descrito anteriormente dan como resultado los siguientes beneficios:

- Comprimir aire, en lugar de mezcla de aire/combustible, permite una relación de compresión muy alta (15 a 30+). Se introduce combustible por separado en la cámara de combustión.

- Opcionalmente inyectar agua en una cámara de compresión (131 o 132) durante la carrera de compresión reduce el trabajo necesario para comprimir el aire y acerca el proceso a compresión isotérmica.

- Una cámara separada de combustión de volumen constante permite una combustión isocórica. Si se añade agua a la cámara de combustión antes de que se complete la combustión, entonces, la combustión ocurrirá en condición de volumen reducido (debido al agua en evaporación), que es incluso más eficiente que la combustión isocórica. Esta agua también reduce la temperatura de los gases en la cámara de combustión, lo que reduce los niveles de emisión de NOx, y permite usar materiales de menor grado para la construcción del motor.

- Hay presión adicional durante la expansión, debido al vapor de agua formado durante los procesos de combustión y expansión.

- La presión de escape es baja porque el volumen de expansión es más grande, de 2 a 5 veces el volumen de admisión, lo que se consigue fácilmente porque el expansor está separado del compresor.

- El sistema de recuperación de energía se puede implementar como se describe en la presente memoria

Modificaciones

El motor descrito anteriormente, también puede tener numerosas implementaciones. Algunos de ellos obvios, tales como otras diversas formas y hechuras de la cámara de combustión (es decir, cerca de semiesférica, lo que disminuye la relación de superficie a volumen, que a su vez reduce las pérdidas de calor desde la cámara de combustión), cámara de expansión, válvulas, pistones (la forma 121 no tiene que ser la misma que la forma 122). Por ejemplo, el desplazamiento angular de pistón puede cambiar en una gran amplitud, como se puede ver en la figura 19. Tener ambas válvulas en proximidad cercana entre sí podría simplificar la implementación del PCM, ya que rotan en sentido opuesto entre sí. Por lo tanto, conectar ambas válvulas por medio de una pareja de engranajes de igual diámetro, permitiría aplicar el movimiento requerido a una válvula únicamente - la segunda rotaría automáticamente en sentido opuesto. Adicionalmente, dicha geometría permitiría tener densidad de potencia más alta.

Otra variación importante se muestra en la figura 20. Ambos pistones podrían tener gran espacio de diámetro interno en el medio, que se podría usar para la implementación del PCM. Una combinación de este tipo produciría un motor de tamaño más pequeño y, por lo tanto, aumentaría la densidad de potencia incluso más.

Otras implementaciones pueden tener algunas características sutiles de diseño que podrían ser útiles en la construcción de un motor comercial. Una implementación específica de este tipo se tratará más adelante.

Diseño de pistón oscilante de gran ángulo

Las figuras 21 a 26 muestran otra implementación de un motor HCCE, que se describe más adelante. El motor presenta una disposición ligeramente diferente de válvulas y cámaras de combustión comparadas con otros motores descritos hasta ahora.

Haciendo referencia a las figuras 1 y 24, en un ejemplo, el PGM, 100 de este motor incluye:

- Cuerpo de compresor, 130, que contiene cámaras de combustión 133 y 134, figura 24 y 34 a), y válvulas de aire de una vía (bola, retención, fluídica, etc.) 135 y 136, que permiten flujo de aire desde las cámaras de compresión, 131 y 132, a las cámaras de combustión, 133 y 134, correspondientemente. También puede contener pasos especiales que podrían entregar combustible gaseoso o líquido y/o agua líquida directamente a las cámaras de combustión, o, preferiblemente, a la válvula de trasferencia de productos de combustión 151.
- Cuerpo de expansor, 170;
- Separador, 140;
- Cubierta de compresor, 110;
- Cubierta de expansor, 180, que también aloja el PCM;
- Dos cámaras de compresión, 131 y 132, formadas por espacio entre cuerpo de compresor, 130, pistón 121 del compresor, separador, 140, y cubierta de compresor, 110;
- Dos cámaras de expansor, 171 y 172, formadas por espacio entre cuerpo de expansor, 170, pistón 122 del expansor, separador, 140, y cubierta de expansor, 180;
- Un pistón de compresor 121, - un cuerpo sólido, o, opcionalmente, un cuerpo sólido rodeado en una parte por un líquido; dicho pistón de compresor 121, se mueve dentro del cuerpo de compresor y separa dos cámaras de combustión. Oscila alrededor del eje del vástago oscilante;
- Un pistón de expansor 122, coaxial al pistón de compresor 121, - un cuerpo sólido, o, opcionalmente, un cuerpo sólido rodeado en parte por un líquido; dicho pistón de expansor 122, se mueve dentro del cuerpo de expansor y separa dos cámaras de expansión. Oscila alrededor del eje del vástago oscilante sincrónicamente con pistón de compresor y vástago oscilante;
- Vástago oscilante (120) que acopla mecánicamente pistón 121 del compresor y pistón 122 del expansor. Puede tener una loma, que coincide son surcos en el pistón de compresor (121) y el pistón de escape (122), así como otra loma que permite el acoplamiento al PCM (300). Como alternativa, se podría hacer como un conjunto con uno de los pistones;
- Válvula de trasferencia de productos de combustión 151, que tiene dos canales, 152 y 153, que permiten conectar el espacio de cámara de combustión 133 con la cámara de expansor 171 por medio del canal 152, o conectar el espacio de cámara de combustión 134 con la cámara de expansor 172, por medio del canal, 153;
- Válvula de escape 157, que permite que los gases expandidos escapen al ambiente o ERS.
- Vástago 155, que conecta las válvulas 151 y 157. Es impulsado intermitentemente adelante y atrás, mientras los pistones de compresor y expansor están estacionarios;
- Válvula de admisión de aire fresco, 150, que permite inducir aire fresco a las cámaras de compresión durante la carrera de admisión. Esto se podría sustituir por válvulas de una vía - tipo bola, retención, fluídica, etc.
- Líquido (agua) que rellena parcial o completamente los canales 152 y 153;
- Cojinetes radiales, 161, 162, 163 y 164, que sostienen rotacionalmente los vástagos 120 y 155;

Dependiendo de la posición del pistón de compresión 121, el volumen de las cámaras de compresión V_{131} y V_{132} varía desde el $V_{Admisión}$, durante la fase inicial de la carrera de admisión, a cero al final de la carrera de admisión. Los volúmenes de cámaras de compresión V_{131} y V_{132} son complementarios en sentido de que $V_{131} + V_{132} = V_{Admisión}$.

De manera similar, dependiendo de la posición del pistón de expansión 122, el volumen de las cámaras de expansión V_{171} y V_{172} varía del V_{Escape}, durante la fase inicial de la carrera de escape, a cero. Los volúmenes de cámaras de expansión V_{171} y V_{172} son complementarios en sentido de que $V_{171} + V_{172} = V_{Admisión}$.

Cabe señalar que la relación de V_{Escape} a $V_{Admisión}$, ajustable por forma y/o grosor del pistón 121 del compresor, y el pistón 122 del expansor, se podría seleccionar de manera tal que la presión de productos de combustión expandidos en el final de la carrera de expansión esté cerca de la atmosférica.

Funcionamiento

Se empieza la descripción del funcionamiento del motor en la posición en la que el pistón 122 del expansor, se mueve en sentido horario (figura 25 d) impulsado por presión de los productos de combustión, expandiéndose a la cámara de expansión 171 desde la cámara de combustión 133. La válvula de trasferencia de productos de combustión 151 tiene el canal 152 alineado con la cámara de combustión 133 (figura 25 b)), que permite los productos de combustión adentro de la cámara de expansión 171 (figura 25 d)).

Al mismo tiempo, el pistón 122 del expansor, empuja los gases ya expandidos afuera de la cámara 172, a través de un canal en la válvula de escape 157, que se sincroniza con la válvula de trasferencia de productos de combustión 151.

El pistón 121 del compresor, (figura 25 a) y b)), se mueve en la misma dirección, sentido horario, porque está acoplado mecánicamente con el pistón 122 del expansor. Al hacerlo, comprime el aire ubicado en la cámara de compresión 132, e induce aire ambiente adentro de la cámara de compresión 131. Aire comprimido dentro de cámara de compresión 132, entra a través de la válvula de aire de una vía 136, (figura 24) a la cámara de combustión 134.

Así cuatro cámaras de motor están experimentando cuatro carreras diferentes:

Cámara de compresión 131 - carrera de admisión;

Cámara de compresión 132 - carrera de compresión;

Cámara de expansor 171 - carrera de expansión;

Cámara de expansor 172 - carrera de escape.

Estas carreras se completarán cuando ambos pistones lleguen simultáneamente a sus puntos extremos en posición en sentido horario total. El grado de rotación angular de los pistones es controlado por el PCM - para impedir que los pistones colisionen con las paredes del compresor y el expansor.

En esta posición (figura 26), la válvula de trasferencia de productos de combustión 151, todavía está ubicada sobre la cámara de combustión 133. La cámara de combustión 134 es cerrada por la válvula de trasferencia de productos de combustión, 151, cuerpo, mientras el canal 153, está en la posición sobre el inyector de agua, 137, e inyector de combustible (no se muestra, por claridad). Como el canal 153, está a presión atmosférica, como se entenderá más adelante, el agua junto con combustible gaseoso rellenan el canal 152. Ambos agua y combustible gaseoso podrían estar a poca presión. Opcionalmente, el canal 153, justo como el canal 152, se podría hacer de forma más compleja, en 2 cámaras, de modo que combustible gaseoso y agua no tengan que mezclarse juntos.

Como se ha indicado anteriormente, ambos, pistón 121 del compresor y pistón 122 del expansor, se volverán estacionarios al final de su carrera. En este momento:

- La cámara de combustión 134, contiene aire presurizado caliente. Como únicamente se comprime aire fresco, en lugar de la mezcla de aire/combustible, se puede comprimir a alta relación de compresión de 15 a 30 o superior, lo que lleva la temperatura de aire significativamente por encima del punto de autoencendido.

- La cámara de combustión 133, junto con la cámara de expansor 171, contiene ahora gases completamente expandidos, dado que ambas están conectadas a través del canal 152. La expansión se realiza a ~ presión atmosférica.

- La cámara de compresión 131 se rellena ahora con aire fresco.

- La cámara de compresión 132 está ahora con volumen cero, justo como la cámara de expansor 172.

Mientras el pistón 121 del compresor, y el pistón 122 del expansor, están estacionarios en esta posición derecha extrema (figura 26), las válvulas 151 y 157, impulsadas por el vástago, 155, rotan en sentido antihorario hasta que el canal 153 coincide con la abertura de cámara de combustión 134, como se muestra en la figura 26 a).

En el transcurso de la rotación, la válvula de trasferencia de productos de combustión 151, vuelve en sentido antihorario y expone el combustible contenido en el canal 153, a los gases presurizados calientes dentro de la cámara de combustión 134. Comienza la combustión espontánea y continúa todo lo que tarde en completarse el proceso de combustión de combustible. En este momento:

- La cámara de combustión 134, contiene productos de combustión muy calientes, a presión muy alta. A pesar del hecho de que el canal 153 se alinea con la abertura de la cámara de combustión 134, no pueden escapar gases de la cámara de combustión 134, dado que el agua contenida dentro del canal 153, y el pistón 122 del expansor, están bloqueando la salida.

- Como anteriormente, la cámara de combustión 133, junto con la cámara de expansor 171, contiene gases

completamente expandidos. Ahora, sin embargo, no están conectados entre sí, dado que el canal 152 no está alineado con la cámara de combustión 133. La cámara de expansor 171 se conecta con aire ambiente a través del orificio en la válvula de escape 157.

- Como anteriormente, la cámara de compresión 131 está rellena con aire fresco.
- Como anteriormente, la cámara de compresión 132 y la cámara de expansor 172 están con volumen cero.

Después de completarse la combustión, que podría durar hasta 10-20 grados o más de la rotación de vástago de PCM, tanto pistón 121 del compresor como pistón 122 del expansor empiezan la rotación en sentido antihorario hasta que llegan a sus posiciones izquierdas extremas, momento en el que se pausan, hasta que la válvulas 151 y 157 son rotadas en sentido horario y se repite la secuencia entera. Como en otros diseños tratados hasta ahora, combustión, y por lo tanto expansión, ocurre en cada giro del vástago oscilante 120.

Implementaciones del HCCE descrito anteriormente dan como resultado los siguientes beneficios:

- Comprimir aire, en lugar de mezcla de aire/combustible, permite una relación de compresión muy alta (15 a 30+). Se introduce combustible por separado en la cámara de combustión.
- Opcionalmente inyectar agua en una cámara de compresión (131 o 132) durante la carrera de compresión reduce el trabajo necesario para comprimir el aire y acerca el proceso a compresión isotérmica.
- Una cámara separada de combustión de volumen constante permite una combustión isocórica. Si se añade agua a la cámara de combustión antes de que se complete la combustión, entonces, la combustión ocurrirá en condición de volumen reducido (debido al agua en evaporación), que es incluso más eficiente que la combustión isocórica. Esta agua también reduce la temperatura de los gases en la cámara de combustión, lo que reduce los niveles de emisión de NOx, y permite usar materiales de menor grado para la construcción del motor.
- Hay presión adicional durante la expansión, debido al vapor de agua formado durante los procesos de combustión y expansión.
- La presión de escape es baja porque el volumen de expansión es más grande, de 2 a 5 veces el volumen de admisión, lo que se consigue fácilmente porque el expansor está separado del compresor.
- El sistema de recuperación de energía se puede implementar como se describe en la presente memoria

Modificaciones

El motor descrito anteriormente, también puede tener numerosas implementaciones. Por ejemplo, es posible hacer que las válvulas roten de una manera continua en lugar de oscilatoria.

También, de particular interés puede ser el diseño mostrado en la figura 27. En este diseño, el pistón 121 del compresor, y el pistón 122 del expansor, se ubican en un disco oscilante en lugar de en un vástago oscilante, como en diseños anteriores. Los detalles de válvulas y cámaras de combustión no se muestran con detalles significativos en este ejemplo, ya que podrían adoptar diversas formas: cámara(s) de combustión y o válvulas(s) estacionarias u oscilantes o continuamente rotatorias; cámaras de combustión y válvulas podrían ser una, dos o más piezas separadas, etc. También podrían moverse en la dirección perpendicular al plano del pistón en un movimiento en vaivén o incluso en movimientos en vaivén y rotatorio simultáneamente. Lo mismo es cierto para todos los otros diseños que se tratan en esta patente. El gran diámetro interno permite la colocación del PCM dentro de este volumen central.

Diseño de pistón de anchura constante

Una implementación preferida del motor HCCE se muestra en las figuras 28 a 33. Se basa en un triángulo de Reuleaux (modificado) en forma de pistón, similar al que se usa en un motor Wankel (rotatorio), por lo que tiene cierta similitud con él, pero se construye sobre los objetivos de diseño esbozados en la sección “Estructura General de un Motor HCCE” anterior y, por lo tanto, funciona en un ciclo termodinámico diferente y principio mecánico diferente.

Haciendo referencia a las figuras 28 y 29, en un ejemplo, el PGM 100 del motor incluye:

- Cuerpo de compresor 130, que aloja cámaras de combustión 133 y 134, pistón 121 del compresor, y vástagos de impulsión 127, y 128. Tiene, opcionalmente, lumbreras de admisión de aire 141 y 142 (o válvulas de aire/escape), y también puede contener canales especiales que podrían entregar combustible gaseoso o líquido and/o agua líquida directamente a las cámaras de combustión, cuando una cámara de este tipo se orienta con dichos canales. La cavidad dentro del cuerpo de compresor 130, que aloja el pistón 121 del compresor, es definida por la intersección de dos arcos con centro en el vástago de impulsión superior 127 y el vástago de impulsión inferior, 128. El radio del arco es igual al radio grande del pistón 121 del compresor, (véase más adelante) más, opcionalmente, holgura muy pequeña. Los arcos se filetean con un radio igual al radio pequeño del pistón (véase más adelante) más, opcionalmente, holgura muy pequeña. El cuerpo de

compresor 130, contiene aberturas que conectan la cavidad, que aloja el pistón del compresor con orificios cilíndricos, que alojan cámaras de combustión (133 y 134).

- El cuerpo de expansor 170, que aloja cámaras de combustión 133 y 134, pistón 122 del expansor, y vástagos de impulsión 127, y 128. Tiene, opcionalmente, lumbreras de escape 143 y 144 (o válvulas de aire/escape), y también puede contener canales especiales que podrían entregar combustible gaseoso o líquido and/o agua líquida directamente a las cámaras de combustión, cuando una cámara de este tipo se orienta con dichos canales. La cavidad dentro del cuerpo de expansor 170, que aloja el pistón 122 del expansor, es definida por la intersección de dos arcos con centro en el vástago de impulsión superior 127 y el vástago de impulsión inferior, 128. El radio del arco es igual al radio grande del pistón 122 del expansor, (véase más adelante) más, opcionalmente, holgura muy pequeña. Los arcos se filetean con un radio igual al radio pequeño del pistón (véase más adelante) más, opcionalmente, holgura muy pequeña. Cuerpo de expansor 170, contiene aberturas que conectan la cavidad, que aloja el pistón del expansor con orificios cilíndricos, que alojan cámaras de combustión (133 y 134).

- Separador 140. Cabe señalar que cuerpo de compresor 130, cuerpo de expansor 170 y separador 140, se podrían fabricar como un único cuerpo.

- Cubierta de compresor 110, que puede alojar todo o parte del PCM (no se muestra);

- Cubierta de expansor 180, que puede alojar todo o parte del PCM (no se muestra);

- Dos cámaras de compresión, 131 y 132, formadas por espacio entre cuerpo de compresor, 130, pistón 121 del compresor, separador, 140, y cubierta de compresor, 110;

- Dos cámaras de expansor 171 y 172, formadas por espacio entre cuerpo de expansor 170, pistón 122 del expansor, separador, 140, y cubierta de expansor, 180;

- Un pistón de compresor 121 - un cuerpo sólido, o, opcionalmente, un cuerpo sólido rodeado en conjunto o en parte por un líquido; dicho pistón de compresor 121 se mueve dentro del cuerpo de compresor 130, y separa la cavidad de aire en cámara de compresión 131 y cámara de compresión 132. Las superficies exterior y preferiblemente interior de este pistón se derivan de la siguiente manera: empezando con un triángulo equilátero, se dibujan tres círculos del mismo diámetro (relativamente pequeño), donde cada círculo está centrado en cada esquina. Se dibujan tres arcos más grandes centrados en cada esquina de modo que los arcos más grandes sean tangenciales a cualquier pareja dada de los círculos pequeños. Las curvas exteriores de la forma resultante consisten en 6 arcos, y tienen la forma de nuestro pistón. La forma resultante es similar a un triángulo de Reuleaux, como se usa en el motor Wankel, pero con ápices redondeados. El pistón construido de esta manera tiene anchura constante, definido como cuerda dibujada entre arcos opuestos grande y pequeño y que pasa a través del centro de estos arcos. La superficie curvada interna de un pistón puede tener tres segmentos de engranaje. No están conectados entre sí, y en el trascurso de la rotación de pistón alrededor de os vástagos de impulsión, únicamente un segmento se acopla totalmente con un engranaje de uno de los vástagos de impulsión. Únicamente al final del desplazamiento de pistón del compresor ambos vástagos de impulsión se acoplan parcialmente con dos segmentos de engranaje. El movimiento de este pistón dentro de la cámara de combustión se puede describir como rotaciones consecutivas alrededor de dos ejes definidos por los vástagos de impulsión. Las maneras alternativas (sin generar segmentos) pueden incluir surcos y levas o ser similares a los medios impulsores del motor Wankel.

- El pistón de expansor 122 se construye de una manera similar al pistón de compresor descrito anteriormente, excepto que se ubica dentro del cuerpo de expansión 170.

- Los vástagos de impulsión superior e inferior 127 y 128, se acoplan a segmentos de engranaje tanto de pistón 121 del compresor como de pistón 122 del expansor. En el caso más simple, cuando ambos pistones se mueven en fase, los engranajes de piñón de los vástagos de impulsión son sincrónicos, entre sí, es decir, se acoplan mecánicamente. Si los pistones se mueven fuera de fase, como se explicará más adelante, los engranajes que funcionan en el lado de compresor del motor podrían ser impulsados por separado de los engranajes que funcionan en el lado de expansor.

- Las lumbreras de admisión de aire 141 son solo ventanas dentro del cuerpo de compresor 130 y/o dentro de la cubierta de compresor 110.

- Las lumbreras de escape 143 y 144 son solo ventanas dentro del cuerpo de expansor 170 y/o dentro de la cubierta de expansor 180. Opcionalmente, se podrían conectar con el ERS.

- Líquido (agua) puede llenar parcial o completamente el espacio interior de pistón 121 del compresor y/o del pistón 122 del expansor.

Dependiendo de la posición del pistón de compresión 121, el volumen de las cámaras de compresión V_{131} y V_{132} varía desde el $V_{Admisión}$, durante la fase inicial de la carrera de admisión, a cero al final de la carrera de admisión. Los

volúmenes de las cámaras de compresión V_{131} y V_{132} son complementarios, es decir, $V_{131} + V_{132} = V_{Admisión}$.

De manera similar, dependiendo de la posición del pistón de expansión 122, el volumen de las cámaras de expansión V_{171} y V_{172} varía del V_{Escape}, durante la fase inicial de la carrera de escape, a cero. Los volúmenes de las cámaras de expansión V_{171} y V_{172} son complementarios, es decir, $V_{171}+ V_{172} = V_{Escape}$.

Cabe señalar que, como el pistón no tiene que ser cilíndrico, la relación de V_{Escape} a $V_{Admisión}$, ajustable por tamaño, forma y grosor del pistón 121 del compresor, y el pistón 122 del expansor, se podría seleccionar de tal manera que la presión de productos de combustión expandidos en el final de la carrera de expansión esté cerca de la atmosférica.

Funcionamiento

A pesar de un diseño con aspecto diferente, este motor funciona de una manera similar a los motores descritos previamente. Los detalles del funcionamiento son de la siguiente manera.

Se empieza la descripción de este funcionamiento del motor mirando al lado del expansor (figura 29 b)) en la posición donde el pistón 122 del expansor, se está moviendo en sentido horario. El pistón de expansión es impulsado por presión ejercida por productos de combustión. Estos productos se expanden a la cámara de expansión 172 desde la cámara de combustión 134, a través del canal que conecta la cámara de expansión con las cámaras de combustión.

Al mismo tiempo, el pistón 122 del expansor empuja los gases ya expandidos afuera de la cámara 171, a través de la lumbrera de escape, 144.

En el caso más simple, ambos pistones se mueven en fase (sus superficies curvadas son concéntricas). Por lo tanto el pistón 121 del compresor, (figura 29 a)), se mueve en la misma dirección que el pistón del expansor (sin embargo, como estamos mirando ahora al lado de compresor, la rotación del pistón es en sentido antihorario). Al hacerlo, comprime el aire ubicado en la cámara de compresión 131, e introduce aire adentro de la cámara de compresión 132.

En casos más complejos, los pistones se podrían mover fuera de fase o incluso en sentidos opuestos, si son impulsados por cuatro vástagos acoplados. Este planteamiento da más flexibilidad para diseñar la forma de la cámara de combustión así como la temporización de cuándo ocurre compresión con respecto a cuándo ocurre expansión. Por ejemplo, es ventajoso empezar la expansión más cerca del final de la carrera de compresión, cuando más par se requiere y está disponible. Esto mitigará los requisitos de volante de inercia, o incluso eliminarlos todos.

Volviendo al funcionamiento en fase de los pistones, las cuatro cámaras de motor están experimentando cuatro carreras diferentes:

Cámara de compresión 131 - carrera de compresión;

Cámara de compresión 132 - carrera de admisión;

Cámara de expansor 171 - carrera de escape;

Cámara de expansor 172 - carrera de expansión.

Estas carreras se completarán cuando ambos pistones lleguen simultáneamente a sus puntos extremos de la carrera. El grado de rotación angular de los pistones, en este caso, es controlado por el vástago de impulsión y segmentos de engranaje en los pistones en lugar de por el PCM, como en otros diseños. En esta posición tanto vástago de impulsión superior, 127 como vástago de impulsión inferior, 128, deben parar momentáneamente.

A diferencia de nuestros otros diseños, las cámaras de combustión, 133, y 134 experimentan rotación continua, preferiblemente a velocidad constante. Al final de la carrera, la cámara de combustión en la que se estaba comprimiendo aire se debe rotar a la posición de “cierre”, es decir, la cavidad de cámara de combustión se desconecta del espacio de compresión. En caso de diseño en fase es preferible tener al menos dos cavidades dentro de cada cámara de combustión, para que cuando la cavidad en la que se está comprimiendo aire es rotada a la posición de “cierre”, la segunda cavidad es rotada a la posición de “apertura” para el pistón 122 del expansor, exponiendo el último a productos de combustión a alta presión. En este escenario, el pistón no tiene que estar estacionario ningún tiempo - simplemente tiene que intercambiar el eje de rotación y mantearse rotando en el mismo sentido direccional.

Únicamente será necesaria una cavidad si se usa diseño fuera de fase, ya que hay abundante tiempo para que la cavidad llegue a la cámara de expansión, mientras el pistón 122 del expansor, llega a la posición de final de la carrera para esta cavidad.

Mientras las cámaras de combustión, 133 y 134, rotan, pasan a través de la cavidad de combustible (no se muestra) dentro del cuerpo de compresor, 130, que contiene combustible gaseoso a baja presión. Canales pequeños adicionales en las cámaras de combustión, 133 y 134, actúan como conducto de gas para rellenar la cavidad de combustible. El cuerpo de cámara de combustión sirve como válvula de cierre para el “gas principal”.

Se mezcla aire caliente, debido a la compresión, con el combustible gaseoso y como su temperatura es superior a la

temperatura de autoencendido del combustible, ocurre una combustión espontánea. Opcionalmente, se podría insertar agua en la cámara de combustión (antes, durante o después de la combustión) rellenando el espacio de canal conector entre la cámara de combustión y la cámara de expansión con agua (no se muestra) lo que podría ayudar a reducir momentáneamente pérdidas relacionadas con el tamaño inicial pequeño de abertura entre cámara de combustión y cuerpo de expansor, 170. Las pérdidas - en forma de calor - se convertirían en vapor de agua adicional, y esta energía será recuperada durante el ciclo de expansión.

La rotación de las cámaras de combustión, 133 y 134, tarda lo suficiente como para que ocurra combustión completa. Tras la pausa momentánea, cada pistón continúa su rotación alrededor del vástago de impulsión correspondiente: es decir, si el movimiento antes de la parada era alrededor del vástago de impulsión superior, 127, se continuará, pero esta vez alrededor del vástago de impulsión inferior, 128. Obsérvese que la combustión, y por lo tanto la expansión, ocurren en cada “giro” de los pistones.

Implementaciones del HCCE descrito anteriormente dan como resultado los siguientes beneficios:

- Comprimir aire, en lugar de mezcla de aire/combustible, permite una relación de compresión muy alta (15 a 30+). Se introduce combustible por separado en la cámara de combustión.
- Opcionalmente inyectar agua en una cámara de compresión (131 o 132) durante la carrera de compresión reduce el trabajo necesario para comprimir el aire y acerca el proceso a compresión isotérmica.
- Una cámara separada de combustión de volumen constante permite una combustión isocórica. Si se añade agua a la cámara de combustión antes de que se complete la combustión, entonces, la combustión ocurrirá en condición de volumen reducido (debido al agua en evaporación), que es incluso más eficiente que la combustión isocórica. Esta agua también reduce la temperatura de los gases en la cámara de combustión, lo que reduce los niveles de emisión de NOx, y permite usar materiales de menor grado para la construcción del motor.
- Hay presión adicional durante la expansión, debido al vapor de agua formado durante los procesos de combustión y expansión.
- La presión de escape es baja porque el volumen de expansión es más grande, de 2 a 5 veces el volumen de admisión, lo que se consigue fácilmente porque el expansor está separado del compresor.
- El sistema de recuperación de energía se puede implementar como se ha descrito anteriormente.

