

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 654 338**

51 Int. Cl.:

**F01N 5/02** (2006.01)

**F02B 41/06** (2006.01)

**F02B 75/02** (2006.01)

**F02M 31/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.10.2010 PCT/GB2010/001977**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.04.2011 WO11048392**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.10.2010 E 10773670 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.09.2017 EP 2516814**

54 Título: **Un motor térmico**

30 Prioridad:

**23.10.2009 GB 0918707**

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

**13.02.2018**

73 Titular/es:

**2020 POWER GENERATION LIMITED (100.0%)  
25 The Marlinespike, Shoreham by Sea  
West Sussex BN43 5RD, GB**

72 Inventor/es:

**COATES, NICHOLAS, RICHARD**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 654 338 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Un motor térmico.

5 La presente invención se refiere al ámbito de los motores térmicos, en particular los motores de combustión interna de desplazamiento positivo de eficiencia mejorada.

10 Un motor de combustión interna es un motor térmico en el que el fluido de trabajo es un gas a menudo aire o aire mezclado con productos de escape, que contiene una proporción de oxígeno a la que se agrega calor directamente durante el ciclo mediante un proceso de combustión dentro del fluido de trabajo.

15 La mayoría de los requisitos de potencia mecánica que no se pueden cumplir mediante la conexión a la red eléctrica se satisfacen mediante motores de combustión interna. Los requisitos de potencia de transporte, incluidos los automotores, los vehículos pesados de transporte, los motores ferroviarios, marinos y de aviación son bien conocidos, pero hay muchos otros que incluyen generación de energía eléctrica en un rango de escalas, herramientas eléctricas utilizadas en agricultura, silvicultura, ingeniería civil y de construcción, bombeo de agua , petróleo y gas natural. Los motores varían en tamaño desde micromáquinas que pesan solo unos pocos gramos y que se están desarrollando para reemplazar baterías en algunas aplicaciones hasta unidades de propulsión marítimas que pesan 2300 toneladas métricas.

20 Se cree que el suministro mundial de combustibles fósiles se aproxima al pico del petróleo, después del cual puede haber una competencia feroz por la disminución del suministro. Se han introducido o se están desarrollando una serie de biocombustibles, pero algunos de ellos compiten con los cultivos alimentarios para el uso agrícola de la tierra. Además, ahora es ampliamente reconocido que los efectos en el medio ambiente de las emisiones de carbono en la atmósfera son una causa del cambio climático. Por lo tanto, existe un gran interés en mejorar la eficiencia de los motores de combustión interna debido a la presión de esta combinación de preocupaciones.

30 Es bien sabido en el ámbito que los motores de la tecnología actual solo pueden convertir aproximadamente un tercio de la energía disponible en el combustible en trabajo útil. De los dos tercios restantes, en los motores de pistón, aproximadamente un tercio es una pérdida de ciclo que abandona el motor como calor de escape. El otro tercio es pérdida por enfriamiento, el cual es calor transferido desde el gas de trabajo al material del motor, que por lo tanto se pierde en el ciclo y debe ser disipado por aletas de refrigeración o radiadores llenos de líquido para proteger los materiales y procesos en el motor. La mejora de la eficiencia es, por lo tanto, un objetivo buscado por muchos trabajadores en el ámbito y las áreas de pérdida de ciclo y pérdida por enfriamiento son el objetivo de mejoras en el estado de la técnica. La presente invención ofrece una mejora sustancial en ambas áreas.

40 En 1824 Sadi Carnot demostró que ningún motor térmico puede alcanzar el 100% de eficiencia. Todos los motores reciben calor a una temperatura absoluta más alta  $T_h$  y rechazan calor a una temperatura absoluta más fría  $T_c$ . La conocida ecuación de Carnot:

$$\eta = 1 - \frac{T_c}{T_h}$$

45 muestra que la eficiencia máxima  $\eta$  que un motor puede alcanzar está limitada por la relación de estas temperaturas. Sin embargo, también muestra que un motor funcionando entre la temperatura de combustión adiabática de los combustibles comunes a alrededor de 2800K y las temperaturas ambientales a alrededor de 300K podría tener un límite de eficiencia de casi el 90%. Los motores actuales no pueden explotar este rango de temperaturas. La presente invención explota completamente este rango de temperaturas y, por lo tanto, el límite de eficiencia de Carnot es mucho mayor.

50 Los motores de combustión interna están actualmente divididos en máquinas de desplazamiento positivo y máquinas de flujo cinético. Las máquinas de desplazamiento positivo incluyen motores de pistón y motores Wankel, mientras que las máquinas de flujo cinético incluyen turbinas de gas. Las máquinas de desplazamiento positivo se caracterizan porque absorben y procesan volúmenes de trabajo discretos de gas que se toman a través de un ciclo que implica cambios de volumen y la atracción y el rechazo de calor.

55 Se dividen en motores de encendido por chispa e encendido por compresión que funcionan en el ciclo de dos o cuatro tiempos. Todos estos motores tienen en común el principio de compresión. Este principio fue expuesto por primera vez por Alphonse Beau de Rochas en un folleto publicado en 1862. Este describe con precisión el principio de funcionamiento del motor de cuatro tiempos. En 1876, el Dr. Nikolaus Otto redescubrió este principio y construyó un motor exitoso. A partir de ese momento, el principio de compresión ha sido universal. La ecuación de eficiencia que rige el ciclo de Otto, y el ciclo Joule-Brayton que se aplica a las turbinas de gas, es muy conocida en el ámbito:

$$\eta = 1 - \frac{1}{r_v^{(\gamma-1)}}$$

5 donde  $\eta$  es la eficiencia,  $r_v$  es la relación de volumen, comúnmente referida como la relación de compresión e  $\gamma$  es la relación de los calores específicos del gas de trabajo y tiene un valor de 1,4 a temperatura ambiente que cae a 1,29 a 2500K.

El ciclo de Joule-Brayton que se aplica a las turbinas de gas tiene una ecuación de eficiencia similar.

$$\eta = 1 - \frac{1}{r_p^{(\gamma-1)/\gamma}}$$

10 En esta ecuación,  $r_p$  es la relación de presión.

15 La implicación clara de estas ecuaciones es que la eficiencia se mejora mediante altas relaciones de compresión y además que un motor que no tiene compresión, es decir  $r=1$  tendría una eficiencia de cero. Un estudio de la historia temprana del motor de combustión interna reveló que claramente este no es el caso. Antes de la invención del motor de compresión, los motores de gas sin compresión se construyeron y vendieron comercialmente. Etienne Lenoir patentó un motor sin compresión en 1860 y se vendieron unas 600 unidades. Nikolaus Otto creó una empresa con Eugene Langen, que desde 1862 vendió un motor sin compresión mejorado con una mayor fiabilidad y una mayor eficiencia. El análisis de los principios termodinámicos en que se basaban estos motores reveló que la ecuación anterior es un artefacto de los ciclos del motor donde la relación de compresión y expansión son iguales. Además, el término "relación de compresión" pone un énfasis engañoso en la compresión cuando en realidad es la expansión la que da como resultado la conversión del calor en potencia mecánica.

25 En 1710 Thomas Newcomen y John Cowley inventaron la máquina de vapor atmosférica. Se permitía que el vapor a baja presión llenara un cilindro. La posterior condensación del vapor por enfriamiento con agua se usaba para crear energía mecánica a través de una carrera atmosférica por la cual el vacío producido permitía que la presión de la atmósfera forzara un pistón hacia abajo del cilindro. Por este medio, se extraía trabajo atmosférico. En términos termodinámicos, el principio atmosférico es sólido, ya que permite que el motor rechace el calor a baja temperatura. El motor tenía baja eficiencia porque los procesos de calentamiento y enfriamiento se llevaban a cabo en el mismo recinto, por lo que se perdía mucho calor en los materiales del motor. Este problema fue tratado más tarde por James Watt quien conectó el cilindro caliente a una cámara fría separada por una tubería con una válvula. Watt también comenzó a usar la presión positiva del vapor para producir potencia en la carrera ascendente aunque a baja presión.

35 En 1823 Samuel Brown desarrolló un motor de combustión interna basado en el principio atmosférico. Usó la rápida combustión de una mezcla de gas y aire en el cilindro para expulsar la mayor parte del gas antes de enfriar el gas restante mediante agua pulverizada para crear un vacío parcial que permitía que la atmósfera impulsara el pistón. En ese momento podía haber habido una reticencia a usar presión positiva para producir trabajo debido a la baja y poco fiable resistencia a la tracción de los materiales disponibles. El motor se utilizó para propulsar un vehículo pero tuvo una baja eficiencia porque la presión positiva producida por la combustión se enviaba a la atmósfera.

40 Los motores sin compresión de Lenoir y Otto funcionaban moviendo un pistón a través de parte de su carrera para aspirar una mezcla de aire y gas de iluminación, y luego encendiendo la mezcla. El aumento de la temperatura aumentaba la presión que impulsaría el pistón durante el resto de su carrera. El mecanismo de cigüeñal y biela, que habrían sido bien conocidos de las aplicaciones de vapor, no se usaba. En el motor Otto-Langen, el pistón era impulsado por la presión de combustión hacia un cilindro vertical hasta que se detenía por una combinación de su peso y un vacío parcial que se desarrollaba detrás de él como resultado de la inercia del pistón habiéndolo llevado más allá de la posición de equilibrio con presión atmosférica. Este vacío parcial se aumentaba luego enfriando el gas con una pulverización de agua. La presión atmosférica forzaba el pistón hacia abajo del cilindro. A medida que descendía, impulsaba un volante de inercia a través de una cremallera que se engranaba con un piñón que corría en el eje del volante de inercia con un embrague unidireccional. Por lo tanto, este motor hacía uso tanto del principio de presión como del principio atmosférico. Funcionaba en un amplio rango de temperaturas, aunque las pérdidas de enfriamiento habrían sido altas ya que los procesos de frío y calor tenían lugar en el mismo cilindro y, por lo tanto, difieren de la presente invención.

55 Después de la invención posterior de Otto del motor de compresión en 1876, que hacía uso del mecanismo de cigüeñal y biela, el desarrollo del motor sin compresión se abandonó casi por completo. Otto promovió fuertemente

el principio de compresión en la creencia de que su patente le daba el monopolio de su producción. Trabajando con Gottlieb Daimler y Wilhelm Maybach, tenía la capacidad industrial para poner su innovación en producción. Sin embargo, su patente fracasó en 1886 cuando salió a la luz el folleto de Beau de Rochas. Esto dejó el camino despejado para que otros fabricantes introdujeran sus propios productos.

5 Desde entonces, el motor de compresión ha reinado en el modo de cuatro tiempos o de dos tiempos en el modo de encendido con chispa o por compresión. El pistón y el cilindro siguen siendo el mecanismo de volumen variable predominante con el motor Wankel haciendo incursiones en aplicaciones donde la relación potencia-peso es más importante que el ahorro de combustible. Todos estos motores tienen en común un ciclo termodinámico basado en la compresión muy similar y la característica de que todos los procesos en el ciclo tienen lugar en el mismo recinto y, por lo tanto, difieren de la presente invención.

15 Un método bien conocido para reducir la pérdida de ciclo es la regeneración de calor. El calor en los gases de escape se recoge y se devuelve a una parte del ciclo donde su efecto puede reemplazar el calentamiento por combustible y de ese modo reducir la cantidad de combustible requerido. La regeneración se demostró por primera vez en un motor de aire caliente patentado por el Dr. Robert Stirling en 1816. Un regenerador es un intercambiador de calor de gas a sólido donde fluye una corriente transitoria de gas caliente y calienta una matriz sólida. Una corriente transitoria de gas frío en contraflujo a continuación recupera el calor. Esta técnica es más beneficiosa en ciclos donde el gas de calentamiento y el gas calentado son de la misma masa, y se enfrían y calientan respectivamente en las mismas condiciones y entre los mismos límites de temperatura. Esta técnica ha tenido cierto éxito en turbinas de gas. Debido a la naturaleza de flujo continuo de estos motores, el calor puede transferirse mediante un intercambiador de calor gas-gas o un intercambiador de calor de matriz giratoria. Los beneficios de la técnica están limitados por el hecho de que es imposible incluso en el ciclo ideal que se extraiga todo el calor de escape, ya que sería necesario enfriar el escape de la turbina a temperatura ambiente. Esto no es posible porque el calor debe transferirse al aire a la salida del compresor y este aire se ha calentado mediante el proceso de compresión adiabático más las pérdidas isoentrópicas y, por lo tanto, está varios cientos de grados por encima de la temperatura ambiente. Por lo tanto, solo se puede recuperar una parte del calor. Esta situación se puede mejorar si se utiliza refrigeración intermedia en el proceso de compresión.

25 30 Un número de trabajadores en el ámbito han propuesto métodos para aplicar regeneración a motores de combustión interna de desplazamiento positivo. Estos pueden clasificarse como: motores de combustión interna Stirling; motores Otto con la incorporación de la regeneración del cilindro; y motores de ciclo dividido donde la admisión y compresión, y la combustión y el escape tienen lugar en cilindros separados, y la regeneración se produce entre los cilindros.

35 En un motor Stirling, los volúmenes caliente y frío están en comunicación permanente a través del regenerador y, por lo tanto, difieren de la presente invención. El aire se mueve hacia el espacio caliente y gana calor del regenerador. Luego se expande realizando el trabajo mientras el calor se transfiere al aire manteniendo su temperatura. En un motor Stirling de combustión interna, este calor es suministrado por la combustión de combustible en el espacio caliente. La temperatura caliente en el ciclo está por lo tanto limitada a los límites materiales del regenerador y el cilindro caliente. Esta temperatura será mucho menor que la temperatura de combustión adiabática del combustible, por lo tanto, aunque el ciclo de Stirling teóricamente es capaz de acercarse a su límite de Carnot, el límite será inferior a un ciclo que pudiera funcionar a la temperatura de combustión adiabática.

