

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 852 024**

51 Int. Cl.:

F02G 1/043

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.03.2016** **PCT/IB2016/000470**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.09.2016** **WO16151401**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.03.2016** **E 16721924 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.11.2020** **EP 3274577**

54 Título: **Motor Stirling y método de utilización de un motor Stirling**

30 Prioridad:

25.03.2015 DE 102015003741
08.08.2015 DE 102015010090

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.09.2021

73 Titular/es:

SUN ORBIT GMBH (100.0%)
Hauptstrasse 63
72513 Hettingen, DE

72 Inventor/es:

KLEINWÄCHTER, JÜRGEN;
PACCOUD, OLIVIER y
GENKINGER, PATRICK

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 852 024 T3

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

DESCRIPCIÓN

Motor Stirling y método de utilización de un motor Stirling

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un motor Stirling de baja temperatura, a topologías específicas relacionadas con este motor Stirling que incluyen membranas y a diferentes métodos que utilizan este motor Stirling.

Antecedentes de la invención

10 Los motores Stirling se han descrito en la técnica desde su descubrimiento a principios de la década de 1800. Estos motores de ciclo cerrado funcionan por compresión y expansión de un medio de trabajo a diferentes temperaturas, generando energía mecánica a partir de una diferencia de temperatura o viceversa (es decir, generando una diferencia de temperatura con energía mecánica).

A diferencia de los motores de combustión interna, el calentamiento y el enfriamiento del medio de trabajo herméticamente cerrado se realiza mediante intercambiadores de calor en el lado caliente y en el lado frío. Esto permite hacer funcionar el motor con prácticamente todas las fuentes de calor disponibles.

15 Termodinámicamente, el ciclo Stirling en su configuración ideal se caracteriza por la fórmula de eficiencia (ζ) $\eta = 1 - T_u/T_o$, en donde

T_o = Temperatura en el lado caliente (K)

T_u = Temperatura en el lado frío (K)

Esto es equivalente a la eficiencia de Carnot.

20 El gráfico de la figura 7 adjunta muestra las eficiencias en función de la ΔT entre el gas caliente y el gas frío. Para lograr altas eficiencias es lógico pensar primero en altas temperaturas en el lado caliente del ciclo, típicamente $> 800^\circ\text{C}$. Como muestra el gráfico, un motor Stirling ideal transformaría en este caso un 70% del calor de entrada en energía mecánica. Sin embargo, los motores reales de alta temperatura del estado de la técnica sólo son capaces de alcanzar $\approx$ un 50% de este valor ideal resultando en una eficiencia de un 35% (en otras palabras, trabajan con un "factor de Carnización" de un 50%).

25 Las razones principales de estas pérdidas son:

a) Las altas frecuencias de trabajo de los motores compactos que conducen a grandes pérdidas por fricción hidrodinámica del gas de trabajo;

30 b) Pérdidas en el regenerador debido a los cortos periodos de calentamiento y enfriamiento; en consecuencia, la "onda de calor" no penetra completamente en la matriz del regenerador (ciclo de calentamiento) y devuelve su contenido de calor al gas de trabajo (ciclo de enfriamiento);

c) Superficies de los intercambiadores de calor pequeñas, lo que da lugar a grandes DT hacia el gas de trabajo (DT representa la diferencia de temperatura entre el fluido en los intercambiadores de calor y el gas de trabajo).

d) Como se muestra en la figura 7 adjunta, el ciclo Stirling ideal se compone de 4 etapas (pasando de 1 a 2, de 2 a 3, de 3 a 4 y de nuevo de 4 a 1 en el diagrama de volumen frente a presión):

- 35
- 1-2: compresión isotérmica del gas de trabajo;
 - 2-3: desplazamiento isocórico del gas (a través del regenerador) de frío a caliente;
 - 3-4: expansión isotérmica del gas de trabajo; y
 - 4-1: desplazamiento isocórico del gas (a través del regenerador) de caliente a frío.

40 Los motores Stirling de alta temperatura, rápidos y compactos, tal y como se han descrito hasta ahora, no pueden expandir y comprimir el gas en una buena aproximación al proceso isotérmico; esto da lugar a más pérdidas.

45 El documento US5337562 A divulga un motor Stirling con una cámara de alojamiento que es dividida, por una placa regeneradora permeable al gas recíproco, en dos partes de cámara. Una puede calentarse y a la segunda se le puede proporcionar de enfriamiento. La segunda parte de cámara se comunica con un cilindro de trabajo que actúa sobre un árbol de trabajo o volante de inercia a través de un primer dispositivo de accionamiento y sobre la placa regeneradora a través de un segundo dispositivo de accionamiento. La solicitud estadounidense propone diseñar la cámara de alojamiento en forma de cuña y montar la placa regeneradora de forma pivotante alrededor de un eje pivotante en la punta de la cámara de alojamiento. Como resultado del diseño propuesto de la cámara de alojamiento con la fijación pivotante de la placa regeneradora que al mismo tiempo sirve como un pistón de desplazamiento, la función de desplazamiento de la placa regeneradora se efectúa completamente mediante un movimiento pivotante de bajo desgaste alrededor del eje pivotante. El documento WO2011/003207 A divulga un aparato que incluye una carcasa,

50

una cámara de compresión dispuesta en la carcasa y que tiene al menos una primera interfaz operable para variar un volumen de la cámara de compresión, una cámara de expansión dispuesta en la carcasa y que tiene una segunda interfaz operable para variar un volumen de al menos la cámara de expansión, y un regenerador térmico en comunicación fluida con cada una de la cámara de compresión y la cámara de expansión. Se puede hacer funcionar el regenerador térmico para recibir alternativamente energía térmica del gas que fluye en una primera dirección a través del regenerador y entregar la energía térmica al gas que fluye en una dirección opuesta a la primera dirección a través del regenerador. La cámara de compresión, la cámara de expansión y el regenerador definen conjuntamente un volumen de trabajo para contener un gas de trabajo presurizado. Cada una de la primera y segunda interfaces está configurada para un movimiento recíproco en una dirección alineada con un eje del transductor, siendo el movimiento recíproco operable para causar un intercambio periódico de gas de trabajo entre las cámaras de expansión y de compresión. En un aspecto, al menos una de las primera y segunda interfaces incluye un diafragma elástico, y un muelle tubular cilíndrico acoplado entre el diafragma y la carcasa, estando el muelle tubular configurado para deformarse elásticamente en una dirección en general alineada con el eje del transductor en respuesta a las fuerzas impartidas en el muelle tubular por el diafragma para hacer que al menos una de las primera y segunda interfaces tenga una frecuencia natural deseada. En otro aspecto, el aparato incluye un primer intercambiador de calor en comunicación con la cámara de expansión, un segundo intercambiador de calor en comunicación con la cámara de compresión, el regenerador térmico está dispuesto entre el primer y segundo intercambiadores de calor, y cada uno del primer y segundo intercambiadores de calor está dispuesto periféricamente dentro de la carcasa con respecto al eje del transductor y configurados para recibir el gas de trabajo que fluye hacia o desde las cámaras respectivas y para redirigir el flujo de gas de trabajo a través del regenerador.

El documento DE3432912 A1 se refiere a una bomba accionada por energía térmica, que emplea la presión de un gas calentado para producir una producción de bomba. En un proceso que es similar al proceso Stirling, el movimiento de un elemento de desplazamiento y de una pared móvil es controlado, sin ser convertido en energía de rotación, por un sistema de muelles y de retenedores.

El documento DE3015815 A1 divulga un motor de gas caliente que tiene una conexión elástica y de movimiento perdido entre el pistón de trabajo y el desplazador, lo que resulta en un cambio rápido del desplazador entre sus posiciones extremas. Las paredes caliente y fría entre las que se mueve el desplazador son sustancialmente planas y paralelas, y el desplazador tiene la forma de una placa. El pistón de trabajo comprende un diafragma para reducir la pérdida de gas de trabajo de la cámara del motor.

El documento DE3931312A1 divulga un motor que tiene una pared rígida de chapa metálica receptora de calor, y una pared transmisora de calor conectada a lo largo de los bordes exteriores. El espacio de alojamiento entre las paredes contiene una placa regeneradora porosa móvil permeable al aire. Un cilindro de trabajo con membrana se acopla mediante unas primeras bielas a una masa de volante de inercia, que se acopla a la placa regeneradora mediante unas segundas bielas. Las paredes metálicas son cónicas. La placa regeneradora está formada por un forro polar flexible. Este tiene un borde circular, que se mantiene entre los bordes de la pared metálica. El motor tiene la ventaja de una placa regeneradora flexible y porosa.

Resumen de la invención

Para superar uno o más de los problemas mencionados anteriormente, la presente invención está dirigida a un motor Stirling de baja temperatura (nombre de trabajo de los inventores: "*SunPulse*"), que evita, por su construcción y topología específicas, uno o más de los puntos débiles de los motores Stirling clásicos de alta temperatura de la técnica anterior.

De acuerdo con un aspecto principal de la invención, se proporciona un sistema de acuerdo con la reivindicación 1.

Una "membrana" deberá entenderse como una lámina flexible, de forma preferible una lámina enrollable. De forma preferible, la membrana tiene la forma de una hoja circular en forma de anillo.

De una manera constructiva fácil, al menos uno de los pistones podría estar colgado por un extremo de la al menos una membrana que se fija en su lugar en el al menos uno de los pistones, y en donde el otro extremo de la al menos una membrana se fija en su lugar en el al menos un cilindro.

De forma preferible, el pistón de potencia está conectado al cilindro.

De forma preferible, un extremo de la membrana del pistón de potencia está fijado en su lugar en el pistón de potencia y otro extremo de la membrana del pistón de potencia está fijado en su lugar en la carcasa cilíndrica.

De forma preferible, el pistón de desplazador está conectado a un calentador cilíndrico de la cámara de expansión del cilindro con una membrana de pistón de desplazador.

De forma preferible, la membrana del desplazador está aislada térmicamente.

Además, es ventajoso si un extremo de la membrana del pistón de desplazador está fijado en su lugar en el pistón de desplazador y el otro extremo de la membrana del pistón de desplazador está fijado en el calentador cilíndrico.

De forma preferible, la al menos una membrana está basada en polímeros.

De forma preferible, la al menos una membrana es una membrana de doble capa.

De forma preferible, la al menos una membrana comprende material de polímero basado en olefinas halogenadas.

5 De forma preferible, el intercambiador de calor está ubicado junto al regenerador en el lado dirigido hacia la cámara de expansión y el disipador de calor está ubicado junto al regenerador en el lado dirigido hacia la cámara de compresión.