Modificaciones

Además de cambios triviales en forma o hechura de diversos elementos, hay otras modificaciones que pueden tener interés práctico. Hay numerosas maneras de impulsar pistones.

También, de particular interés puede ser el diseño mostrado en la figura 32. Aquí el cuerpo de compresor, 130, puede tener protuberancias 111, adentro de la cámara de compresión, mostrada en la figura 32. Como alternativa, esta protuberancia se puede ubicar en la cubierta de compresor, 110. Esta protuberancia no interfiere con el pistón 121 del compresor, durante el curso de su movimiento. Se podría usar para alojar diversos elemento(s) adicional(es), tales como, pero sin limitación:

- Vástagos adicionales que pueden ir a través de la protuberancia para proporcionar movimiento independiente al pistón 121 del compresor y el pistón 122 del expansor;
- Intercambiador de calor para retirar el calor del compresor. El agua que puede ser contenida en el espacio entre el pistón 121 del compresor, y protuberancia, 111, fluiría a través de este tipo de intercambiador de calor impulsada por el movimiento del pistón;
- Bomba de agua - de manera similar a la anterior, pero sin intercambiador de calor;
- Un compresor de freón, para sistema de acondicionamiento de aire. El freón llenaría el espacio entre el pistón 121 del compresor, y protuberancia, 111, y sería impulsado por el movimiento del pistón. La protuberancia se puede hacer con válvulas fluídicas que garantizarían flujo en un sentido del freón; y
- Un compresor de aire - de manera similar al compresor de freón anterior, pero para compresión de aire. Se podría usar como compresor de aire autónomo o como turbocargador para compresión previa del aire si se desea relación de compresión variable.

De manera similar, el cuerpo de expansor, 170, o la cubierta de expansor, 180, puede tener una protuberancia para las mismas o diferentes finalidades que la protuberancia para el cuerpo de compresor.

Otra modificación está relacionada con varias maneras con las que el mecanismo(s) de impulsión permite(n) que rotores/pistones perpetren el movimiento requerido. Se pueden emplear mecanismos de engrane no circular o

combinaciones engranaje/leva conocidos en la industria [3] para ralentizar el rotor en el final de la carrera y para acelerarlo al comienzo de la siguiente carrera.

Un ejemplo diferente, que emplea levas únicamente se muestra en la figura 33. En este diseño, el rotor tiene tres seguidores de leva, que se montan sobre la superficie de una leva. Es posible implementar la impulsión positiva (es decir, la posición de la leva define totalmente la posición del rotor) con una única, doble o triple leva. Para única leva, los seguidores de leva se deben ubicar dentro del triángulo equilátero.

El rotor, como en el diseño anterior puede discurrir sobre un apoyo de guía o, como alternativa, puede discurrir sin ellos, en cuyo caso el alojamiento del motor servirá como guía. Estos pueden ser otras muchas configuraciones, que utilizan disposiciones de leva y rodillo. Por ejemplo, la superficie interna del rotor se podría usar como leva, mientras los rodillos se montan sobre placa o brazo rotatorios.

Diseño de cámara de anchura constante

Otro ejemplo de HCCE, se muestra en las figuras 36-40. Esta vez, el triángulo de Reuleaux modificado se usa como configuración de cuerpo del motor, lado de compresión y lado de expansión. La figura 38 demuestra la geometría del motor y el pistón. El pistón es de diseño de dos lóbulos, donde dos arcos son iguales a arcos pequeños que forman el triángulo de Reuleaux modificado, mientras que arcos grandes son iguales a arcos grandes que forman el triángulo de Reuleaux modificado. La distancia entre centros de arco pequeño es igual al lado del triángulo equilátero en el que se construye el triángulo de Reuleaux modificado. El pistón es impulsado por los rodillos ubicados en los cigüeñales, 191. Ambos cigüeñales que impulsan el pistón 121 del compresor, y el pistón 122 del expansor, se podrían acoplar mecánicamente, de modo que los pistones pueden mantener relación constante entre sí. El pistón rota consecutivamente alrededor de tres puntos que forman la base del triángulo de Reuleaux modificado.

Cabe señalar que el pistón 122 del expansor, puede tener un tamaño más grande (triángulo de Reuleaux modificado más grande) que el pistón 121 del compresor. Esto significa que si se ubica la cámara de combustión fija dentro de la esquina del separador, 140, y se equipa con válvulas de aire de una vía, y si el pistón 122 del expansor, están fuera de fase 60 grados, dicho pistón del expansor cerraría la salida de dicha cámara de combustión y serviría como la propia válvula. Si entonces se usan válvulas de aire de una vía en la cubierta de compresor, 110, entonces se debe construir únicamente una válvula para escape.

La figura 39 muestra una modificación de este diseño, en el que hay tres válvulas de aire/escape. Obsérvese que en esta figura no se muestran lumbreras de admisión de aire o de escape. Cabe señalar que el volumen de admisión a volumen total de motor es el más alto entre las configuraciones tratadas hasta ahora y como el motor en esta configuración “disparará” tres veces por revolución equivalente del vástago de salida, se espera que la densidad de potencia sea muy alta.

Finalmente, con respecto a esta modificación, se debe indicar que son posibles muchas combinaciones diferentes de la configuración de pistón de anchura constante con configuración de cámara de anchura constante y pueden producir propiedades útiles.

Diseño de pistones en tijera

Finalmente, se describirá una realización que permite al HCCE ejecutar el ciclo requerido con configuración conocida en la industria como “tijera” o “gato y ratón”.

La idea básica detrás de este planteamiento se muestra esquemáticamente en la figura 41. En esta configuración hay dos parejas de pistones; cada pareja consiste en un pistón de compresor y un pistón de expansor, que se acoplan mecánicamente de modo que la pareja rota como un objeto. También hay una placa separadora entre lado de compresor y lado de expansor; esta placa contiene una cavidad de cámara de combustión. Tres mecanismos de impulsión independientes impulsan dos parejas de pistones y la placa separadora (no se muestra por claridad). El alojamiento contiene lumbreras fijas de admisión y de escape y lumbrera de combustible (ninguna de ellas se muestran por claridad). El compresor comprime el aire delante del pistón en movimiento mientras simultáneamente se induce al aire a través de lumbrera de admisión para disparo posterior del pistón. Se comprime aire en una cámara de compresión, que se forma por la cavidad de placa separadora y uno de los pistones de expansor y dos pistones de compresor. (Véase la figura 42, que describe la secuencia de las posiciones de pistón). El combustible se inyecta o introduce entonces en él y comienza la combustión y procede hasta terminar. Mientras tanto la placa separadora se desplaza hacia delante y se ubica ahora entre un pistón de compresor y dos pistones de expansores. Cuando se completa la combustión a volumen constante, comienza el ciclo de expansión.

Es posible construir el HCCE para que ejecute el ciclo requerido sin necesidad de una cámara de combustión rotatoria autónoma con un diseño “único nivel” (no se muestra) en el que una pareja de pistones se mueve en configuración en “tijera”. La separación mínima entre los pistones o la cavidad dentro de uno o ambos pistones forma una cámara de combustión de volumen constante. El volumen de expansión podría ser el mismo o, preferiblemente más grande que el volumen de admisión, así se implementan todos los elementos del ciclo. Como apreciarán los expertos, el mecanismo de impulsión para estas dos variaciones se podría construir usando engranajes planetarios no circulares

o engranajes planetarios circulares y levas conocidos en la técnica.

Algunas otras modificaciones aplicables a muchas configuraciones de diseño, u otras aplicaciones de geometrías de diseño tratadas anteriormente son:

- El sistema se podría construir apilando varios motores juntos (“configuración multi-cilindro”) añadiendo compresores/expansores adicionales con pistones correspondientes. Los “cilindros” de este tipo de sistema se podría conectar por medio de embrague electromagnético o mecánico y se podría encender/apagar si se requiere más/menos potencia;

- Compresores o bombas se podrían construir sobre la base de mecanismos tratados anteriormente. Se podrían usar en aplicaciones autónomas o podrían ser impulsados por el motor en cuestión. Una configuración particularmente útil de compresor de refrigerante se podría construir usando el mismo planteamiento que el usado en diseño de pistón de anchura constante utilizando ambos compresor y expansor: el compresor comprimiría un refrigerante gaseoso y después el refrigerante es enfriado por un intercambiador de calor externo, sería expandido y enfriado en el expansor - devolviendo una parte significativa de la energía gastada en comprimir nuevamente al sistema. Un sistema de este tipo puede ser particularmente aplicable para dióxido de carbono ya que se puede extraer un montón de energía durante la expansión de este refrigerante.

- El cuerpo de compresor 130 y el cuerpo de expansor 170, se podrían hacer de una pieza sólida, o como alternativa de, digamos, insertos cerámicos de poca fricción, alojados por un bastidor de aluminio, pistones del compresor y del expansor, teóricamente, incluso no tocar nunca el cuerpo de compresor 130 o cuerpo de expansor 170, para que no haya preocupaciones por agrietamiento de la cerámica con el impacto.

- El diseño de los motores descritos anteriormente (es decir, compresor → cámara de combustión → expansor) puede ser adecuado para motores convencionales tipo rotatorio, ya que ayuda a resolver el problema con el sellado del ápice en un pistón triangular empleado en tales motores y puede aumentar la densidad de potencia de tales motores.

- Para el diseño de motor se podrían usar otras configuraciones de anchura constante o anchura casi constante, tales como pistón de (n+1) engranajes internos en estrella como forma para cuerpos de compresor y cuerpo de expansor (Gerotor).

- Como el pistón 121 del compresor y el pistón 122 del expansor podrían funcionar fuera de fase, es posible que el pistón 121 del compresor funcione al doble o el triple de la velocidad del pistón 122 del expansor. Si la cámara de combustión está equipada con válvulas de aire de una vía 135 y 136, y el volumen del espacio de cámara de combustión es controlable, añadiendo más o menos agua en él o mediante algunos otros medios, o si se usa almacenamiento intermedio pequeño de aire, es posible controlar eficazmente la salida de potencia (dejando parte de la eficiencia ya que no se satisfará la condición # 5, sección “HCCE Mejoras”), doblando o triplicando el volumen de admisión.

- El diseño se puede invertir: El cuerpo se convierte en triángulo de Reuleaux modificado (que ahora se le llama pistón) y el pistón se convierte en lo que se llama cuerpo. Esto se muestra esquemáticamente en la figura 34. Vale la pena señalar que el efecto neto del movimiento del pistón alrededor del cuerpo estacionario es como si el pistón rodara alrededor de tres rodillos (#1, #2, y #3). En este caso el cuerpo ejecuta tres rotaciones consecutivas alrededor de tres puntos de centro diferentes, ubicados en el centro del triángulo de Reuleaux, como se indica en la figura 34 b).

- Cuando estén disponibles superimanes de alta temperatura, que están en desarrollo en muchas empresas, el cuerpo de los pistones podrá llevar los superimanes incrustados, véase la figura 40. Estos superimanes se podrían acoplar directamente a una máquina generadora eléctrica, que necesitará tener devanado que corresponda a la geometría de los pistones y/o del cuerpo del motor. Si se implementa esto, no habrá necesidad de PCM para aplicaciones que generen electricidad en lugar de movimiento mecánico. Esto podría probar ser especialmente útil para micromotores, que se podrían usar como fuente de alimentación para ordenadores portátiles, teléfonos móviles, etc. Este acoplamiento magnético también se podría aplicar a todas las modificaciones de HCCE, descritas en esta memoria.

- Los motores de ciclo Briton podrían usar la geometría de la configuración de pistón de anchura constante o la configuración de cámara de anchura constante, o ambas. En este caso la cámara de combustión está completamente separada de compresor y expansor e intercambiador de calor que precaliente el aire comprimido antes de que entre a la cámara de combustión, junto con ERS podría mejorar aún más la eficiencia.

- Los motores Wankel estándar podrían usar la configuración de pistón de anchura constante para resolver el problema de sellado y eficiencia debido a una combustión incompleta.

- Finalmente, se puede usar geometría de triángulo de Reuleaux modificado en dispositivos distintos a motores,

bombas y compresores. Por ejemplo, una “rueda triangular” que rota alrededor de dos centros se muestra en la figura 35. Está claro que si se permite a engranajes verticales, conectados al bastidor del vehículo, moverse con dos velocidades diferentes, la rueda se moverá sobre la superficie horizontal con velocidad constante. La ventaja de esta rueda es que es equivalente en prestaciones a una rueda de casi del doble de su tamaño. Al mismo tiempo sobre terrenos desiguales este tipo de rueda tendrá capacidades avanzadas en “todos terrenos”.

Cuestiones adicionales

A fin de permitir una implementación exitosa del HCCE - es útil abordar varias cuestiones técnicas relativas a la dinámica de combustión y el sellado de los pistones y las cámaras de combustión. Estas cuestiones pueden surgir y ser abordadas para diferentes realizaciones de los motores tratados anteriormente.

Dinámica de combustión

La introducción de combustible, cuando aire comprimido caliente “se encuentra” a combustible estacionario puede presentar un desafío desde el punto de vista de la dinámica de combustión: la mezcla de aire y combustible, ubicada en la pared del alojamiento, podría necesitar tiempo adicional. Como la cámara de combustión puede rotar a alta velocidad a altas cargas, podría no haber suficiente tiempo para que el aire y el combustible se mezclen apropiadamente. También puede ocurrir un problema similar para inyección de combustible. Para remediar esta situación es posible premezclar aire y combustible antes de la compresión en la proporción, que estará por debajo del límite inferior de inflamabilidad del combustible en aire. Los límites de inflamabilidad son diferentes para combustibles diferentes, pero para gas natural (metano) los límites de inflamabilidad en el aire son típicamente un 5-14 % en volumen. Esto significa que se podría premezclar y comprimir la mezcla de aire y combustible que contiene menos del 5 % (también es función de la presión) en volumen sin posibilidad de que se autoencienda. Se puede inyectar o introducir combustible adicional, por encima del límite inferior de inflamabilidad por medio de medios descritos en otra parte en esta solicitud de patente así como la solicitud internacional número de publicación WO 03/074840.

Sellado de Pistones/Rotores- sellado por diodo fluídico (FDS)

Otra cuestión que se tiene que abordar es el sellado de piezas oscilantes, rotatorias o con rotación-y-vaivén, incluidos los pistones y las cámaras de combustión. Potencialmente se podría usar un sellado de tipo cerámico usado en motores Wankel para aplicación en HCCE. A diferencia del Wankel, debido a la geometría del motor HCCE, los sellados no tienen necesariamente que ser ubicados dentro de los ápices de los rotores, sino que se podrían ubicar en posición estacionaria cerca de las lumbreras de admisión/escape.

Además de esto, como el rotor del HCCE, basado en geometría Reuleaux modificada, realmente nunca tiene que tocar el alojamiento, una holgura muy pequeña - del orden de 0,0254 mm (0,001”) - se puede permitir entre el rotor y el alojamiento. La fuga asociada con esta holgura será pequeña, especialmente a altas RPM de motor. En este planteamiento puede no ser necesario en absoluto un sellado.

Finalmente, incluso esta pequeña fuga se puede reducir significativamente aplicando un concepto de diodo fluídico para fines de sellar. Para esta finalidad se puede usar diodo Tesla o cualquier otra configuración adecuada de diodo fluídico. Los diodos fluídicos como se usan actualmente en la práctica son canales estacionarios de forma especial que crean una caída de presión significativa para el fluido que fluye en una dirección, mientras que tiene caída de presión muy pequeña cuando el fluido fluye en sentido opuesto. La relación de caída de presión cuando el fluido fluye en una dirección a una caída de presión cuando el fluido fluye en sentido opuesto, llamada “diodicidad” del diodo fluídico, puede llegar al nivel de 5 a 10.

Como se muestra en las figuras 43 a) y b), diodos fluídicos de la técnica anterior se forman haciendo un canal hecho de una superficie de pared lisa, mientras otra pared tiene una forma o una característica que crea área local de alta presión, pero únicamente cuando el fluido fluye en una dirección. La figura 43 a) manifiesta condiciones cuando la resistencia a seguir es mínima mientras en la figura 43b) la resistencia es grande debido a la dinámica local del flujo.

Ahora se aplicará el concepto de diodo fluídico para reducir la fuga entre dos cuerpos que tienen un canal formado por la pequeña holgura entre ellos. Si dos cuerpos están en movimiento colineal relativamente entre sí, como se muestra en la figura 43 c - e) y uno o ambos de estos cuerpos tienen características que crean localmente alta presión para flujo que se mueve en una dirección (flujo de fuga), este tipo de característica actuará como sellado dinámico con potencial para disminuir la fuga 5 a 10 veces.

Además el concepto de sellado por diodo fluídico (FDS) se puede mejorar incluso aún más si canales de los diodos fluídicos se rellenan con líquido que fluye a través del diodo fluídico en la dirección aproximadamente perpendicular al movimiento relativo de dos cuerpos que se están sellando. En la figura 44 se muestran dos ejemplos de juntas de sellado de diodo fluídico, que, opcionalmente, se podrían rellenar con líquido. La elección de líquido debe ser dictada por el sistema en el que se usa el sello. Por ejemplo en motores descritos en esta solicitud, la elección natural sería usar agua como líquido de sellado. Otro ejemplo sería usar fluido refrigerante en la aplicación en la que se usa triángulo de Reuleaux en forma de pistón como compresor de refrigerante; el FDS se puede aplicar a ambas superficies

curvadas y plana de este tipo de rotor. Todavía otro ejemplo sería usar aceite del motor para implementar un FDS como sustitución de anillos de sellado actualmente usados en todos los pistones en los ICE - un sellado de este tipo no únicamente funcionaría como sellado de gas sino también lubricaría los cilindros, reduciendo la fricción entre cilindro y pistón, y mejorando el enfriamiento del pistón y cilindro.

La figura 45 demuestra diversos ejemplos de FDS que se podrían usar para sellar gases en la cámara de combustión rotatoria para los motores descritos en esta solicitud.

La invención se puede plasmar en otras formas específicas. Las realizaciones anteriores por lo tanto se han de considerar en todos aspectos ilustrativas en lugar de limitativas de la invención descrita en esta memoria. El alcance de la invención se indica así por las reivindicaciones anexas en lugar de por lo anterior.

REIVINDICACIONES

1. Un método para hacer funcionar un motor de combustión interna que comprende un pistón de compresor acoplado mecánicamente a un pistón de expansor y una placa separadora entre el pistón de compresor y el pistón de expansor que contiene una cavidad de cámara de combustión, el método comprende:

(a) introducir un medio de trabajo en una cámara de compresión (131) que define un primer valor de volumen;

(b) reducir de manera controlada el volumen del medio de trabajo por medio del pistón de compresor (121) que es al menos uno de un pistón rotatorio y un pistón que oscila rotatoriamente a fin de comprimir el medio de trabajo a un segundo valor de volumen, el pistón de compresor dispuesto en un alojamiento, el alojamiento incluye la cavidad de cámara de combustión, y el pistón configurado para cubrir una parte de la cavidad de cámara de combustión durante una fase de combustión a fin de formar una cámara de combustión de volumen constante (133);

(c) introducir un combustible en la cavidad de cámara de combustión de modo que el combustible se combina con el medio de trabajo comprimido obteniendo de ese modo una mezcla que define un tercer valor de volumen y provocando de ese modo combustión espontánea de la mezcla en la cámara de combustión de volumen constante durante la fase de combustión para producir un volumen de subproductos de combustión; y

(d) tras la etapa (c) aumentar el volumen de los subproductos de combustión a un cuarto valor de volumen en una fase de expansión, el cuarto valor de volumen supera el primer valor de volumen.

2. El método de la reivindicación 1 en donde la etapa de aumentar el volumen de los subproductos de combustión comprende trasferir los subproductos de combustión a la cámara de expansión (171) que define el cuarto valor de volumen.

3. El método de la reivindicación 1 en donde el medio de trabajo se selecciona del grupo que consiste en aire y mezcla no combustible de aire y medio combustible.

4. El método de la reivindicación 1 en donde la etapa (b) comprende además ajustar la temperatura del medio de trabajo de modo que el medio de trabajo se comprima de manera sustancialmente isotérmica.

5. El método de la reivindicación 4 en donde al menos una de la etapa (b) y la etapa (c) comprende añadir un medio fluido al medio de trabajo.

6. El método de la reivindicación 5 en donde el medio fluido comprende agua.

7. El método de la reivindicación 6, que comprende además, tras la etapa (c), reducir la temperatura de los subproductos de combustión mientras se aumenta el calor de combustión del medio combustible antes de la combinación del mismo con el medio de trabajo comprimido.

8. El método de la reivindicación 1 en donde el segundo valor de volumen es igual al tercer valor de volumen.

9. El método de la reivindicación 8 en donde la etapa (b) comprende además trasferir el medio de trabajo a la cámara de combustión (132) que define el tercer valor de volumen.

10. El método de la reivindicación 9 en donde la etapa (d) comprende añadir un medio fluido al volumen de subproductos de combustión.

11. El método de la reivindicación 10 en donde el medio fluido comprende agua y el medio de trabajo se selecciona del grupo que consiste en aire y una mezcla no combustible de aire y un medio combustible.

12. Un motor de combustión interna que comprende:

(a) un primer alojamiento que define al menos parcialmente una cámara de compresión (131) para reducir el volumen de un medio de trabajo introducido a la misma;

(b) un pistón de compresor (121) que es al menos uno de un pistón rotatorio y pistón que oscila rotatoriamente dispuesto al menos parcialmente dentro de la cámara de compresión (131), el pistón de compresor (121) adaptado para comprimir el medio de trabajo en una cámara de combustión (133);

(c) un segundo alojamiento dispuesto al menos parcialmente dentro del primer alojamiento, en donde una parte del segundo alojamiento y una parte del pistón de compresor definen al menos una cámara de combustión de volumen constante (133), la cámara de combustión en comunicación periódica con la cámara de compresión (131) para recibir el medio de trabajo desde la misma;

(d) unos medios para introducir un medio combustible en la cámara de combustión (133);

(e) un tercer alojamiento que define al menos parcialmente una cámara de expansor (171) en comunicación

periódica con la cámara de combustión (133) para aumentar el volumen de subproductos generados durante la combustión del medio combustible mezclado con el medio de trabajo en la cámara de combustión (133);

(f) un pistón de expansor (122) dispuesto al menos parcialmente dentro de la cámara de expansor (171), el pistón de expansor (122) reacciona contra los subproductos que entran desde la cámara de expansor (171); y,

(g) una placa separadora dispuesta entre el pistón de compresor y el pistón de expansor y que contiene una cavidad de cámara de combustión, en donde el pistón de compresor se configura para cubrir una parte de la cavidad de cámara de combustión durante una fase de combustión a fin de formar la cámara de combustión de volumen constante (133).

13. El motor de la reivindicación 12 en donde el pistón de compresor (121) define al menos dos subcámaras dentro de la cámara de compresión (131), las subcámaras caracterizadas por un volumen variable.

14. El motor de la reivindicación 12 en donde al menos uno del segundo alojamiento y el pistón (121) comprende medios para sellar de manera controlada la cámara de combustión (131).

15. El motor de la reivindicación 12 que comprende además un primer mecanismo de impulsión acoplado mecánicamente al pistón (121).

16. El motor de la reivindicación 12, que comprende además unos medios (137) para introducir un medio fluido en al menos una de la cámara de compresión (131), la cámara de combustión (133) y la cámara de expansor (171).

17. El motor de la reivindicación 16, que comprende además un intercambiador de calor para recuperar el medio fluido de la cámara de expansor (171) y para aumentar el calor de combustión del medio combustible antes de la introducción del mismo a la cámara de combustión (133).

18. El motor de la reivindicación 12 en donde el pistón de expansor (122) define al menos dos subcámaras dentro de la cámara de expansor (171), las subcámaras caracterizadas por un volumen variable.

19. El motor de la reivindicación 12 en donde el pistón de expansor (122) se selecciona del grupo que consiste en un pistón rotatorio y un pistón que oscila rotatoriamente.

20. El motor de la reivindicación 19, que comprende además un segundo mecanismo de impulsión acoplado mecánicamente al pistón de expansor (122).

21. El motor de la reivindicación 12 en donde la placa separadora es rotatoria en relación a al menos uno del primer alojamiento y el tercer alojamiento.

22. El motor de la reivindicación 12 en donde el primer alojamiento y el tercer alojamiento comprenden una estructura de alojamiento unitaria.