40 45 En el ciclo de Otto, todos los procesos ocurren en un cilindro. Esto tiene el beneficio de la simplicidad y permite que el pistón y el cilindro permanezcan a una temperatura comparativamente baja, mientras que al mismo tiempo la temperatura máxima en el ciclo es la temperatura de combustión adiabática del combustible. La desventaja es que la eficiencia del ciclo es una función de la relación entre la temperatura de combustión y la temperatura de escape. La temperatura de escape es mucho mayor que la temperatura ambiente y la eficiencia del ciclo es, por lo tanto, menor que la eficiencia de Carnot de un motor que utiliza la misma temperatura superior. Además, los materiales que comprenden el recinto de contención son mucho más fríos que el proceso en sí, por lo que las pérdidas por enfriamiento son elevadas. Se han realizado intentos para colocar un regenerador en movimiento dentro del cilindro. Esto complica el proceso de combustión y debido al aumento de temperatura por compresión y solo es posible regenerar una parte del calor. El problema de la pérdida por enfriamiento no se trata.

50 55 Los motores de ciclo dividido permiten que el proceso de enfriamiento se realice en un cilindro separado del proceso en caliente y el regenerador puede estar en el camino entre los cilindros. El uso de compresión significa que las presiones de combustión son altas y se usan válvulas de asiento para controlar el flujo. Estas tienen el efecto de crear un significativo volumen muerto debido al paso curvo requerido detrás de la válvula. El aumento de la temperatura de compresión limita la proporción de regeneración. Estos ciclos contribuyen en cierto modo a reducir la pérdida por enfriamiento, pero si se utiliza la lubricación del pistón con aceite convencional, esto limita la temperatura de la pared a menos de 300 grados Celsius. El uso de lubricación seca ha sido sugerido. Este método es conocido por motores de investigación especiales que cuentan con una ventana óptica en el área de combustión. Las pérdidas por fricción son muy altas, lo que es aceptable en esta aplicación especializada pero no en un motor funcional.

65

Ninguna de las mejoras propuestas hasta ahora puede, incluso en el ciclo ideal, recuperar todo el calor de escape. Además, ninguno de los motores mejorados ofrece un ahorro significativo en la pérdida por enfriamiento. Por esta razón, generalmente reivindican una mejora del 10 al 15% en la eficiencia en comparación con un motor sin regeneración. El objetivo de la presente invención es lograr una mejora mucho mayor del 30 a 40%, llevando la eficiencia total a entre el 70 y 80%. Esto se logra recuperando esencialmente todo el calor de escape y, al mismo tiempo, reduciendo significativamente las pérdidas por enfriamiento.

La presente invención puede usar técnicas de sellado sin contacto que incluyen juntas de laberinto o cojinetes neumáticos lineales. Hay muchas ocasiones en la ingeniería en que el fluido a presión tiene que estar contenido dentro de un recinto mientras que al mismo tiempo se requiere la transmisión mecánica del movimiento rotativo o lineal en el recinto. En la mayoría de las ocasiones, se puede usar una junta que se ajuste la cual es montada en una superficie y se apoya contra una superficie lisa en movimiento relativo para restringir o evitar el flujo de fluido mientras se impone cierto grado de pérdida por fricción. Sin embargo, existen circunstancias en las que dichas juntas sólidas no son posibles debido a la alta velocidad de movimiento, la alta temperatura o porque se puede tolerar cierta pérdida de presión a cambio de la reducción en la pérdida por fricción. En estas ocasiones, se utilizan juntas sin contacto.

Para una junta de laberinto, las superficies en movimiento relativo están separadas por una pequeña holgura. El flujo de gas a través del hueco se minimiza mediante la creación de características en las superficies diseñadas para crear la máxima resistencia al flujo. Los pistones laberínticos son pistones montados sólidamente en una biela. Esta biela está restringida por un cojinete lineal y guía el pistón hacia arriba y hacia abajo del cilindro sin contacto con las paredes del cilindro. El pistón tiene un perfil estriado en sus flancos que crea resistencia al flujo de fluido a través del hueco. Esta técnica es utilizada con éxito por Burckhardt Compression SA de Suiza en bombas que operan a temperaturas criogénicas donde se descarta el uso de lubricantes de aceite. Materiales con bajos coeficientes de expansión se utilizan para minimizar la variación en el diámetro del pistón con temperatura para permitir que se mantenga la mínima holgura.

Para utilizar un cojinete neumático lineal, un suministro de aire comprimido se canaliza para surgir en varios puntos alrededor del flanco del pistón. El pistón se acciona de nuevo con una biela del pistón la cual no aplica fuerzas fuera del eje al pistón. El pistón es guiado en el orificio del cilindro sin contacto ya que cuando se acerca a un lado del orificio, la fuerza de soporte del aire será mayor tendiendo a volver a centrar el pistón.

#### Estado de la técnica

Thomas Newcomen y John Cowley en 1710 demuestran el motor de vapor atmosférico.

Samuel Brown. La Patente número 4874 de 1823 "Efectuar un vacío y así producir fuerzas". La patente divulga un motor atmosférico de combustión interna.

Robert y James Stirling. La Patente número 5456 de 1827 divulga un motor de aire que incorpora el principio de regeneración de calor.

Lenoir. La Patente número 335 de 1860 "Mejoras en la obtención de la fuerza motriz y en la maquinaria o aparato empleado en la misma" divulga un motor de combustión interna sin compresión.

Nikolaus Otto. La Patente número 2098 de 1863 divulga un motor que deriva energía de una combinación de combustión sin compresión y una carrera atmosférica enfriada.

Eugene Langen y Nikolaous Otto. La Patente número 434 de 1866 divulga una versión mejorada del motor 1863 de Otto.

Hirsch. La Patente de los Estados Unidos número 155,087 1874 divulga un motor de ciclo Stirling de combustión interna. Las características interesantes son un cilindro caliente con revestimiento refractario y la combustión espontánea del combustible en el cilindro caliente. La refrigeración por pulverización de agua se utiliza en el cilindro frío. En este motor, la mayoría del gas de trabajo se circula de un lado a otro a través del regenerador entre el cilindro caliente y el cilindro frío. Una pequeña cantidad de aire fresco y combustible se bombea al cilindro caliente; la combustión resultante mantiene la temperatura del cilindro caliente. El método de proporcionar un revestimiento refractario habría limitado el motor a un funcionamiento a baja velocidad. La combustión isotérmica proporcionaría una temperatura superior  $T_h$  en el ciclo mucho más baja que la temperatura de combustión adiabática. Por lo tanto, aunque el ciclo podría aproximarse a su eficiencia de Carnot, la eficiencia de Carnot sería menor que en la presente invención y su funcionamiento se basa en un ciclo completamente diferente.

C.W. Siemens. La Patente número 2504 de 1881 divulga un motor de combustión interna con un regenerador incorporado en la culata.

Wait. La Patente de los Estados Unidos 7201156 sugiere correctamente que la regeneración podría permitir que el motor sea eficiente a bajas relaciones de compresión, pero no sugiere un motor sin compresión. El motor divulgado tiene un ciclo convencional de cuatro tiempos pero con el calor de escape agregado antes de la carrera de compresión. Esto permite una buena recuperación de calor ya que no hay calentamiento por compresión antes de la transferencia. Lamentablemente, no hay ningún beneficio en agregar calor en este punto del ciclo, ya que no existe un método para convertirlo en energía. Hacerlo ciertamente complicaría el proceso de enfriamiento y combustión.

Koenig. El documento US1.111.84. Este motor es un motor de ciclo dividido donde el cilindro compresor es más pequeño que el cilindro de expansión. La necesidad de minimizar el calentamiento por compresión antes de la regeneración es reconocida proporcionando al cilindro de compresión una superficie interna elevada para reducir el índice politrópico. Se demuestra una buena comprensión de la termodinámica, pero en el diagrama se muestran secciones de la válvula muy pequeñas según los estándares actuales. El problema de enfriar el cilindro de potencia no se trata.

Coney y otros. El documento US2003049139. Este motor divulgado desarrolla la idea de Koenig al usar un grado muy alto de compresión con enfriamiento por pulverización para hacer que el proceso de compresión sea casi isotérmico. Esto facilita un buen nivel de recuperación del calor del escape, pero las presiones excepcionalmente altas utilizadas perjudicarán las medidas de reducción de la pérdida por enfriamiento. El motor divulgado está dirigido a grandes aplicaciones de generación de energía y, como tales, son muy complicados con varios intercambiadores de calor. Por lo tanto, es poco probable que sean económicos en aplicaciones más pequeñas.

Patton. Los documentos US 7004115 y 7219630 también identifican los beneficios de la baja compresión en un motor regenerativo pero sugieren un motor sin compresión. Él divulga un motor con regeneración pero sin medidas de reducción de pérdida por enfriamiento.

Graves. El documento US 3729927 1972 divulga un motor sin compresión que difiere de un motor Lenoir en que la combustión tiene lugar en una cámara separada y los productos de expansión entran en el cilindro a través de una válvula de mariposa. Esto permite que toda la carrera del pistón se use para la expansión. La cámara de combustión separada tendrá altas pérdidas por enfriamiento y la válvula de mariposa funcionará muy caliente. La regeneración no se usa y no se realiza ninguna reivindicación de alta eficiencia.

WIDÉN, Karl-Olof, Magnus. El documento WO/1983/000187 divulga un motor sin compresión. Este es de hecho un motor Lenoir equipado con un mecanismo de cigüeñal y biela. La regeneración no se usa y no se realiza ningún reclamo de alta eficiencia.

El documento US 4.300.486 Lowther 1979. Esta patente sugiere el uso de un motor sin compresión principalmente para uso automotriz donde el proceso de combustión es suministrado con aire comprimido desde un cilindro. Por lo tanto, el proceso de producción de energía todavía utiliza un ciclo de compresión, pero el proceso se divide de tal manera que la energía para la compresión no proviene del combustible transportado en el vehículo. No hay sugerencia del uso de un proceso de regeneración. Por lo tanto, difiere de la presente invención.

El documento JP 1439446 Compañía de Automóviles Nissan 1973. Un expansor de pistón es impulsado por la reacción explosiva de un combustible y oxidante líquido tal como peróxido de hidrógeno u oxígeno líquido sin el uso de aire atmosférico. Por lo tanto, no hay necesidad de compresión. No hay sugerencia del uso de regeneración. Por lo tanto, difiere de la presente invención.

El documento US 7,111,499B1 Stebbings 2006. Se propone un motor a reacción que tiene un sistema de recirculación de gas en lugar de la turbina convencional y el compresor rotativo. Está claro en la reivindicación 1 sin embargo que el objetivo de este sistema es proporcionar compresión. También se reivindica que el calor del gas recirculado proporcionará un efecto de recuperación de calor beneficioso. Sin embargo, al igual que con Wait, el calor se aplica al sistema antes de la etapa de compresión donde su efecto será contraproducente. Esto es por lo tanto un motor de compresión.

El documento GB151,683 divulga un motor de aire caliente conocido que funciona en una modificación del ciclo habitual.

Por lo tanto, en ninguno de los estados de la técnica anterior se conoce la combinación de un motor sin compresión con medios regenerativos.

Es un objeto de la presente invención aliviar los problemas del estado de la técnica anterior al menos hasta cierto punto.

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un motor sin compresión dispuesto para funcionar en un ciclo y que incluye medios de regeneración de energía tal como se reivindica en la reivindicación 1.

El motor sin compresión tiene medios de volumen variable dispuestos para funcionar en el ciclo y los medios de regeneración de energía están dispuestos para devolver una proporción de energía que deja los medios de volumen variable de vuelta a los medios de volumen variable. El motor sin compresión incluye medios para extraer un volumen de gas de trabajo en el motor.

5 Los medios de regeneración de energía pueden estar dispuestos para suministrar calor al volumen de trabajo del gas a un volumen esencialmente constante. Los medios de regeneración de energía pueden disponerse para tomar energía del gas de trabajo en el ciclo de los medios de volumen variable y devolverlo como calor en un ciclo posterior de los medios de volumen variable.

10 Los medios de volumen variable pueden incluir un expansor de combustión. El motor sin compresión puede incluir una entrada de combustible situada para la introducción de combustible en el expansor de combustión para la combustión en el mismo. El expansor de combustión puede comprender un pistón y un cilindro. El expansor de combustión puede tener una junta de laberinto o unos medios de cojinete neumático entre las partes móviles del mismo. El expansor de combustión puede comprender una cámara de combustión conectada a través de un difusor a un rotor de turbina. El expansor de combustión puede construirse a partir de un material resistente al calor seleccionado de un grupo que incluye acero inoxidable, aleaciones de alta temperatura y cerámicas de ingeniería.

15 El motor sin compresión incluye un sistema de válvulas para controlar el flujo del gas de trabajo hacia o desde los medios de regeneración de energía. El sistema de válvulas puede incluir un miembro móvil que tiene los medios de regeneración de energía situados sobre el mismo. El miembro móvil puede comprender un disco giratorio dispuesto para proporcionar un movimiento de rotación del medio de regeneración de energía entre una primera posición en la que proporciona energía al gas de trabajo que entra en el expansor de combustión y una segunda posición en la que toma calor del gas de trabajo que sale del expansor de combustión.