De forma preferible, la cámara de compresión rodea, al menos en parte, la cámara de expansión del cilindro de trabajo. Como consecuencia, el aislamiento térmico queda obsoleto.

10 De forma preferible, la cámara de compresión rodea, al menos en parte, el regenerador de forma cilíndrica. Como consecuencia, el aislamiento térmico del regenerador queda obsoleto.

De forma ventajosa, al menos una membrana de base polimérica está conectada a al menos uno de los pistones y al cilindro, en donde la conexión es hermética. Entonces, el gas siempre tiene que pasar por el regenerador para fluir desde la cámara de expansión a la cámara de compresión o viceversa.

15 Con respecto a un modo de realización especialmente preferido de la invención, es ventajoso que el motor esté conectado a un volante de inercia que esté conectado a un primer pistón de agua hidráulico.

De forma preferible, el motor se coloca en una cubierta hermética que está presurizada a más de 1,5 y hasta 5 bar.

Además, es ventajoso que el motor comprenda además un eje conectado a un volante de inercia, en donde la cubierta hermética tiene cojinetes de rotación alrededor del eje.

20 De forma preferible, el diámetro del al menos un pistón de potencia es al menos 10 veces mayor que el desplazamiento vertical del pistón de potencia.

25 En otro aspecto de la invención, la invención se dirige a un método de utilización de un motor Stirling, en donde el motor comprende al menos un cilindro con al menos un regenerador que conecta una cámara de expansión con un intercambiador de calor y una cámara de compresión con un disipador de calor, en donde un pistón de potencia y un pistón de desplazamiento se mueven dentro del al menos un cilindro moviendo un medio de trabajo a través del al menos un regenerador entre la cámara de expansión y la cámara de compresión, en donde el al menos un intercambiador de calor calienta el medio de trabajo en la cámara de expansión, y en donde el al menos un disipador de calor enfría el medio de trabajo en la cámara de compresión, caracterizado por que la al menos una membrana de base polimérica está conectada a al menos uno de los pistones y al cilindro y en donde la conexión es estanca.

30 De forma preferible, el pistón de potencia está conectado al cilindro con una membrana de pistón de potencia que es de doble capa, de base polimérica e inflada, y en donde el pistón de desplazador está conectado a la cámara de expansión del cilindro con una membrana de pistón de desplazador aislada térmicamente.

En otro modo de realización, la invención se dirige al uso de una membrana para conectar un pistón a un cilindro de una máquina Stirling, en donde la membrana es una membrana de múltiples capas de base polimérica que se infla con gas y en donde la conexión es estanca al gas.

35 En otro modo de realización, la invención se dirige a un motor Stirling que comprende al menos un cilindro con al menos un regenerador que conecta una cámara de expansión con un intercambiador de calor y una cámara de compresión con un disipador de calor, en donde un pistón de potencia y un pistón de desplazamiento se mueven dentro del al menos un cilindro moviendo un medio de trabajo a través del al menos un regenerador entre la cámara de expansión y la cámara de compresión, en donde el al menos un intercambiador de calor calienta el medio de trabajo en la cámara de expansión, y en donde el al menos un disipador de calor enfría el medio de trabajo en la cámara de compresión, caracterizado por que el motor está conectado a un volante de inercia que está conectado a un primer pistón hidráulico de agua.

40 En otro modo de realización, la invención se dirige a un método de utilización de un motor Stirling, en donde el motor comprende al menos un cilindro con al menos un regenerador que conecta una cámara de expansión con un intercambiador de calor y una cámara de compresión con un disipador de calor, en donde un pistón de potencia y un pistón de desplazamiento se mueven dentro del al menos un cilindro moviendo un medio de trabajo a través del al menos un regenerador entre la cámara de expansión y la cámara de compresión, en donde el al menos un intercambiador de calor calienta el medio de trabajo en la cámara de expansión, y en donde el al menos un disipador de calor enfría el medio de trabajo en la cámara de compresión, caracterizado por que el motor está conectado a un volante de inercia que acciona un primer pistón hidráulico de agua.

50 La innovadora primera bomba hidráulica en combinación con el presente motor Stirling de baja frecuencia, de acuerdo con estos dos modos de realización, representa un progreso importante hacia los dispositivos de bombeo solar

establecidos, especialmente en comparación con las bombas fotovoltaicas en conexión con las bombas eléctricas de perforación de rotación rápida.

La eficiencia de las bombas hidráulicas de funcionamiento lento (agua), directamente conectadas a un volante de inercia con alto par motor es mucho mejor que la eficiencia de la bomba eléctrica.

- 5 Si el sistema necesita funcionar durante la noche, lo que es especialmente interesante para el ahorro de agua en climas cálidos, el almacenamiento (25) térmico es mucho más económico que el almacenamiento en baterías eléctricas que necesita el sistema PV (fotovoltaico).

Además, el sistema hidráulico Stirling no contiene materiales raros y/o peligrosos como es el caso del sistema PV.

- 10 Otra ventaja importante del sistema de bombeo hidráulico de agua en comparación con el estado de la técnica es su posibilidad de ajustar la bomba exactamente en función de la profundidad del pozo.

- 15 En otro modo de realización, la invención se dirige a un motor Stirling que comprende al menos un cilindro con al menos un regenerador que conecta una cámara de expansión con un intercambiador de calor y una cámara de compresión con un disipador de calor, en donde un pistón de potencia y un pistón de desplazamiento se mueven dentro del al menos un cilindro moviendo un medio de trabajo a través del al menos un regenerador entre la cámara de expansión y la cámara de compresión, en donde el al menos un intercambiador de calor calienta el medio de trabajo en la cámara de expansión, y en donde el al menos un disipador de calor enfría el medio de trabajo en la cámara de compresión, caracterizándose por que el motor está conectado a un volante de inercia que tiene un pasador de excentro que está situado entre el centro de rotación del volante de inercia y su periferia.

De forma preferible, el pasador de excentro está situado en una ranura a lo largo del diámetro del volante de inercia.

- 20 En otro modo de realización, la invención se dirige a un método de utilización de un motor Stirling en donde el motor comprende al menos un cilindro con al menos un regenerador que conecta una cámara de expansión con un intercambiador de calor y una cámara de compresión con un disipador de calor, en donde un pistón de potencia y un pistón de desplazamiento se mueven dentro del al menos un cilindro moviendo un medio de trabajo a través del al menos un regenerador entre la cámara de expansión y la cámara de compresión, en donde el al menos un intercambiador de calor calienta el medio de trabajo en la cámara de expansión, y en donde el al menos un disipador de calor enfría el medio de trabajo en la cámara de compresión, caracterizado por que el motor está conectado a un volante de inercia con un pasador de excentro donde el pasador de excentro que impulsa la biela del pistón de desplazamiento está conectado al volante de inercia de tal manera que el pasador de excentro puede ser continuamente desplazado en una ranura entre el centro de rotación a la periferia de la rueda dentada relacionada a lo largo del diámetro del volante de inercia, con el fin de regular la potencia del motor.

En otro modo de realización, la invención se dirige a un método de utilización de al menos dos motores Stirling, en donde los al menos dos motores están acoplados de tal manera que al menos un motor funciona como impulsor principal y acciona el segundo, que funciona inversamente como motor de refrigeración o bomba de calor.

De forma preferible, el Stirling de funcionamiento reversible es accionado por energía externa.

- 35 De forma preferible, la fuente de energía externa es un panel fotovoltaico y el motor Stirling de refrigeración produce hielo para su almacenamiento.

De forma preferible, el impulsor principal actúa como sistema de trigeneración de electricidad, calefacción y refrigeración en combinación con colectores solares térmicos y almacenamientos de calor adecuados.

- 40 De forma preferible, la producción de baja velocidad y alto par del volante de inercia está directamente conectada mecánicamente a diferentes subsistemas seleccionados entre compresores, molinos, sierras, cintas transportadoras y mezclas de los mismos.

En otro modo de realización, la invención está dirigida a un motor Stirling que comprende al menos un cilindro con una cámara de expansión y una cámara de compresión, y un pistón de potencia y un pistón de desplazamiento que se ubican en el al menos un cilindro;

- 45 en donde el cilindro comprende además al menos un regenerador que conecta la cámara de expansión y una cámara de compresión;

en donde el cilindro comprende al menos un intercambiador de calor, y al menos un disipador de calor; y

en donde un medio de trabajo está presente en la cámara de expansión, la cámara de compresión y el regenerador,

- 50 caracterizado por que el motor está colocado en una cubierta hermética que está presurizada a más de 1,5 y hasta 5 bar.

De forma preferible, el motor Stirling comprende además un eje que está conectado a un volante de inercia, en donde la cubierta tiene cojinetes de rotación alrededor de los ejes.

En otro modo de realización, la invención se dirige a un método de utilización de un motor Stirling, en donde el motor comprende al menos un cilindro con al menos un regenerador que conecta una cámara de expansión con un intercambiador de calor y una cámara de compresión con un disipador de calor, en donde un pistón de potencia y un pistón de desplazamiento se mueven dentro del al menos un cilindro moviendo un medio de trabajo a través del al menos un regenerador entre la cámara de expansión y la cámara de compresión, en donde el al menos un intercambiador de calor calienta el medio de trabajo en la cámara de expansión, y en donde el al menos un disipador de calor enfría el medio de trabajo en la cámara de compresión, caracterizado por que al menos el motor está colocado en una cubierta hermética y funciona a una presión incrementada de más de 1 y hasta 5 bar.

De forma preferible, la frecuencia del movimiento del pistón es superior a 1,5 e inferior a 5Hz.

En otro modo de realización, la invención se dirige a un método de utilización de un motor Stirling, en donde el motor comprende al menos un cilindro con al menos un regenerador que conecta una cámara de expansión con un intercambiador de calor y una cámara de compresión con un disipador de calor, en donde un pistón de potencia y un pistón de desplazamiento se mueven dentro del al menos un cilindro moviendo un medio de trabajo a través del al menos un regenerador entre la cámara de expansión y la cámara de compresión, en donde el al menos un intercambiador de calor calienta el medio de trabajo en la cámara de expansión, y en donde el al menos un disipador de calor enfría el medio de trabajo en la cámara de compresión, caracterizado por que el diámetro del al menos un pistón de potencia es al menos 5 veces mayor que el desplazamiento vertical del pistón de potencia.