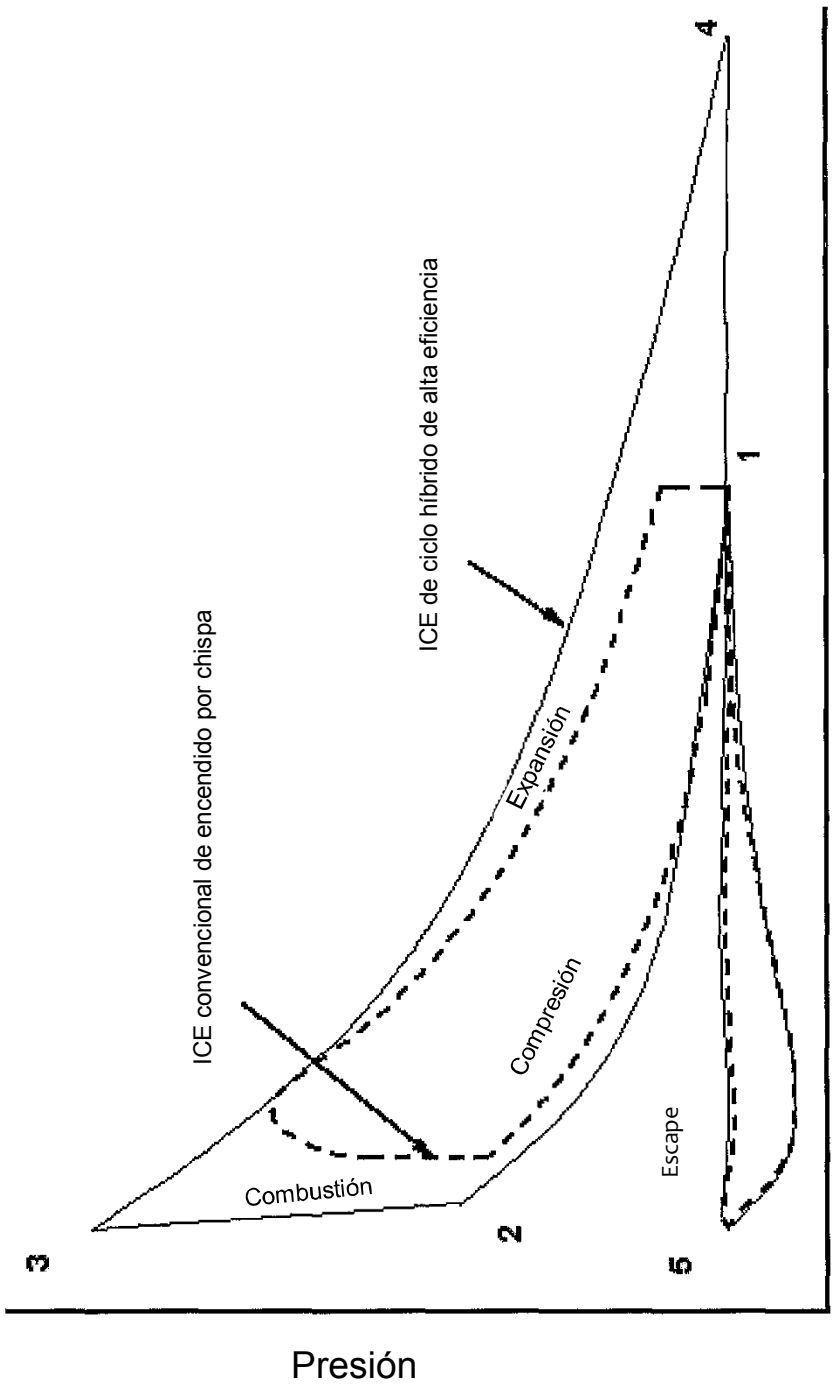

ICE convencional de encendido por chispa
ICE de ciclo híbrido de alta eficiencia
Expansión
Compresión
Combustión
Escape
1
2
3
4
5
Volumen
Presión

Fig . 1

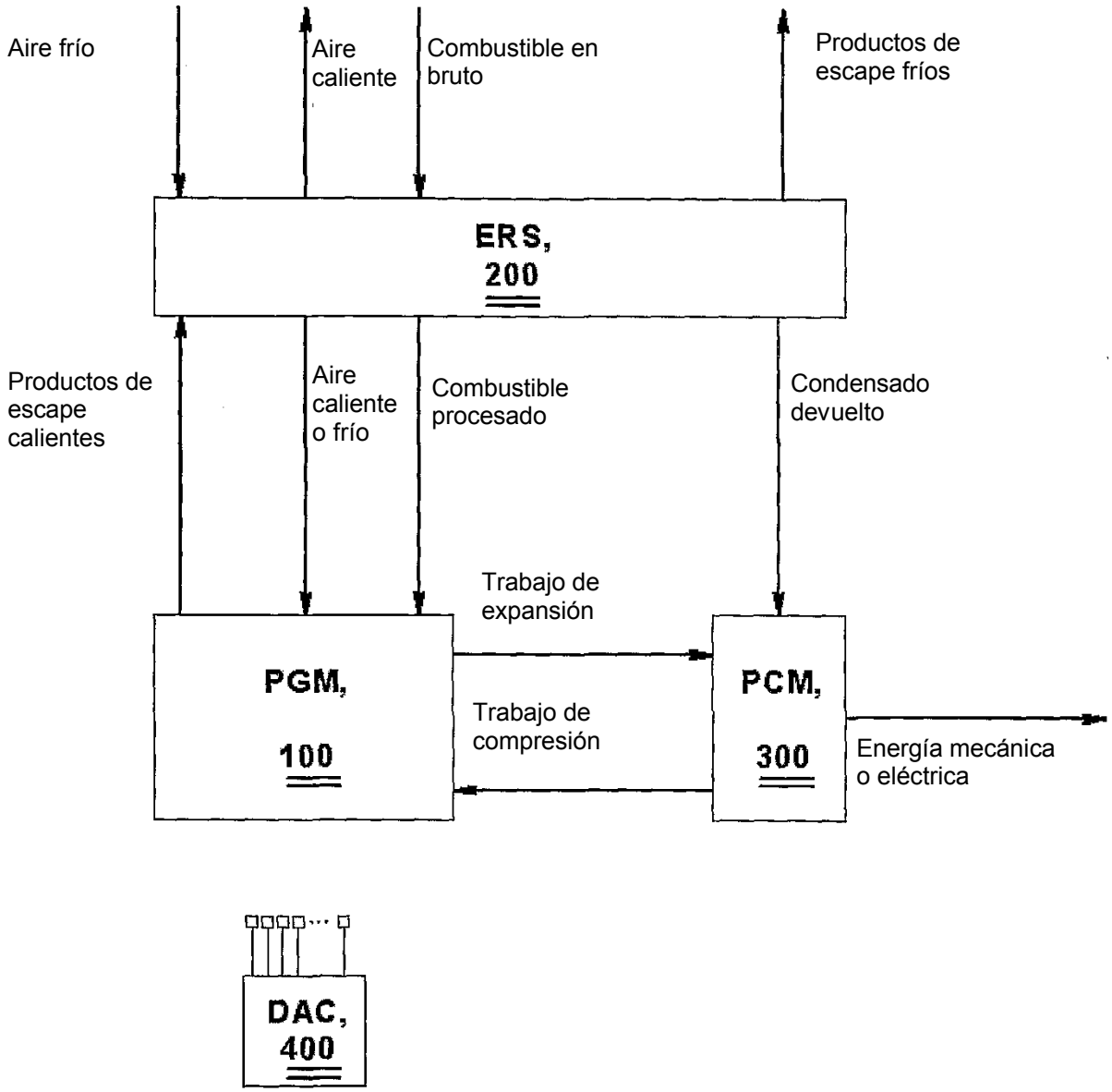

Aire frío
Aire caliente
Combustible en bruto
Productos de escape fríos
ERS, 200
Productos de escape calientes
Aire caliente o frío
Combustible procesado
Condensado devuelto
Trabajo de expansión
PGM, 100
Trabajo de compresión
PCM, 300
Energía mecánica o eléctrica
DAC, 400

Fig. 2

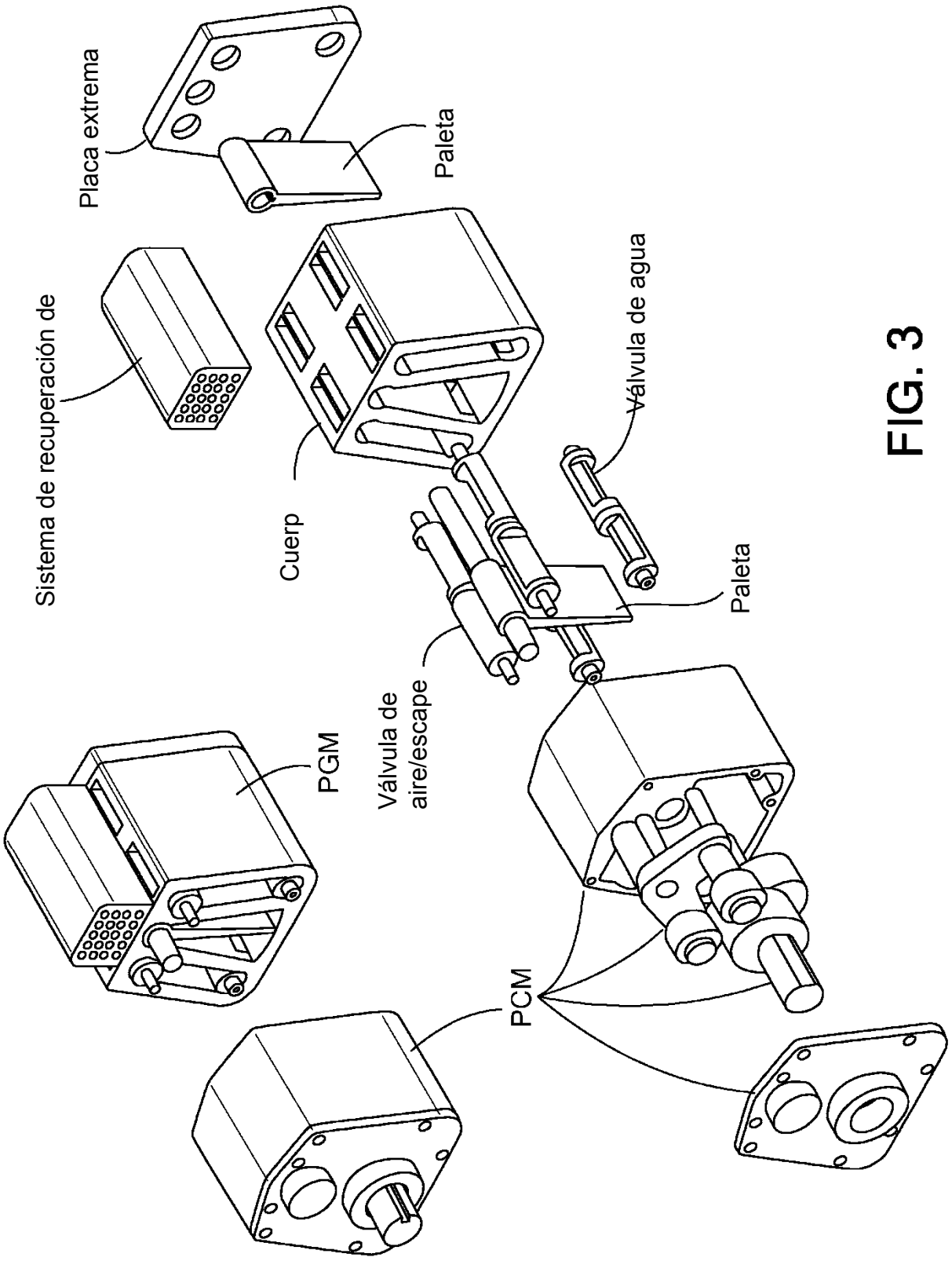

Placa extrema
Paleta
Sistema de recuperación de
Válvula de agua
Cuerp
Paleta
PGM
Válvula de aire/escape
PCM

FIG. 3

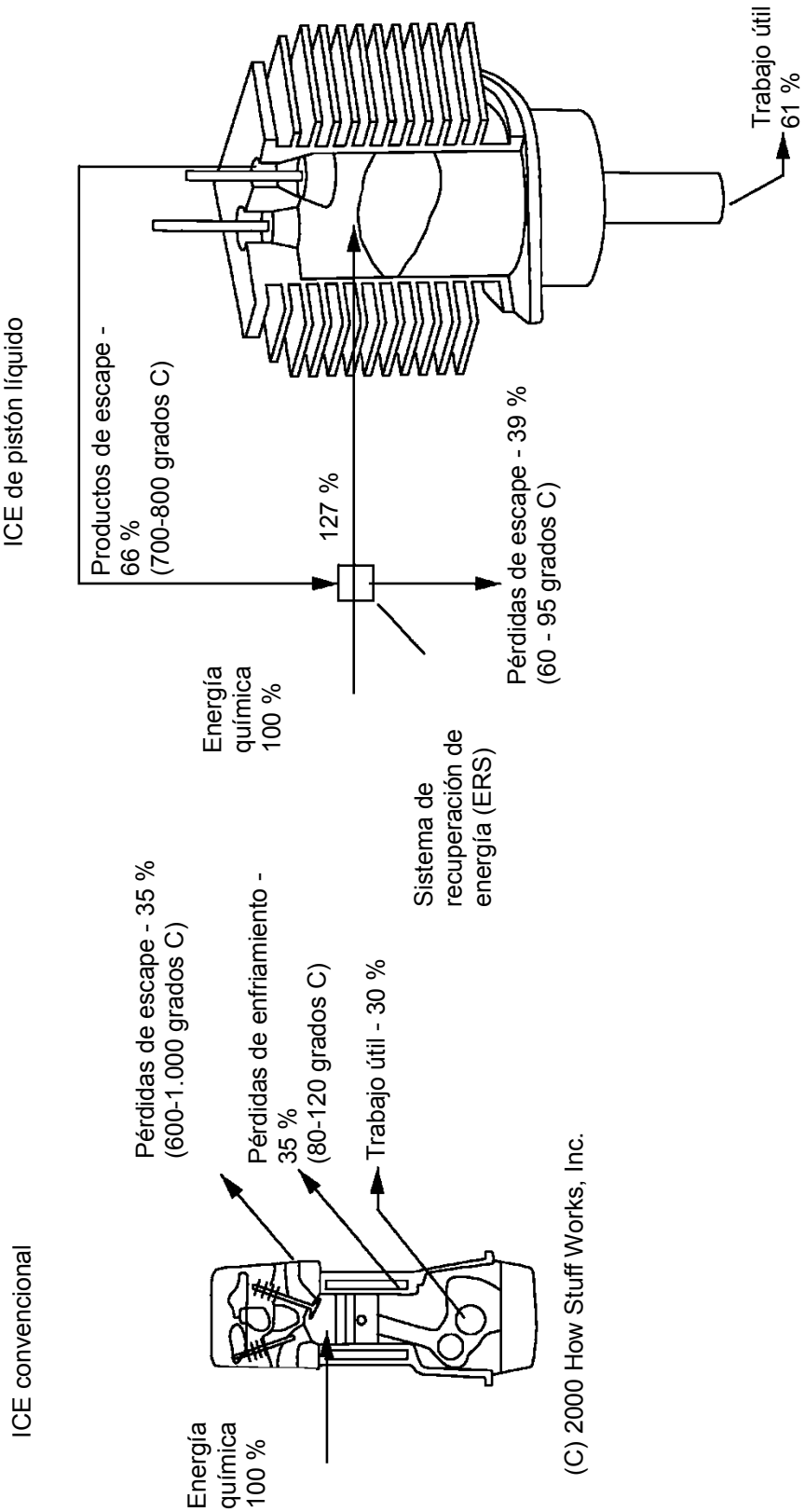

ICE convencional
Energía química 100 %
Pérdidas de escape - 35 % (600-1.000 grados C)
Pérdidas de enfriamiento - 35 % (80-120 grados C)
Trabajo útil - 30 %
(C) 2000 How Stuff Works, Inc.
ICE de pistón líquido
Productos de escape - 66 % (700-800 grados C)
Energía química 100 %
127 %
Sistema de recuperación de energía (ERS)
Pérdidas de escape - 39 % (60 - 95 grados C)
Trabajo útil 61 %

FIG. 4

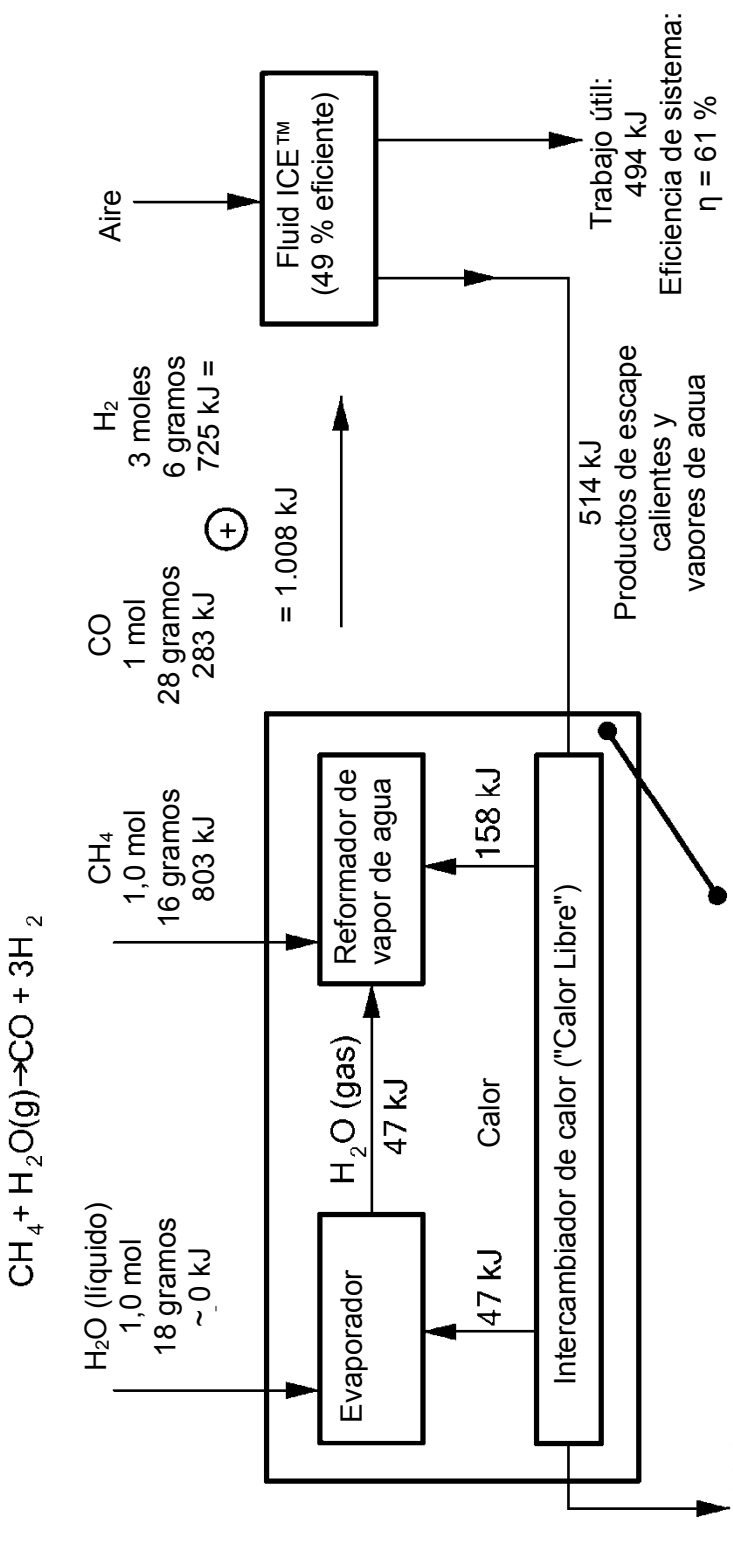

$CH_4 + H_2O(g) \rightarrow CO + 3H_2$
H_2O (líquido)
1,0 mol
18 gramos
~ 0 kJ
CH_4
1,0 mol
16 gramos
803 kJ
CO
1 mol
28 gramos
283 kJ
+
H_2
3 moles
6 gramos
725 kJ =
= 1.008 kJ
Aire
Fluid ICE™
(49 % eficiente)
Trabajo útil:
494 kJ
Eficiencia de sistema:
η = 61 %
514 kJ
Productos de escape
calientes y
vapores de agua
Reformador de
vapor de agua
158 kJ
H_2O (gas)
47 kJ
Calor
Evaporador
47 kJ
Intercambiador de calor ("Calor Libre")
Recuperador termoquímico
309 kJ
Productos de
escape

FIG. 5

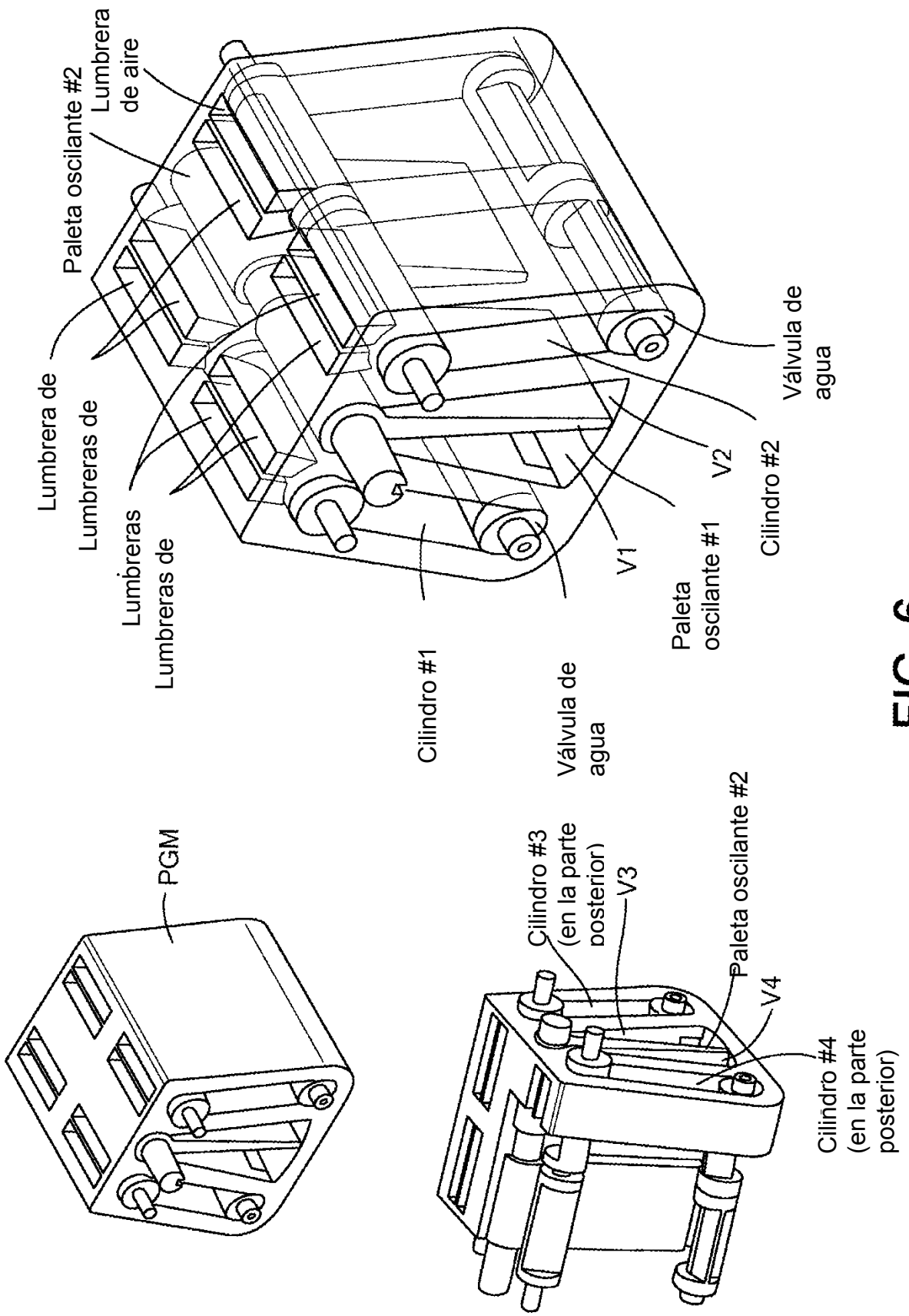

Lumbrera de aire
Paleta oscilante #2
Lumbrera de
Lumbreras de
Lumbreras
Lumbreras de
Cilindro #1
Válvula de agua
V1
Paleta oscilante #1
V2
Cilindro #2
Válvula de agua
PGM
Cilindro #3 (en la parte posterior)
V3
Paleta oscilante #2
V4
Cilindro #4 (en la parte posterior)