20 Los medios de volumen variable pueden incluir un desplazador de inducción que tiene una válvula de admisión. El desplazador de inducción puede comprender un pistón y un cilindro.

25 Los medios de volumen variable pueden incluir unos medios de carrera atmosférica. Los medios de carrera atmosférica pueden incluir un enfriador atmosférico. El enfriador atmosférico puede incluir un sistema de pulverización para pulverizar líquido en el gas para eliminar el calor. El líquido puede ser agua y puede incluir aditivos. El enfriador atmosférico puede comprender un pistón y un cilindro. El enfriador atmosférico puede tener una válvula de escape que se comunica con la atmósfera.

30 El motor sin compresión puede incluir un cigüeñal configurado para impulsar el desplazador de inducción, el expansor de combustión y el enfriador atmosférico. El expansor de combustión y el enfriador atmosférico pueden impulsarse 180 grados fuera de fase entre sí. El desplazador de inducción puede tener una carrera más corta que el expansor de combustión y el enfriador atmosférico. El motor sin compresión puede incluir una leva frontal y un seguidor de leva que puede ser impulsado por el cigüeñal para controlar el desplazador de inducción. El motor sin compresión puede incluir válvulas que funcionan en un modo de desplazamiento por un árbol de levas para eliminar el volumen muerto cuando está cerrado.

35 El sistema de válvulas puede configurarse para controlar la comunicación entre el expansor de combustión, el desplazador de inducción, los medios de regeneración de energía y el enfriador atmosférico.

40 Los medios de regeneración de energía pueden incluir un elemento regenerador dispuesto para acumular, almacenar y dar energía, incorporando el elemento regenerador una trayectoria del flujo para permitir que los gases de trabajo fluyan a través suyo.

45 El objetivo de la presente invención es aumentar la eficiencia de los motores de combustión interna. El punto de partida es un motor sin compresión que confiere una serie de ventajas que conducen a un motor con una eficiencia de ciclo muy alto y una reducción sustancial en pérdidas por enfriamiento. La eliminación de la compresión significa que el gas de trabajo está inicialmente a temperatura ambiente y, por lo tanto, puede aceptar una alta proporción del calor de escape. Para obtener un beneficio de este calor, es necesario confinar el gas a un volumen constante durante la regeneración de calor. Para evitar pérdidas por enfriamiento, los procesos de inducción de frío deben realizarse en un recinto de contención separado del proceso caliente. El recinto de contención del proceso caliente idealmente debería ser capaz de funcionar a una temperatura entre la temperatura de regeneración y la temperatura de combustión. Esto estará entre 1000K y 2000K dependiendo de la temperatura nominal superior y la relación de expansión utilizada. Un análisis exhaustivo de este primer modo de realización de la presente invención reveló que no era del todo capaz de cumplir el objetivo ideal de regenerar todo el calor de escape. Esto se debe a que el escape a la atmósfera a través del regenerador sería un proceso de presión constante, mientras que el calentamiento regenerativo del gas es un proceso de volumen constante. La capacidad calorífica del gas a un volumen constante es solo del 70% de la capacidad calorífica a presión constante, por lo que, aunque los límites del flujo de masa y de la temperatura son los mismos, la energía transferida sería diferente. Por lo tanto, el regenerador no se enfriaría por completo y, por lo tanto, no podría enfriar el escape a temperatura ambiente. Por lo tanto, habría alguna pérdida de ciclo.

Un segundo modo de realización de la presente invención hace buena la deficiencia identificada anteriormente. Después de la expansión, el gas se desplaza a través del regenerador a otro mecanismo de volumen variable de igual volumen, de modo que el desplazamiento se produce esta vez a volumen constante. La regeneración ahora puede ser completa. Además, el gas está todavía en su volumen expandido pero ha vuelto a la temperatura ambiente. La presión, por lo tanto, estará muy por debajo de la presión atmosférica. Se puede hacer trabajo atmosférico permitiendo que la fuerza de la atmósfera haga que el gas se contraiga. Sin embargo, si esto se hace, el gas experimentará calentamiento adiabático con el resultado de que el escape estará por encima de la temperatura ambiente. Esto se puede reducir hasta cierto punto enfriando el cilindro. Sin embargo, la contracción se puede volver casi isotérmica si se rocía agua en el gas mientras se contrae. De esta forma, el evento de rechazo de calor en el ciclo será esencialmente a temperatura ambiente, maximizando la eficiencia de Carnot. Si hay una oportunidad de enfriar el suministro de agua por debajo de la temperatura ambiente mediante el uso, por ejemplo, de un sistema de refrigeración impulsado por energía residual o enfriamiento por evaporación en una torre de enfriamiento, se podría obtener una mejora adicional en la eficiencia.

El primer modo de realización de la presente invención proporciona un motor que es menos eficiente que el segundo modo de realización de la presente invención, aunque más eficiente que los motores de la tecnología actual. Dicho motor puede encontrar aplicaciones en áreas donde el costo y el tamaño mínimos son de importancia crítica.

El enfriamiento por pulverización de agua del gas de contracción tendrá el beneficio adicional de que condensará el agua formada por la combustión de combustibles que contienen hidrógeno provocando una caída de presión adicional. Se requiere que los motores modernos emitan cantidades muy limitadas de óxidos de nitrógeno (NOx) que se forman durante la combustión a alta temperatura. Estos gases tienen una solubilidad limitada en agua fría, por lo que el proceso tendrá algún beneficio en la depuración del escape. Esto puede mejorarse mediante los aditivos reactivos. Los óxidos de azufre que también se pueden producir si se quema combustible que contiene azufre son muy solubles en agua fría. Algo de dióxido de carbono se disolverá en el agua fría. Como alternativa, una solución de hidróxido alcalino podría usarse para eliminar el CO<sub>2</sub> del escape. El carbonato resultante podría procesarse en un esquema de secuestro de carbono. Otra estrategia para contener la producción de NOx es garantizar que cuando el motor funcione a carga parcial y, por lo tanto, se reduzca el suministro de combustible, no exista exceso de oxígeno. Esto puede hacerse mezclando de manera controlada el gas de escape con el aire de admisión. Este proceso se simplifica por el hecho de que el gas de escape que sale del motor está frío. Como alternativa, la producción de NOx se puede reducir limitando la temperatura máxima de combustión. A temperaturas inferiores a 1700K, prácticamente no se produce NOx y se produce en cantidades limitadas hasta 2000K. Esta temperatura reducida tiene el efecto de reducir la eficiencia, pero este efecto es limitado debido a la temperatura inusualmente fría del rechazo de calor. Será evidente que el escape contiene muy poca energía y por lo tanto saldrá del motor bastante silenciosamente. Las medidas descritas anteriormente darán lugar a un escape frío y, por lo tanto, garantizarán que las pérdidas de ciclo se minimicen.

El problema de pérdida por enfriamiento permanece debido a la diferencia de temperatura entre los procesos de combustión en caliente y expansión y los materiales que forman el recinto de contención. Esta diferencia de temperatura causará un flujo convectivo de calor en el material proporcional a la diferencia de temperatura. El flujo de radiación es proporcional a la diferencia entre las fuerzas de avance del gas y las temperaturas de la pared. La temperatura superficial del recinto de contención generalmente está limitada por el requisito de proporcionar una junta deslizante dentro del mecanismo de volumen variable. Con lubricantes de aceite, la temperatura de la pared suele oscilar entre 150 y 300 grados Celsius. Por esta razón, no se requiere usar materiales resistentes a altas temperaturas. Esto significa que en un motor convencional el calor fluye fuera del proceso caliente durante toda la parte caliente del ciclo. Las presiones más bajas que resultan del proceso sin compresión hacen factible el uso de juntas sin contacto. Esto elimina la limitación de temperatura impuesta por las juntas deslizantes que hacen que las propiedades de alta temperatura de los materiales sean el factor limitante. La mayoría de los materiales tienen menor resistencia a medida que aumenta la temperatura, pero nuevamente el régimen de baja presión en el que funciona el motor sin compresión hace demandas más ligeras de los materiales en comparación con un motor que funciona a presiones mayores o máquinas de turbina donde las cargas centrífugas son muy elevadas.

Los materiales cerámicos técnicos que incluyen alúmina y carburo de silicio tienen propiedades favorables que incluyen resistencia a altas temperaturas y bajo coeficiente de expansión. El estrés térmico y el choque térmico serán consideraciones importantes de diseño. Ha sido un objetivo de muchos trabajadores en el ámbito aplicar estos materiales a los motores convencionales, sin embargo, hay una mayor sinergia entre las propiedades de estos materiales y las demandas de los motores sin compresión. Las estructuras de paredes delgadas son preferibles en estas circunstancias y una ventaja adicional del motor sin compresión es que la presión de funcionamiento es aproximadamente un orden de magnitud menor que la de un motor de compresión haciendo factible un recinto de contención de paredes delgadas. La presente invención puede tener aplicación en todo el rango de tamaños conocidos en los motores actuales. Donde los componentes de recintos de contención calientes son comparativamente pequeños, será preferible fabricarlos completamente de cerámica. Donde sean más grandes, las estructuras metálicas revestidas de cerámica serían preferibles. De este modo, es posible una temperatura de pared del confinamiento en la región de 1400 grados Celsius. La transferencia de calor del gas a la pared, por lo tanto, se reducirá significativamente. Un modo de realización alternativo podría usar aleaciones de alta temperatura que



incluyen Haynes 118, Haynes 230, Hastelloy X o materiales de acero inoxidable que incluyen FeCrAlloy o metales refractarios que incluyen tungsteno o tántalo para los recintos de contención calientes.

Una ventaja adicional conferida por la presión de trabajo comparativamente baja del motor sin compresión es que no es esencial usar válvulas de asiento para confinar el gas dentro del expansor. Las válvulas de asiento tienen la desventaja de que deben tener un paso curvo detrás de ellas para permitir que la guía de la válvula se apoye dentro de la pared del paso. Esto significa que hay un volumen sustancial de gas muerto que es una desventaja particular en un motor donde los procesos de ciclo ocurren en más de un recinto de contención. Las válvulas que funcionan al alinear los orificios de forma controlada dentro de miembros de láminas mediante el desplazamiento relativo de uno o ambos miembros se pueden usar a las presiones generadas en los motores sin compresión. El desplazamiento puede ser lineal, rotativo o seguir un camino más complicado definido por discos de levas, mecanismos de enlace, servomecanismos o cualquier otro medio conocido. Un mecanismo rotativo tiene la ventaja de que se puede usar una junta circular sin contacto para contener la presión. Esto puede ser útil ya que el componente estará demasiado caliente para los métodos de lubricación convencionales. La menor presión y el hecho de que la unidad solo se presuriza durante la carrera de expansión significa que se podría usar una junta sin contacto sin incurrir en pérdidas inaceptables. Un medio de anillo de rodamiento se puede usar para facilitar la rotación.

Como alternativa, se puede usar un sistema de válvulas que está diseñado para minimizar el espacio muerto. Esto puede lograrse si el elemento móvil que abre y cierra la válvula tiene un ajuste perfecto en la sección transversal del alojamiento similar a un pistón dentro de un cilindro. Cuando la cara de la válvula se baja sobre su asiento para cerrar la válvula, el gas dentro de la válvula es desplazado por la acción del pistón. Este sistema permitirá el uso de un regenerador estático. Esto obvia una de las desventajas del regenerador móvil en el que la temperatura utilizable de la matriz del regenerador puede tener que limitarse para garantizar que quede suficiente resistencia en el material para soportar las tensiones causadas por el movimiento.

Una ventaja adicional de la presente invención es que las condiciones de combustión difieren de los motores convencionales. En los motores de encendido por compresión convencionales, el combustible se pulveriza en el gas que se ha calentado por compresión. Las gotitas se calientan y comienzan a evaporarse a medida que la presión del vapor excede la presión del gas. La presión del gas es muy alta, por lo que el punto de ebullición del combustible también es alto. Además, hay una capa de aire junto a las paredes de contención que es mucho más fría y tiene un efecto de enfriamiento en la combustión. En la presente invención, la temperatura del gas es similar o mayor que la de un motor de encendido por compresión convencional, mientras que la presión es mucho menor. Por lo tanto, el combustible se evaporará más rápidamente. Además, la alta temperatura de la pared eliminará el efecto de enfriamiento en esta área. Por lo tanto, será posible diseñar motores para funcionar en una amplia gama de combustibles, incluyendo en algunas aplicaciones combustibles sólidos en polvo.

Una ventaja adicional de los motores sin compresión es que tienen una alta relación de trabajo. Esta es la relación entre la producción neta de trabajo del motor en comparación con el trabajo realizado en la carrera de trabajo. En los motores de compresión, la relación de trabajo se reduce por la necesidad de trabajo de compresión. Una ventaja de los motores con una alta relación de trabajo es que la eficiencia práctica tiende a ser más cercana a la eficiencia teórica en comparación con los motores con una relación de trabajo más baja.