De forma preferible, la frecuencia del movimiento vertical del pistón de potencia es de 1 a 5 Hz durante un período de al menos 1 minuto. De forma preferible, la relación del diámetro del pistón de potencia respecto al movimiento vertical (máximo) del pistón (durante el funcionamiento del motor Stirling de baja temperatura) es de al menos 1: 5, y de forma preferible de hasta 1:100, de forma más preferible de hasta 1:50, de forma más preferible de hasta 1:15.

La presente invención se presenta con varios modos de realización, como se ha comentado en general anteriormente.

Cada modo de realización se describe independientemente de los otros modos de realización, pero se entenderá que las características de cada modo de realización pueden utilizarse o introducirse en otros modos de realización.

Esto se aplica independientemente a cada una de las características del preámbulo de cada modo de realización.

Lo más importante es que esto se aplica independientemente a los rasgos característicos de cada modo de realización.

Como puede apreciarse en el gráfico de eficiencia/temperatura (figura 7), el motor Stirling de baja temperatura de la invención tiene, por las razones mencionadas a continuación, un mayor factor de "Carnización".

Se ha comprobado que se limita de forma preferible a una temperatura máxima de funcionamiento de 300°C debido a los parámetros del material de la membrana utilizada de acuerdo con la invención.

El presente motor de baja temperatura (temperatura en el lado caliente situada de forma preferible entre 80 y 300°C como máximo) se caracteriza de forma preferible por uno o varios de los siguientes parámetros:

a) Frecuencias de trabajo bajas (1-5 Hz en comparación con las típicas 300-100 Hz de los motores de alta temperatura). Por lo tanto, una energía de desplazamiento mucho menor (desplazamiento del medio de trabajo entre el lado caliente y el lado frío del ciclo Stirling), una mayor producción de potencia neta;

b) Mayor eficiencia del regenerador debido al mayor tiempo de contacto del medio de trabajo con la matriz del regenerador;

c) Gran superficie del intercambiador de calor frente al volumen del medio de trabajo, menor ΔT , mayor eficiencia;

d) mejor aproximación a la expansión y compresión isotérmica como resultado de la buena relación "superficie del intercambiador de calor frente al volumen del medio de trabajo" y la menor velocidad del medio de trabajo.

Todos estos efectos positivos hacen posible volver a realizar un motor Stirling de baja temperatura que puede alcanzar buenas eficiencias a bajas temperaturas (véase el gráfico de eficiencia/temperatura).

Se ha comprobado que para alcanzar estos efectos positivos, teniendo en cuenta la baja densidad de energía del motor Stirling de baja temperatura, esto requiere de forma preferible grandes dimensiones.

De forma preferible, las grandes dimensiones incluyen grandes diámetros de los pistones de trabajo y de desplazamiento.

De forma preferible, están estrechamente sellados hacia las paredes del cilindro.

Esto puede lograrse mediante anillos de pistón clásicos; sin embargo, requieren formas perfectas (redondas) del cilindro correspondiente y una gran suavidad de las paredes del cilindro.

5 Llevar a cabo esta tarea utilizando cilindros de grandes diámetros como los preferidos para la presente invención es a menudo prohibitivamente caro. Por lo tanto, hemos desarrollado cojinetes de membrana preferidos de acuerdo un aspecto de la invención que han demostrado cumplir perfectamente la tarea.

De forma preferible, se utilizan para un rango de temperatura adecuado a los materiales de membrana polimérica utilizados.

Como ejemplo preferido, las membranas que utilizan compuestos de fluoropolímero pueden funcionar dentro del intervalo de temperaturas de -100 a +280°C.

10 Por lo tanto, la temperatura más alta posible del calentador del presente motor Stirling es actualmente de alrededor de 280°C hasta 300°C; por la misma razón, su temperatura más baja alcanzable en el lado frío (por ejemplo, en caso de que el Stirling se haga funcionar de manera reversible como motor de enfriamiento) es de -100°C.

15 El uso de membranas, como se describe más detalladamente a continuación, presenta también las siguientes ventajas adicionales: una vida útil extremadamente larga, menos pérdidas por fricción que los anillos de pistón y, como se ha mencionado, la posibilidad de utilizar cilindros con altas tolerancias en lo que se refiere a su redondez y suavidad de superficie.

Esto permite la producción económica en pequeñas y medianas empresas sin necesidad de utilizar herramientas de fabricación en masa de muy alta tecnología.

20 Aparte de todas las demás fuentes de calor posibles, el presente motor Stirling está perfectamente adaptado para funcionar con calor solar y, para las horas en que no hay sol, con acumuladores de calor térmico solar.

25 En el caso más sencillo, colectores solares estacionarios que utilizan tubos de vacío consiguen un calor de proceso de 150°C (sin presión con aceite térmico o bajo la ligera presión de 5 bar utilizando agua) con una eficiencia de un 50%. Este calor puede almacenarse de forma eficaz y económica durante la noche o para el funcionamiento de varios días del motor Stirling en tanques de almacenamiento bien aislados. De esta manera, la autonomía energética puede realizarse especialmente en aplicaciones a pequeña escala como pueblos y granjas en países soleados.

Si el motor Stirling de baja temperatura funciona entre el intervalo de temperaturas de 150°C (lado caliente) y 40°C (lado frío), desarrolla una eficiencia mecánica de aproximadamente un 13% y el calor rechazado puede utilizarse para fines de calor doméstico (cogeneración).

30 Para alcanzar la temperatura de entrada más alta posible de 280°C, se pueden utilizar colectores solares lineales simples, que funcionan aproximadamente con una eficiencia de un 65%.

El funcionamiento de un motor Stirling de baja temperatura entre 280°C (lado caliente) y 40°C (lado frío) dará como resultado una eficiencia mecánica de aproximadamente un 22%, con el resto como calor utilizable.

En general, la invención se refiere a un motor Stirling de baja temperatura y baja frecuencia.

35 Su geometría especial permite grandes superficies de intercambio de calor y grandes regeneradores para alcanzar buenos factores de "Carnoización".

El desplazador y el pistón de potencia están conectados con membranas de sellado, de forma preferible circulares y a base de polímeros, a las paredes del cilindro.

El espacio frío, especialmente la cámara de compresión, del motor Stirling rodea cilíndricamente la periferia exterior, especialmente la cámara de expansión, del cilindro de trabajo, de modo que el aislamiento térmico queda obsoleto.

40 El motor es especialmente adecuado para funcionar como impulsor principal de potencia base utilizando colectores solares térmicos y acumuladores de calor de aceite caliente o agua a presión acoplados.

En el modo inverso, el motor funciona como un motor de refrigeración/bomba de calor eficaz.

Descripción detallada de la invención

45 La presente invención se refiere a motores Stirling. De forma preferible, estos motores Stirling funcionan a bajas temperaturas, de forma preferible de -100°C a 300°C.

El motor Stirling de acuerdo con un modo de realización de la presente invención comprende al menos una membrana.

De forma preferible, la al menos una membrana de la invención conecta un pistón y la pared de un cilindro.

La conexión entre el pistón y la pared del cilindro se hace de forma preferible hermética mediante el uso de la membrana.

Dicha conexión hermética se obtiene de forma preferible fijando la membrana al pistón y al cilindro mediante pernos.

De forma preferible, la membrana está hecha de material hermético.

- 5 De forma preferible, la membrana es una membrana de múltiples capas, de forma preferible una membrana doble.

Cada membrana de la membrana multicapa es de forma preferible una lámina.

Se prefiere el uso de una membrana de múltiples capas (al menos dos y de forma preferible dos) para el pistón de potencia. Esto permite inflar la membrana entre las múltiples capas de la membrana.

- 10 De forma preferible, la membrana (del pistón de potencia y/o del pistón de desplazador) comprende un material de polímero.

Se ha comprobado que el material de polímero tiene de forma preferible una buena resistencia a la tracción, una buena resistencia al alargamiento y/o un bajo coeficiente de fricción.

Se ha comprobado que estos materiales son preferibles ya que no se ven afectados por las condiciones específicas de funcionamiento de la presente invención.

- 15 De forma preferible, la membrana comprende material de polímero en al menos una hoja, de forma preferible una capa doble, y puede comprender además material de polímero en forma de fibra.

De forma preferible, el material de polímero comprende uno o más polímeros y copolímeros basados en monómeros seleccionados del grupo que consiste en hidrocarburos insaturados, hidrocarburos fluorados insaturados, hidrocarburos fluoroclorados insaturados, hidrocarburos fluorados insaturados con grupo éter, así como copolímeros de dichos monómeros.

- 20 Los polímeros preparados con enlaces de éter o éster entre monómeros también pueden ser adecuados para su uso en la membrana de la presente invención, por ejemplo los poliuretanos.

Los monómeros preferidos son las poliolefinas.

Los hidrocarburos insaturados preferidos son el etileno y el propileno.

- 25 Los monómeros preferidos son el etileno, el propileno, el etileno fluorado y el propileno fluorado y mezclas de los mismos.

El material preferido a base de poliolefina está fluorado y comprende de forma preferible monómeros que son productos de adición de mono, di, tri y/o tetra monómeros fluorados.

- 30 De forma más preferible, los monómeros fluorados se seleccionan del grupo que consiste en tetrafluoroetileno, clorotrifluoroetileno, hexafluoropropileno, perfluoro (alquil vinil éter), fluoruro de vinilideno y fluoruro de vinilo. El material a base de poliolefina también puede comprender monómeros no fluorados que no son productos de adición (es decir, etileno o propileno normal con hidrógeno y sin grupo fluorado o éter).

Las proporciones molares de los monómeros fluorados y regulares están de forma preferible entre 40:60 y 60:40.

- 35 De forma preferible, el material de polímero se selecciona del grupo que consiste en PP (polipropileno), PE (polietileno), PFA (perfluoroalcoxi; por ejemplo, el nombre comercial Teflón PFA), ETFE (etileno-tetrafluoroetileno; por ejemplo, los nombres comerciales Tefzel, Fluon, Neoflon y Tex- lon), EFEP (etileno-tetrafluoroetileno-hexafluoropropileno), FEP (tetrafluoroetileno-hexafluoropropileno; por ejemplo, los nombres comerciales Teflón FEP, Neoflon FEP y Dyneon FEP), PTFE (politetrafluoroetileno; por ejemplo, el nombre comercial Teflón), ECTFE (etileno-clorotrifluoroetileno; por ejemplo, el nombre comercial Halar), PCTFE (policlorotrifluoroetileno; por ejemplo, los nombres comerciales Neoflon PCTFE, Aclon y Kel-F), mezclas de los mismos y copolímeros de sus monómeros.

- 40 Ejemplos preferidos de materiales basados en poliolefinas fluoradas son el PTFE, el FEP, el PFA y/o mezclas de los mismos.