FIG. 6

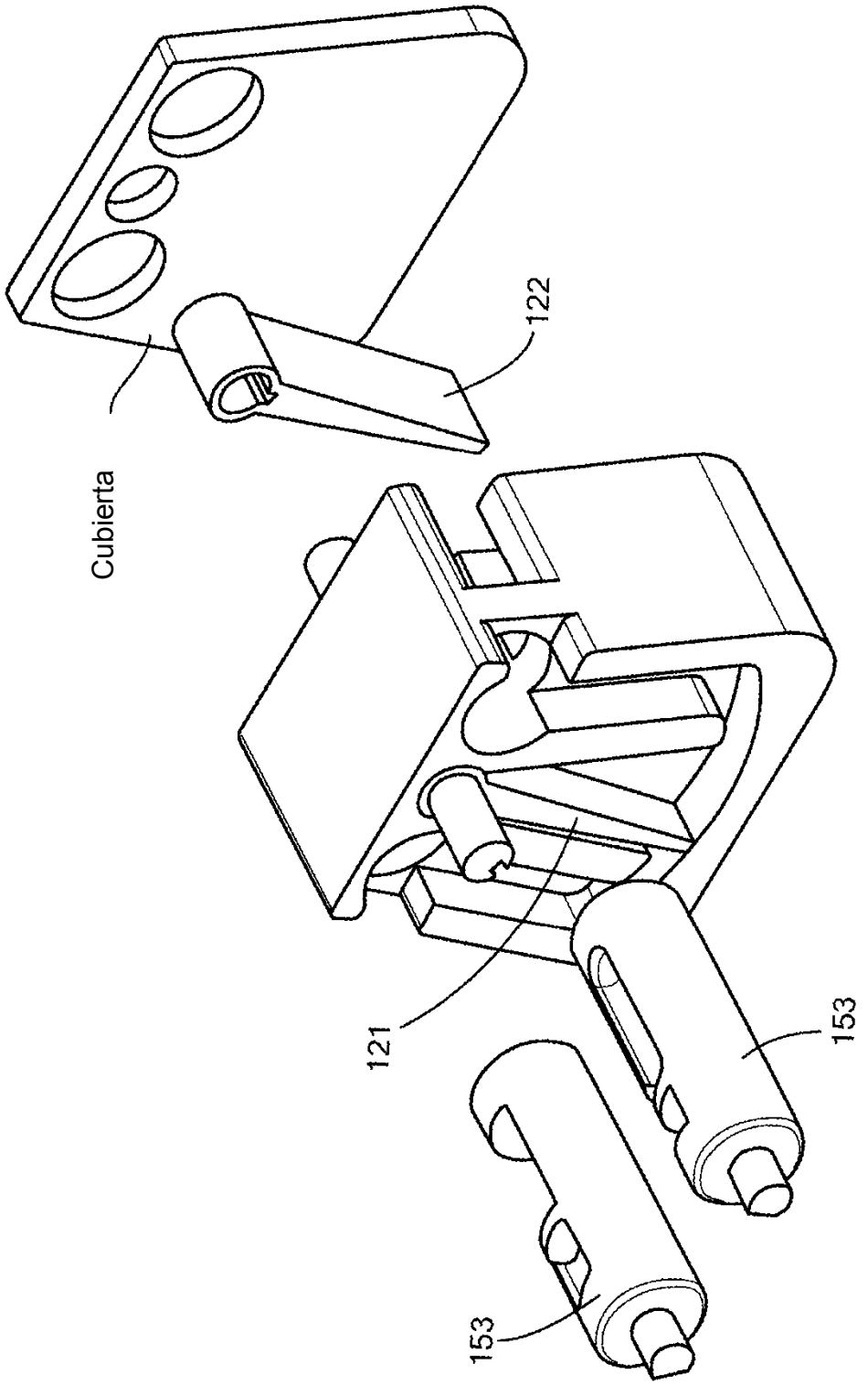


FIG. 7

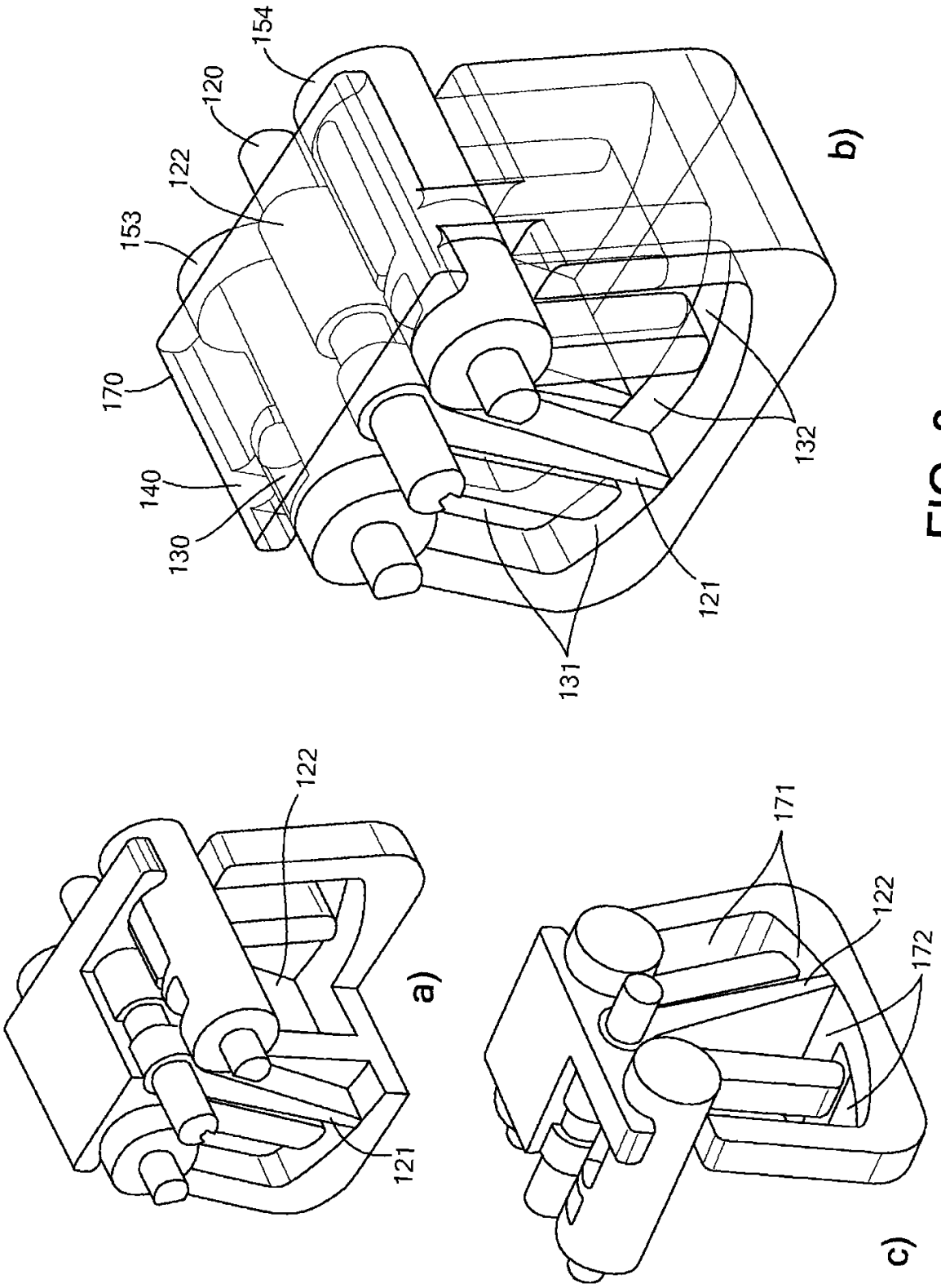


FIG. 8

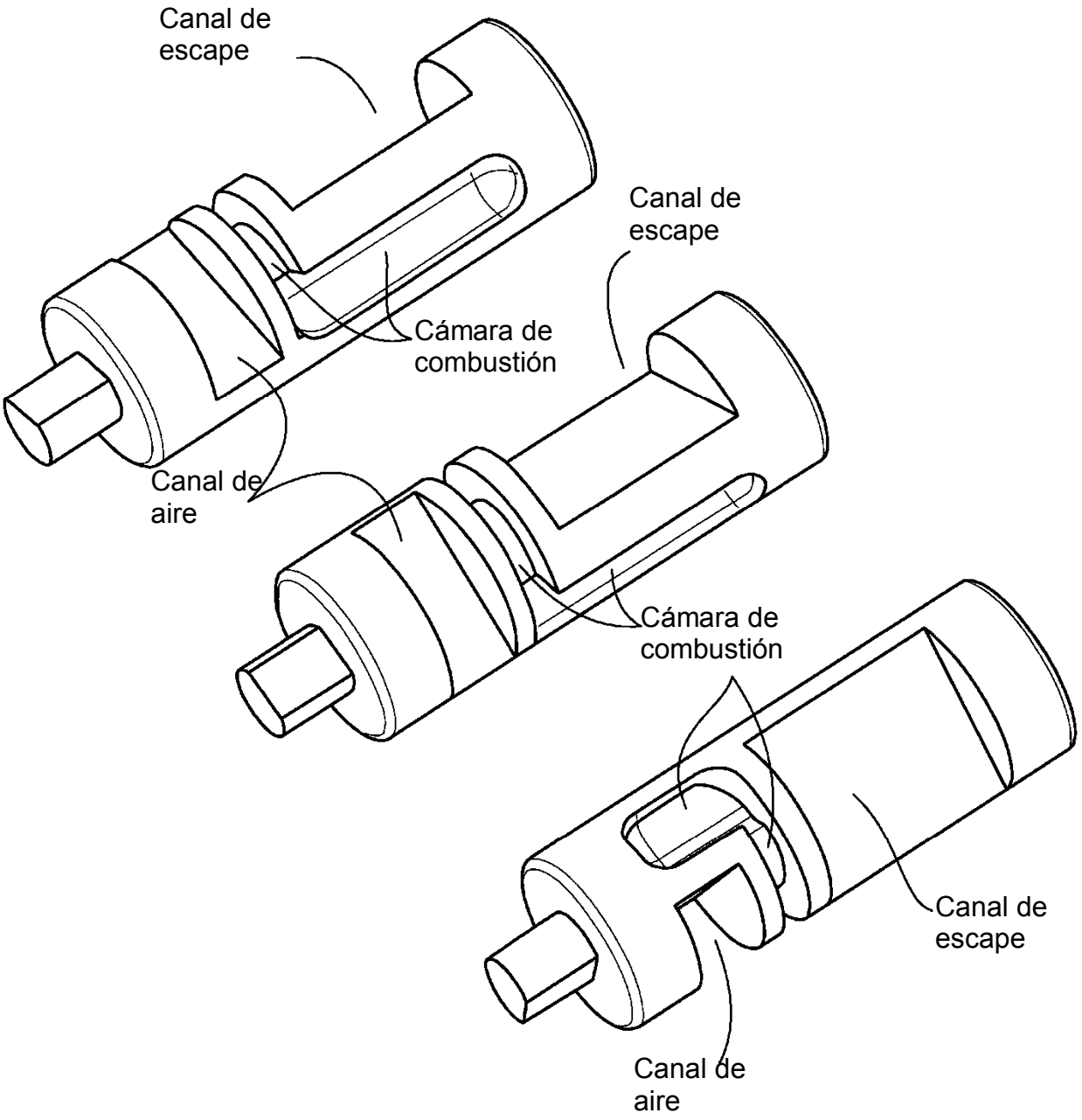

Canal de escape
Canal de escape
Cámara de combustión
Canal de aire
Cámara de combustión
Canal de escape
Canal de aire

FIG. 9

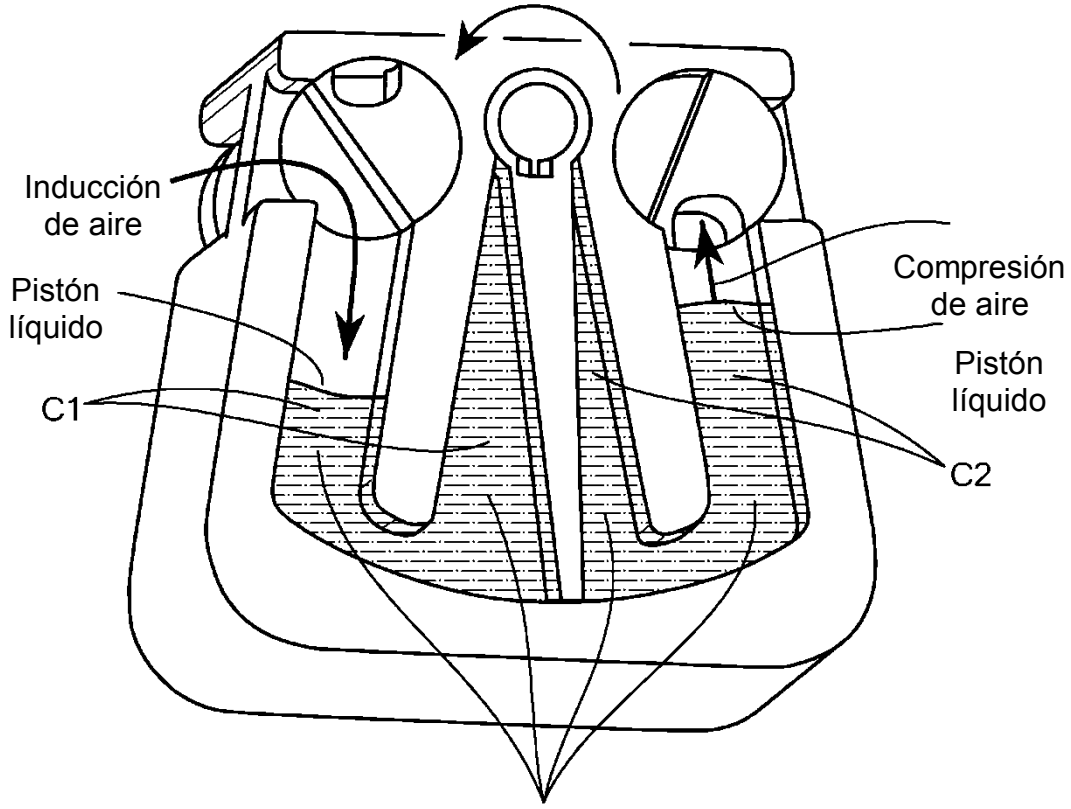

Inducción
de aire
Pistón
líquido
C1
Compresión
de aire
Pistón
líquido
C2
Agua

FIG. 10

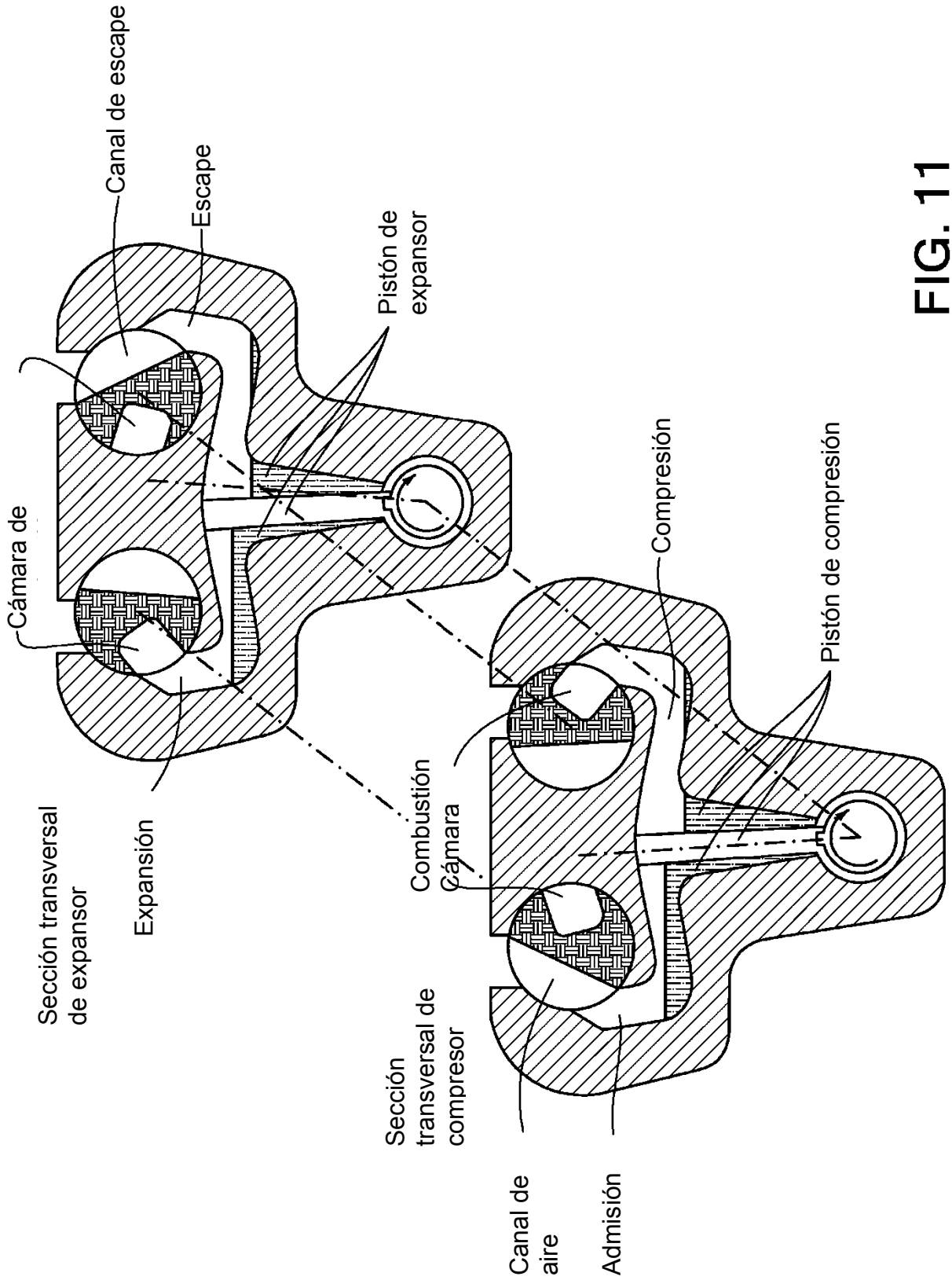

Canal de escape
Escape
Pistón de expansor
Cámara de
Sección transversal de expansor
Expansión
Combustión Cámara
Compresión
Pistón de compresión
Sección transversal de compresor
Canal de aire
Admisión