Una ventaja adicional atribuida a las bajas presiones en los motores sin combustión es que las paredes de contención pueden ser más delgadas. Esto tiene el efecto de reducir la masa del motor, lo que es beneficioso en sí mismo, particularmente en aplicaciones de transporte y también reduce la masa térmica. Esto significa que si el motor se usa para requerimientos intermitentes, las pérdidas involucradas en el calentamiento de la masa del motor se reducirán al mínimo. Además, el fácil arranque que resulta de la ausencia del requerimiento de hacer girar el motor a través de una carrera de compresión hace que sea más conveniente apagar el motor durante períodos en los que no se requiere energía, lo que reduce sustancialmente el desperdicio del proceso del ralentí. En algunas aplicaciones, como la propulsión marítima, es conveniente hacer funcionar el motor de vez en cuando en sentido inverso ya que esto elimina el requisito de una caja de cambios. Siempre que el mecanismo de funcionamiento para la válvula y el desplazador de inducción esté correctamente diseñado, esto es posible. La descripción hasta ahora se ha aplicado a un único módulo de trabajo que es el equivalente de un motor convencional de un solo cilindro. La presente invención se aplica igualmente a diseños de módulos múltiples que serían el equivalente de motores convencionales de cilindros múltiples. Una unidad de módulos múltiples ofrecería la ventaja de una entrega de potencia más suave y la anulación de las fuerzas de inercia de los componentes oscilantes y podría diseñarse para arrancar automáticamente. De la siguiente descripción detallada se observará que los motores tienen dos o tres mecanismos de volumen variable para cada módulo. En unidades de módulos múltiples, puede ser conveniente por razones de colocación tener diferente número de cada tipo de mecanismo de volumen variable. Por ejemplo, un desplazador de inducción puede servir a más de un expansor de combustión.

Una característica no deseada de los motores de compresión es que si el motor funciona por debajo de una velocidad mínima, no podrá completar la carrera de compresión y producirá que se cale. El motor sin compresión no tiene una característica equivalente. Si se carga más allá de su capacidad para mantener su velocidad, se ralentizará suavemente y finalmente se detendrá.

Muchos de los componentes usados son similares superficialmente a los componentes usados en los motores del estado de la técnica anterior. Sin embargo las funciones difieren, así que para evitar confusiones se definen los siguientes términos:

5 Un motor sin compresión es un motor de desplazamiento positivo en el que, de forma cíclica, se introducen discretos volúmenes de gas en el motor y luego se calientan para aumentar su presión sin tener primero que reducir el volumen en un proceso de compresión.

10 Un motor regenerativo es un motor en el que el calor que queda en el gas después de la expansión es capturado y devuelto a un ciclo posterior en un punto donde su efecto de calentamiento puede usarse para reducir la cantidad de calentamiento requerido por la combustión. Esto reduce el requerimiento de combustible y por lo tanto aumenta la eficiencia.

15 Un medio regenerativo es cualquier disposición de componentes que pueda facilitar la regeneración del calor. Todos los ciclos termodinámicos que son capaces de producir potencia mecánica aceptan calor a una temperatura más alta en una fase dentro del ciclo y luego rechazan el calor a una temperatura más baja más adelante en el ciclo. Por lo tanto, parte o la totalidad del calor rechazado debe almacenarse durante un período de tiempo hasta el evento de calentamiento en el siguiente ciclo. El regenerador definido a continuación es un método preferido para lograr esto. Un método alternativo es un intercambiador de calor en el que dos volúmenes de gas en movimiento están separados por una superficie sólida que tiene un área grande y que es capaz de conducir el calor desde el flujo más caliente al flujo más frío. El desajuste temporal entre el rechazo de calor y los eventos de aceptación puede tratarse teniendo un motor con una pluralidad de módulos. La diferencia de fase entre dos módulos está dispuesta de tal manera que el evento de rechazo de calor en uno coincide con el evento de aceptación de calor en el otro y los flujos están tan interconectados que permiten que el calor rechazado en un módulo sea aceptado en el otro.

25 Un mecanismo de volumen variable es un mecanismo que puede variar su volumen interno. Cuando se utiliza junto con un sistema de válvulas, la variación de volumen puede provocar que el gas se desplace adentro o afuera del mecanismo. Cuando el sistema de válvulas confina el gas dentro del mecanismo de volumen variable, la variación del volumen del mecanismo variará el volumen del gas. Un pistón que se mueve en un cilindro es el mecanismo de volumen variable más conocido y es el mecanismo preferido para la presente invención aunque se conocen muchos otros mecanismos de volumen variable y la presente invención se aplica igualmente a estos. Preferiblemente, el volumen mínimo o volumen del espacio muerto debe hacerse lo más pequeño posible para reducir el volumen muerto.

30 Un desplazador de inducción es un mecanismo de volumen variable que absorbe y confina un volumen de gas. Luego desplazaba este gas esencialmente a un volumen constante dentro del expansor de combustión.

35 El expansor de combustión es un mecanismo de volumen variable de mayor volumen máximo que el desplazador de inducción en una relación de entre 2 a 20 veces y preferiblemente de entre 5 y 12 veces. Recibe el volumen de gas del desplazador de inducción durante la primera parte de su carrera, en donde la tasa de aumento de volumen se hace esencialmente igual a la disminución de volumen en el desplazador de inducción. Por lo tanto, el gas permanece a un volumen esencialmente constante. Se produce un proceso de combustión en el expansor de combustión durante el desplazamiento o inmediatamente después del desplazamiento. Luego completa su carrera permitiendo que el gas caliente se expanda convirtiendo parte del calor en trabajo. La carrera de retorno desplaza el gas del expansor de combustión al enfriador atmosférico.

40 Un enfriador atmosférico es un mecanismo de volumen variable de esencialmente el mismo volumen máximo y mínimo que el expansor de combustión. El enfriador atmosférico recibe el gas desplazado del expansor de combustión a un volumen esencialmente constante durante la totalidad de su carrera de aumento de volumen. Las paredes del enfriador atmosférico se mantienen a baja temperatura y pueden estar equipadas con un sistema de pulverización interno que puede pulverizar un líquido frío en el gas para eliminar calor. Como el gas enfriado está por debajo de la presión atmosférica, la carrera de reducción de volumen del enfriador atmosférico produce trabajo atmosférico. Una vez que la presión del gas se equilibra con la atmósfera, una válvula se abre a la atmósfera y el gas y cualquier agua se desplazan a la atmósfera o a un sistema de escape que puede separar el agua del gas y conducir una proporción del gas a una cámara de admisión, si es necesario, o a un punto de descarga adecuado. En un modo de realización alternativo, la expansión y la conversión de potencia mecánica resultante se pueden lograr expandiendo el gas a través de un difusor para incidir sobre las palas de un rotor de turbina.

50 Un sistema de válvulas es un mecanismo que puede abrir y cerrar de manera controlable orificios que permiten el flujo de gas entre el desplazador de inducción y el expansor de combustión y entre el expansor de combustión y el enfriador atmosférico. Una válvula de admisión es una válvula controlada o de acción automática que permite el flujo de gas desde la atmósfera o desde una cámara de distribución de inducción al desplazador de inducción.

60 Una válvula de escape es una válvula controlada o de acción automática que permite el flujo de gas desde el enfriador atmosférico a la atmósfera o a un sistema de escape. El regenerador es una estructura finamente dividida que incluye un conjunto de placas paralelas, un conjunto de tubos o una pila de elementos de malla, que tiene un

5 área superficial alta y preferiblemente que tiene una capacidad térmica total mayor que la cantidad de calor adicional que queda en el gas después de la expansión. La estructura y los materiales serán tales que soporten la temperatura del gas y el choque térmico del ciclo de temperatura. Se asentará donde el sistema de válvulas pueda dirigir los flujos entre el desplazador de inducción y el expansor de combustión y el expansor de combustión y el enfriador atmosférico, a través del regenerador. En algunos modos de realización, puede estar integrado con el sistema de válvulas.

Los modos de realización de la presente invención descritos en el presente documento son no limitantes.

10 Descripción de los dibujos

Los modos de realización de la presente invención se describirán ahora únicamente a modo de ejemplo y en relación con los dibujos adjuntos en los que:

15 La figura 1 ilustra una posible disposición para el primer modo de realización de la presente invención.

La figura 2 ilustra la fase de desplazamiento del funcionamiento del primer modo de realización de la presente invención.

20 La figura 3 ilustra la fase de combustión del funcionamiento del primer modo de realización de la presente invención.

La figura 4 ilustra la fase de expansión del funcionamiento del primer modo de realización de la presente invención.

25 La figura 5 ilustra la fase de escape e inducción del funcionamiento del primer modo de realización de la presente invención.

La figura 6 ilustra una posible disposición para el segundo modo de realización de la presente invención.

30 La figura 7 ilustra la fase de desplazamiento del funcionamiento del segundo modo de realización de la presente invención.

La figura 8 ilustra la fase de combustión del funcionamiento del segundo modo de realización de la presente invención.

35 La figura 9 ilustra la fase de expansión y escape del funcionamiento del segundo modo de realización de la presente invención.

La figura 10 ilustra la fase de enfriamiento atmosférico del funcionamiento del segundo modo de realización de la presente invención.

40 La figura 11 ilustra gráficamente el ciclo termodinámico del segundo modo de realización de la presente invención mostrando la presión frente al volumen y la temperatura frente a los diagramas entrópicos.

45 La figura 12 ilustra un modo de realización de la presente invención en donde un desplazador de inducción, un expansor de combustión y un enfriador atmosférico son todos impulsados desde la misma dirección.

50 La combinación de un motor sin compresión que tiene al menos un mecanismo de volumen variable y un medio de regeneración mediante el cual un volumen de gas de trabajo es aspirado en dicho motor y dicho gas es suministrado con calor a un volumen esencialmente constante sin que dicho gas experimente primero compresión y una proporción del calor es suministrada a dicho gas por los medios de regeneración por transferencia desde una etapa posterior en un ciclo anterior.

55 Un primer modo de realización preferido de la presente invención comprende dos mecanismos de volumen variable, un desplazador 1 de inducción y un expansor 2 de combustión. El volumen de gas de trabajo es aspirado en el desplazador 1 de inducción. A continuación, se desplaza hacia el expansor 2 de combustión a un volumen esencialmente constante que pasa a través del regenerador 5 y con calor que se transfiere desde el regenerador 5 al gas. El gas en el expansor 2 de combustión luego se calienta aún más mediante la combustión de un combustible y luego se expande para extraer trabajo. El gas se desplaza a continuación para expulsarlo desde el expansor 2 de combustión a través del regenerador 5 con calor siendo transferido desde el gas al regenerador 5. Durante el funcionamiento del expansor 2 de combustión, el desplazador 1 de inducción absorbe el siguiente volumen de trabajo de gas y el ciclo se repite.

65 Un segundo modo de realización preferido de la presente invención comprende tres mecanismos de volumen variable, como el desplazador 1 de inducción y un expansor 2 de combustión y un enfriador 3 atmosférico. El volumen del gas de trabajo es aspirado en el desplazador 1 de inducción. A continuación se desplaza hacia el expansor 2 de combustión a un volumen esencialmente constante pasando a través del regenerador 5 y con calor

que se transfiere desde el regenerador 5 al gas. El gas en el expansor 2 de combustión luego se calienta aún más mediante la combustión de un combustible y luego se expande para extraer trabajo. El gas se desplaza después a un volumen esencialmente constante hacia el enfriador 3 atmosférico a través del regenerador 5 transfiriendo calor desde el gas al regenerador 5. El gas ahora está por debajo de la presión atmosférica, se contrae en el enfriador 3 atmosférico haciendo trabajo atmosférico. Opcionalmente, se puede usar una pulverización de agua dentro del enfriador 3 atmosférico para hacer que la contracción sea esencialmente isotérmica. Una vez que la presión del gas dentro del enfriador 3 atmosférico se ha equilibrado con la presión de la atmósfera, sale del enfriador 3 atmosférico. Durante el funcionamiento del expansor 2 de combustión y el enfriador 3 atmosférico, el desplazador de inducción 1 absorbe el siguiente volumen de gas de trabajo y el ciclo entonces se repite.

En ambos modos de realización de la presente invención, el expansor 2 de combustión está diseñado preferiblemente para funcionar a alta temperatura mediante su construcción a partir de materiales de alta temperatura que incluyen acero inoxidable, aleaciones de alta temperatura y cerámicas de ingeniería, y el mecanismo de junta deslizante que facilita la variación de volumen debería ser de tipo sin contacto, incluyendo una junta de laberinto o unos medios de cojinete neumático.

Haciendo referencia a la figura 1, el motor del primer modo de realización preferido de la presente invención comprende al menos un mecanismo de volumen variable de menor volumen de trabajo y al menos un mecanismo de volumen variable de mayor volumen de trabajo. Un pistón y un cilindro son un ejemplo bien conocido de un mecanismo de volumen variable, pero se conocen muchos más incluyendo mecanismos de álabes, móviles, de tornillo, de espiral y de diafragma y mecanismos donde un pistón analógico se mueve u oscila a lo largo de un recorrido circular dentro de un orificio de giro simétrico y los basados en una cámara epitrocoide similar al motor Wankel. El mecanismo de volumen variable más pequeño es el desplazador 1 de inducción. El mecanismo de volumen variable más grande es el expansor 2 de combustión. Los mecanismos de volumen variable están en comunicación controlable entre sí a través de un sistema 4 de válvulas que incorpora el regenerador 5 y que preferiblemente tiene un volumen interno mínimo. En la ilustración, la válvula adopta la forma de un disco que se mueve sobre cojinetes de bolas con una junta de laberinto envolviendo el camino del gas. En algunos modos de realización tales como los de una escala mayor, puede no ser apropiado montar el regenerador 5 en un componente del sistema 4 de válvulas móviles, por lo que se preferiría una disposición alternativa que separe los componentes del sistema 4 de válvulas del regenerador 5. La rotación del disco puede mover el regenerador 5 acorde con el paso desde el desplazador 1 de inducción o el orificio 12 de escape o en una posición intermedia cuando ambos orificios están cerrados. El desplazador 1 de inducción está en comunicación con la atmósfera a través de una válvula 6 de admisión que, como se ilustra, puede ser controlable o automática. El expansor 2 de combustión está en comunicación con la atmósfera a través de un sistema 4 de válvulas controlable que dirige los gases de combustión al orificio 12 de escape a la atmósfera a través del regenerador 5.