El PTFE es un material a base de poliolefina particularmente preferido.

- 45 De forma preferible, la membrana del pistón de potencia está reforzada con fibras. Se ha comprobado que dicho material reforzado con fibras refuerza la membrana del pistón de potencia, por ejemplo, evita la deformación y otras deformaciones e irregularidades durante el funcionamiento del motor Stirling. Estas fibras se seleccionan de forma preferible entre las fibras de alta resistencia a la tracción.

De forma preferible, las fibras se seleccionan entre fibras naturales, fibras metálicas, fibra de vidrio, aramida (como Kevlar, Twaron o Technora), carbono, poliéster (como PET o PEN), UHMW-PE (como Dyneema, Spectra o Certran), polímero de cristal líquido (como Vectran), fibras de poli-(p- fenileno-2,6-benzobisoxazol) (como Zylon) y mezclas de las mismas.

- 5 De forma preferible, la fibra se selecciona de entre una tela tejida a punto, una tela tejida, una tela sinuosa, trozos sueltos de fibra dispersados de forma aleatoria o direccional en la película y mezclas de las mismas.

De forma preferible, la membrana del pistón de potencia comprende al menos una lámina de membrana de base polimérica.

- 10 De forma preferible, la membrana del pistón de potencia es una hoja de membrana de múltiples capas, de forma más preferible una membrana doble. Se prefiere el uso de una membrana con múltiples capas (al menos dos y de forma preferible dos) para el pistón de potencia. Esto permite que la membrana se infle entre las múltiples capas de la membrana.

De forma preferible, se utiliza un gas como medio de inflado de la membrana.

En un modo de realización preferido, el medio de inflado es el medio de trabajo.

- 15 En otro modo de realización, el medio de inflado puede ser otro gas, por ejemplo, seleccionado entre el aire, el dióxido de carbono, el nitrógeno, el xenón, el criptón, el argón, el helio y/o mezclas de los mismos.

De forma preferible, la membrana está conectada de forma estanca al lado de la cabeza del pistón y a la pared del cilindro.

Dicha conexión estanca se obtiene de forma preferible mediante pernos.

- 20 De forma preferible, los pistones de potencia y de desplazador tienen un diámetro circular.

La membrana de la invención se proporciona de forma preferible alrededor del pistón y proporciona una conexión estanca a gases alrededor de la cabeza del pistón entre el pistón y con la pared del cilindro circundante.

Aunque no es necesario, la membrana del pistón de desplazador también puede estar inflada.

De forma preferible, la membrana del pistón de desplazador es también una membrana doble.

- 25 De forma preferible, el intercambio de calor de un lado a otro está limitado por el uso de un material aislante en la membrana del pistón de desplazador. El aislamiento puede lograrse seleccionando el material de polímero adecuado para la membrana.

Como alternativa, puede utilizarse una segunda membrana y la membrana doble puede inflarse con un gas aislante como el criptón o el xenón.

- 30 También se puede utilizar material aislante, como lana o material de polímero aislante. Por supuesto, estas medidas pueden combinarse.

El motor Stirling del modo de realización en el pistón hidráulico de agua tiene de forma preferible una conexión del primer a un segundo pistón hidráulico de agua.

- 35 De forma preferible, las fluctuaciones de presión producidas por el primer pistón hidráulico de agua impulsan el segundo pistón hidráulico de agua. Este segundo pistón hidráulico de agua es de forma preferible sumergible.

De forma preferible, bombea el agua mediante un dispositivo formado por dos válvulas de una vía y un muelle de retorno. Posteriormente, el agua se bombea a través de un tubo elevador y un homogeneizador de presión aire/agua. Una ventaja importante del modo de realización de la bomba hidráulica es la posibilidad de ajustar la bomba exactamente en función de la profundidad del pozo.

- 40 El motor Stirling del modo de realización con el volante de inercia que tiene un pasador de excentro ofrece ventajas en la regulación de la potencia de los motores Stirling en general.

El pasador puede ser movido y situado y de forma opcional fijado a través de un espacio (por ejemplo una ranura o carril) en el volante de inercia alineado con el diámetro del volante de inercia, posicionado entre el centro de rotación del volante de inercia y su periferia.

- 45 En un aspecto preferido, el pasador se mueve continuamente durante el ciclo del motor Stirling.

El motor Stirling de acuerdo con los diversos modos de realización de la presente invención comprende de forma preferible uno o varios de los siguientes elementos, un pistón de potencia, un pistón de desplazador, al menos un

cilindro, un regenerador, un intercambiador de calor (caliente), un disipador de calor (frío), un medio de trabajo y un mecanismo de manivela.

El motor Stirling puede comprender una o más bielas.

De forma preferible, el motor Stirling comprende un volante de inercia.

- 5 Aunque se denomine genéricamente como cilindro, debe entenderse que el cilindro no tiene por qué tener forma cilíndrica.

Sin embargo, la forma redonda de la carcasa (1) cilíndrica tiene varias ventajas: permite la utilización de membranas (7, 4) a modo de anillo uniformemente redondas; esta geometría evita los pliegues de estas membranas que aparecerían si su forma contuviera aristas; en consecuencia, el tiempo de vida de las membranas redondas es mayor.

- 10 El inflado de la membrana (7) del pistón de potencia evita que la membrana se "agite" debido a los cambios de presión permanentes entre la sala (2) del medio de trabajo y el aire ambiente.

De forma preferible, la membrana de la invención no se agita y permanece recta (es decir, muestra menos de 45°C de flexión de la membrana durante un ciclo).

- 15 De forma preferible, los pistones (tanto el de potencia como el desplazador) tienen un diámetro circular que coincide con el del cilindro, aunque también podrían adaptarse otras formas.

De forma preferible, la superficie está curvada de forma cónica para soportar el aumento de presión en la cámara del cilindro.

De forma preferible, los dos pistones tienen acción recíproca, moviéndose dentro y fuera del cilindro.

De forma preferible, el motor Stirling comprende al menos un cilindro, de forma preferible 2 cilindros.

- 20 El al menos un cilindro incluye una cámara de expansión (caliente) y una cámara de compresión (fría).

Un cilindro puede utilizarse como cámara de expansión para el pistón de desplazador y como cámara de compresión para el pistón de potencia.

El regenerador es una conexión (canal) entre la cámara de compresión y la cámara de expansión.

El regenerador permite que un medio de trabajo fluya entre las dos cámaras.

- 25 En general, el regenerador distingue al motor Stirling de otros motores de aire caliente.

Típicamente, el regenerador comprende lana de acero para proporcionar una gran superficie para absorber o ceder calor al medio de trabajo que lo atraviesa.

El motor Stirling de la invención utiliza un medio de trabajo, de forma preferible aire.

- 30 El medio de trabajo se mueve entre las cámaras de expansión y compresión. El intercambiador de calor en la cámara de expansión calienta el medio de trabajo y el disipador de calor en la cámara de compresión enfría el medio de trabajo.

De forma preferible, el pistón de potencia se mueve en el interior del cilindro con la cámara de compresión.

De forma preferible, el intercambiador de calor está ubicado adyacente al regenerador, de forma preferible en la pared del regenerador.

- 35 De forma preferible, el intercambiador de calor está orientado hacia la cámara de expansión, lo que permite el calentamiento del medio de trabajo.

El intercambiador de calor incluye de forma preferible tubos con un flujo caliente (de aceite o agua), de forma opcional en combinación con aletas que pueden ayudar con el patrón de flujo del fluido de trabajo.

De forma preferible, el pistón de desplazador se mueve dentro del cilindro con la cámara de expansión.

- 40 De forma preferible, el disipador de calor está ubicado en la pared del regenerador frente a la cámara de compresión.

De forma preferible, el disipador de calor incluye tubos con un flujo frío (de agua), de forma opcional en combinación con aletas que pueden ayudar con el patrón de flujo del fluido de trabajo.

De forma preferible, el motor Stirling de la invención comprende un aislamiento térmico entre la cámara de expansión y la de compresión. Como % de la superficie exterior del motor Stirling en contacto con las dos cámaras, la cámara de

compresión ocupa de forma preferible una parte mayor de la superficie exterior del motor Stirling que la cámara de expansión.

De forma preferible, el motor Stirling de la invención es un sistema cerrado.

De forma preferible, el motor Stirling de la invención es hermético.

- 5 De forma preferible, el motor Stirling de la invención es termodinámicamente estable.

De forma preferible, el motor Stirling de la invención permite cambios de presión, volumen y temperatura.

El motor Stirling de los diversos modos de realización comprende de forma preferible un mecanismo de manivela.

De forma preferible, el motor Stirling de los diversos modos de realización comprende un volante de inercia.

La presente invención se refiere además a un método de utilización del motor Stirling en diversos modos de realización.

- 10 De forma preferible, el motor Stirling de la invención en los diversos modos de realización tiene una pequeña distancia de carrera, una frecuencia de carrera relativamente baja, pero produce altos niveles de potencia.

En un modo de realización preferido, el método de la presente invención está dirigido al uso del motor Stirling de esta invención a una frecuencia de carrera del pistón baja de al menos 10 Hz (en s^{-1}), de forma más preferible a lo sumo 6 Hz, y de forma preferible al menos 0,5 Hz, de forma más preferible al menos 1 Hz, de la forma más preferible al menos 2 Hz (por supuesto, esta frecuencia es el estado estacionario y se mantiene durante un período considerable de al menos 1 minuto y más probablemente 2 horas o de forma preferible durante mucho tiempo, por ejemplo hasta 24 horas o incluso más).

- 15 Se ha comprobado que el uso de una frecuencia de carrera baja en el motor Stirling de la presente invención reduce sorprendentemente el uso de energía del motor, lo que conduce a una alta eficiencia y durabilidad.

Se ha comprobado que el uso de una frecuencia de carrera baja en el motor Stirling de la presente invención reduce sorprendentemente el uso de energía del motor, lo que conduce a una alta eficiencia y durabilidad.

- 20 De forma preferible, los métodos de la presente invención permiten el uso del motor Stirling a baja temperatura en comparación con los motores Stirling anteriormente descritos en la técnica. La eficiencia del motor Stirling se mantiene o incluso es mayor. La capacidad de funcionar a temperaturas más bajas es favorable y permite, por ejemplo, la aplicación de agua caliente a presión para el intercambiador de calor. De acuerdo con la invención, la temperatura preferida en el refrigerante de la cámara de compresión es de al menos $-100^{\circ}C$ y de forma preferible de $100^{\circ}C$ como máximo.