FIG. 11

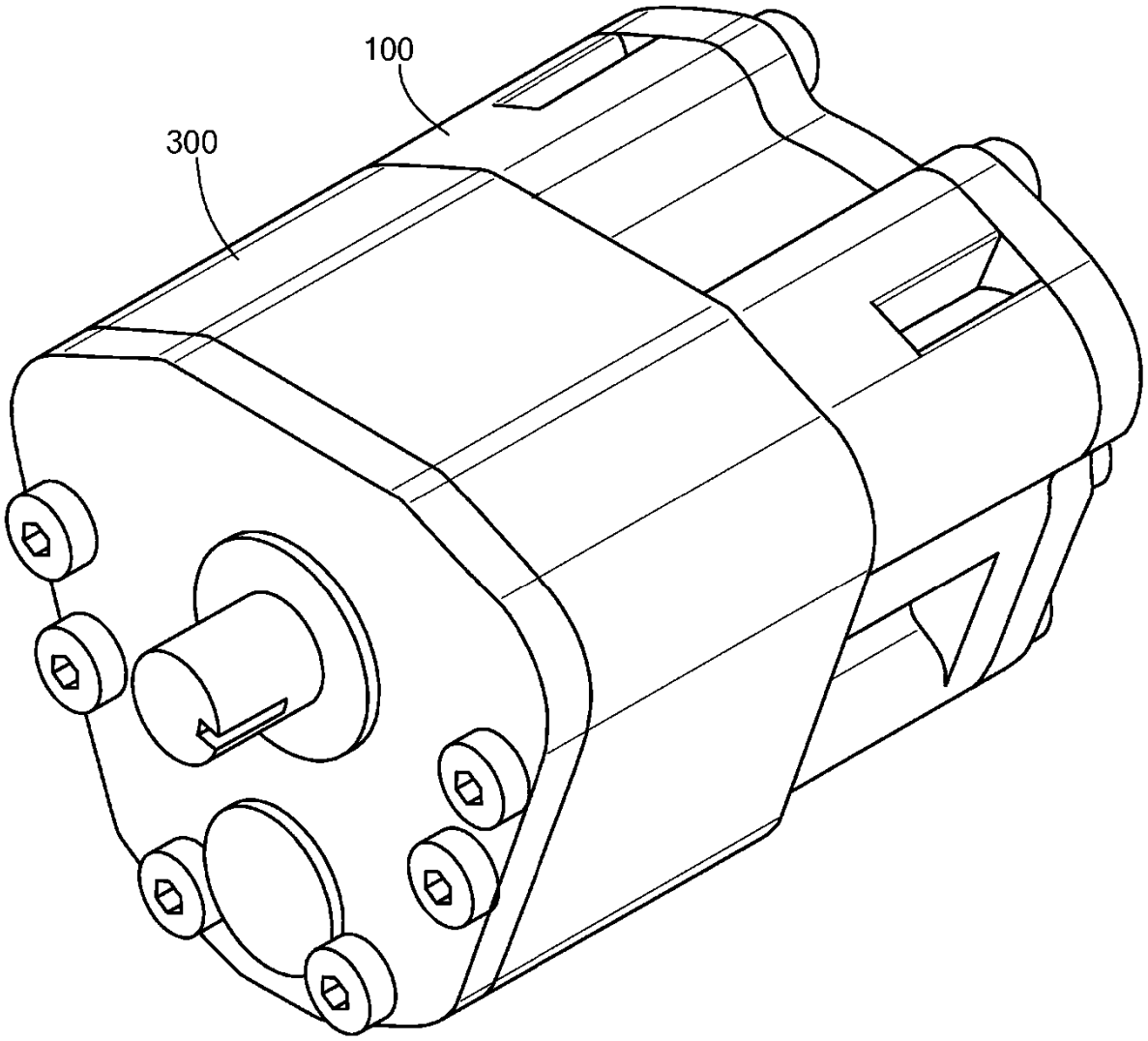


FIG. 12

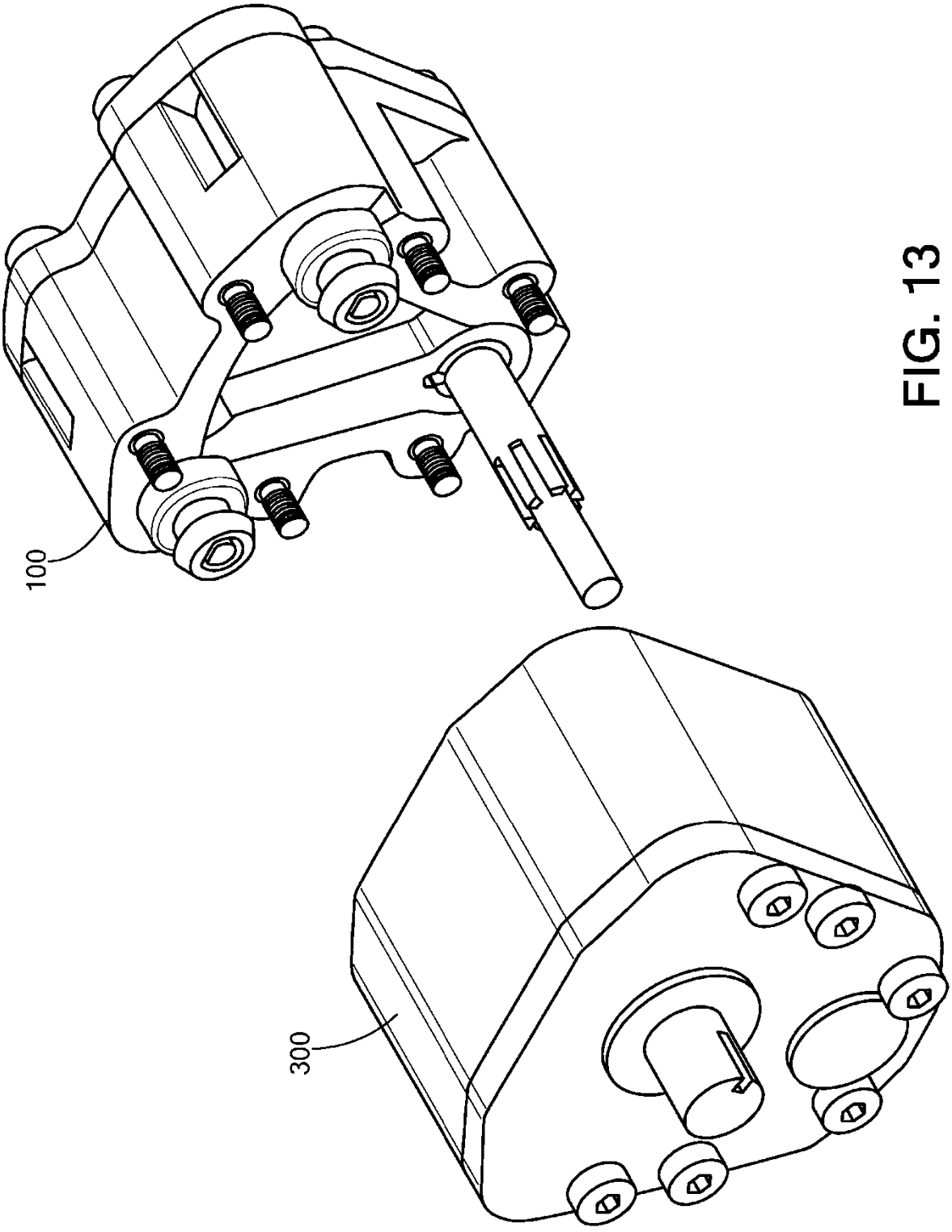


FIG. 13

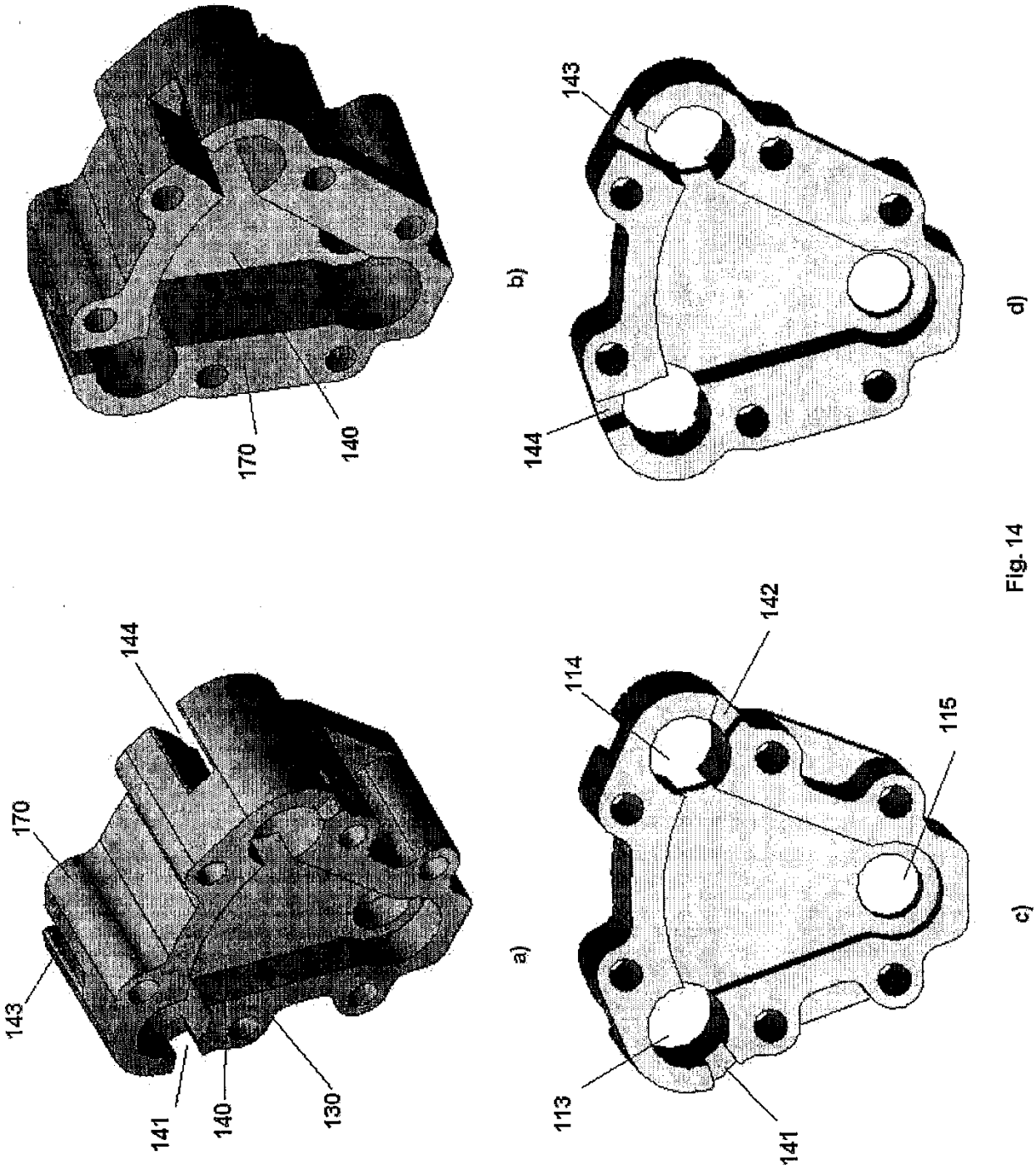


Fig. 14

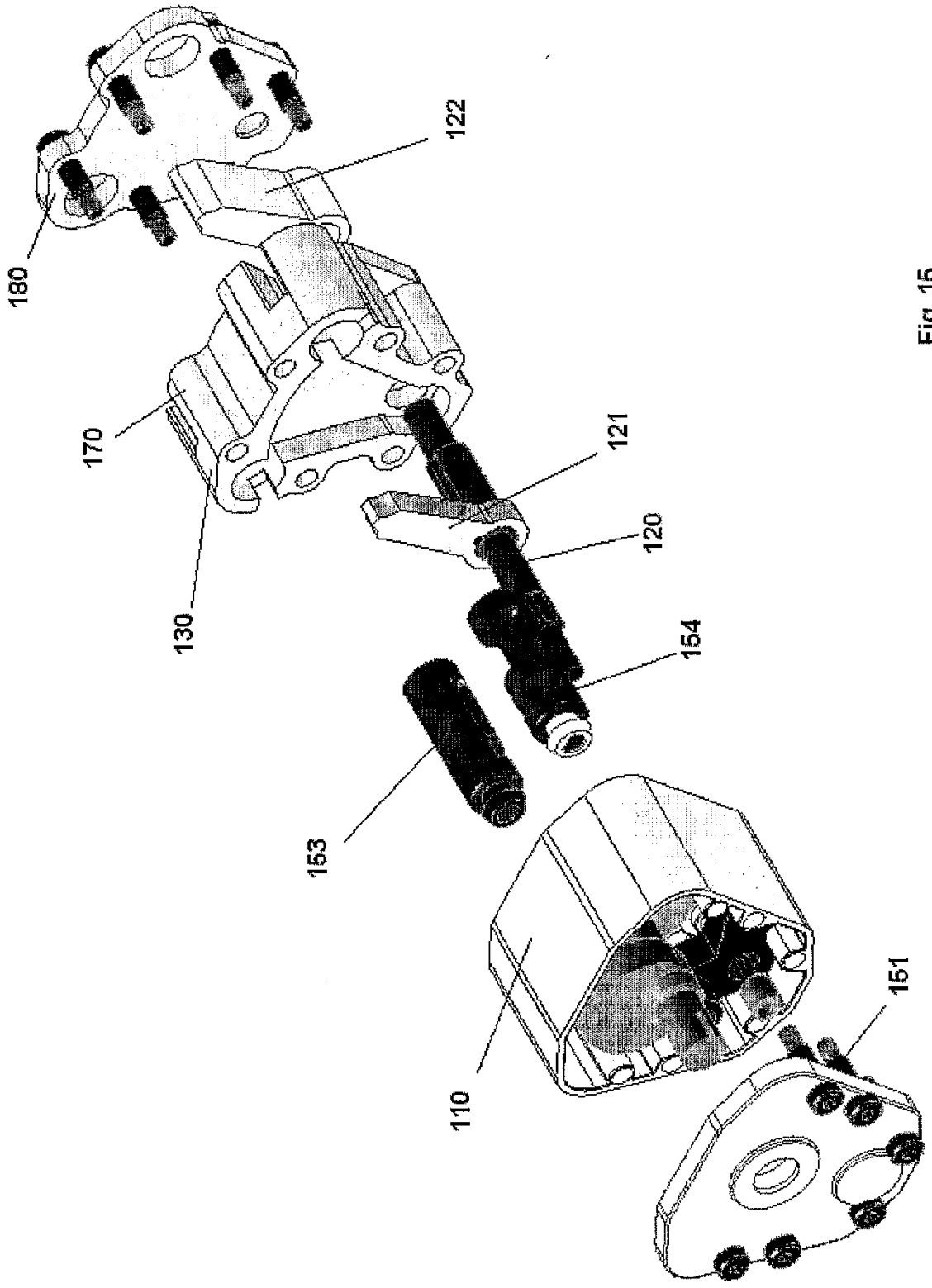


Fig. 15

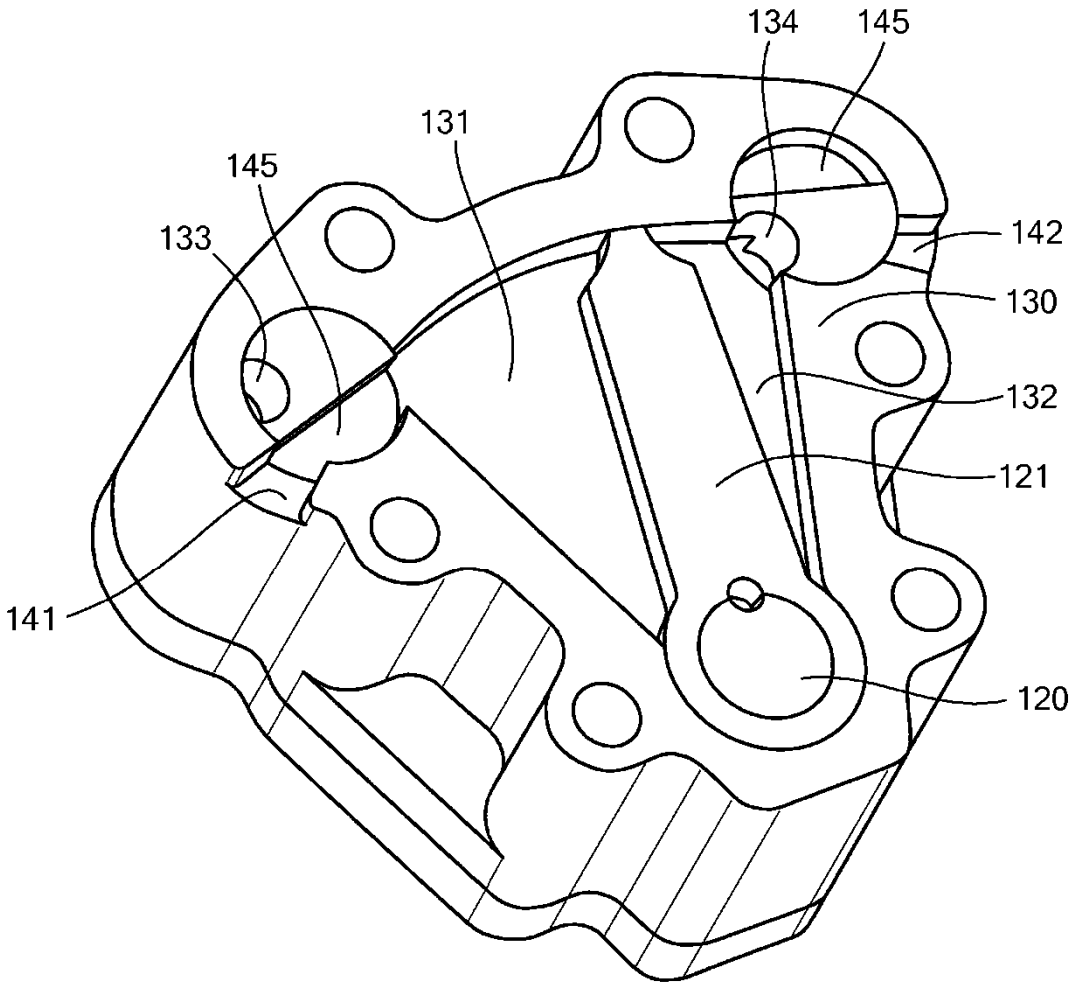


FIG. 16

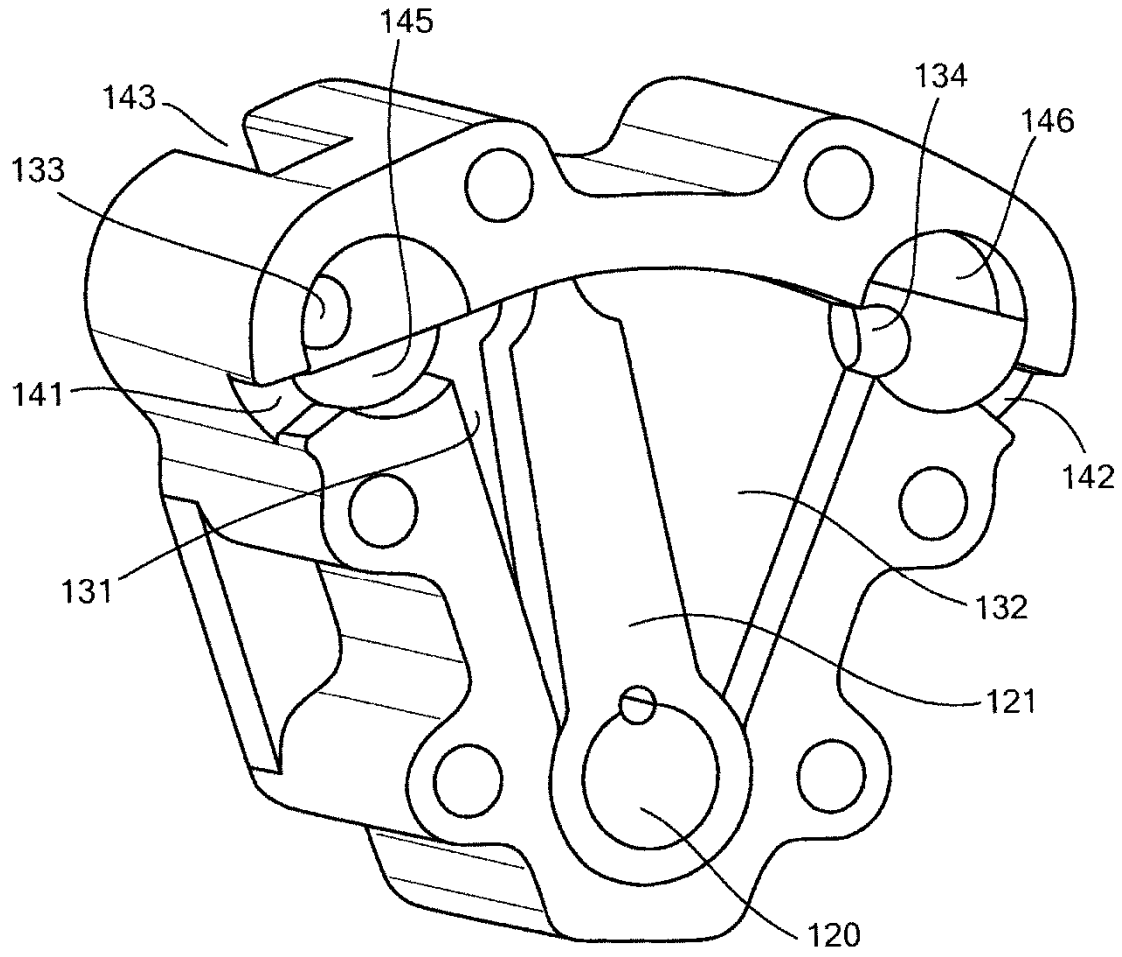


FIG. 17

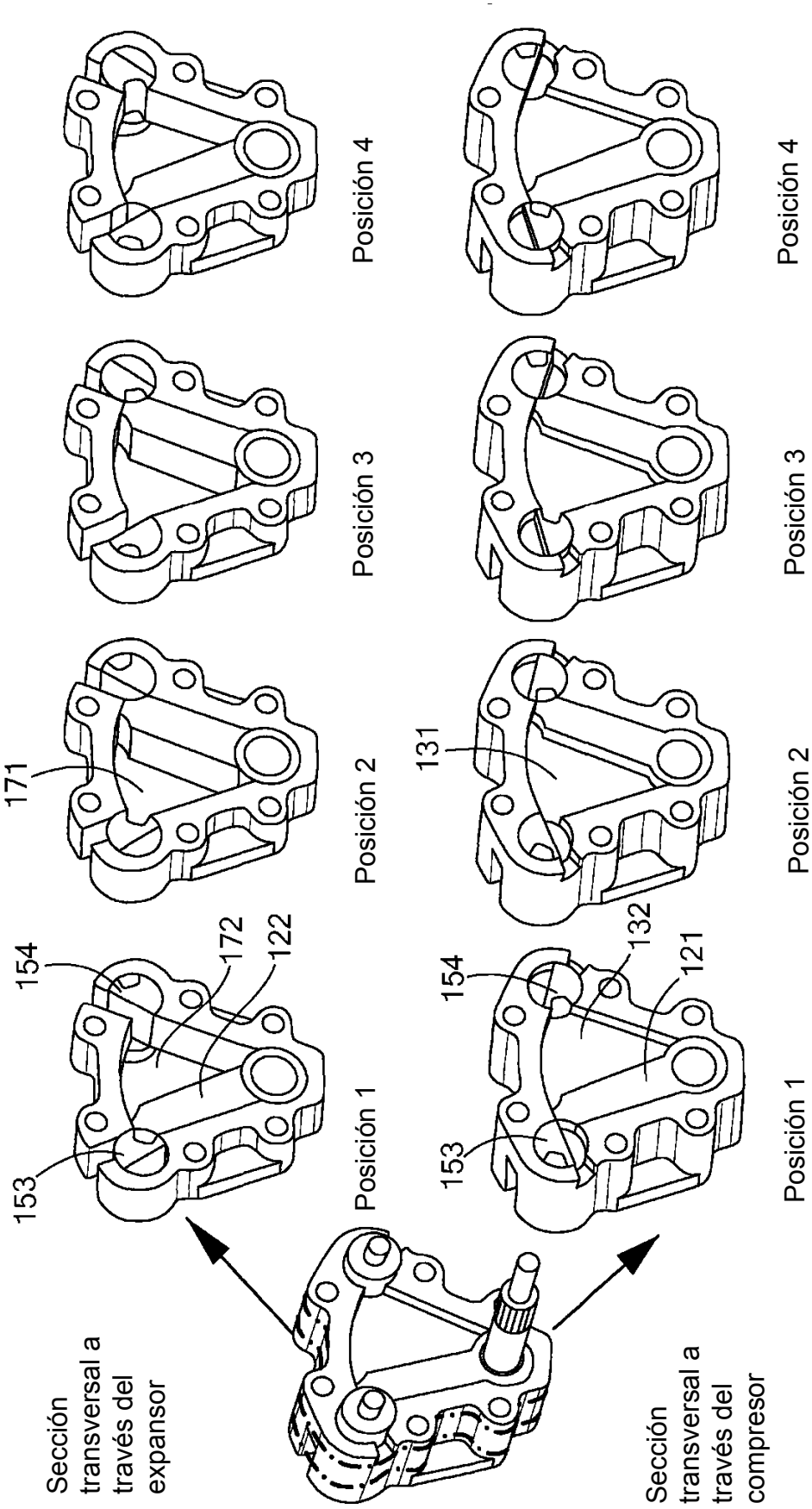

Sección transversal a través del expansor
Sección transversal a través del compresor
153
154
172
122
171
Posición 1
Posición 2
Posición 3
Posición 4
153
154
132
121
131
Posición 1
Posición 2
Posición 3
Posición 4