El desplazador 1 de inducción y el sistema 4 de válvulas son accionados por mecanismos 25 de temporización (véase la figura 12). Estos pueden estar conectados mecánicamente a los componentes oscilantes, mediante mecanismos que incluyen palancas, varillas discos de levas o cremallera y piñón, o a los componentes rotativos mediante diversos mecanismos, incluidos los sistemas de levas. Como alternativa, pueden ser impulsados eléctricamente, hidráulicamente o neumáticamente bajo el control de un sistema de gestión del motor. Esto puede tener ventajas en motores que tienen que funcionar en un amplio rango de condiciones de carga y velocidad.

Haciendo referencia a las figuras 4 y 5, en funcionamiento, el aire es aspirado hacia el desplazador 1 de inducción desde la atmósfera y confinado por la válvula 6 de admisión. La dirección de movimiento de los pistones en las ilustraciones está indicada por flechas. Haciendo referencia a la figura 1, el sistema 4 de válvulas pone entonces el desplazador 1 de inducción en comunicación con el expansor 2 de combustión a través del regenerador 5 que está en su estado caliente. El aire se desplaza entonces a través del regenerador 5 y se va calentando mientras el regenerador 5 se va enfriando. Este desplazamiento está a un volumen esencialmente constante porque el volumen en el expansor 2 de combustión aumenta a la misma tasa a la que el volumen del desplazador 1 de inducción se reduce. El sistema 4 de válvulas se mueve entonces a una posición cerrada aislando el gas dentro del expansor 2 de combustión. Se inyecta un combustible que puede ser un combustible líquido, gaseoso o sólido en polvo desde al menos un inyector 10 en el gas caliente que resulta en combustión y calentamiento adicional del gas. La combustión puede ocurrir durante el desplazamiento, que tiene la ventaja de que la combustión está a volumen constante, pero la desventaja de que el desplazador 1 de inducción está sometido a la presión de combustión. Como alternativa, la combustión puede ocurrir después de que la válvula se haya cerrado, lo que significará que el desplazador 1 de inducción no está sometido a la presión de combustión, pero la combustión no será a volumen constante a menos que se emplee un mecanismo que varíe el volumen en el expansor 2 de combustión de manera discontinua. El expansor 2 de combustión entonces expande el gas como en la figura 4 a través de una relación de volumen de entre dos y veinte veces. Se transfiere trabajo durante esta expansión y puede convertirse en potencia de salida mecánica, eléctrica, hidráulica o neumática, por cualquier medio conocido. En la ilustración, se muestra una biela 9 que podría estar conectada a un cigüeñal. Señalar que el movimiento del pasador 8 del eje y las bielas del pistón está limitado por cojinetes lineales que por claridad no se muestran. Haciendo referencia a la figura 5, al final de la carrera de expansión, el sistema 4 de válvulas pone el expansor 2 de combustión en comunicación con la atmósfera a través del regenerador 5 que está en su estado frío. El gas de combustión se desplaza a presión constante hacia la atmósfera cediendo su calor al regenerador 5 que vuelve a su estado caliente. Mientras se llevan a cabo los

procesos de expansión y escape del expansor 2 de combustión, el desplazador 1 de inducción ha recibido una nueva carga de gas. A continuación el ciclo se repite.

5 La regeneración ha reducido así esencialmente la pérdida de ciclo. La pérdida por enfriamiento se minimiza al permitir que el expansor 2 de combustión funcione a una temperatura muy alta. Para facilitar esto, el expansor 2 de combustión está hecho de materiales resistentes al calor de un grupo que incluye acero inoxidable, aleaciones de alta temperatura o cerámicas de ingeniería. Haciendo referencia a la figura 6, se evita el problema de la lubricación de las juntas deslizantes al disponer que los componentes se guíen por cojinetes lineales que no se muestran en la ilustración y que corran a una pequeña distancia usando una junta de laberinto o un cojinete neumático. La ilustración muestra el flanco del pistón 13 estriado que se desplaza cerca pero no en contacto con la pared 14 del cilindro. En otros modos de realización, las estrias pueden formarse en la pared 14 del cilindro mientras que el flanco 13 del pistón es liso, o tanto el flanco 13 del pistón como la pared 14 del cilindro pueden ser estriadas. Este enfoque sería inviable en un motor de compresión debido al período de tiempo dentro del ciclo en que el gas está bajo presión y el grado en que el gas está presurizado, lo que causaría pérdidas de presión inaceptables. El método tiene la ventaja adicional de eliminar la pérdida por fricción en el expansor de combustión. Al minimizar tanto las pérdidas del ciclo como las pérdidas por enfriamiento, el ciclo tendrá una alta eficiencia. Además, la baja presión permitirá que el expansor 2 de combustión tenga una estructura ligera de paredes delgadas. La ausencia de una carrera de compresión hará que el motor sea fácil de arrancar y requerirá poco efecto del volante de inercia.

20 Una vez que el motor está a su temperatura de servicio, el gas caliente regenerado y el recinto de contención incandescente provocarán que el combustible arda espontáneamente al inyectarse sin efecto de enfriamiento cerca de las paredes. Eso le dará al motor la capacidad de funcionar con una amplia gama de combustibles. Sin embargo, para el arranque en frío será necesario un sistema de encendido. Esto podría hacerse por cualquier medio conocido, incluyendo una bujía incandescente, bujía de encendido, regenerador calentado eléctricamente, calentando todo o parte del cilindro eléctricamente o mediante combustión o mediante un sistema de encendido basado en láser. Algunos combustibles que se quemarían bien en el motor caliente pueden ser inadecuados para la fase de funcionamiento de puesta en marcha, por lo que en este caso se proporcionaría un sistema de combustible de arranque auxiliar.

30 El primer modo de realización de la presente invención es susceptible de la mejora de la eficiencia a expensas de una mayor complejidad. El regenerador 5 no es idealmente capaz de capturar todo el calor de escape. Esto se debe a que el flujo de aire desde el desplazador 1 de inducción a través del regenerador 5 al expansor 2 de combustión se produce a volumen constante, mientras que el flujo de los gases de escape a través del regenerador 5 se produce a presión constante. La capacidad calorífica del aire a volumen constante es solo del 70% de la capacidad calorífica a presión constante, por lo que el regenerador 5 no se enfriará completamente a temperatura ambiente por el gas desplazado desde el desplazador 1 de inducción y, por lo tanto, solo será capaz idealmente de aceptar el 70% del calor de escape.

40 De acuerdo con un segundo modo de realización preferido de la presente invención, se divulga un motor de combustión interna sin compresión con regeneración de calor y una carrera atmosférica adicional.

Haciendo referencia a la figura 6, el motor comprende al menos un conjunto de tres mecanismos de volumen variable, uno de menor volumen de trabajo que los otros dos que son esencialmente iguales en tamaño. El mecanismo de volumen variable más pequeño es el desplazador 1 de inducción. El primer mecanismo de volumen variable más grande es el expansor 2 de combustión y el segundo mecanismo de volumen variable más grande es el enfriador 3 atmosférico. Los tres mecanismos de volumen variable están en comunicación controlable entre sí a través de un sistema 4 de válvulas que incorpora el regenerador 5 y que tiene un volumen interno mínimo. El desplazador 1 de inducción está en comunicación con la atmósfera a través de una válvula 6 de admisión que puede ser controlada o de acción automática.

50 El enfriador 3 atmosférico está en comunicación con la atmósfera a través de una válvula 7 de escape que puede ser controlada o de acción automática.

Haciendo referencia a las figuras 9 y 10 en funcionamiento, el aire es aspirado hacia el desplazador 1 de inducción desde la atmósfera y confinado mediante la válvula 6 de admisión. Haciendo referencia a la figura 7, el sistema 4 de válvulas pone entonces el desplazador 1 de inducción en comunicación con el expansor 2 de combustión a través del regenerador 5 que está en su estado caliente. El aire se desplaza entonces a través del regenerador 5 y se va calentando mientras el regenerador 5 se va enfriando. Este desplazamiento está a un volumen esencialmente constante porque el volumen en el expansor 2 de combustión aumenta a la misma tasa a la que el volumen del desplazador 1 de inducción se reduce. Haciendo referencia a la figura 8, el sistema 4 de válvulas se cierra entonces confinando el gas dentro del expansor 2 de combustión. Se inyecta un combustible que puede ser un combustible líquido, gaseoso o sólido en polvo desde al menos un inyector 10 en el gas caliente que resulta en combustión y calentamiento adicional del gas. Esto puede ocurrir durante el desplazamiento, que tiene la ventaja de que la combustión está a volumen constante, pero la desventaja de que el desplazador 1 de inducción está sometido a la presión de combustión. Como alternativa, la combustión puede ocurrir después de que la válvula se haya cerrado, lo que significará que el desplazador 1 de inducción no está sometido a la presión de combustión, pero la combustión

no será a volumen constante. En la figura 9, el expansor 2 de combustión expande luego el gas a través de una relación de entre dos y veinte veces. Se transfiere trabajo durante esta expansión a la biela 9 de conexión. Haciendo referencia a la figura 10 al final de la carrera de expansión, el sistema 4 de válvulas pone el expansor 2 de combustión en comunicación con el enfriador 3 atmosférico a través del regenerador 5 que está en su estado frío. El gas de combustión se desplaza, esta vez a volumen constante hacia el enfriador 3 atmosférico y cediendo su calor al regenerador 5. El volumen original de gas ahora está esencialmente a temperatura ambiente otra vez pero en un volumen mucho mayor con el resultado de que la presión ahora será un vacío parcial. Haciendo referencia a las figuras 8 y 9, el sistema 4 de válvulas después se cierra y la carrera atmosférica tiene lugar cuando el volumen del enfriador 3 atmosférico se contrae impulsado por la presión de la atmósfera transfiriendo trabajo adicional, hasta que las presiones interna y externa se igualan. Para una máxima eficiencia, se puede usar opcionalmente una pulverización 11 de agua para enfriar la contracción y volverla casi isotérmica. Esto puede aumentar la eficiencia del motor en aproximadamente un 7%. Una vez que la presión se ha igualado con la atmósfera, la válvula 7 de escape se abre y libera el gas y el agua. El agua puede separarse del gas, enfriarse en un intercambiador de calor y reciclarse.

Esto tiene la ventaja de que el ciclo acepta calor a la temperatura de combustión adiabática del combustible y rechaza el calor a temperatura cercana a la ambiental, habiendo regenerado esencialmente todo el calor del escape. Haciendo referencia a la figura 11, se muestran los diagramas de presión frente a volumen y temperatura frente a entropía que caracterizan el ciclo de la versión mejorada de la presente invención. Los expertos en la materia notarán que estos son bastante diferentes de los ciclos conocidos, como el ciclo de Otto, el ciclo de Diesel y el ciclo de Joule-Brayton o el ciclo de Stirling o Ericsson. En los diagramas, el gráfico desde la posición A a la B representa el calentamiento del volumen constante, con A a R siendo el calentamiento regenerativo, mientras que R a B es el calentamiento por combustión. El gráfico desde B a C representa la expansión adiabática. El gráfico desde C a D representa el rechazo de calor al regenerador 5. El gráfico D a A representa la contracción isotérmica de vuelta a la presión atmosférica. El diagrama de Entropía de Temperatura muestra que los límites de temperatura del calor rechazado en la fase C a D están completamente abarcados por la fase de calentamiento A a B. De este modo será posible proporcionar calor desde A a R mediante la regeneración del calor rechazado en C a D y el calor de la combustión del combustible solo se requieren de R a B. Este ciclo no alcanza la eficiencia igual al límite de Carnot porque el proceso de combustión de volumen constante no es reversible. Sin embargo, el aumento transitorio de la temperatura que puede ir por encima de los límites que los materiales pueden soportar de manera continua significa que el límite de Carnot es más alto, por lo que la eficiencia general es mayor.

Las pérdidas por enfriamiento se minimizan por los mismos medios que se describen en el primer modo de realización de la presente invención porque el expansor 2 de combustión puede funcionar a una temperatura muy alta. Muchas disposiciones de componentes son posibles dentro del propósito de la presente invención. La disposición mostrada tiene la ventaja de separar los confinamientos calientes y fríos para minimizar la transferencia de calor entre ellos. Preferiblemente se deben tomar otras medidas para minimizar la pérdida de calor del expansor 2 de combustión incluyendo medidas de aislamiento térmico dentro del sistema 4 de válvulas y el regenerador 5 y escudos para reflejar y contener el calor radiante.

En la figura 12 se muestra un modo de realización alternativo. En esta versión, el desplazador 1 de inducción, el expansor 2 de combustión y el enfriador 3 atmosférico son todos impulsados desde la misma dirección. El expansor de combustión y el enfriador atmosférico están conectados a un cigüeñal 24 convencional de tal manera que son impulsados 180 grados fuera de fase. El desplazador 1 de inducción tiene una carrera mucho más corta y el movimiento discontinuo se controla mediante una leva 22 frontal acoplada con el seguidor 23 de leva. El flujo de gas entre los cilindros se controla mediante un conjunto 4 de válvulas que funcionan en el modo de desplazamiento de modo que eliminan el volumen muerto cuando están cerradas. Estos están controlados por el árbol 21 de levas que está impulsado por una correa o cadena 25 de distribución desde una rueda 26 dentada unida al cigüeñal. En este modo de realización, la válvula 6 de admisión y la válvula 7 de escape también son accionadas por una leva.