De acuerdo con la invención, la temperatura preferida para el medio de intercambio de calor para la cámara de expansión es de al menos $80^{\circ}C$ y de forma preferible de $300^{\circ}C$ como máximo, de forma más preferible de $280^{\circ}C$ como máximo y de forma más preferible de $250^{\circ}C$ como máximo.

- 30 De acuerdo con la invención, la diferencia de temperatura preferida entre el refrigerante y el medio de intercambio de calor es, de forma preferible, de al menos $80^{\circ}C$ y, de forma preferible, de $200^{\circ}C$ como mucho.

Un medio de intercambio de calor preferido es el agua y de forma preferible a una presión más alta, y los rangos preferidos son, por ejemplo, entre 150 y $200^{\circ}C$ a entre 2 y 6 bar, por ejemplo 5 bar.

Un refrigerante preferido es el agua, por ejemplo a una temperatura de entre 0 y $25^{\circ}C$. Otro refrigerante preferido es el dióxido de carbono licuado, por ejemplo a una temperatura de alrededor de $-90^{\circ}C$.

- 35 En un modo de realización preferido, el diámetro del pistón de potencia tiene una relación con la distancia de carrera de al menos 5:1, de forma más preferible de al menos 10:1 y de forma preferible de al menos 100:1, de forma más preferible de al menos 50:1.

La distancia de carrera se denomina a veces amplitud.

- 40 Estas relaciones reflejan que el tamaño del pistón de potencia es mucho mayor que el encontrado en la técnica mientras que la distancia de carrera del pistón de potencia es mucho más corta que la encontrada en la técnica. Esto permite los sorprendentes beneficios de los motores Stirling de la presente invención que ofrecen una alta eficiencia a baja temperatura.

De forma preferible, la carrera del pistón es como máximo de 10 Hz y como mínimo de 0,5 Hz.

- 45 De forma preferible, el refrigerante del disipador de calor de la cámara de compresión está como mínimo a $-100^{\circ}C$ y como máximo a $100^{\circ}C$ y el medio de intercambio de calor para el intercambiador de calor de la cámara de expansión está como mínimo a $80^{\circ}C$ y de forma preferible a $300^{\circ}C$ como mucho, de forma más preferible a $250^{\circ}C$ como mucho.

De forma preferible, el diámetro del pistón tiene una relación respecto a la distancia de la carrera de al menos 5:1 y como máximo 100:1.

Ventajas adicionales de la presente invención incluyen la opción de utilizar una pequeña carrera del pistón (pequeña amplitud), una baja carrera del pistón (baja frecuencia) y/o una baja temperatura, todavía manteniendo una alta eficiencia. Cada una de estas características, por separado o combinadas, ofrece ventajas sobre la técnica anterior. Por ejemplo, esto permite el uso de materiales que son más fáciles de manejar y duran más tiempo. Además, el motor Stirling de acuerdo con la invención permite recoger y almacenar energía solar suficiente para cubrir 24 horas de uso durante al menos 14 días.

Otra característica importante de la presente invención es el funcionamiento inverso del motor Stirling de baja temperatura como bomba de calor o motor de refrigeración. Por definición, los ciclos de refrigeración o de bomba de calor Stirling tienen un mejor rendimiento que los compresores habituales que utilizan medios de refrigeración con efectos climáticos negativos si se entregan a la atmósfera.

Además, los enfriadores de compresión clásicos pierden mucha energía por la aceleración necesaria inherente. Por el contrario, los motores Stirling que funcionan de forma reversible no necesitan este acelerador, ya que su medio de refrigeración es el gas, sin cambio de fase.

Además, cuanto mejor sea su factor de "Carnización", más se acercará su COP al valor termodinámicamente posible. Los Stirling clásicos son bien conocidos como los mejores sistemas para crear en una sola etapa temperaturas que se acercan al cero absoluto (criocongeladores). Si uno se pregunta por qué no se utilizan para generar temperaturas de refrigeración moderadas para el aire acondicionado o la producción de hielo, la respuesta es la falta de superficie de intercambiador de calor de los motores Stirling clásicos, compactos y de funcionamiento rápido.

Todos los argumentos resumidos para la gran superficie de intercambio, el motor principal de baja frecuencia, también son válidos para el impulsor de refrigeración con bomba de calor reversible. Son ideales para el acondicionamiento del aire, la producción de hielo, los almacenes frigoríficos que congelan el CO₂ de la atmósfera y otras tareas hasta niveles de temperatura de -100°C (límite de los materiales de la membrana, como se ha mencionado anteriormente).

Se pueden realizar dos clases de estos enfriadores, bombas de calor:

1). Configuraciones del motor Stirling de baja temperatura ("*SunPulse-SunPulse*") en donde un impulsor principal Stirling de baja temperatura accionado térmicamente proporciona la energía mecánica para hacer funcionar de forma reversible el enfriador/bomba de calor Stirling de baja temperatura. Una versión interesante de este tipo es un sistema de aire acondicionado doméstico en donde, de forma similar al conjunto de la bomba de agua de la figura 2, los colectores solares térmicos proporcionan energía térmica a un acumulador de calor que, a su vez, permite que el impulsor primario Stirling de baja temperatura haga funcionar el enfriador/bomba de calor Stirling de baja temperatura las 24 horas del día.

2). Configuraciones de motores Stirling de baja temperatura con energía externa. Un ejemplo típico de esta clase de sistemas es la combinación de un panel fotovoltaico con un enfriador de motor Stirling de baja temperatura. Cuando hay sol, el panel PV produce, a través de un motor eléctrico, la energía necesaria para hacer funcionar el motor Stirling de baja temperatura. Si, por ejemplo, se dispone de agua a 20°C como medio de almacenamiento, este medio puede congelarse hasta convertirse en hielo con un COP de 5. Esto significa que la entrada de 100 W de electricidad fotovoltaica genera aproximadamente 500 W de potencia de congelación. El hielo sirve de almacenamiento para una refrigeración de 24 h.

La reducción de la temperatura de funcionamiento de motores Stirling potentes, tal como se describe en la presente invención, conlleva toda una serie de soluciones innovadoras. Una de ellas es un sistema de cogeneración solar que utiliza colectores térmicos (montados en el tejado) para hacer funcionar día y noche (con almacenamiento de calor) un motor Stirling de baja temperatura que produce la electricidad y la demanda térmica del edificio (y añadiendo el mencionado sistema de aire acondicionado con motor Stirling de baja temperatura, incluso un sistema de trigeneración: electricidad, calefacción, refrigeración).

Cuanto más se sitúen estos sistemas en latitudes meridionales con sol frecuente, más podrán funcionar sólo con energía solar.

Para regiones con periodos de mal tiempo más largos, la energía solar puede complementarse con "Biomasa" (típicamente biogás o quemadores efectivos de biomasa) o con almacenamientos termoquímicos reversibles. En ambos casos, el bajo nivel de temperatura requerido es una gran ventaja; en el caso de los quemadores de "biomasa", no se produce la mineralización de las partículas de humo, que destruyen la capacidad del intercambiador de calor. En el caso de los almacenamientos termoquímicos reversibles, sistemas atractivos como el agua zeolítica o el MgH₂ se vuelven técnicamente viables.

Visto como un impulsor principal para producir autonomía energética local a pequeña escala, el motor Stirling de baja temperatura tiene una ventaja adicional: muchos sistemas como los compresores de aire, las sierras, los molinos (de maíz) también requieren energía mecánica para funcionar; si, como se da en el caso del motor Stirling de baja temperatura, esta energía a baja velocidad de rotación y alto par está disponible las 24 horas del día, pueden conectarse directamente al motor a través de cintas transportadoras o medios similares, haciendo así obsoleta la necesidad de motores eléctricos de accionamiento.

Un modo de realización especial y ventajoso de la invención se describe a continuación:

Un motor Stirling que comprende al menos un cilindro con una cámara de expansión y una cámara de compresión, un pistón de potencia y un pistón de desplazamiento que se ubican en el al menos un cilindro, al menos un regenerador que conecta la cámara de expansión y una cámara de compresión, al menos un cigüeñal que conecta el al menos un pistón con al menos un volante de inercia, un medio de trabajo en la cámara de expansión, la cámara de compresión y el regenerador, al menos un intercambiador de calor, al menos un disipador de calor, y al menos dos membranas en donde las membranas son membranas a base de polímeros que conectan el pistón de potencia y el pistón de desplazamiento con el al menos un cilindro, y en donde el cilindro debe entenderse como funcional, es decir es decir, como un espacio con una pared circundante (es decir, no tiene que tener una forma cilíndrica en el sentido de la geometría).

Se prefiere que al menos la membrana sea una membrana de doble capa, de forma preferible una membrana de doble capa inflada, que conecta el pistón de potencia con el cilindro, de forma preferible donde el inflado se mantiene mediante un tubo flexible que conecta la sala de gas de trabajo a través de una válvula de una vía.

Además, se prefiere que la membrana comprenda un material de polímero a base de olefinas halogenadas.

Además, el pistón de desplazador puede estar conectado a la cámara de expansión con una membrana de pistón de desplazador.

De forma preferible, la membrana del pistón de desplazador está aislada térmicamente, es decir, que comprende una capa de barrera de aislamiento térmico con una conductividad térmica inferior a la conductividad térmica de un material superficial de la membrana.

De forma preferible, el intercambiador de calor se ubica adyacente al regenerador en el lado dirigido hacia la cámara de expansión y el disipador de calor se ubica adyacente al regenerador en el lado dirigido hacia la cámara de compresión.

Un método de utilización de un motor Stirling, en donde el motor Stirling comprende al menos un cilindro con una cámara de expansión y una cámara de compresión, en donde al menos un pistón de potencia y/o de desplazamiento se mueve en el al menos un cilindro, en donde un medio de trabajo se mueve a través de al menos un regenerador que conecta una cámara de expansión y una cámara de compresión, en donde al menos un cigüeñal conecta el al menos un pistón con el al menos un volante de inercia, en donde al menos un intercambiador de calor calienta el medio de trabajo en la cámara de expansión, en donde al menos un disipador de calor enfría el medio de trabajo en la cámara de compresión, y en donde al menos dos membranas de base polimérica proporcionan un cierre hermético al conectar el pistón de potencia y el de desplazamiento al al menos un cilindro.

De forma preferible, el volante de inercia se utiliza para accionar un primer pistón hidráulico de agua.

De forma preferible, las fluctuaciones de presión producidas por el pistón hidráulico de agua se utilizan para accionar un segundo pistón de agua hidráulico sumergible, que bombea el agua mediante un dispositivo formado por dos válvulas de una vía, un muelle de retorno, un tubo elevador y un homogeneizador de presión aire/agua.