FIG. 18

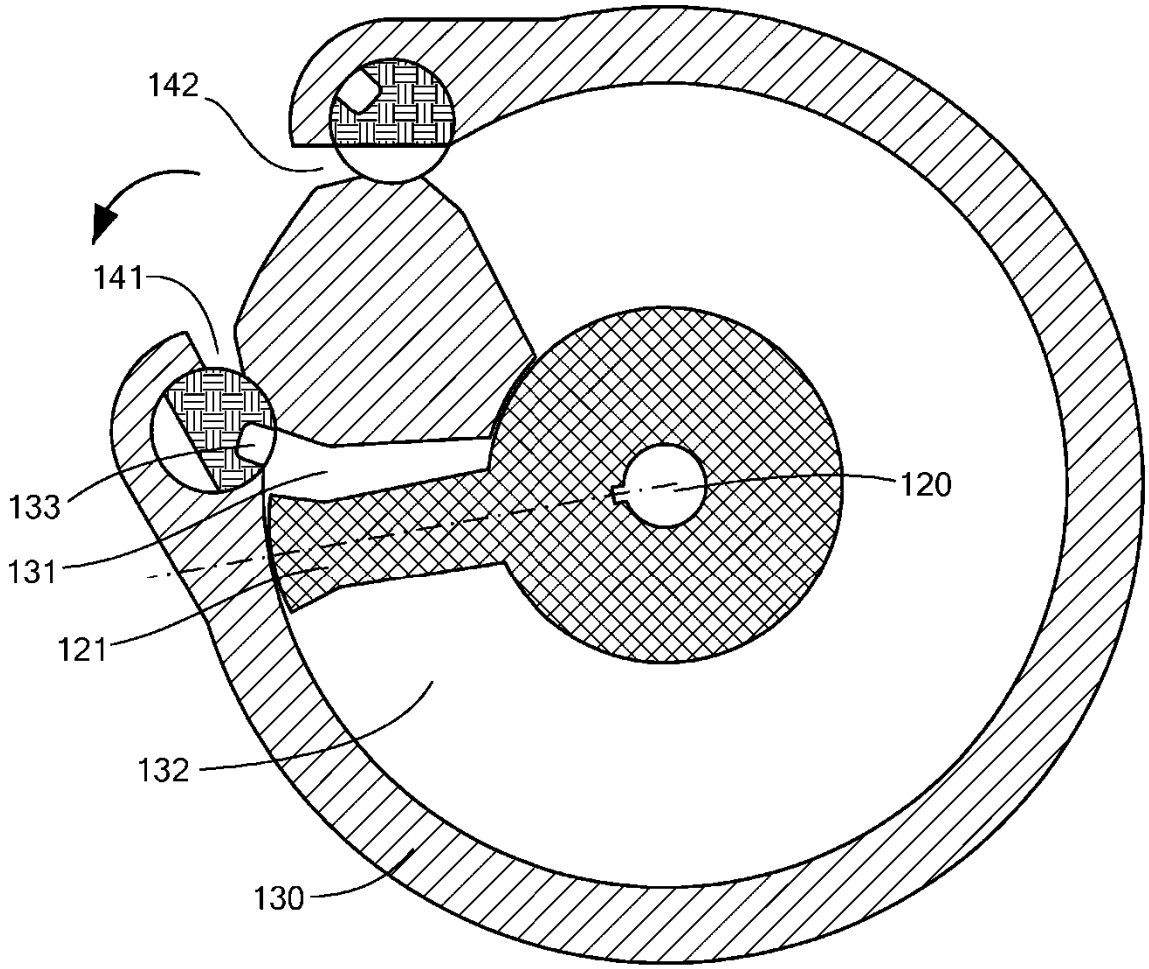


FIG. 19

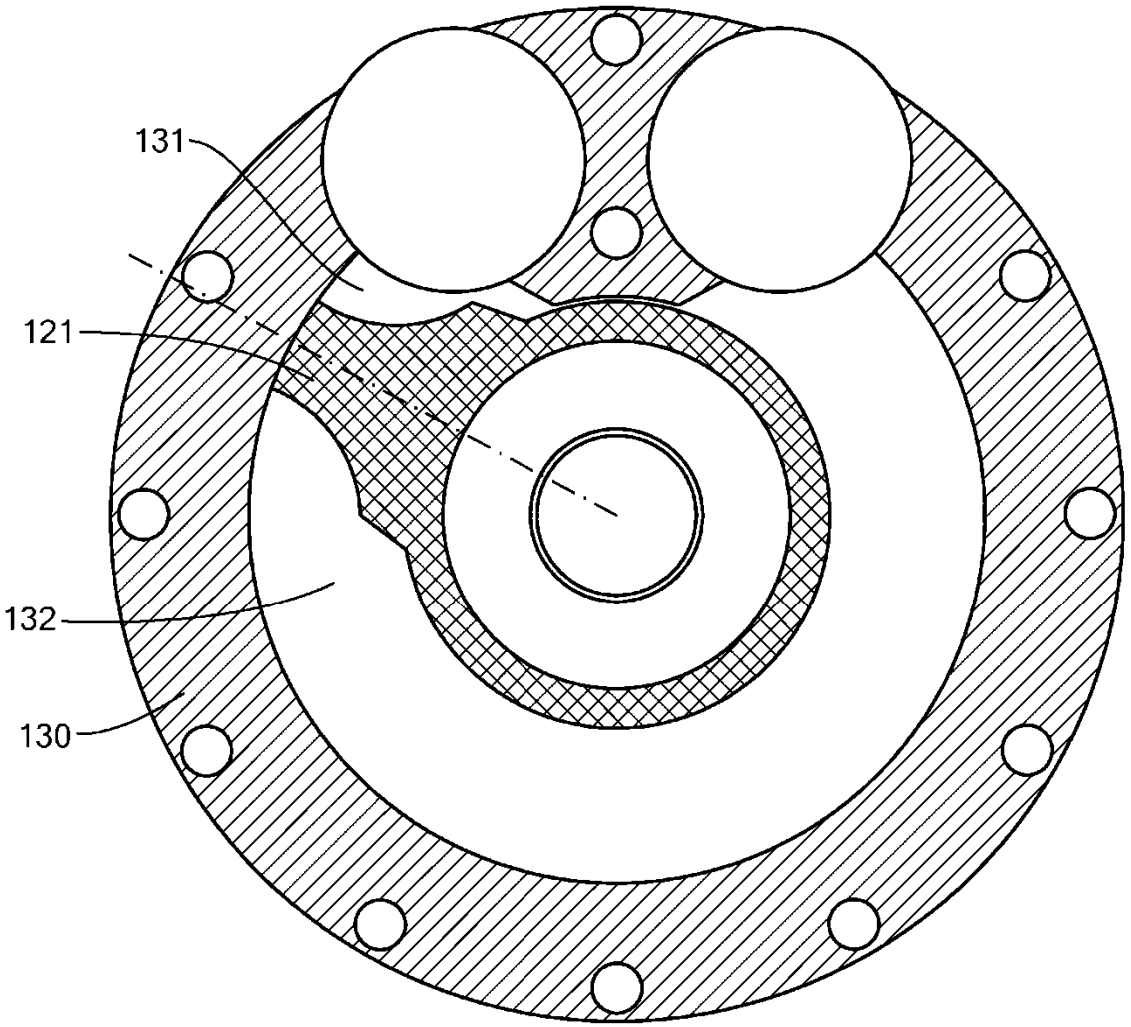


FIG. 20

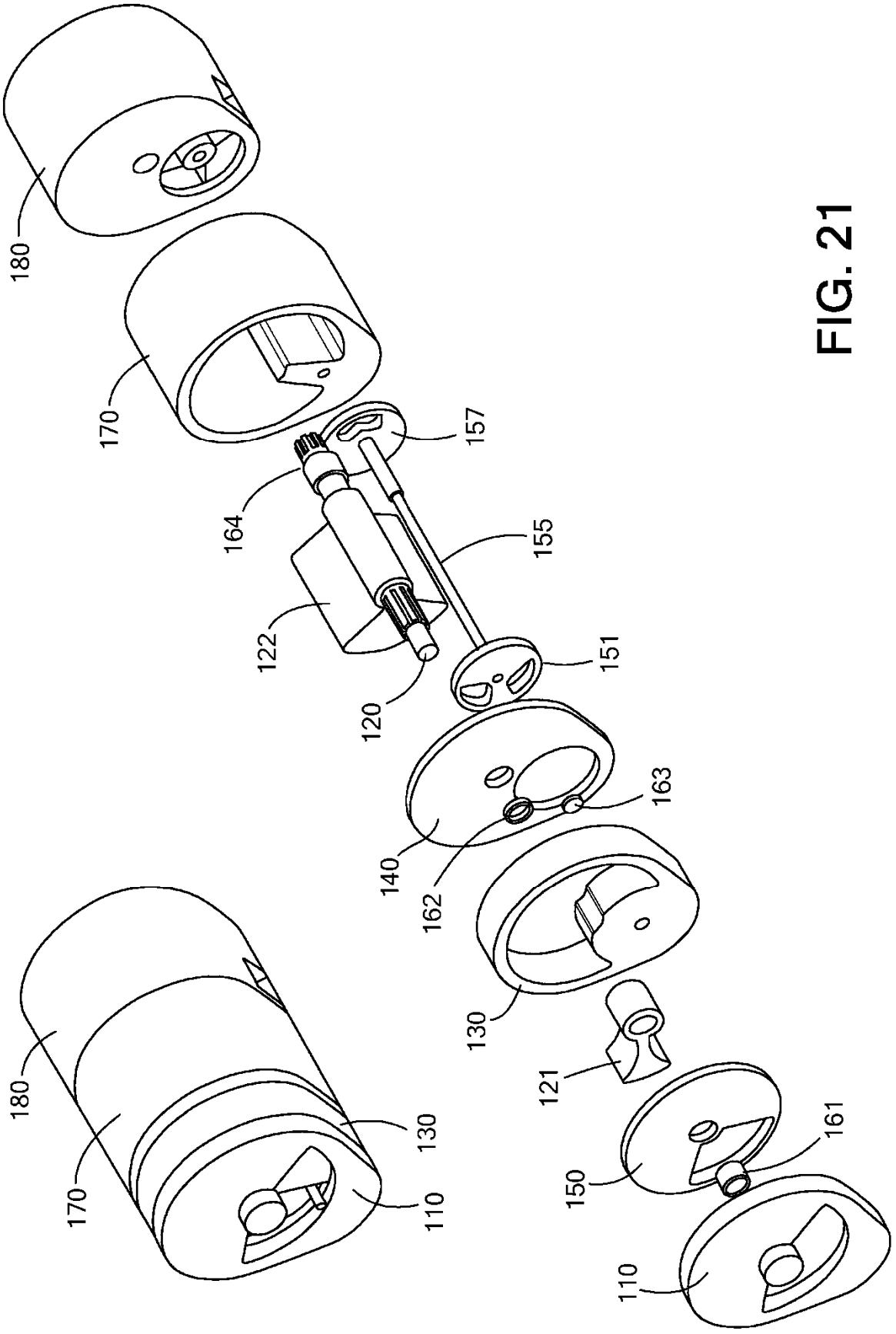

180
170
157
164
155
122
151
120
163
140
162
130
121
161
150
110
180
170
130
110

FIG. 21

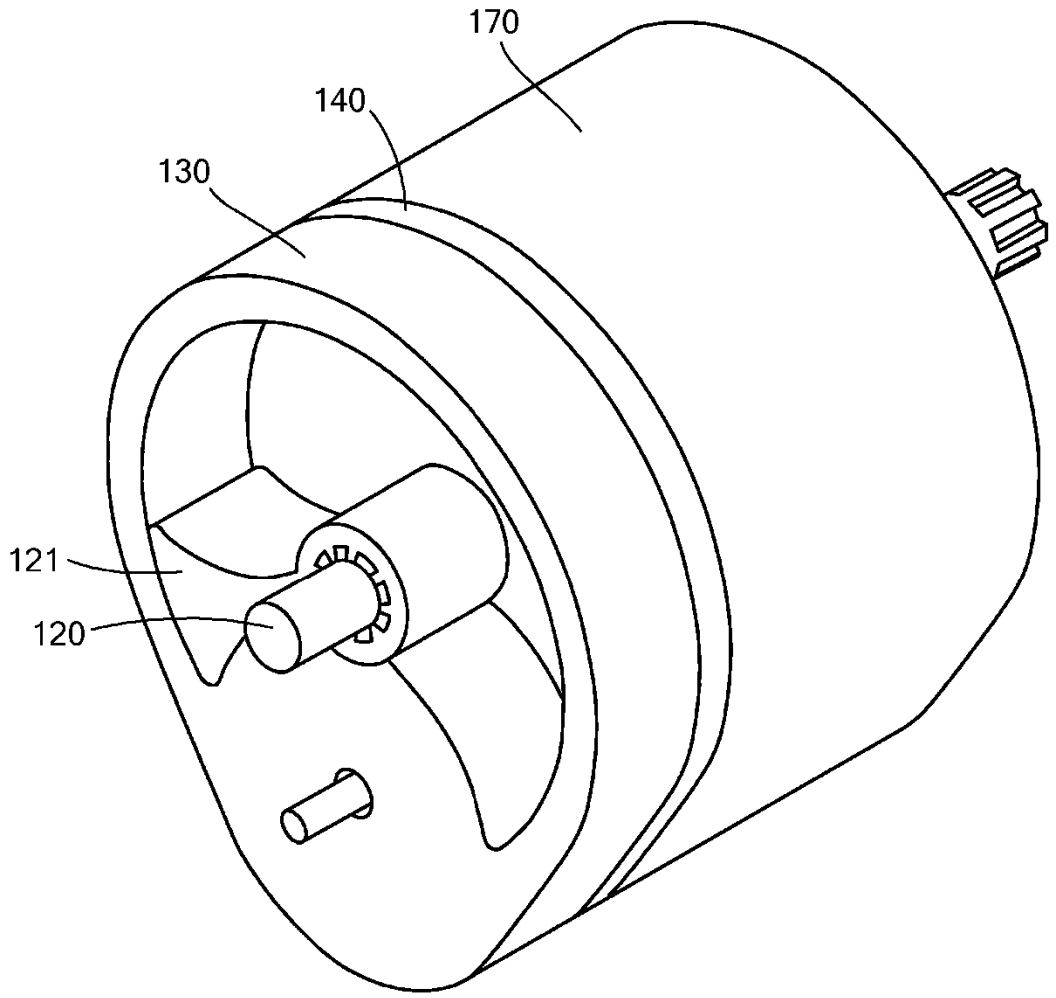


FIG. 22

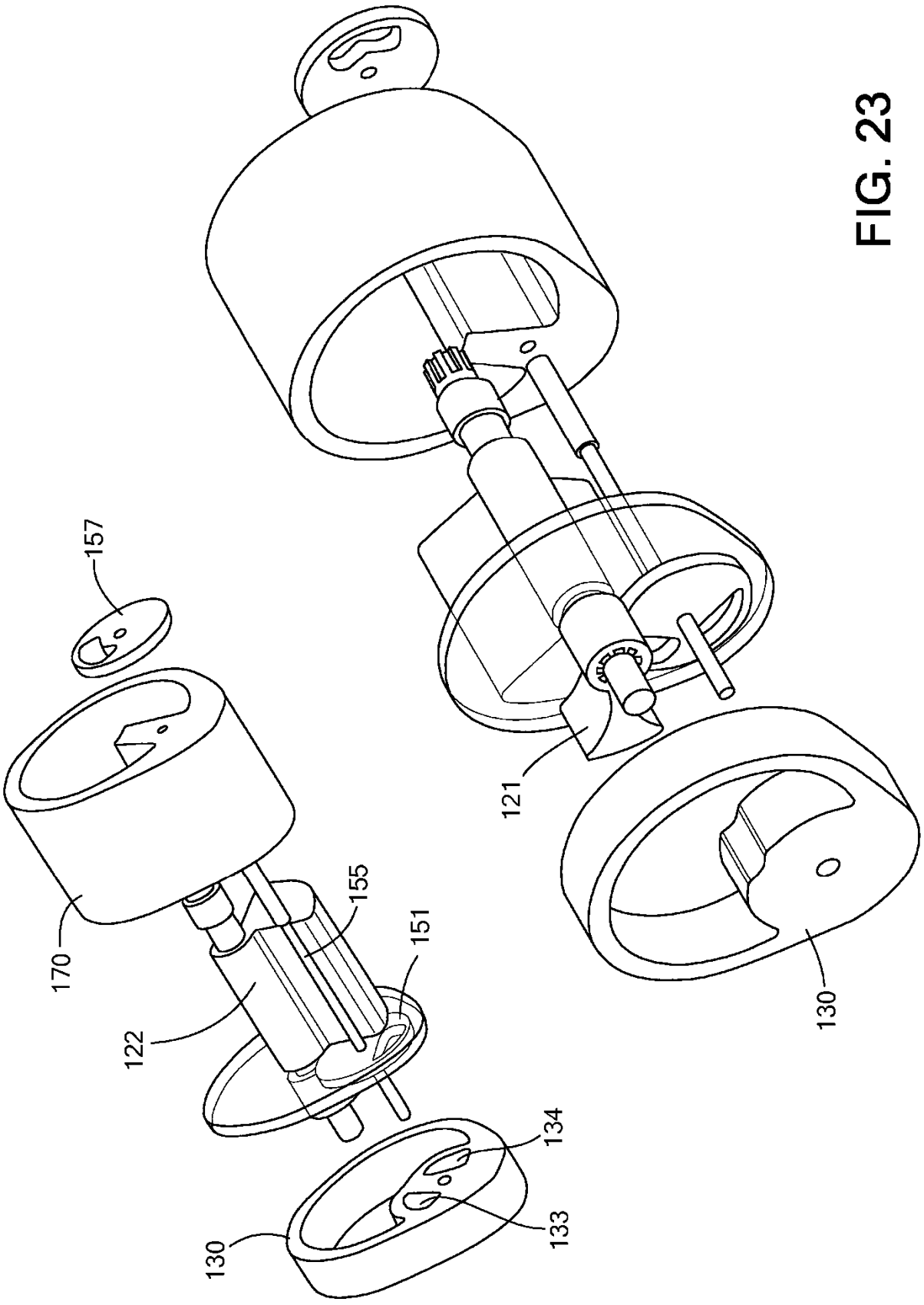


FIG. 23

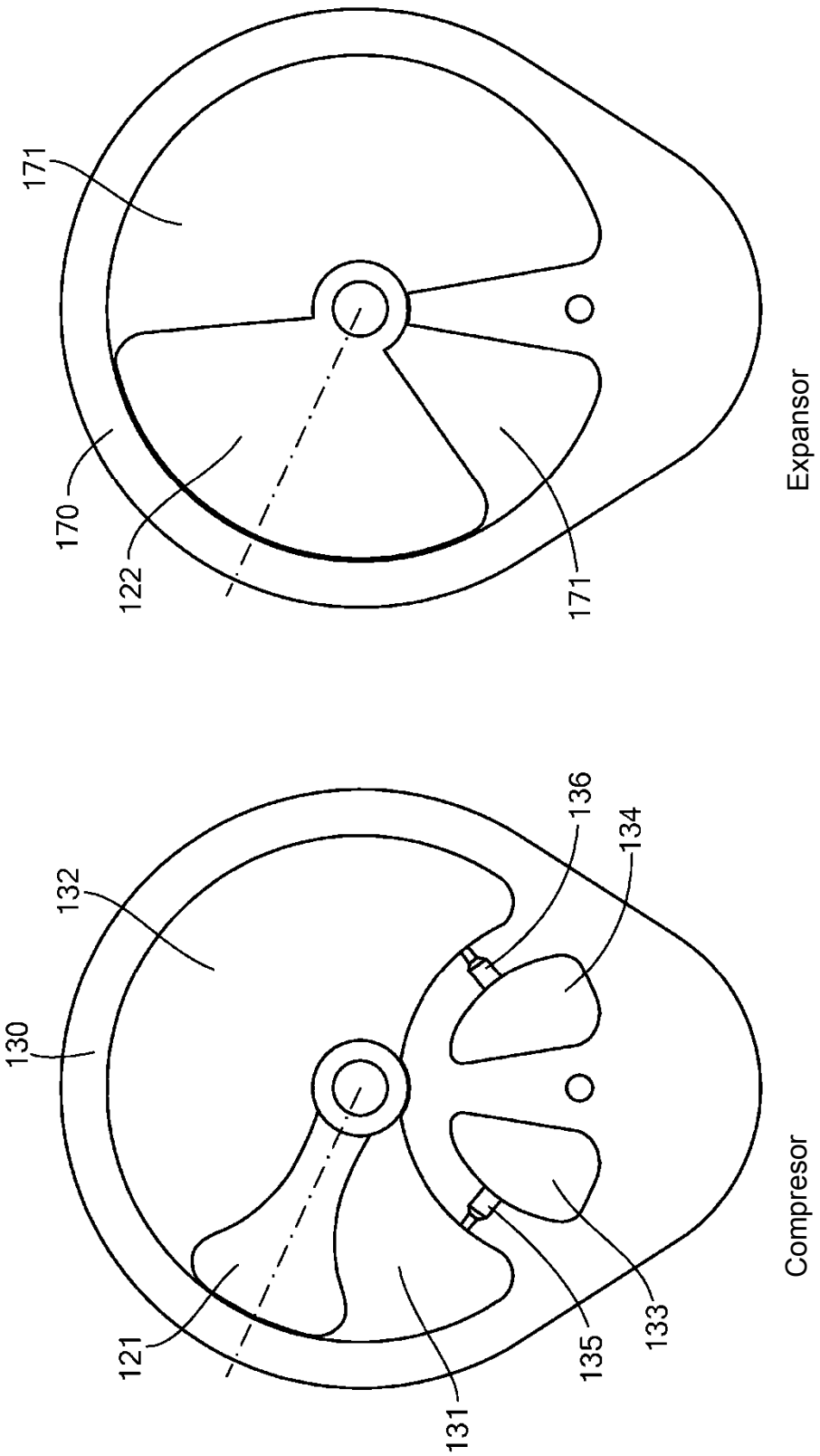

171
170
122
171
Expansor
136
134
132
130
121
131
135
133
Compresor

FIG. 24

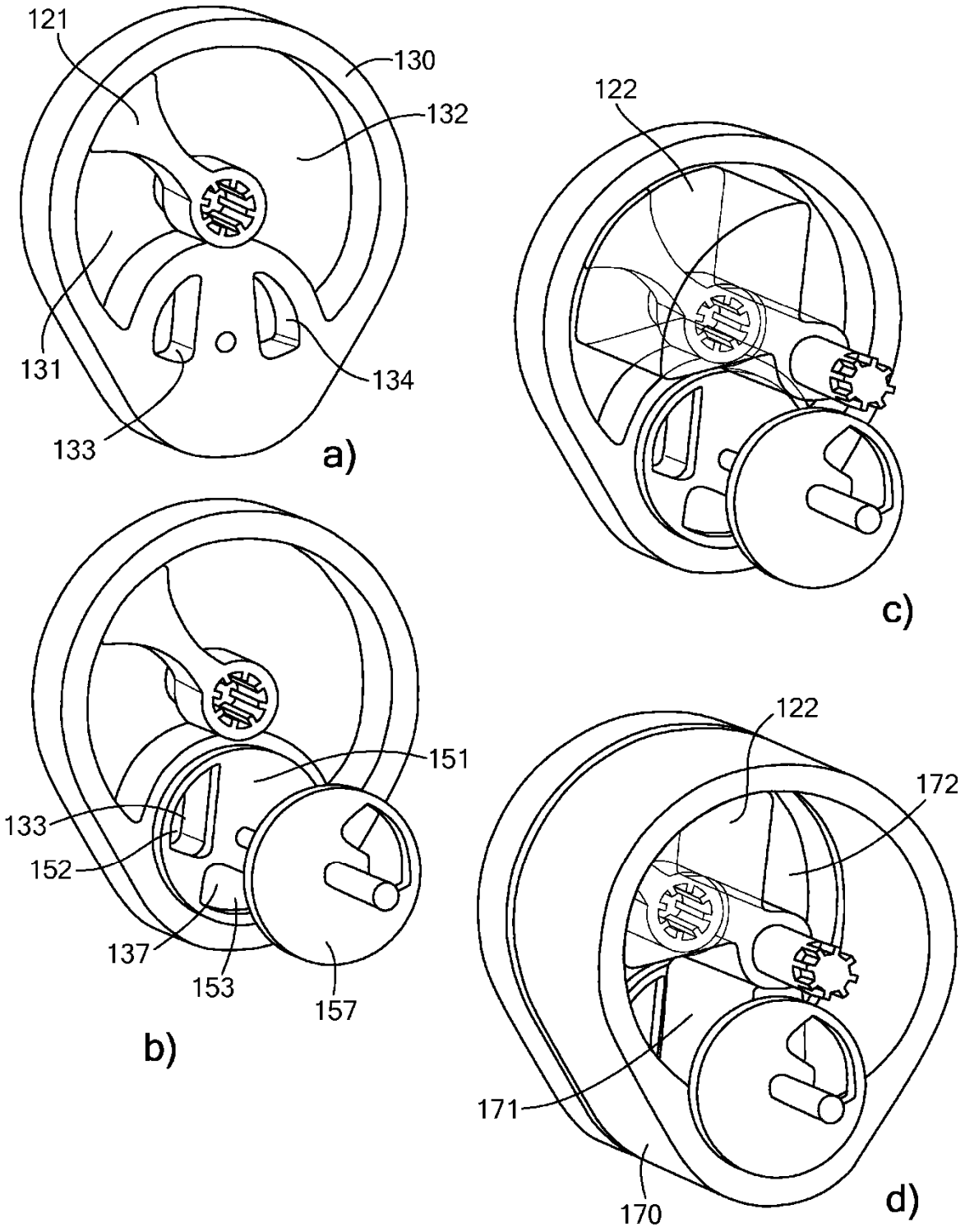

121
130
132
131
134
133
a)
122
c)
151
133
152
137
153
157
b)
122
172
171
170
d)

FIG. 25

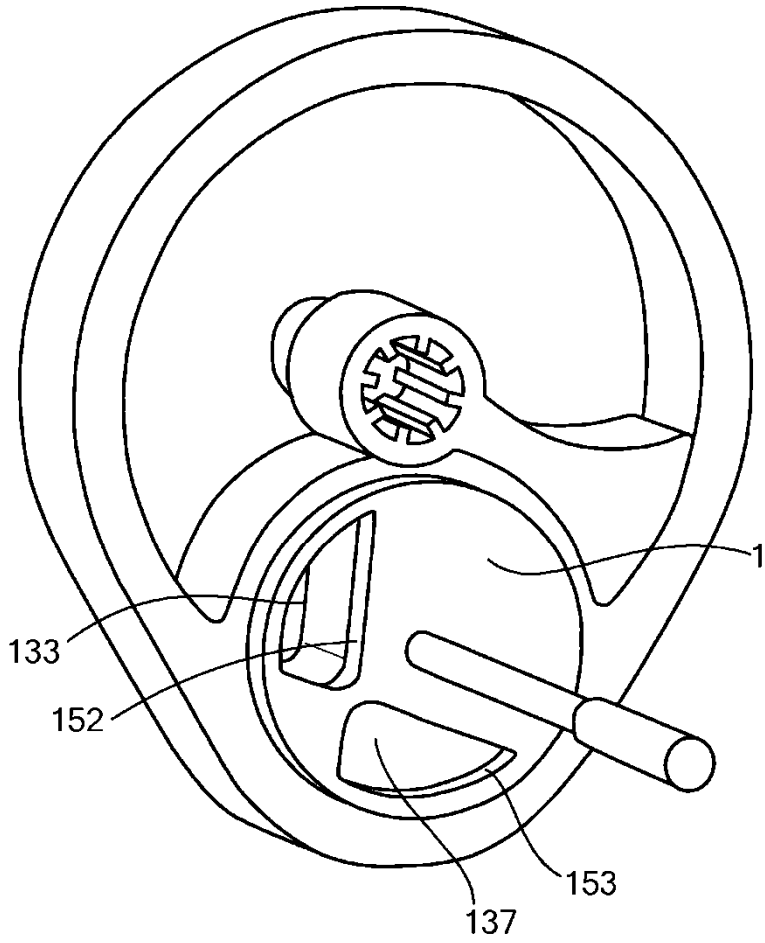


FIG. 26

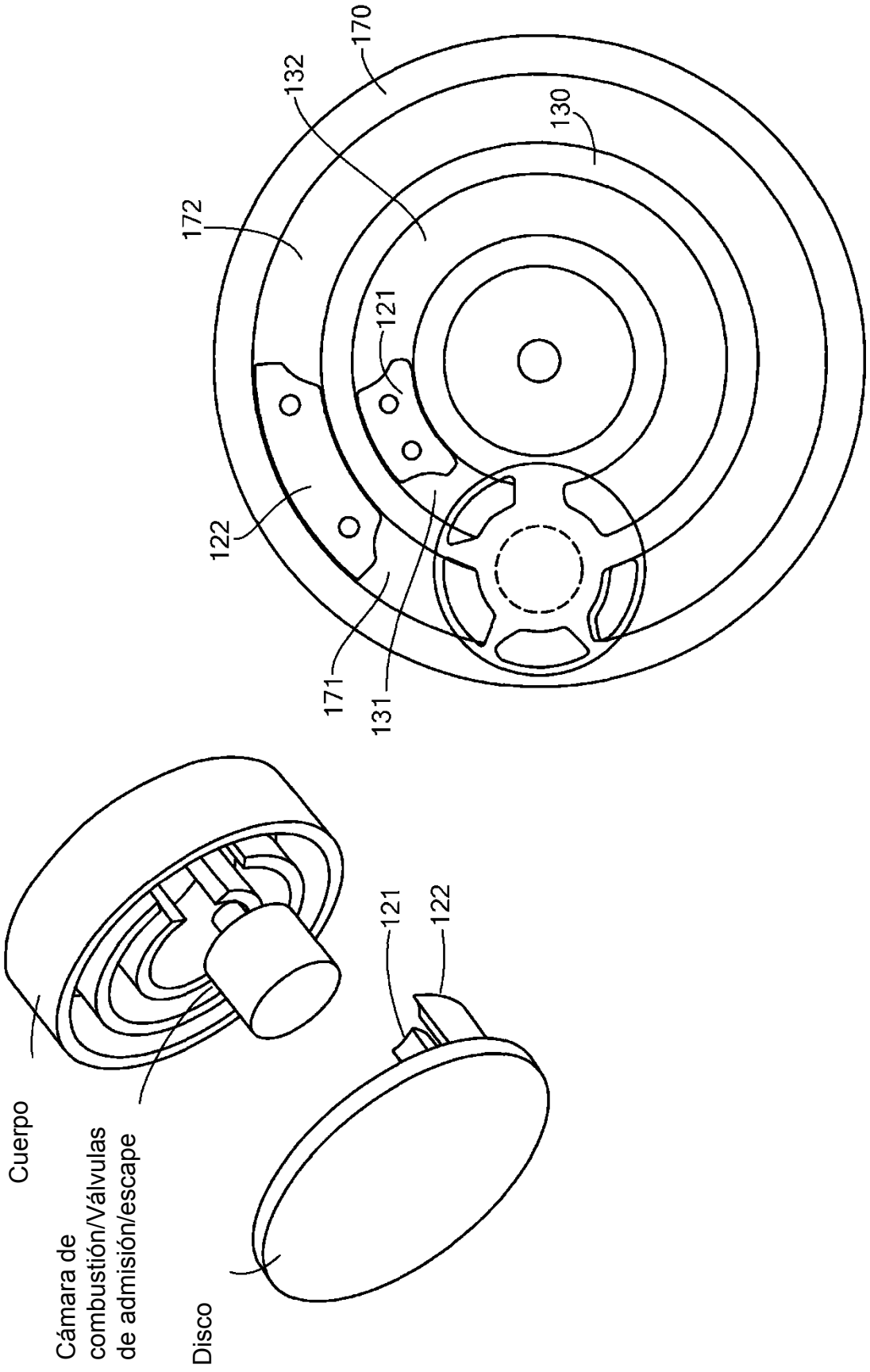

Cuerpo
Cámara de combustión/Válvulas de admisión/escape
Disco
121
122
171
131
172
122
121
132
130
170

FIG. 27

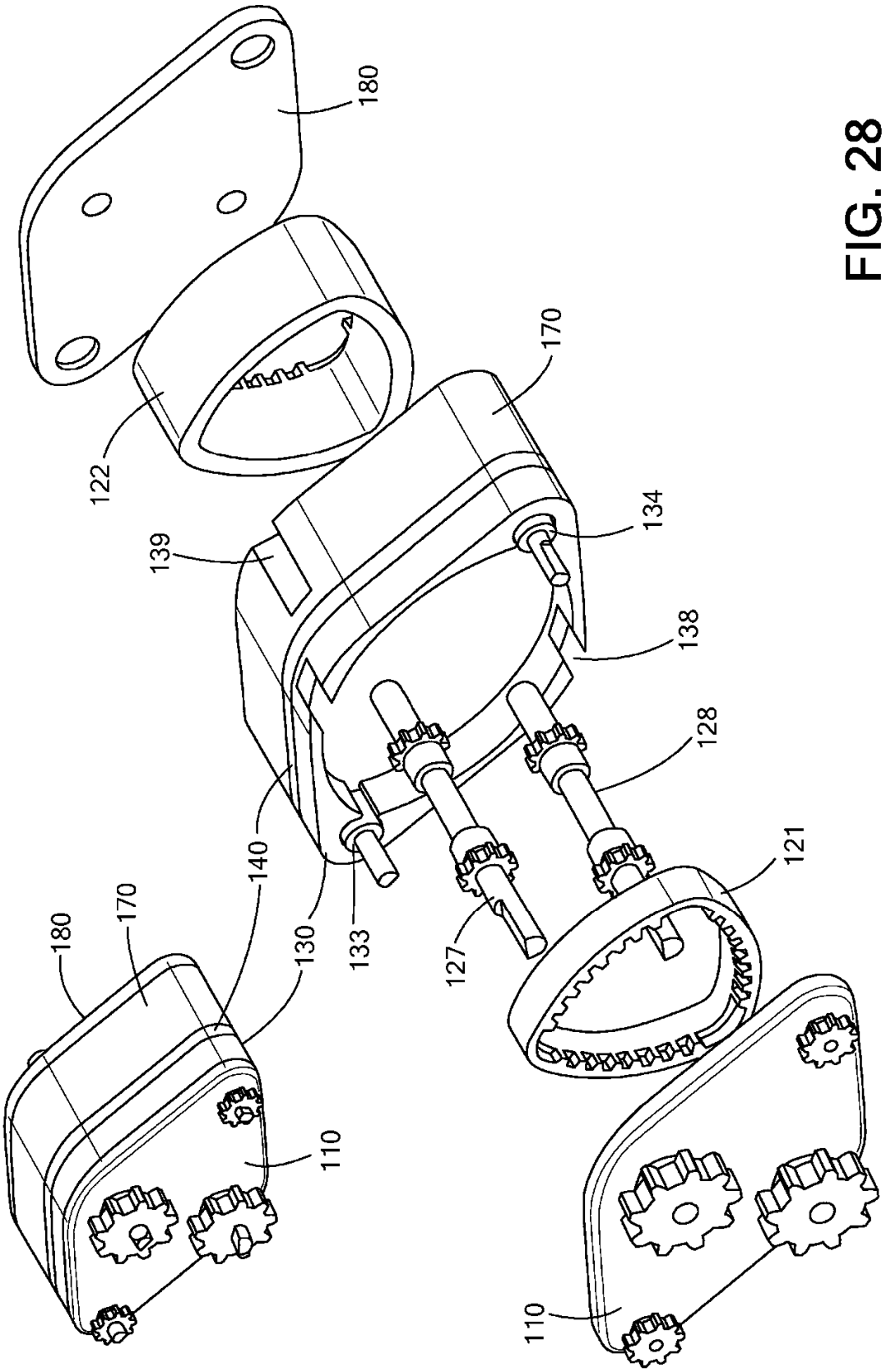
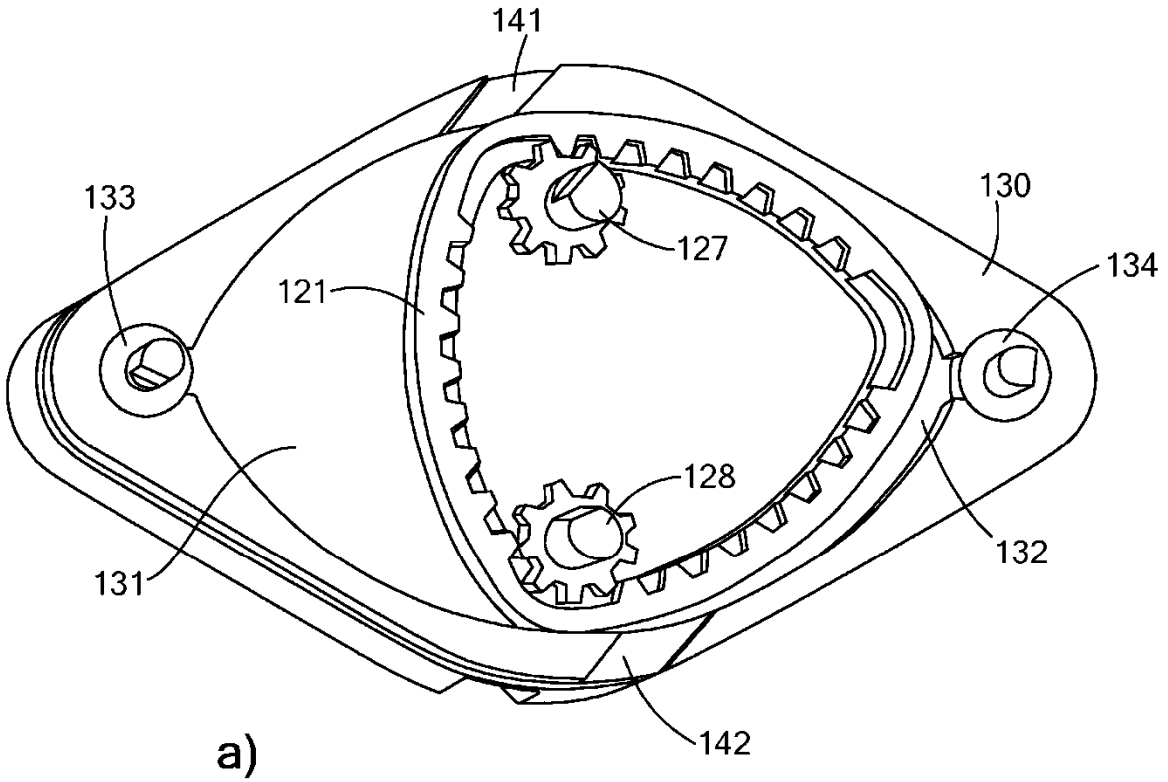


FIG. 28


141
133
130
127
121
134
128
131
132
142
a)

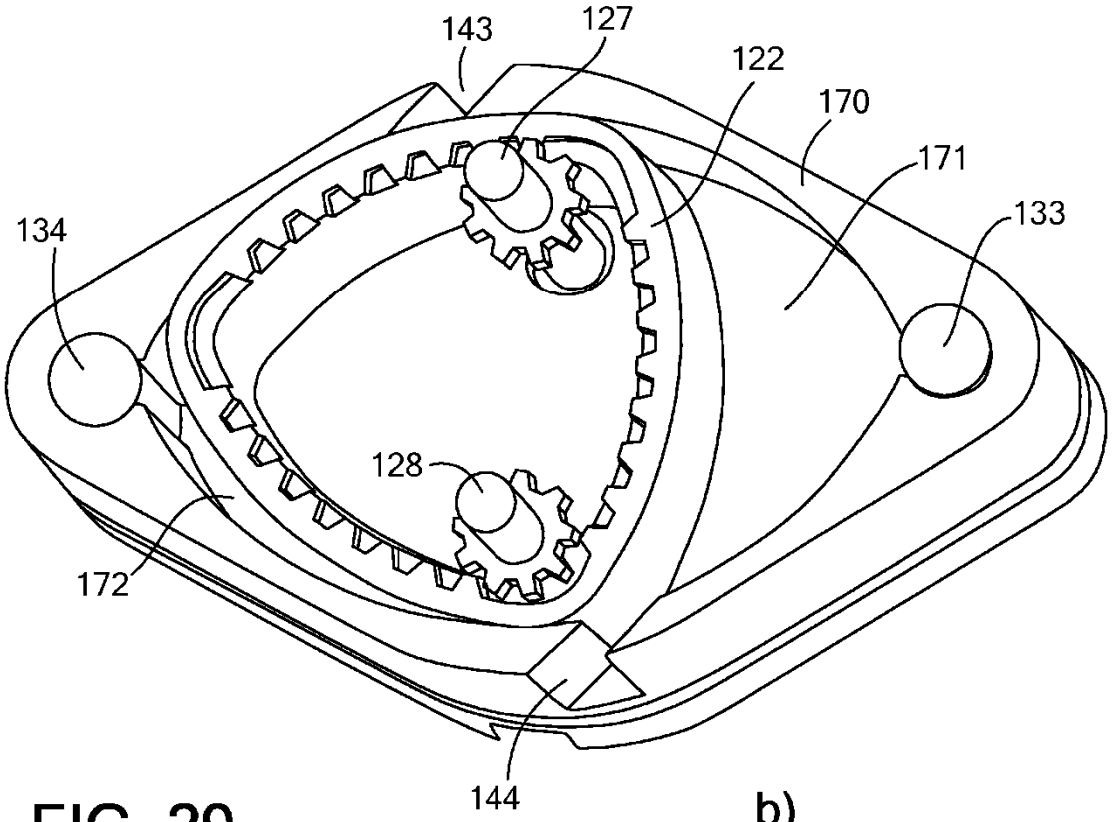

143
127
122
170
171
134
133
128
172
144
b)