Una ventaja adicional es que el escape deja el motor esencialmente a la presión y temperatura atmosférica y, por lo tanto, será intrínsecamente silencioso sin la necesidad de un silenciador grande. Si se utiliza la opción de pulverización de agua, además de mejorar la eficiencia del motor, eliminará los gases solubles del escape, incluidos el agua y los óxidos de nitrógeno o azufre que están presentes en algunos combustibles. La generación de óxidos de nitrógeno también se puede controlar mezclando de manera controlable una proporción de gases de escape con el aire de admisión para garantizar que el proceso de combustión tenga poco o ningún exceso de oxígeno.

La mayoría de los principios que forman la base de la presente invención en el presente documento se conocen en la técnica desde hace más de un siglo. Sin embargo, la combinación y el orden divulgado es novedoso y trata eficazmente los dos principales modos de pérdida de conversión de energía de los motores de la tecnología actual y ofrece una serie de beneficios adicionales. Por lo tanto, ofrece ventajas importantes y hasta ahora no realizadas.

Se pueden realizar diversas modificaciones a los modos de realización mostrados sin apartarse del alcance de la invención como se define en las reivindicaciones adjuntas tal como se interpreta en la Ley de Patentes.

**REIVINDICACIONES**

1. Un motor sin compresión dispuesto para funcionar en un ciclo y que incluye medios (5) de regeneración de energía, teniendo el motor medios (2) de volumen variable incluyendo un expansor de combustión, estando dispuestos los medios (2) de volumen variable para funcionar en el ciclo y estando dispuestos los medios (5) de regeneración de energía para devolver una proporción de la energía que sale de los medios (2) de volumen variable de vuelta a los medios (2) de volumen variable; en donde el motor incluye medios (1) para aspirar un volumen de gas de trabajo en el motor en comunicación con la atmósfera a través de una válvula de admisión; y
- 5
- 10 en donde el motor incluye un sistema (4) de válvulas para controlar el flujo del gas de trabajo hacia o desde los medios (5) de regeneración de energía; y en donde
- 15 el sistema (4) de válvulas está dispuesto para controlar la comunicación entre los medios (2) de volumen variable, dichos medios (1) para aspirar un volumen de gas de trabajo en el motor y los medios (5) de regeneración de energía; y
- 20 en donde el sistema (4) de válvulas está dispuesto para poner los medios (1) para aspirar un volumen de gas de trabajo en el motor en comunicación con los medios (2) de volumen variable a través de los medios (5) de regeneración de energía, estando el motor dispuesto para aspirar volúmenes discretos de gas en el motor y luego calentar volúmenes discretos de gas para aumentar su presión sin tener que reducir el volumen en un proceso de compresión.
2. Un motor sin compresión de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el expansor (2) de combustión comprende una cámara de combustión conectada a través de un difusor a un rotor de turbina.
- 25
3. Un motor sin compresión de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde el sistema (4) de válvulas incluye un miembro móvil que tiene los medios (5) de regeneración de energía situados en el mismo.
- 30
4. Un motor sin compresión de acuerdo con la reivindicación 3 en donde el miembro móvil comprende un disco giratorio dispuesto para proporcionar un movimiento giratorio de los medios (5) de regeneración de energía entre una primera posición en la que proporciona energía al gas de trabajo que entra en el expansor (2) de combustión y una segunda posición en la que toma calor del gas de trabajo que sale del expansor (2) de combustión.
- 35
5. Un motor sin compresión de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los medios de volumen variable incluyen un desplazador (1) de inducción que tiene una válvula (6) de admisión; y opcionalmente el desplazador (1) de inducción comprende un pistón y un cilindro.
- 40
6. Un motor sin compresión de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el medio de volumen variable incluye un medio de carrera atmosférica.
- 45
7. Un motor sin compresión de acuerdo con la reivindicación 6, en donde el medio de carrera atmosférica incluye un enfriador (3) atmosférico.
- 50
8. Un motor sin compresión de acuerdo con la reivindicación 7, en donde el enfriador (3) atmosférico comprende un pistón y un cilindro.
- 55
9. Un motor sin compresión de acuerdo con la reivindicación 8, en donde el enfriador (3) atmosférico incluye un sistema de pulverización para pulverizar líquido en el gas para eliminar el calor.
10. Un motor sin compresión de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en donde el enfriador atmosférico tiene una válvula de escape que se comunica con la atmósfera.
- 60
11. Un motor sin compresión de acuerdo con la reivindicación 10, cuando depende de las reivindicaciones 1 y 5, incluyendo el motor un cigüeñal configurado para impulsar el desplazador (1) de inducción, el expansor (2) de combustión y el enfriador (3) atmosférico.
- 65
12. Un motor sin compresión de acuerdo con la reivindicación 11, en donde el expansor (2) de combustión y el enfriador (3) atmosférico son impulsados 180 grados fuera de fase entre sí; y opcionalmente el desplazador (1) de inducción tiene una carrera más corta que el expansor (2) de combustión y el enfriador (3) atmosférico.
13. Un motor sin compresión de acuerdo con la reivindicación 12, en donde el desplazador (1) de inducción tiene una carrera más corta que el expansor (2) de combustión y el enfriador (3) atmosférico, el motor opcionalmente incluye una leva frontal y un seguidor de leva opcionalmente accionable por el cigüeñal para controlar el desplazador (1) de inducción y el motor que incluye opcionalmente válvulas que funcionan en un modo de desplazamiento mediante un árbol de levas para eliminar el volumen muerto cuando está cerrado.

14. Un motor sin compresión de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10 cuando dependen de las reivindicaciones 1 y 5 en donde el sistema (4) de válvulas está configurado para controlar la comunicación entre el expansor (2) de combustión, el desplazador (1) de inducción, los medios (5) de regeneración de energía y el enfriador (3) atmosférico.