Tanto el motor como el método podrían desarrollarse aún más si un pasador de excentro conectado a la primera bomba hidráulica pudiera moverse y fijarse mecánicamente en cualquier posición entre el centro de rotación del volante de inercia para adaptar la bomba a cualquier profundidad de pozo deseada.

También es ventajoso que el pasador de excentro que impulsa la biela del pistón de desplazador pueda desplazarse continuamente del centro de rotación a la periferia de la rueda dentada relacionada, para regular la potencia del motor.

De forma preferible, dos motores están acoplados de manera que uno actúa como impulsor térmico principal e impulsa al segundo, que funciona inversamente como motor de refrigeración o bomba de calor.

De forma preferible, el Stirling de funcionamiento reversible es accionado por energía externa.

De forma preferible, la fuente de energía externa es un panel fotovoltaico y el enfriador Stirling produce hielo para su almacenamiento.

Alternativamente, el impulsor principal actúa como sistema de trigeneración en combinación con colectores solares térmicos y almacenamientos de calor adecuados.

De forma preferible, la producción de baja velocidad y alto par del volante de inercia está conectada directamente de forma mecánica a diferentes subsistemas como compresores, molinos, sierras, etc.

Resumen de las figuras

La figura 1 es una representación gráfica de un motor Stirling de baja temperatura de acuerdo con un aspecto de la presente invención

La figura 2 es una representación gráfica de un motor Stirling de baja temperatura como bomba de agua solar de funcionamiento las 24 horas del día de acuerdo con un aspecto de la presente invención.

- 5 La figura 3 es una representación gráfica de un volante de inercia con pasador de excentro ajustable de acuerdo con un aspecto de la presente invención.

La figura 4 es una representación gráfica de un volante de inercia con regulación de potencia de acuerdo con un aspecto de la presente invención.

- 10 La figura 5 es una representación gráfica de un motor Stirling con una cubierta cilíndrica en forma de cúpula de acuerdo con un aspecto de la presente invención.

La figura 6 (presentada centralmente en la página de la "figura 2") representa esquemáticamente la producción de potencia en diferentes entornos de presión.

La figura 7 es una representación de las eficiencias en función de la temperatura delta entre el gas caliente y el gas frío.

- 15 La figura 8 es una representación volumen-presión de las fases de un motor Stirling típico.

Descripción detallada de las figuras

- 20 La figura 1 representa una sección transversal esquemática del motor Stirling de baja temperatura de acuerdo con la invención. La carcasa (1) cilíndrica contiene el medio (2) de trabajo herméticamente cerrado, simbolizado por (XXX). (3) es el pistón de desplazador circular, unido al intercambiador de calor cilíndrico del lado caliente por una membrana (4) de polímero flexible de doble hoja. El pistón (3) de desplazador es térmicamente aislante; así como la membrana (4) que está rellena entre las dos capas con material aislante flexible (espuma, fibras).

El pistón de desplazador oscila verticalmente en el espacio del medio de trabajo (de forma preferible un gas), accionado por una biela (5) conectada al excentro (5a) de desplazador. El pistón (3) de desplazador separa herméticamente la sala (2) de medio de trabajo en la sala (2a) de expansión caliente y la sala (2b) de compresión fría.

- 25 El pistón (3) de desplazador desplaza periódicamente el medio de trabajo a través del calentador cilíndrico, respectivamente el intercambiador (12) de calor, el regenerador (11), el enfriador, respectivamente el disipador (13) de calor y viceversa. De esta manera, el medio de trabajo se calienta y se enfría periódicamente y, en consecuencia, crea una fluctuación de presión sinusoidal, como se representa en (15) y se mueve a través de cuatro etapas como se representa en el diagrama (14) de volumen-presión. Estas fluctuaciones de presión actúan sobre el pistón (6) de potencia que cierra la carcasa (1) cilíndrica Stirling hacia la parte superior. El pistón (6) de potencia está conectado herméticamente hacia la carcasa (1) por una membrana doble (7) flexible inflada con aire. Esta membrana doble puede ser completamente hermética o, conectada a un tubo flexible con válvula (7a) de una sola vía que termina en la sala (2b) de medio de trabajo frío. La fluctuación (15) de presión en esta sala llena periódicamente la membrana doble (7) con la presión máxima del ciclo, compensando así las eventuales fugas de la membrana doble.

- 35 El pistón (6) de potencia extrae la energía del ciclo producida termodinámicamente por el medio (2) de trabajo en energía mecánica. Su movimiento oscilante es transmitido por la biela (8) del pistón de potencia al excentro (8a) del pistón de potencia. Este excentro transforma la oscilación lateral del pistón (6) de potencia en el movimiento de rotación de los ejes (9) conectados al volante (10) de inercia.

- 40 El mecanismo de manivela representado por (8), (8a), (5) y (5a) coordina el movimiento del pistón (3) de desplazador frente al pistón (6) de potencia en función del tiempo. De esta manera, se realiza el ciclo Stirling termodinámico (dos etapas de proceso isotérmicas y dos isocóricas), como se ha descrito más detalladamente.

La presente invención, por ejemplo, ejemplificada en la figura 1, representa el modo de realización más sencillo del motor Stirling: un motor que funciona con aire a presión ambiente.

- 45 Las grandes dimensiones permiten, como se ha mencionado, grandes superficies de la unidad calentador-regenerador-enfriador (12, 11, 13), con los efectos positivos explicados para la eficiencia de los motores.

El diseño ligeramente cónico del cilindro (1) hace posible también otra característica de la presente invención: como el enfriador (13) forma el cilindro exterior de la unidad (12, 11, 13), el motor Stirling no debe estar aislado térmicamente del ambiente. Esta ventaja topológica frente a los motores Stirling clásicos representa una simplificación significativa y una ganancia de economía.

- 50 Las grandes superficies del intercambiador de calor en combinación con las bajas frecuencias permiten utilizar el aire atmosférico como medio de trabajo. Esta es otra ventaja importante frente a los motores de alta temperatura que necesitan hidrógeno o helio.

En la figura 2a se representa una aplicación típica de la presente invención. Muestra el motor Stirling de baja temperatura como una bomba de agua solar que funciona las 24 horas del día. (26) representa el campo de colectores solares mencionado, que producen calor térmico de 150°C con una eficiencia de un 50% y que lo almacenan para el funcionamiento nocturno dentro del tanque (25) de almacenamiento. El fluido caliente del depósito fluye a través del intercambiador (12) de calor del lado caliente del motor Stirling de baja temperatura. Una parte menor del agua bombeada del pozo fluye a través del enfriador (13) y desde allí, mediante una tubería (13a), hasta el "cliente" (24a). El volante de inercia con un par elevado y una velocidad de giro moderada acciona un primer cilindro (16) hidráulico de agua montado en un pasador (16a) de excentro y un punto (17) fijo giratorio.

El agua presurizada periódicamente en el primer cilindro hidráulico de agua es transportada a través de un tubo (18) de acero delgado a un segundo cilindro (19) de trabajo hidráulico de agua sumergido en el suelo de la perforación. Este segundo cilindro hidráulico de agua oscila en coherencia con la frecuencia de trabajo del cilindro (16) de trabajo conectado al motor. El segundo cilindro (19) hidráulico de agua actúa hacia un cilindro (20a) de válvulas y muelle que contiene válvulas (20, 22) de una vía y un muelle (21). En su movimiento hacia el punto muerto interior, el cilindro (19) abre la válvula (20) y el cilindro (20a) de válvulas y muelle se llena de agua. Al moverse hacia arriba, el segundo cilindro (19) hidráulico de agua cierra la válvula (20) y abre la válvula (22); consecuentemente el agua es empujada a través del tubo (23) elevador, hacia la superficie.

Antes de fluir en el depósito (24a) del "cliente", el agua bombeada es empujada a un depósito (24) de agua/aire.

(24) cambia el flujo de agua pulsante en uno regular. El muelle (21) devuelve la bomba hidráulica a su estado inicial después de cada pulso de trabajo.

La figura 2 representa además un gráfico de suministro de agua/profundidad que muestra la excelente capacidad de bombeo de un motor Stirling de baja temperatura que funciona en la atmósfera con una producción de potencia mecánica de 400 W y que muestra el caudal en función de la profundidad de bombeo a una potencia hidráulica de 400 W, con la altura (en metros) en el eje X y el caudal (en litros/minuto) en el eje Y.

En la figura 3 se representa esquemáticamente cómo el pasador (16a) de excentro sobre el que está montado el cilindro (16) hidráulico puede moverse mediante un mecanismo (16b) deslizante en cualquier posición entre el centro de rotación del volante (16c) de inercia y el diámetro exterior del volante (16d) de inercia. Esto significa que, de acuerdo con el gráfico de agua/profundidad de la figura 2, puede ajustarse la carrera del pistón relacionada con una profundidad de perforación determinada, de modo que la bomba de motor Stirling de baja temperatura siempre funcione en su punto óptimo de funcionamiento.

Otra característica importante de la presente invención se muestra esquemáticamente en la figura 4. Se trata de la regulación de la potencia del motor Stirling de baja temperatura. Se ejecuta de manera similar a la ya descrita para la regulación de la bomba de agua hidráulica. En este caso, el pasador (5a) de excentro, que mueve hacia atrás y hacia adelante la biela (5) del desplazador, puede moverse continuamente desde el centro de la rotación hasta el perímetro exterior a lo largo del diámetro del disco de la manivela giratoria; en consecuencia, la amplitud del desplazador, que está en correlación directa con la potencia del motor entregada, puede cambiarse continuamente desde la carrera cero (potencia) hasta la carrera máxima (potencia). Esto se puede controlar manualmente fijando el pasador en una posición determinada, o moviendo el pasador continuamente y durante el funcionamiento del motor mediante un actuador lineal operado hidráulica o eléctricamente.

La figura 5 presenta una cubierta (27) cilíndrica en forma de cúpula con un cojinete rotativo alrededor del eje (9). Esta configuración permite, sin perder las directrices de diseño de frecuencias relativamente bajas y grandes superficies de intercambio de calor y regeneración, llenar el motor Stirling atmosférico de baja temperatura con aire ligeramente comprimido, normalmente hasta 5 bar.

La producción de potencia de los motores presurizados aumenta prácticamente de forma lineal con la presión absoluta, siempre que la relación entre la producción de potencia y la superficie del intercambiador de calor sea favorable. Encontramos que este es el caso hasta 5 bar de presión.