FIG. 29

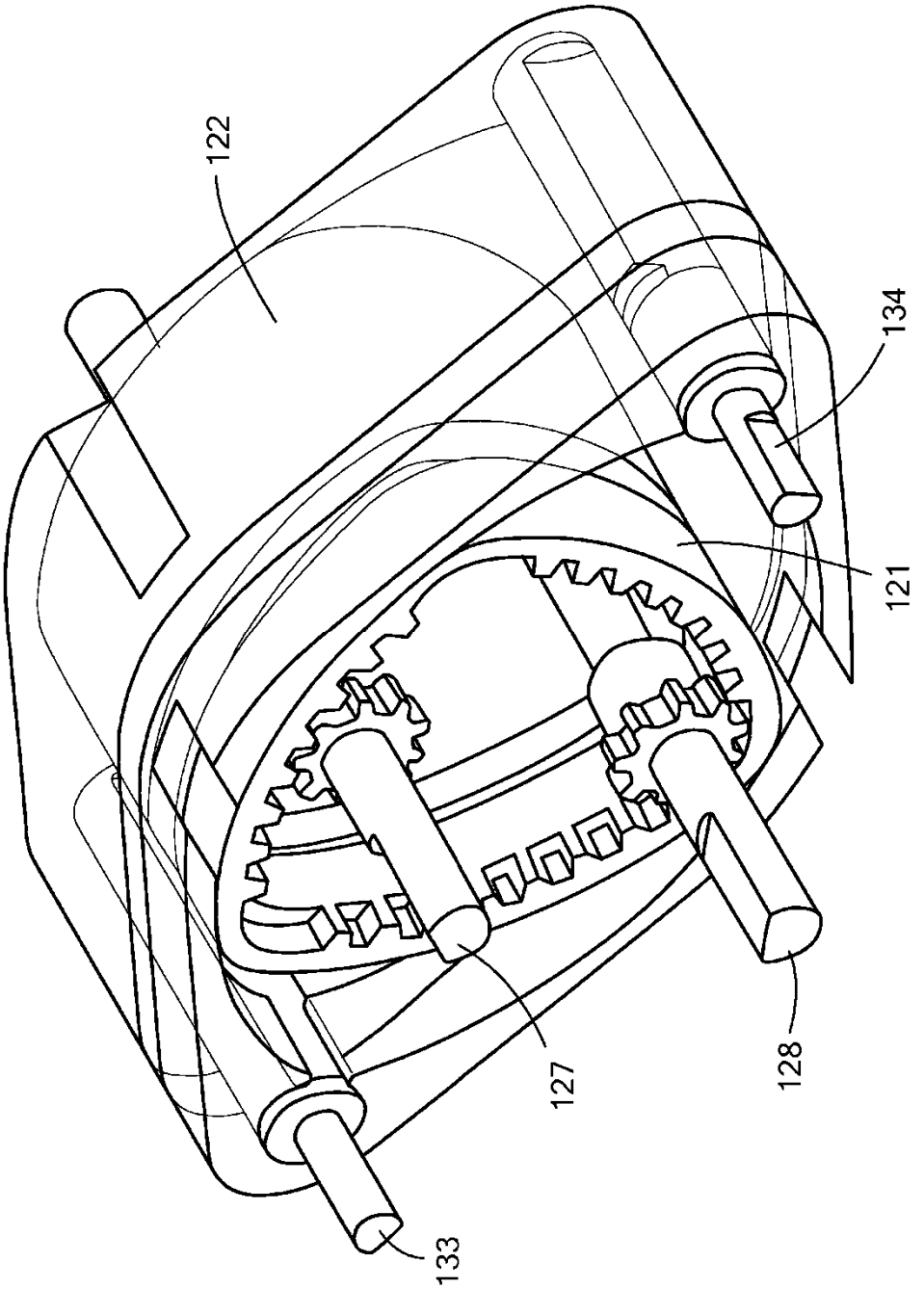


FIG. 30

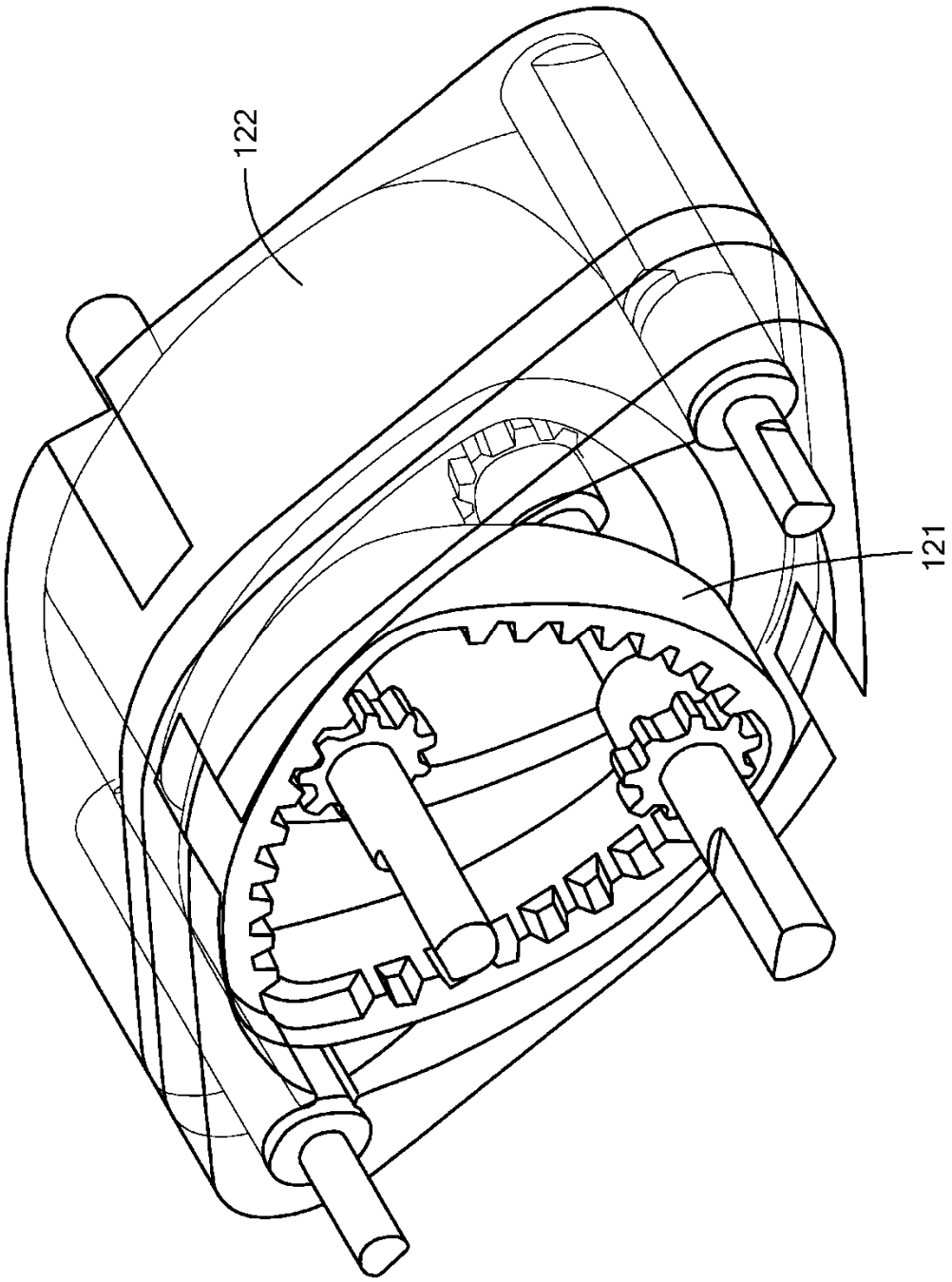


FIG. 31

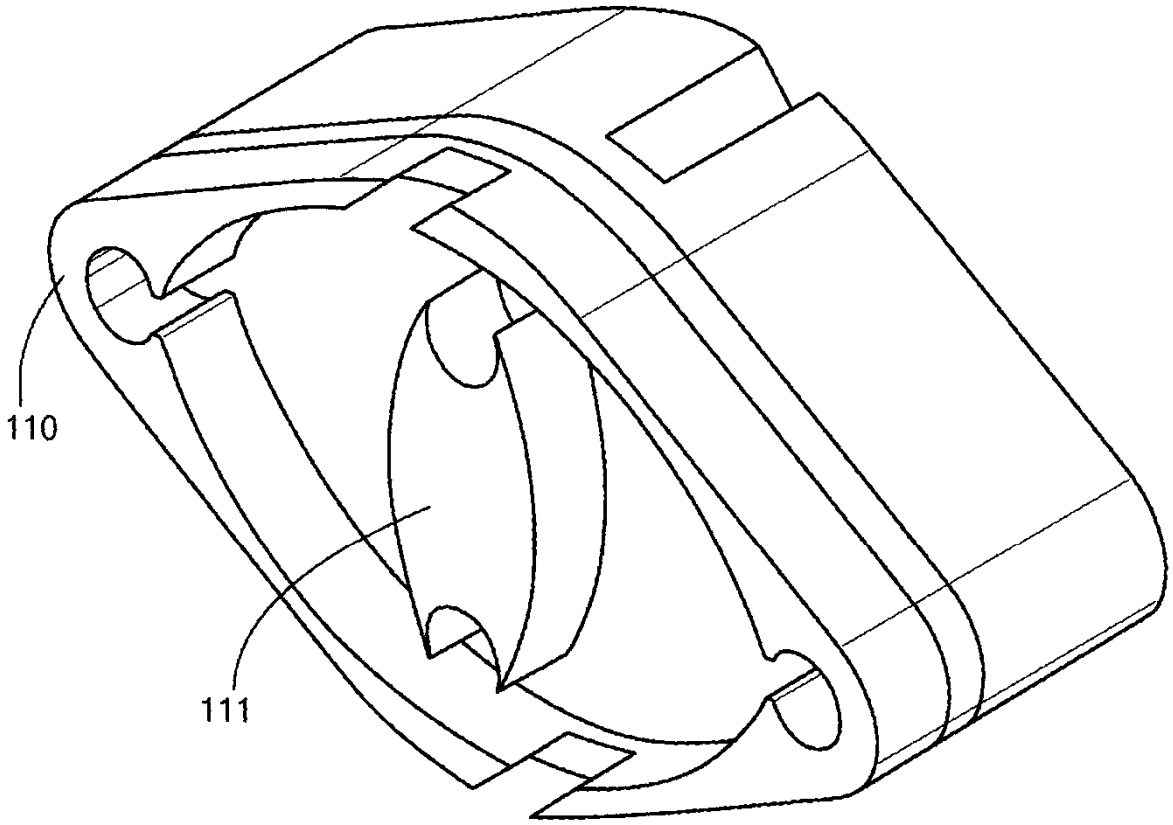


FIG. 32

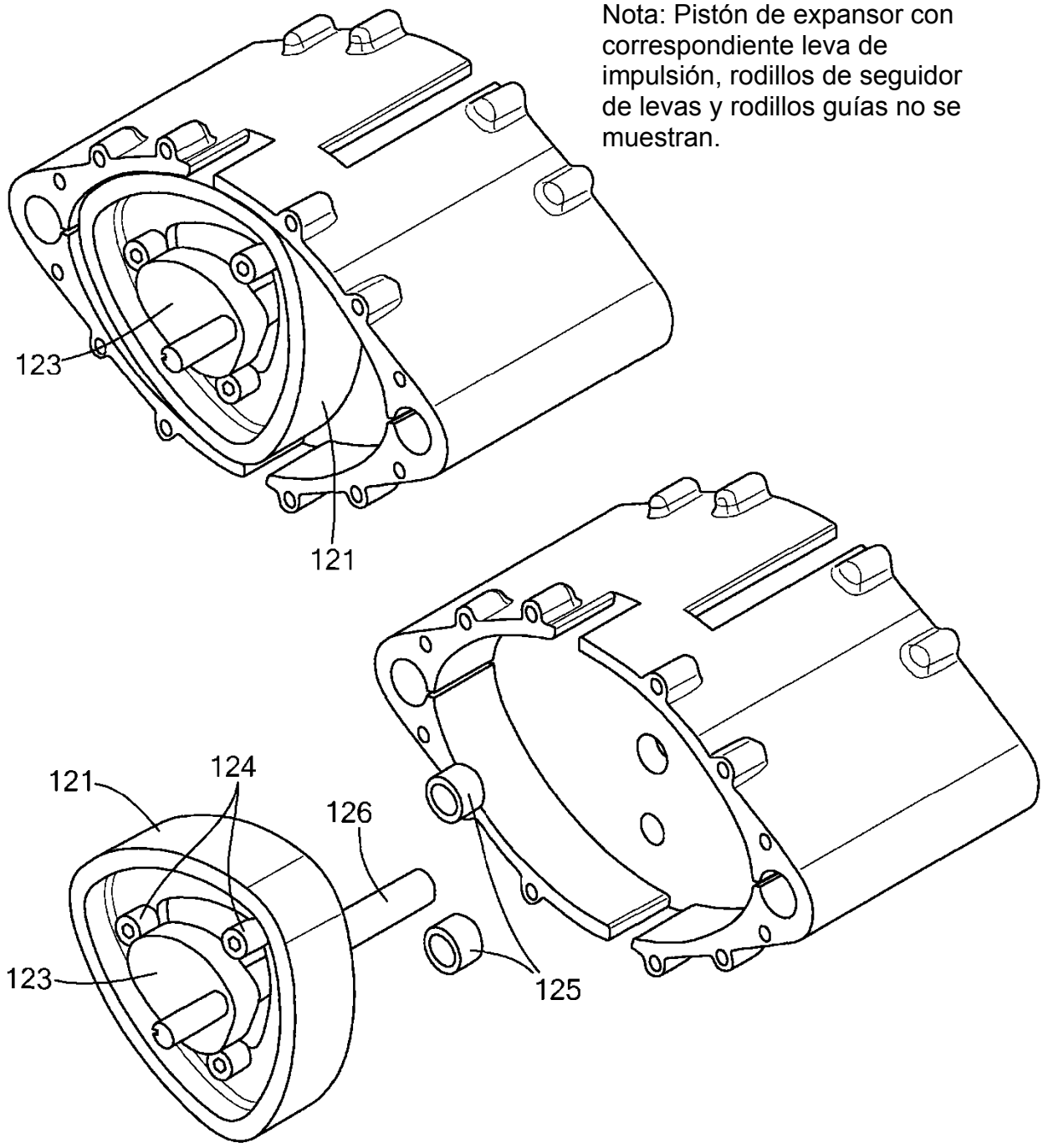

Nota: Pistón de expansor con correspondiente leva de impulsión, rodillos de seguidor de levas y rodillos guías no se muestran.
123
121
121
124
126
123
125

FIG. 33

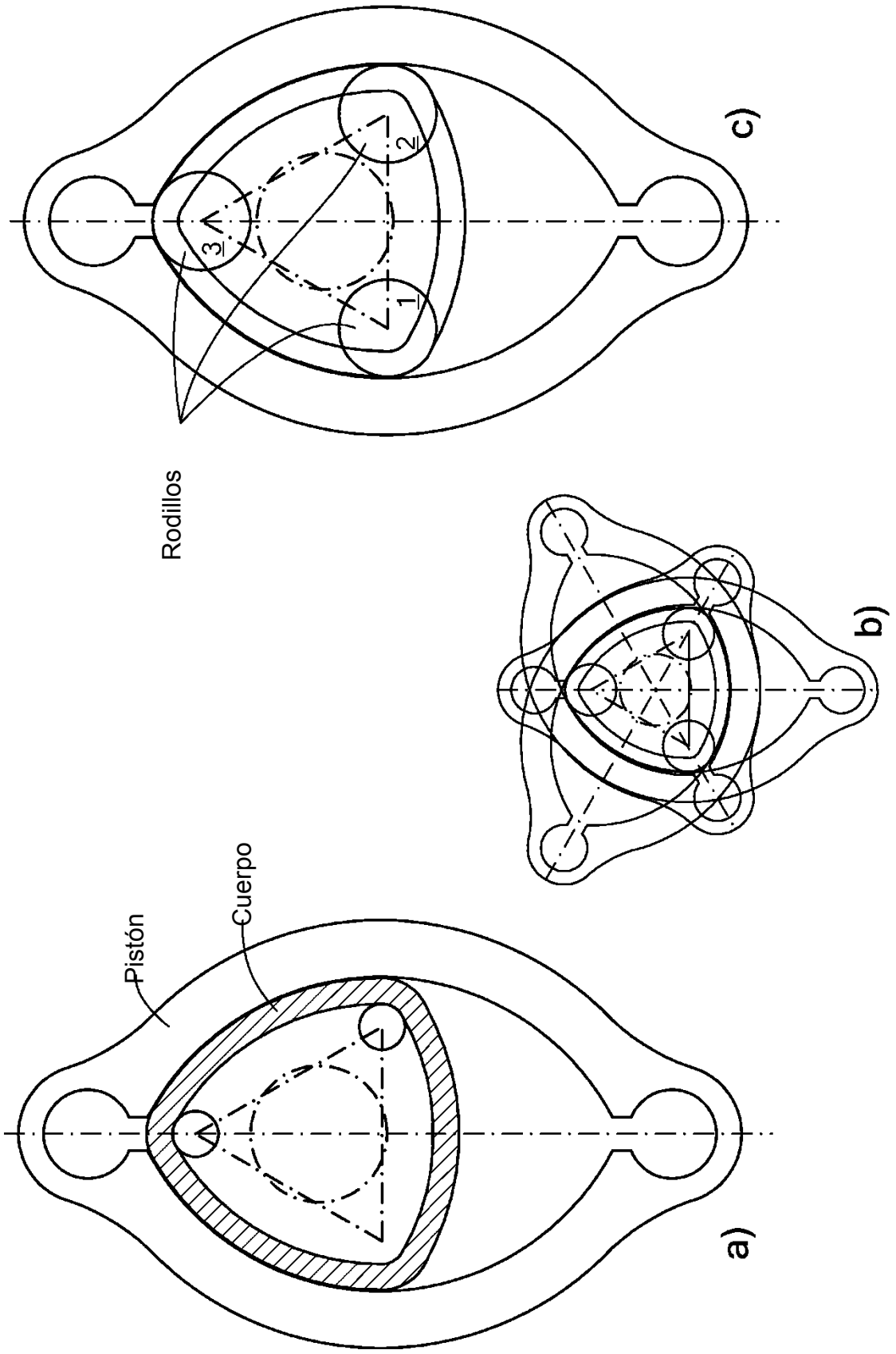


FIG. 34

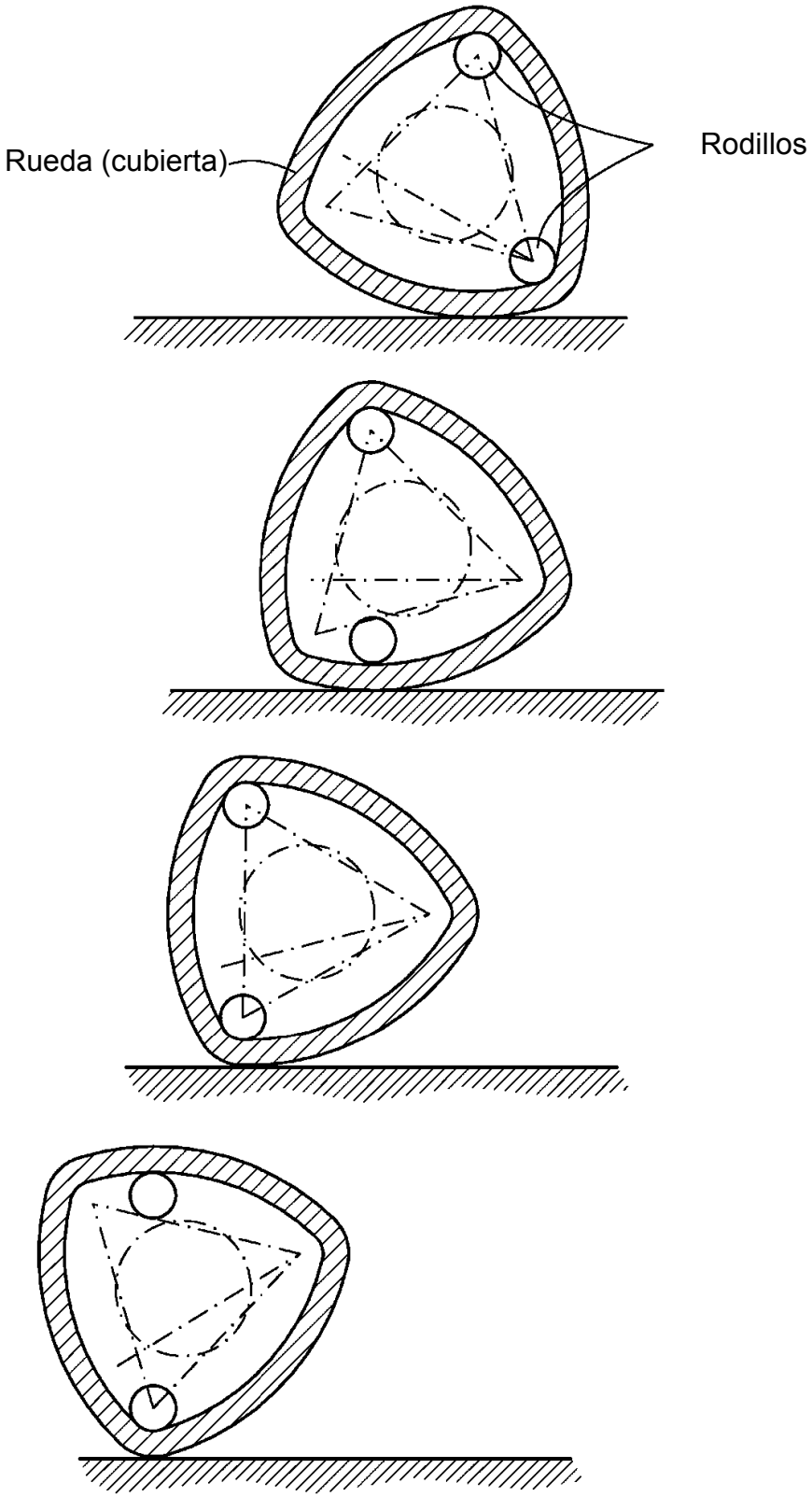


FIG. 35

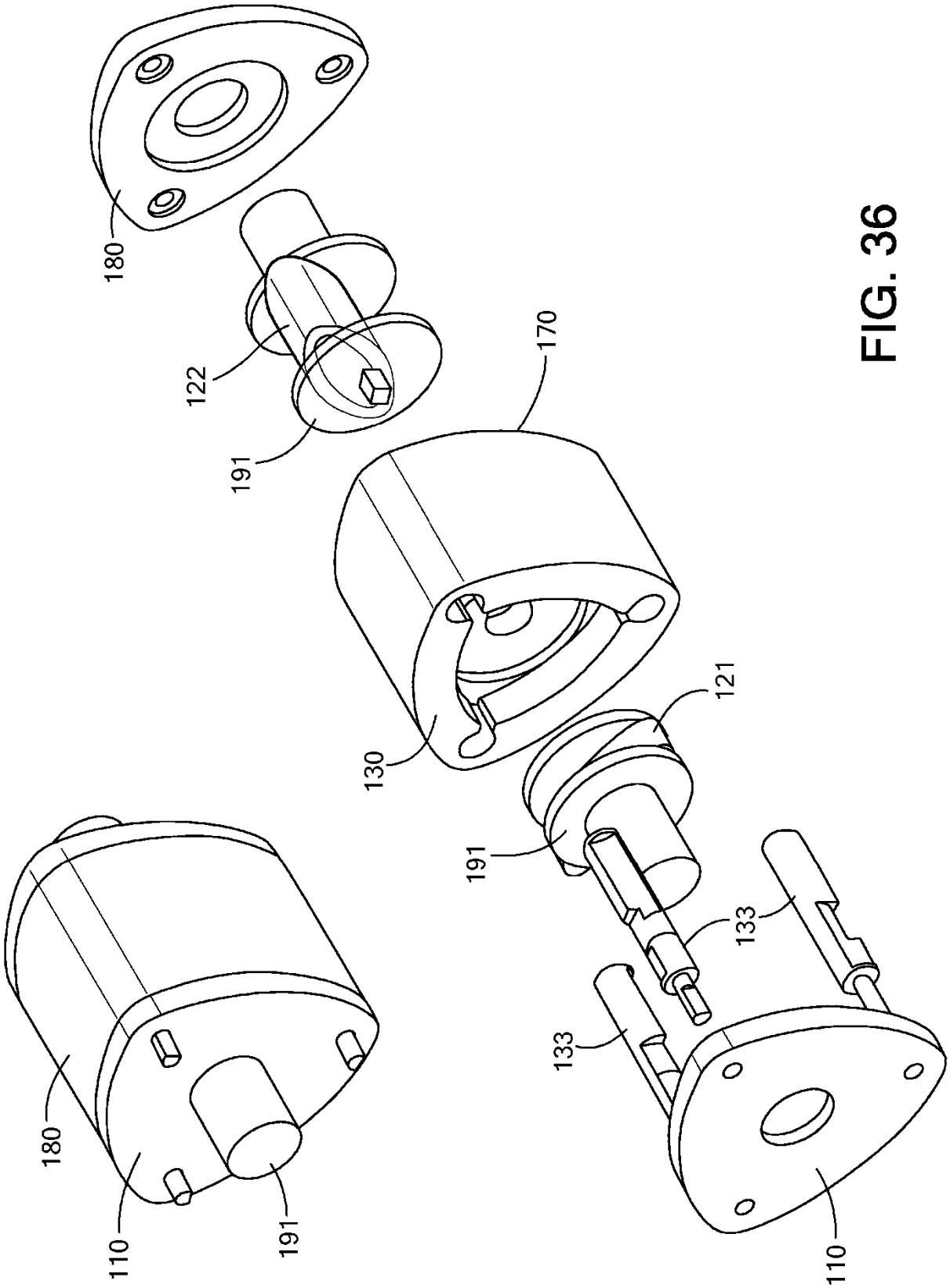
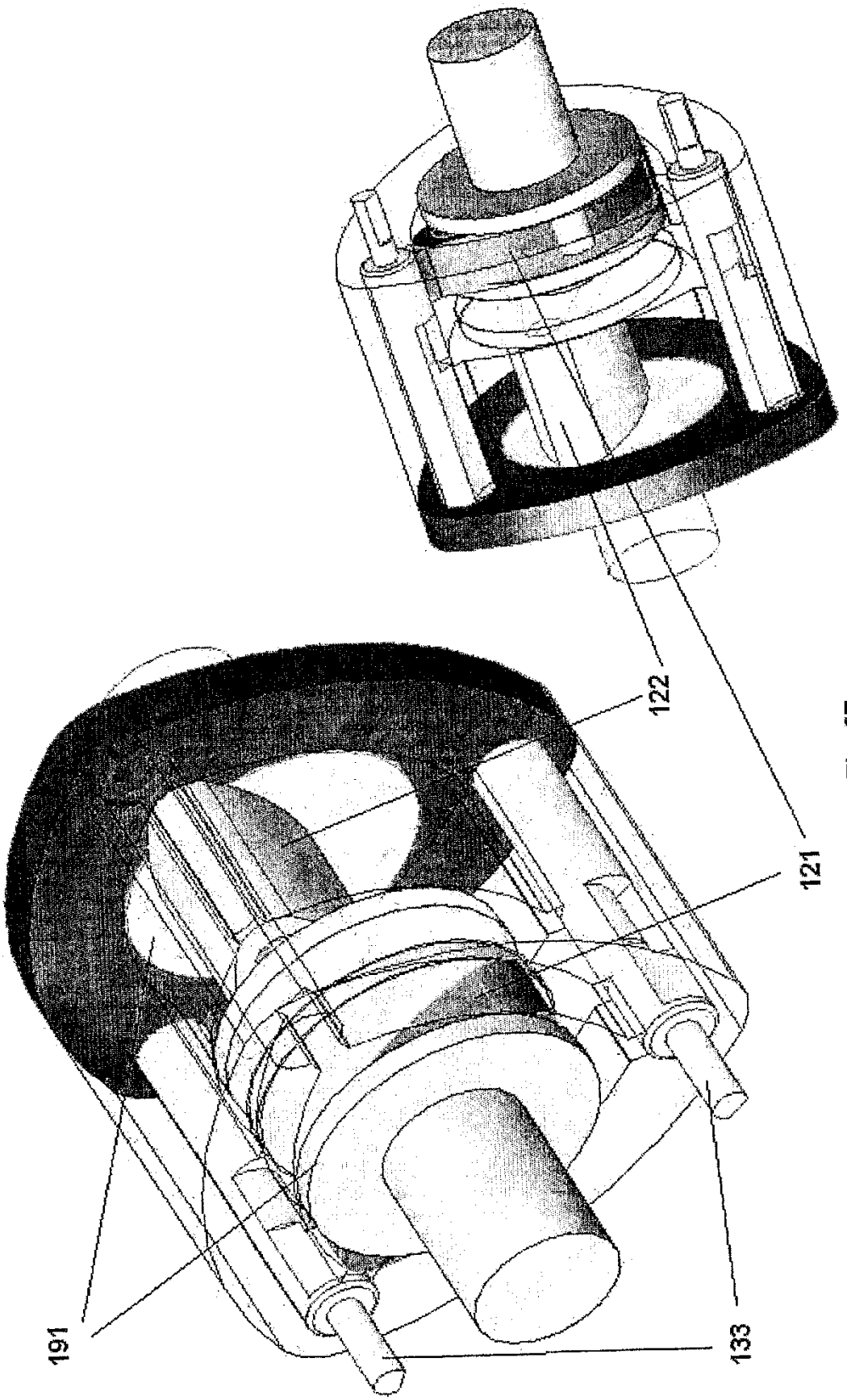