5



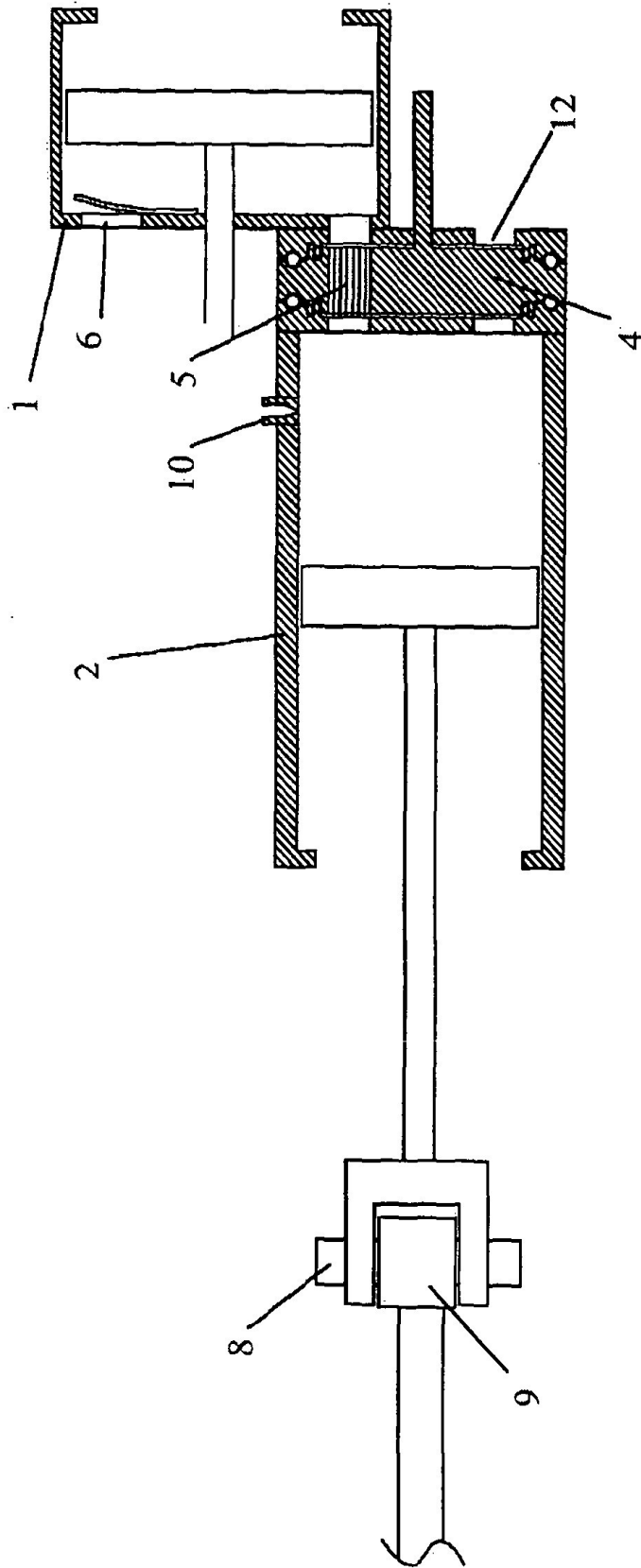


Figura 1

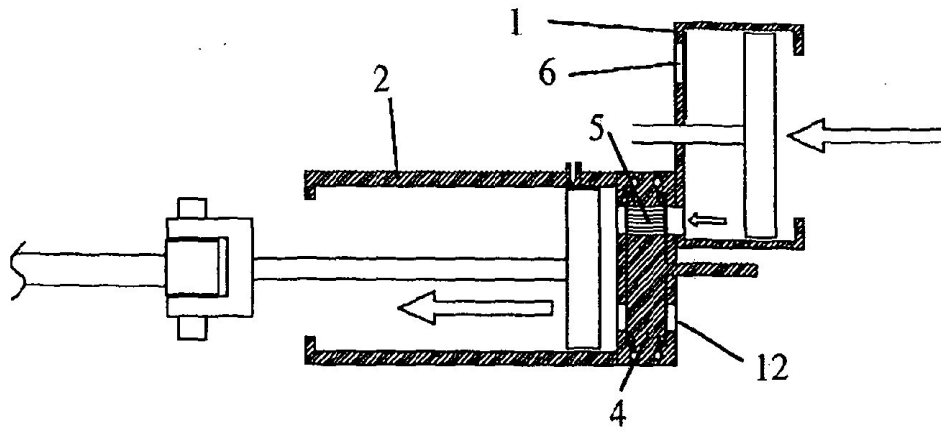


Figura 2

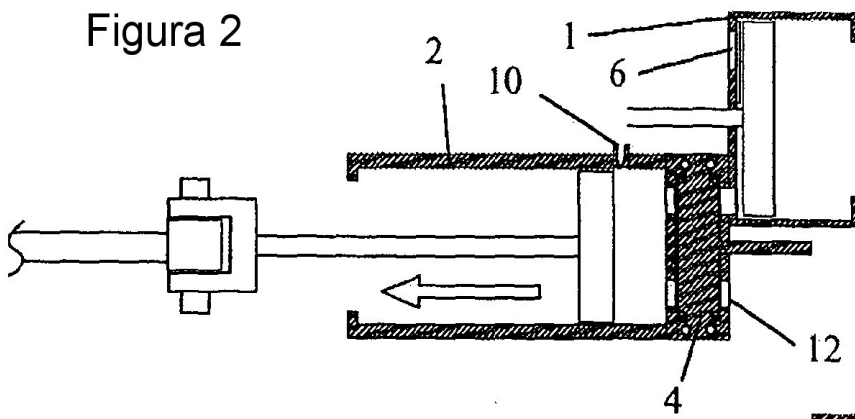


Figura 3

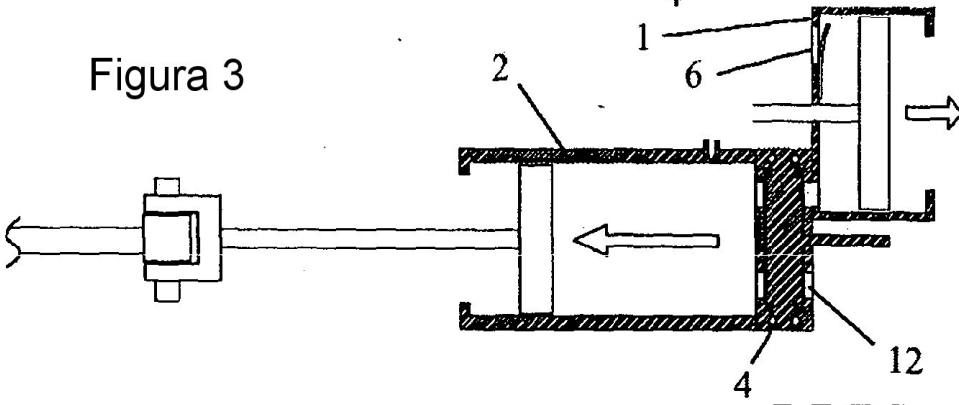


Figura 4

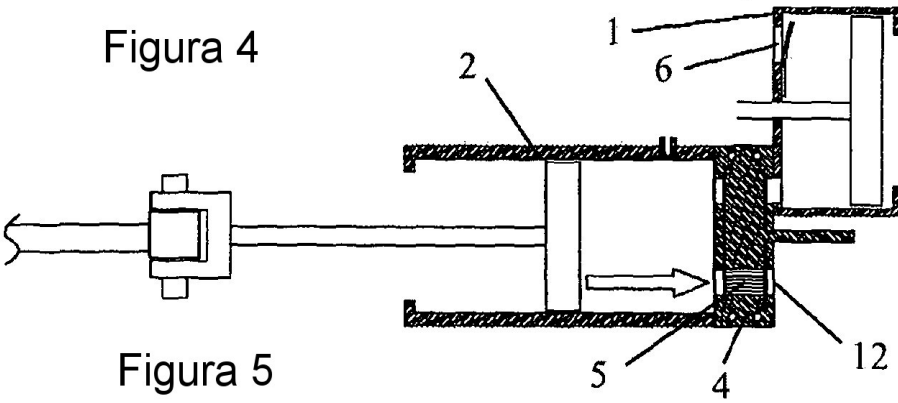


Figura 5

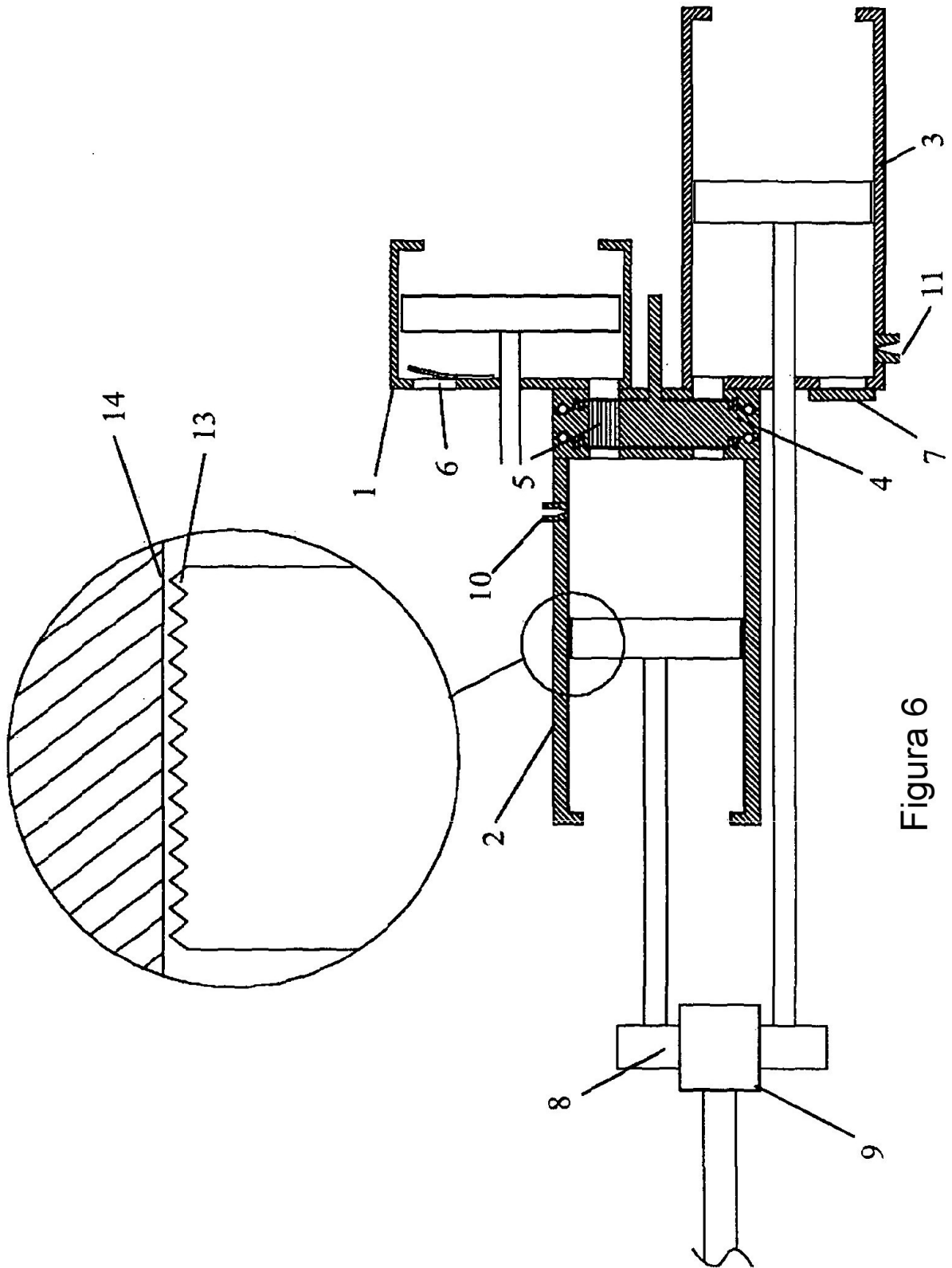


Figura 6