La mayor producción de potencia es el resultado de las mayores fluctuaciones de presión del medio de trabajo, como se muestra esquemáticamente en la figura 6 (bajo (12) en la página de la figura 2).

Por lo tanto, los motores Stirling de baja temperatura ligeramente presurizados disponen de la posibilidad de reducir el volumen necesario y por lo tanto la cantidad de material necesario en un rango bien definido.

Lo mismo ocurre con un ligero aumento de la frecuencia de trabajo, hasta 4 Hz.

La figura 1 muestra una sección transversal de un motor Stirling atmosférico de baja temperatura realizado. Con un diámetro de 1 m, una altura de 0,4 m y una frecuencia de 1,5 Hz, proporciona una potencia en el árbol de 0,5 kW.

Si, como se describe principalmente en la Fig. 6, este motor se presuriza a 4 bar, entregará aproximadamente 2 kW. Aumentando además la frecuencia de trabajo a 3 Hz, entregará aproximadamente 4 kW.

La figura 7 muestra las eficiencias en función del delta de temperatura entre el gas caliente y el gas frío con el delta de temperatura (en Kelvin) en el eje X y la eficiencia Carnot (nn %) en el eje Y.

La línea continua representa el motor Stirling de baja temperatura. Factor de Carnoización >>50%. La línea discontinua representa el motor Stirling ideal. La línea continua con el triángulo representa el motor Stirling de alta temperatura con un factor de Carnoización de un 50%.

5

La figura 8 representa el ciclo Stirling ideal (Volumen frente a Presión) con 4 etapas donde $Q_1=Q_2$ = intercambio de calor reversible oscilante con el regenerador.

Lista de números de referencia utilizados

- 1 cilindro o carcasa cilíndrica respectivamente carcasa cilíndrica Stirling
- 10 2 medio de trabajo respectivamente sala del medio de trabajo
- 2A cámara de expansión
- 2B cámara de compresión
- 3 pistón de desplazador
- 4 membrana del pistón de desplazador
- 15 5 biela respectivamente biela de desplazador
- 5A excentro de desplazador
- 6 pistón de potencia
- 7 membrana del pistón de potencia
- 7A válvula de una vía
- 20 8 biela del pistón de potencia
- 8A excentro de pistón de potencia
- 9 ejes
- 10 volante de inercia
- 11 regenerador
- 25 12 intercambiador de calor respectivamente calentador cilíndrico
- 13 disipador de calor respectivamente enfriador
- 13A tubo
- 14 diagrama volumen-presión
- 15 diagrama presión-fluctuación
- 30 16 primer cilindro hidráulico de agua
- 16A pasador de excentro
- 16B mecanismo de deslizamiento
- 16C volante de inercia
- 16D volante de inercia
- 35 17 punto fijo de rotación
- 18 tubo de acero delgado
- 19 segundo cilindro de trabajo hidráulico de agua sumergido
- 20 válvula de una vía

20A cilindro de muelle

21 muelle

22 válvula de una vía

23 tubo elevador

5 24 depósito de agua/aire

24A depósito de cliente

25 tanque de almacenamiento

26 campo de colectores solares

27 tapa cilíndrica respectivamente tapa hermética

10

REIVINDICACIONES

1. Motor Stirling que comprende al menos un cilindro (1) con una cámara (2A) de expansión y una cámara (2B) de compresión, y un pistón (6) de potencia y un pistón (3) de desplazamiento que están ubicados en el al menos un cilindro (1); en donde el cilindro (1) comprende además al menos un regenerador (11) que conecta la cámara de expansión y la cámara de compresión; en donde el cilindro (1) comprende al menos un intercambiador (12) de calor, y al menos un disipador (13) de calor; y en donde un medio (2) de trabajo está presente en la cámara (2A) de expansión, la cámara (2B) de compresión y el regenerador (11), en donde el motor comprende al menos una membrana (4, 7) que conecta al menos uno de los pistones (3, 6) con el al menos un cilindro (1), en donde un extremo de la al menos una membrana (4, 7) está fijado en su lugar en el al menos uno de los pistones (3, 6), y en donde un extremo de la al menos una membrana (4, 7) está fijado en su lugar en el al menos un cilindro (1), en donde el pistón (6) de potencia está conectado al cilindro (1) con una membrana (7) de pistón de potencia, en donde un extremo de la membrana (7) de pistón de potencia está fijado en su lugar en el pistón (6) de potencia y el otro extremo de la membrana (7) del pistón de potencia está fijado en su lugar en la carcasa del cilindro (1), caracterizado por que la membrana (7) del pistón de potencia está inflada.
2. El motor Stirling de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el pistón (3) de desplazador está conectado a un calentador (12) cilíndrico de la cámara (2A) de expansión del cilindro (1) con una membrana (4) del pistón de desplazador.
3. El motor Stirling de acuerdo con la reivindicación 2, en donde la membrana (4) del pistón de desplazador está aislada térmicamente.
4. El motor Stirling de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde un extremo de la membrana (4) del pistón de desplazador está fijado en el pistón (3) de desplazador y otro extremo de la membrana (4) del pistón de desplazador está fijado en el calentador (12) cilíndrico.
5. El motor Stirling de acuerdo con la reivindicación 4, en donde la al menos una membrana (4, 7) tiene una base polimérica, y/o la al menos una membrana (4, 7) es una membrana de doble capa, y/o la al menos una membrana (4, 7) comprende material de polímero basado en olefinas halogenadas.
6. El motor Stirling de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en donde el intercambiador (12) de calor está situado junto al regenerador (11) en el lado dirigido hacia la cámara (2A) de expansión y el disipador (13) de calor está situado adyacente al regenerador (11) en el lado dirigido hacia la cámara (2B) de compresión.
7. El motor Stirling de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde la cámara (2B) de compresión rodea cilíndricamente, al menos en parte, la cámara (2A) de expansión del cilindro de trabajo.
8. El motor Stirling de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en donde la cámara (2B) de compresión rodea, al menos en parte, cilíndricamente el regenerador (11).
9. El motor Stirling de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-8, caracterizado por que al menos una membrana (4, 7) de base polimérica está conectada a al menos uno de los pistones (3, 6) y al cilindro (1) y en donde la conexión es estanca.
10. El motor Stirling de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-9, caracterizado por que el motor está conectado a un volante (10) de inercia que está conectado a un primer pistón (16) hidráulico de agua.
11. El motor Stirling de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-10, caracterizado por que el motor está colocado en una cubierta (27) hermética que está presurizada a más de 1,5 y hasta 5 bar.
12. El motor Stirling de acuerdo con la reivindicación 11, comprendiendo el motor además un eje que está conectado a un volante (10) de inercia, en donde la cubierta (27) hermética tiene cojinetes de rotación alrededor del eje (9).
13. El motor Stirling de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-12, caracterizado porque el diámetro del al menos un pistón (6) de potencia es al menos 10 veces mayor que el desplazamiento vertical del pistón (6) de potencia.
14. Un método de utilización de una membrana para conectar un pistón a un cilindro de un motor Stirling de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores.