FIG. 36



Flg. 37

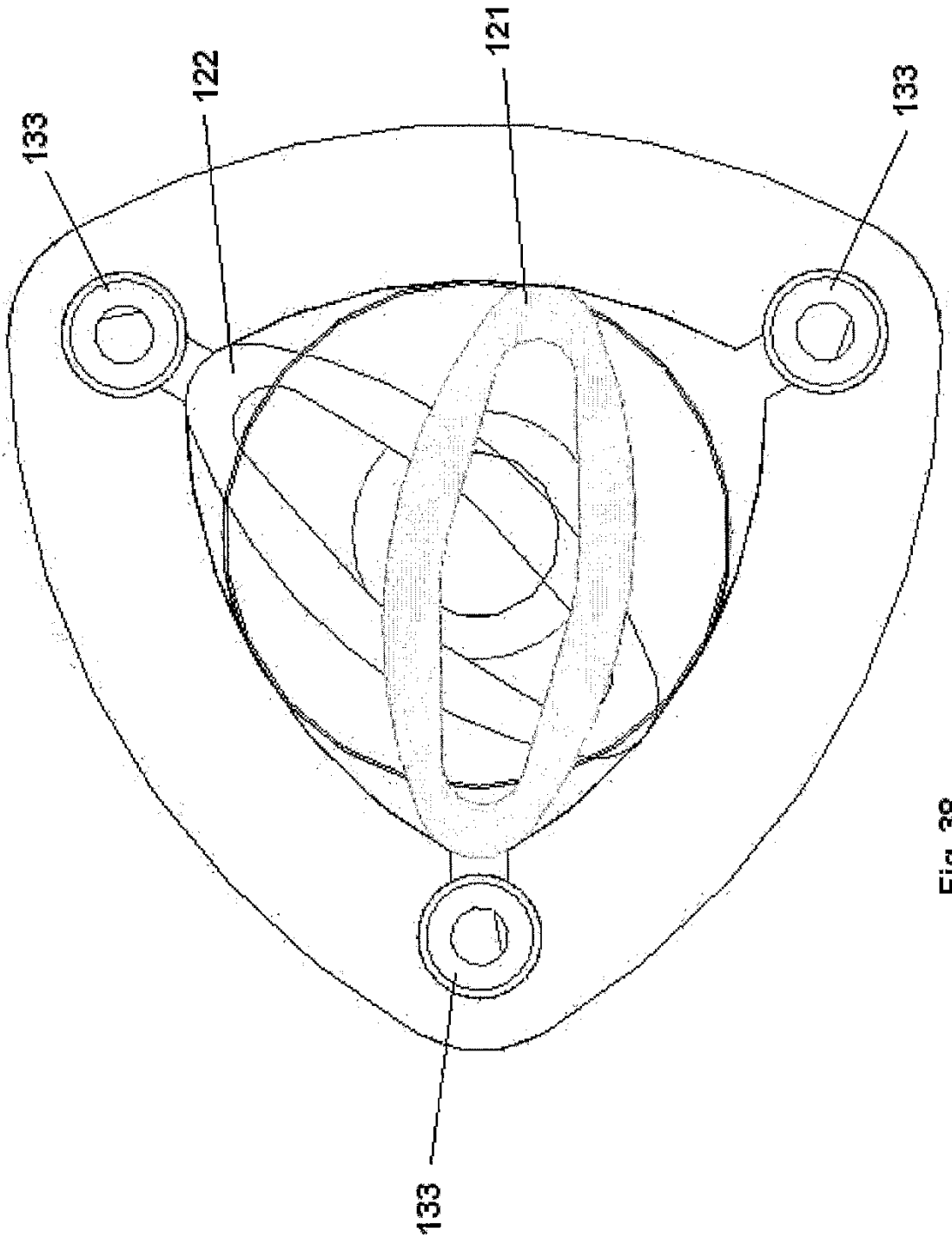


Fig. 38

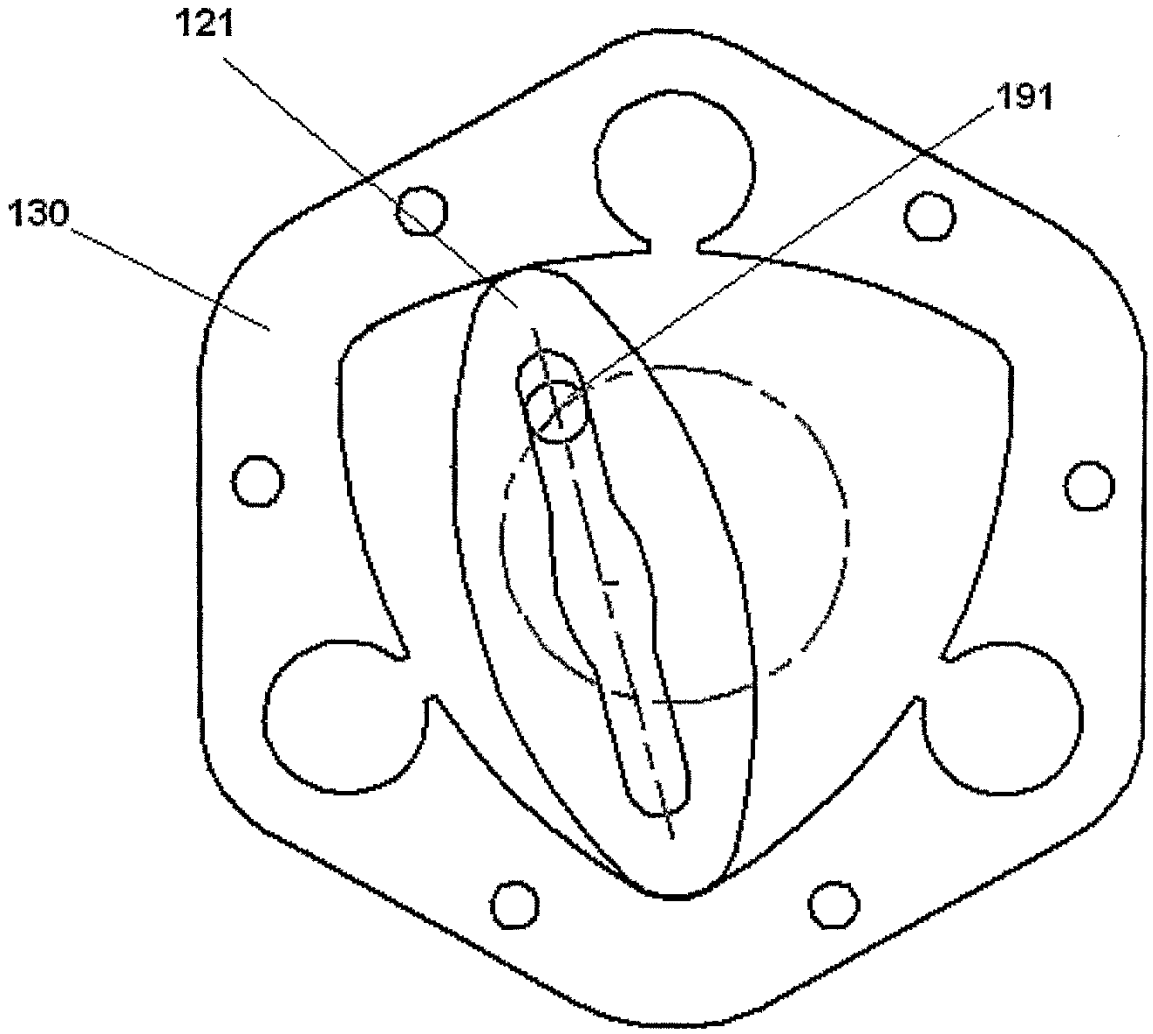


Fig. 39

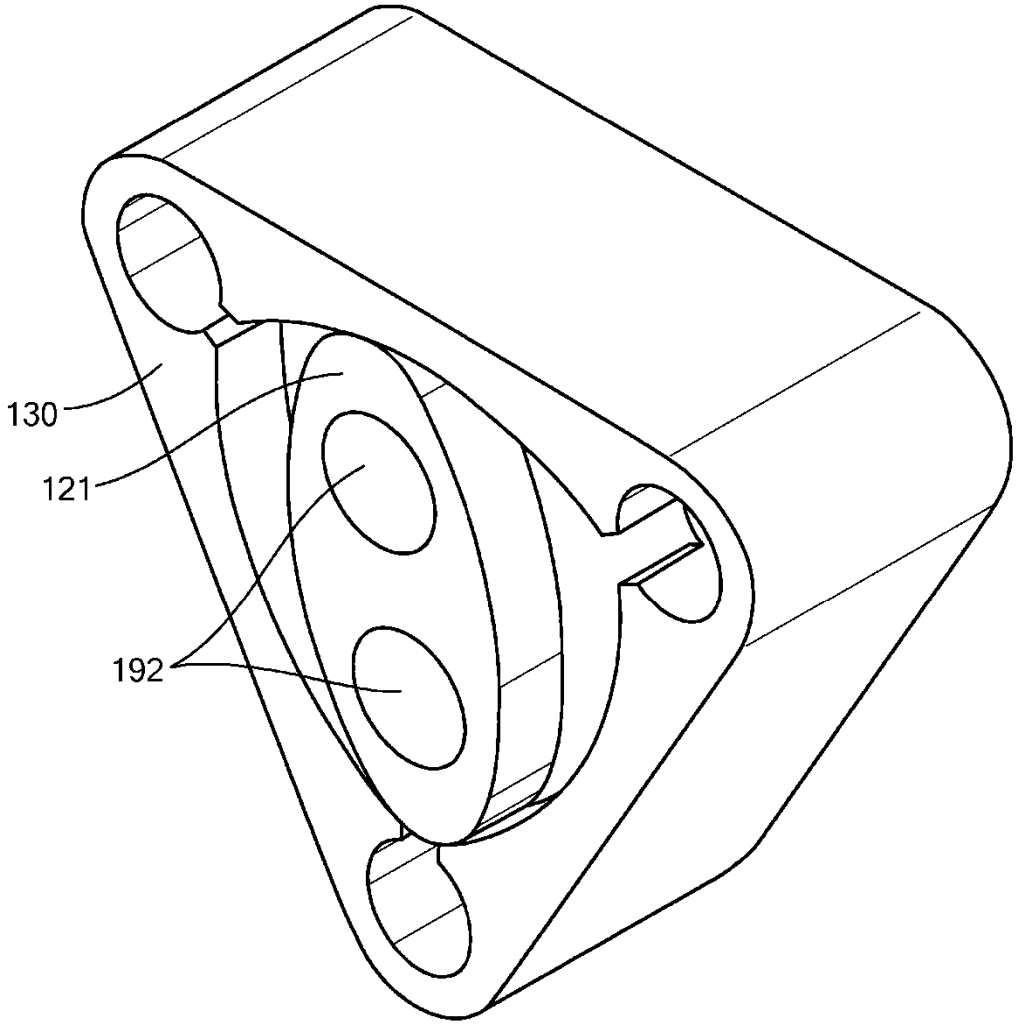


FIG. 40

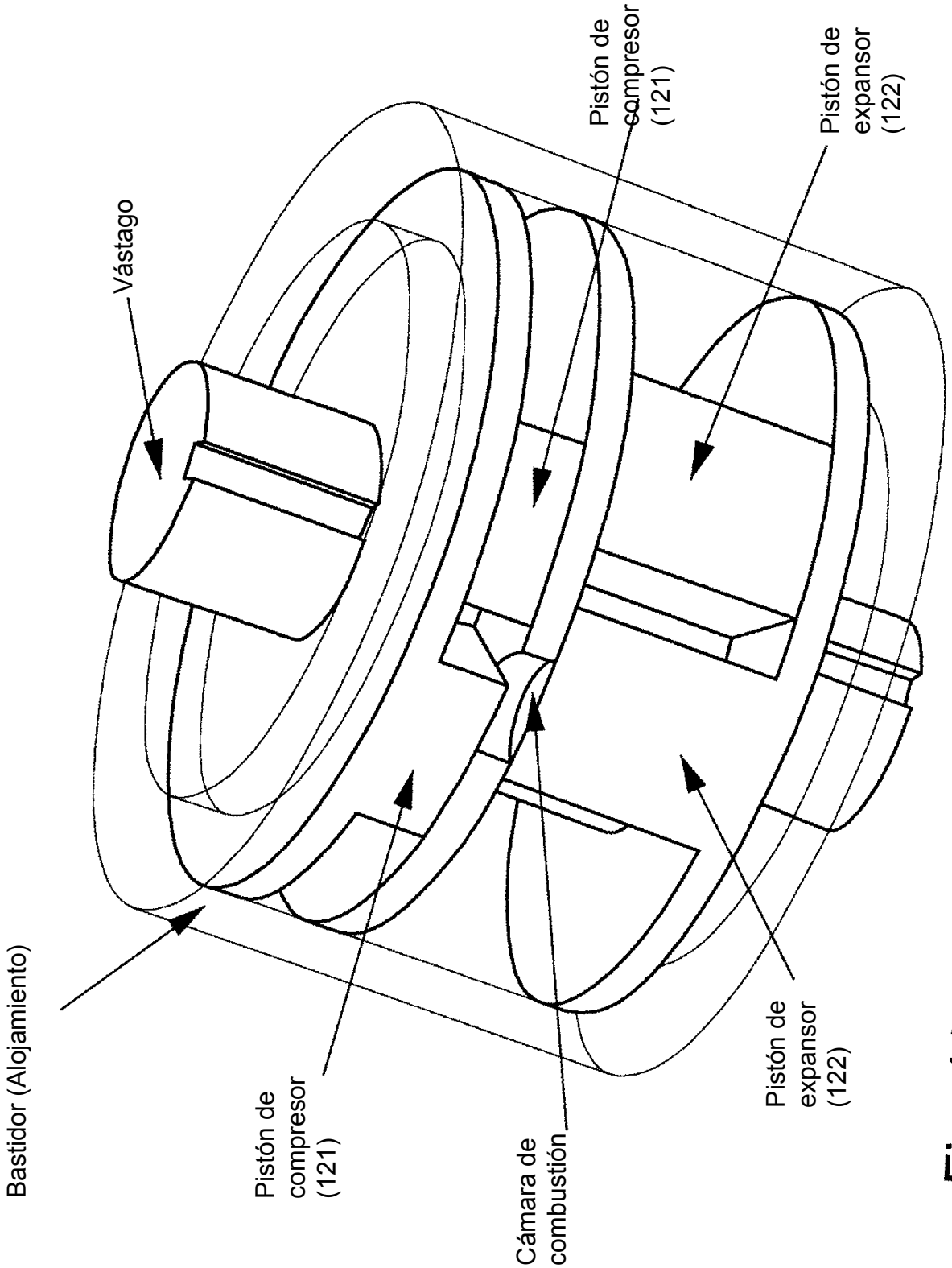

Bastidor (Alojamiento)
Vástago
Pistón de compresor (121)
Pistón de expansor (122)
Cámara de combustión
Pistón de compresor (121)
Pistón de expansor (122)

Fig. 41

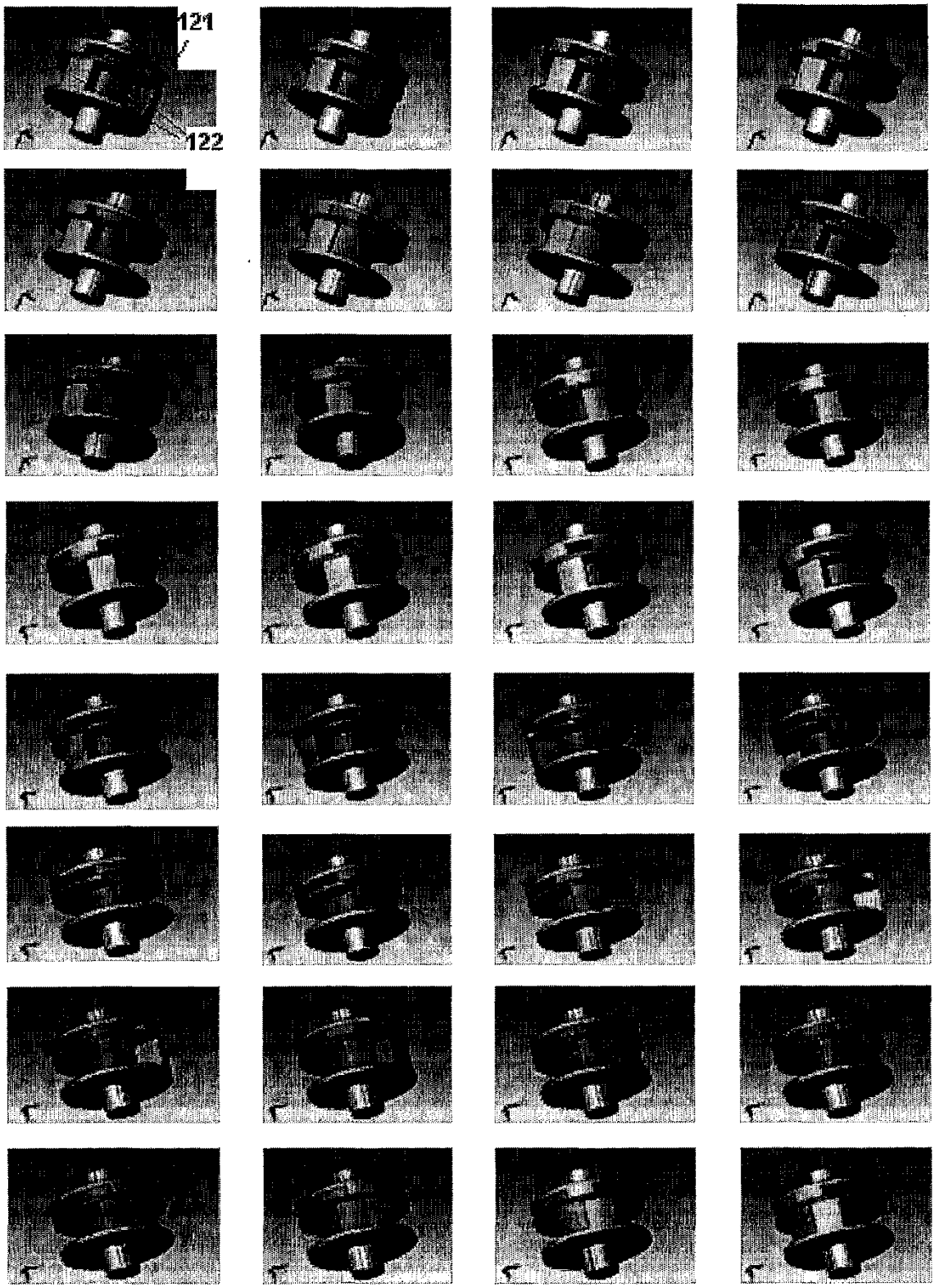


Fig. 42

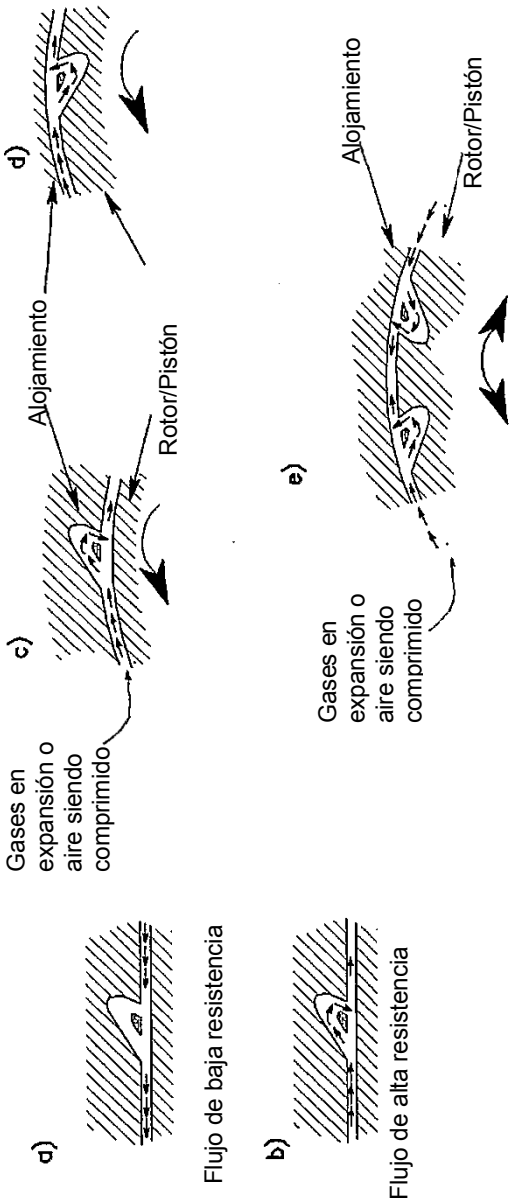

a)
Flujo de baja resistencia
b)
Flujo de alta resistencia
Técnica anterior:
Diodo fluídico
estacionario
c)
Gases en
expansión o
aire siendo
comprimido
Alojamiento
Rotor/Pistón
d)
Alojamiento
Rotor/Pistón
e)
Gases en
expansión o
aire siendo
comprimido
Sellado por diodo fluídico

Fig. 43

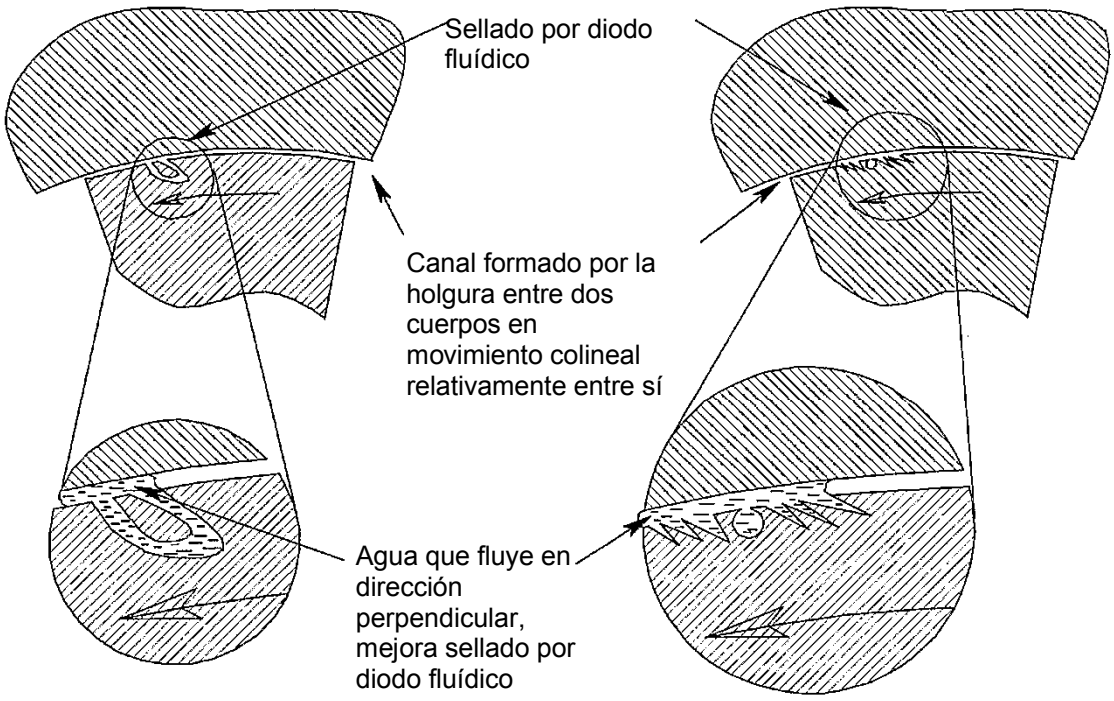

Sellado por diodo fluídico
Canal formado por la holgura entre dos cuerpos en movimiento colineal relativamente entre sí
Agua que fluye en dirección perpendicular, mejora sellado por diodo fluídico

Fig. 44

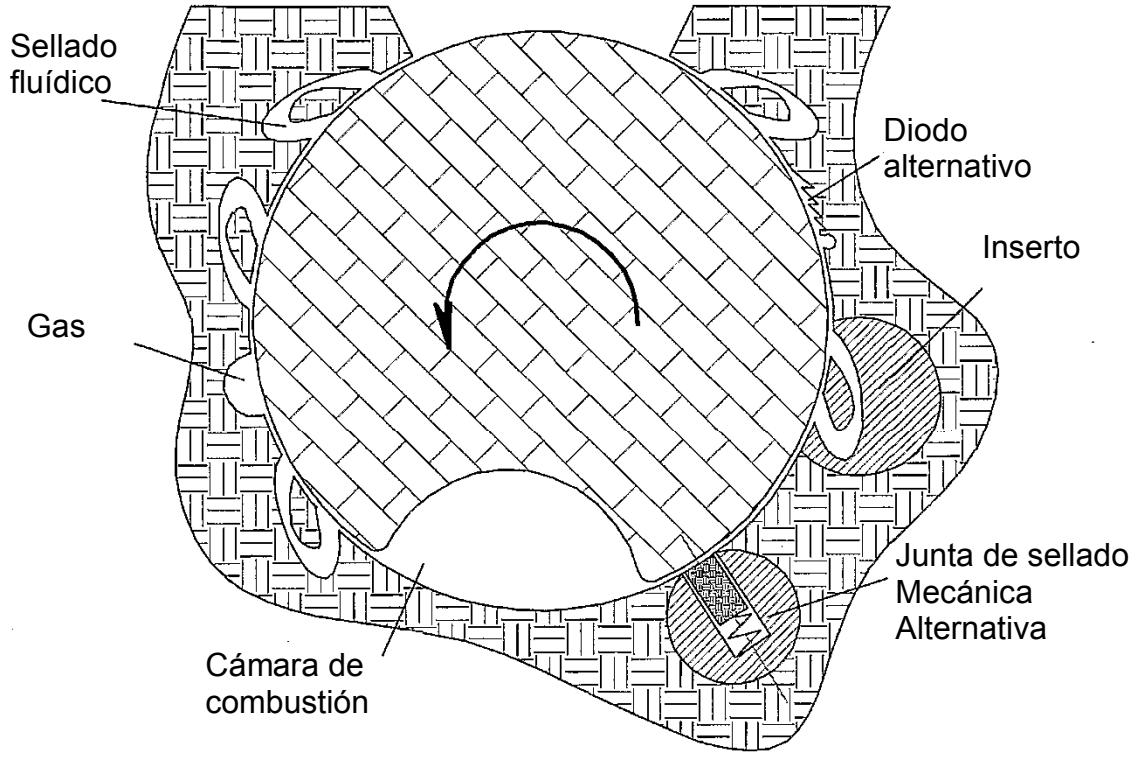

Sellado
fluídico
Diodo
alternativo
Inserto
Gas
Junta de sellado
Mecánica
Alternativa
Cámara de
combustión

Fig 45