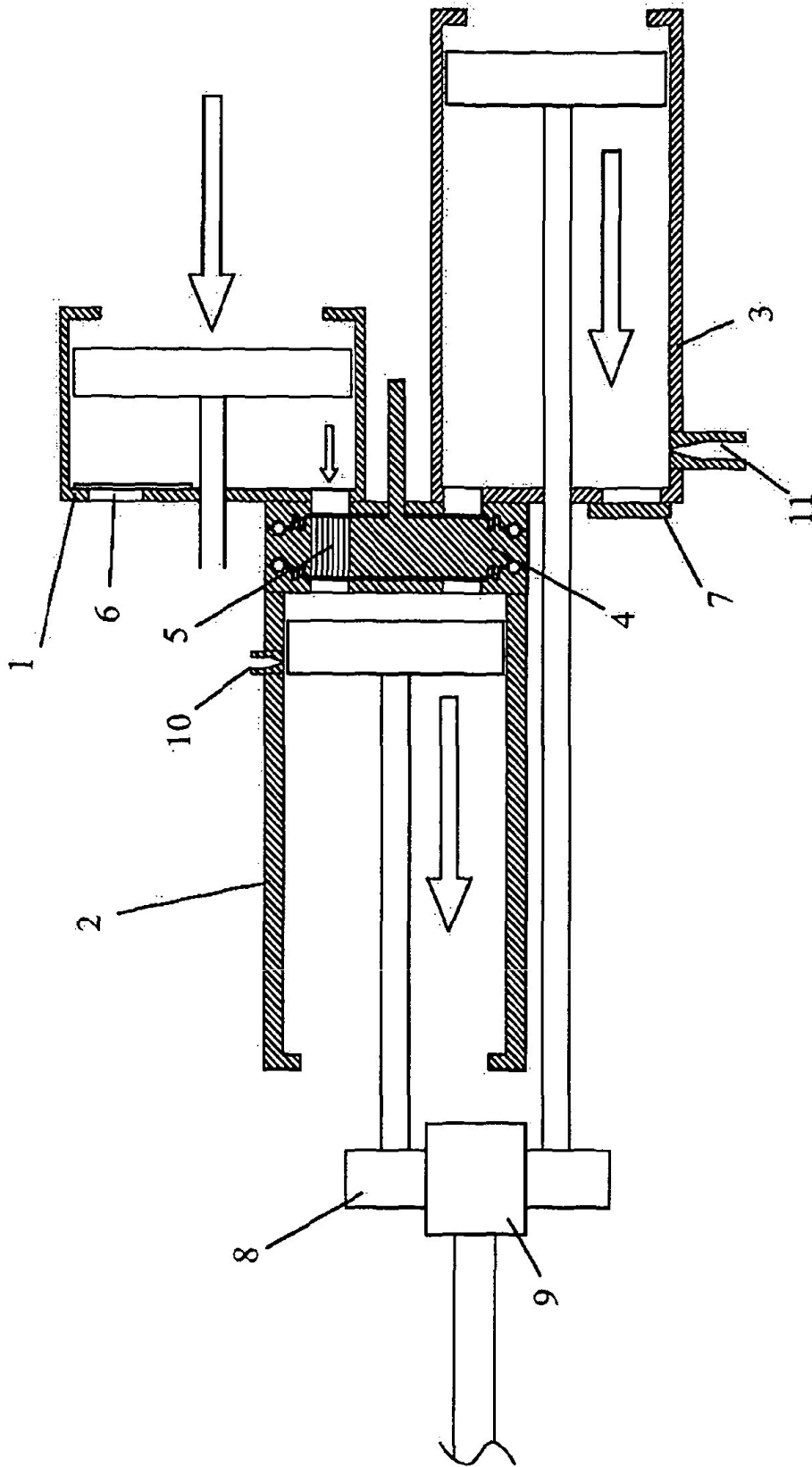


Figura 7

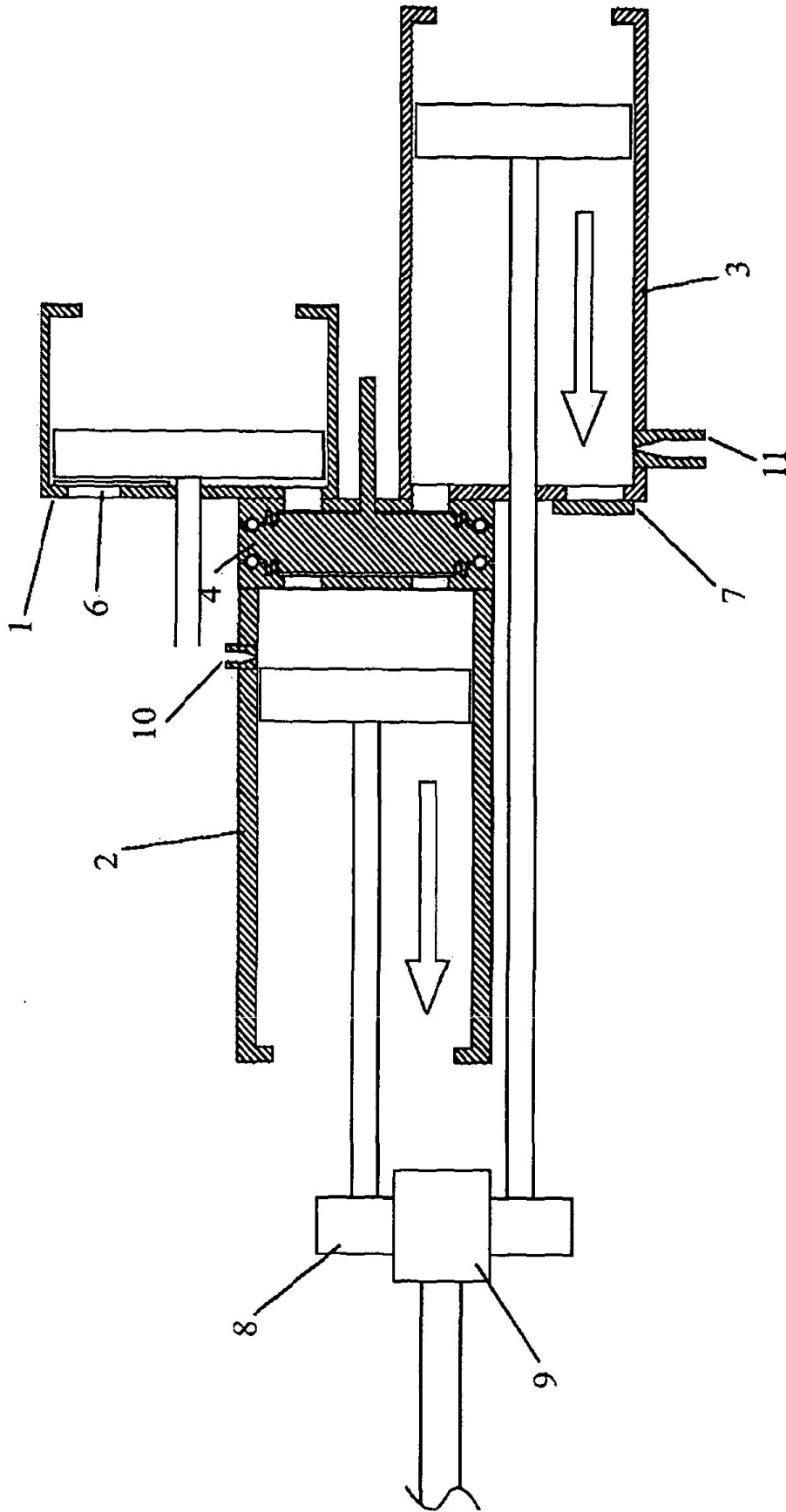


Figura 8

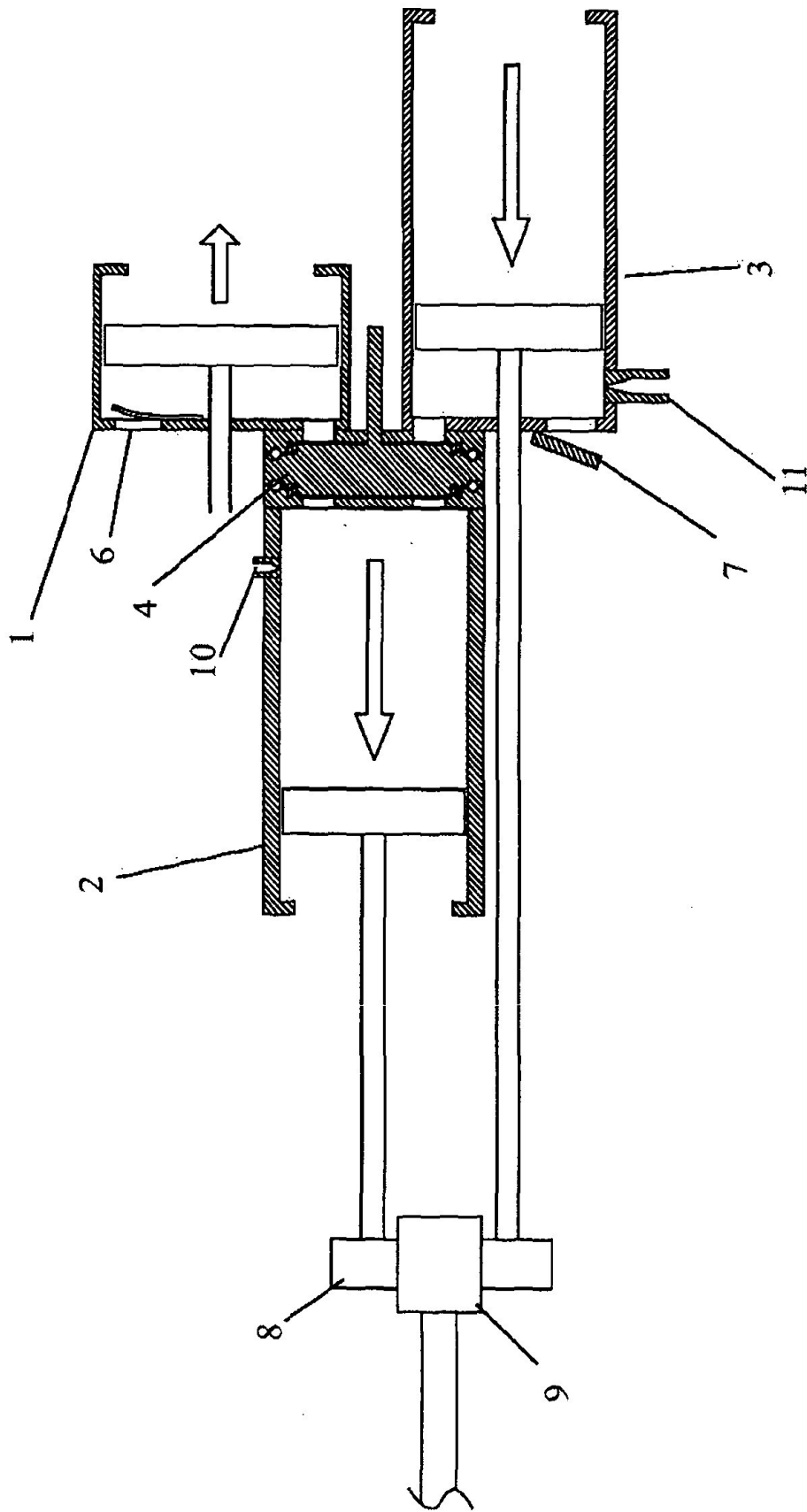


Figura 9

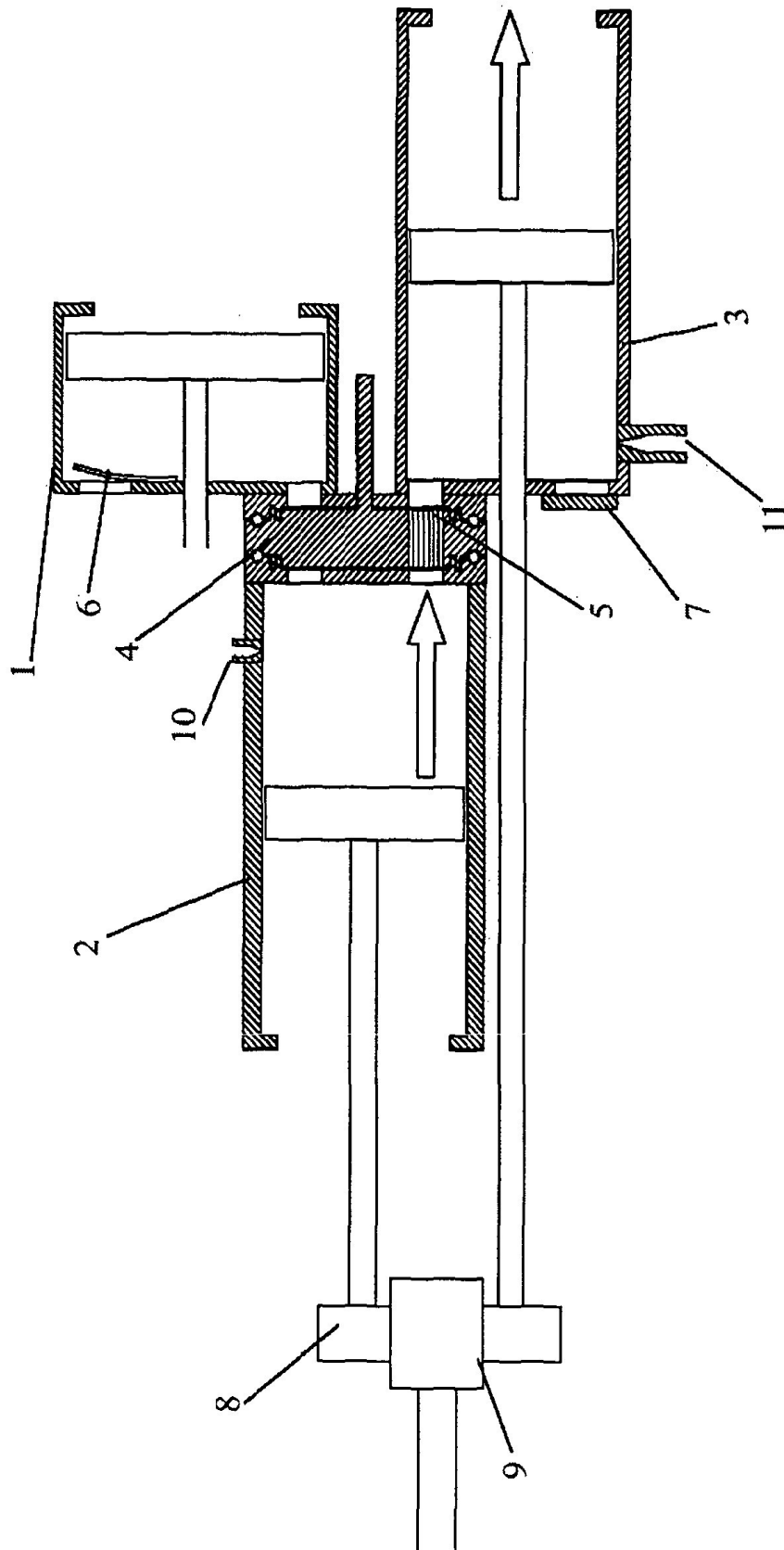


Figura 10

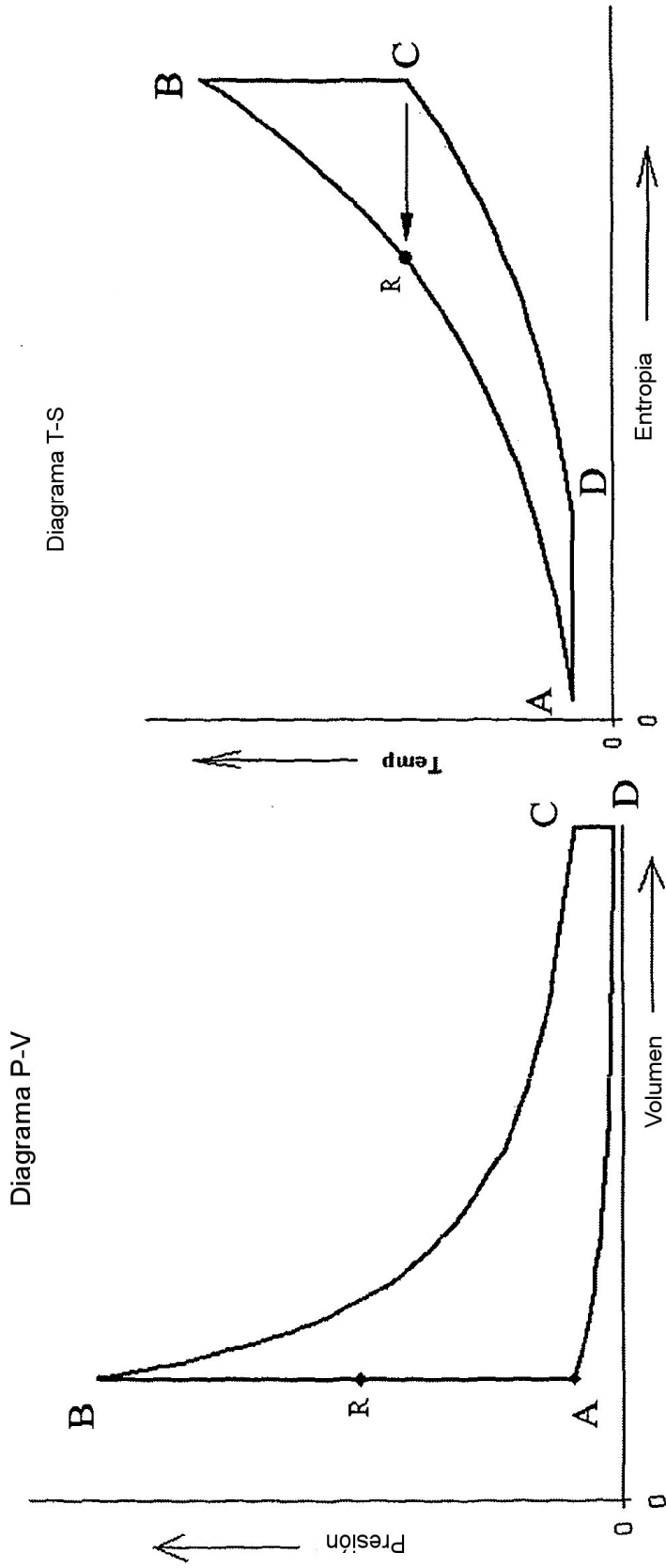


Figura 11



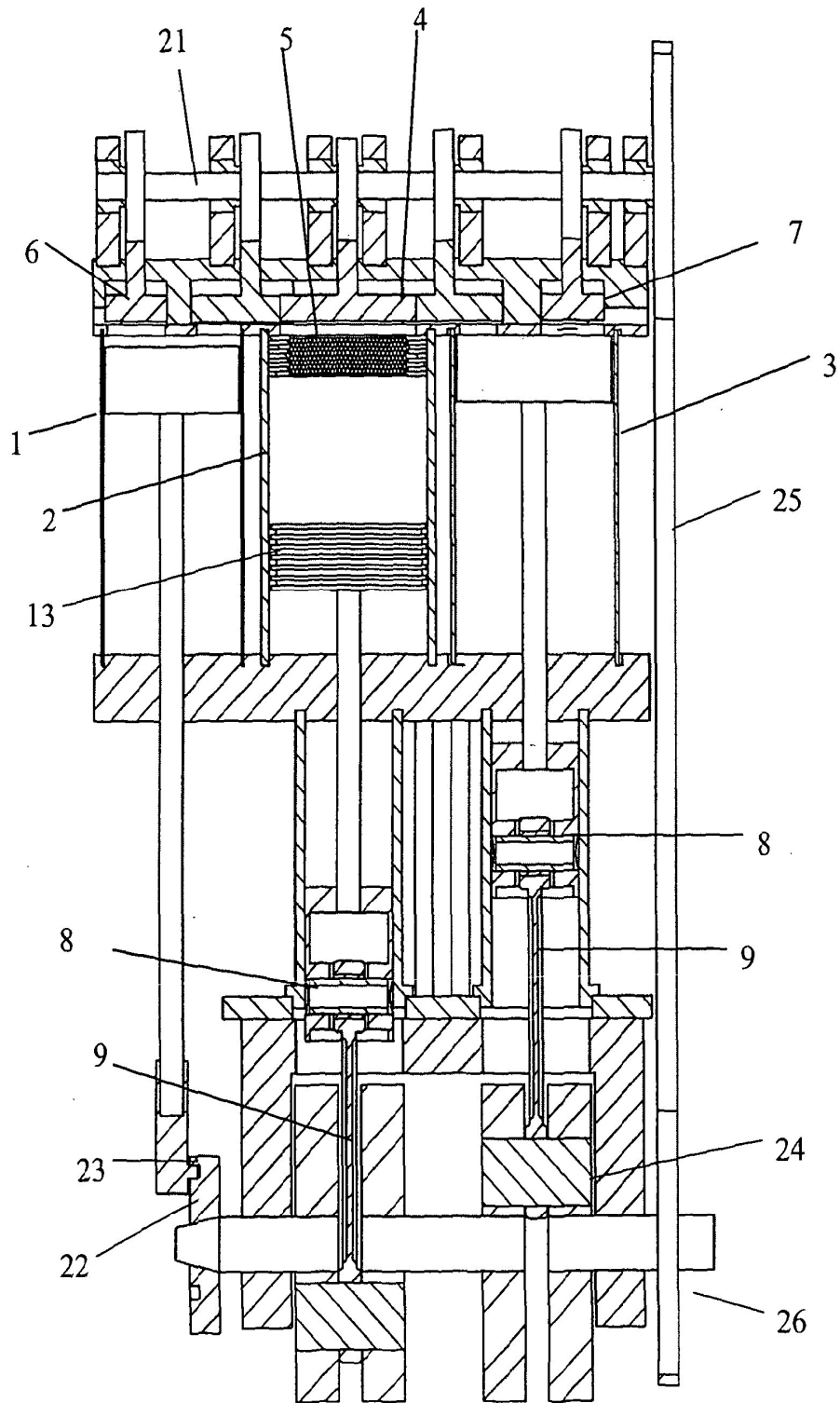


Figura 12