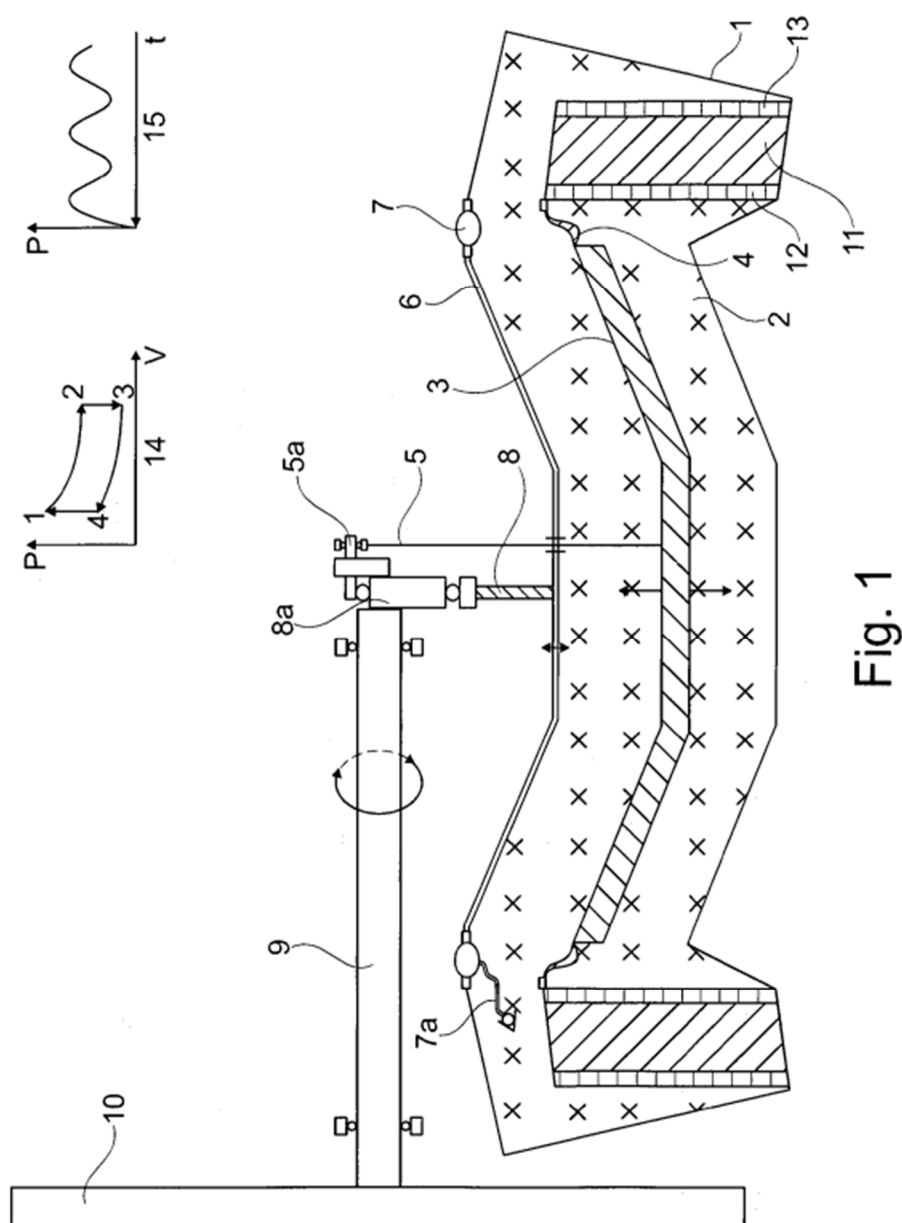


Fig. 1

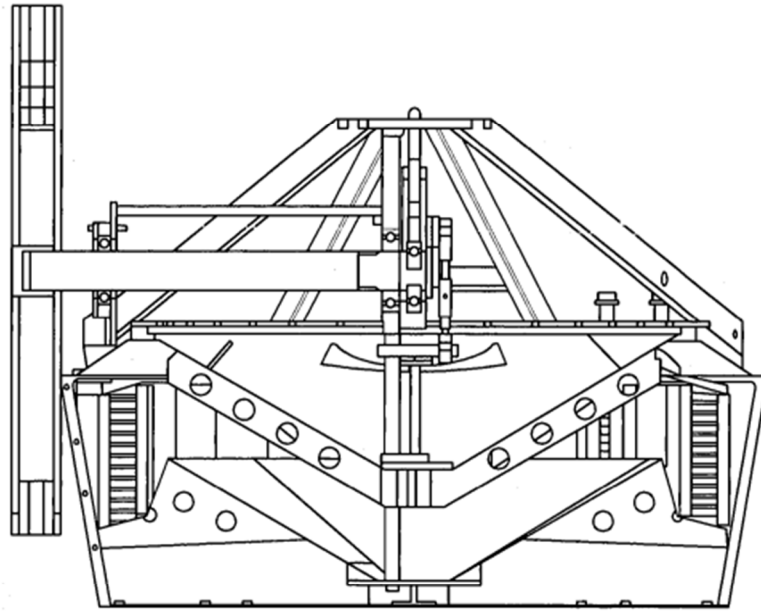


Fig. 1a

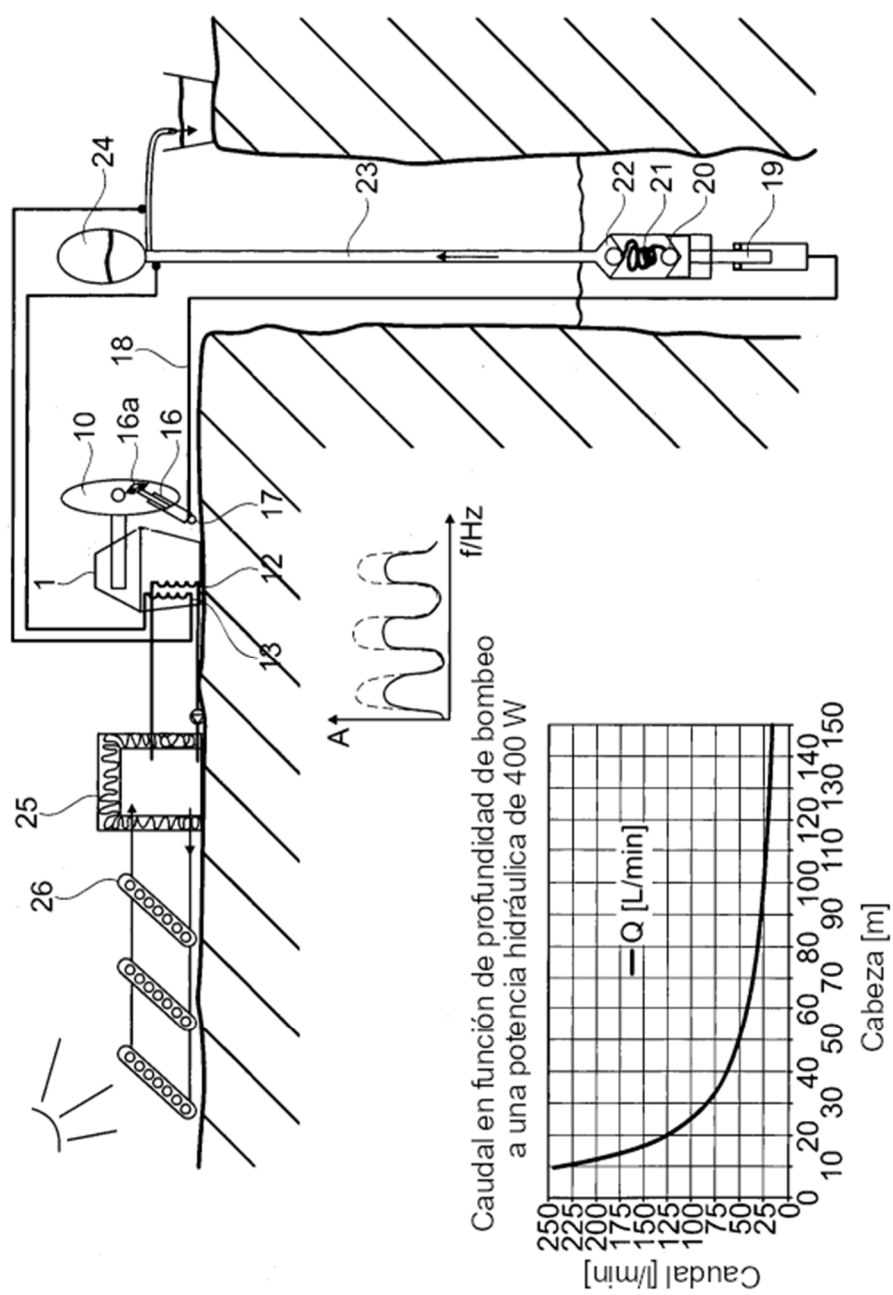


Fig. 2

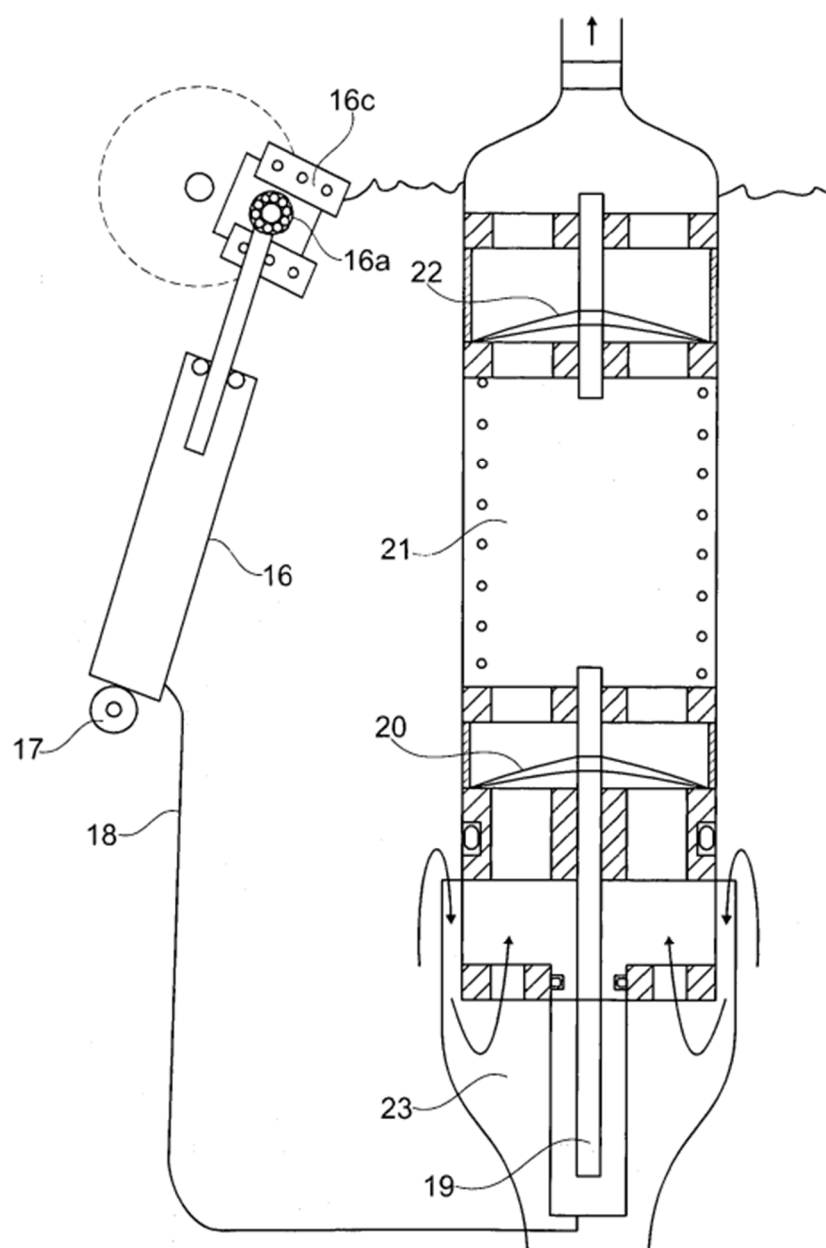


Fig. 3

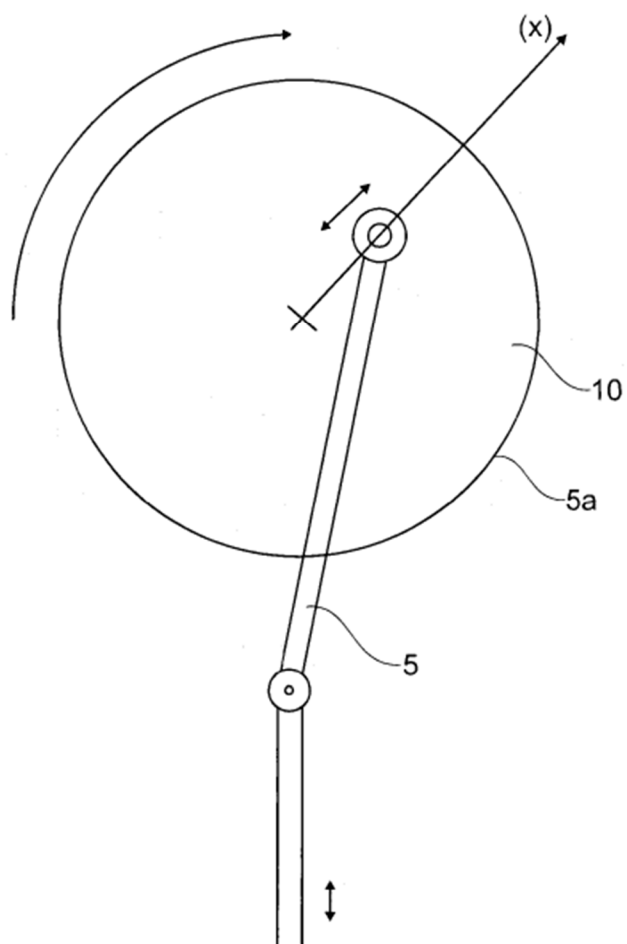


Fig. 4

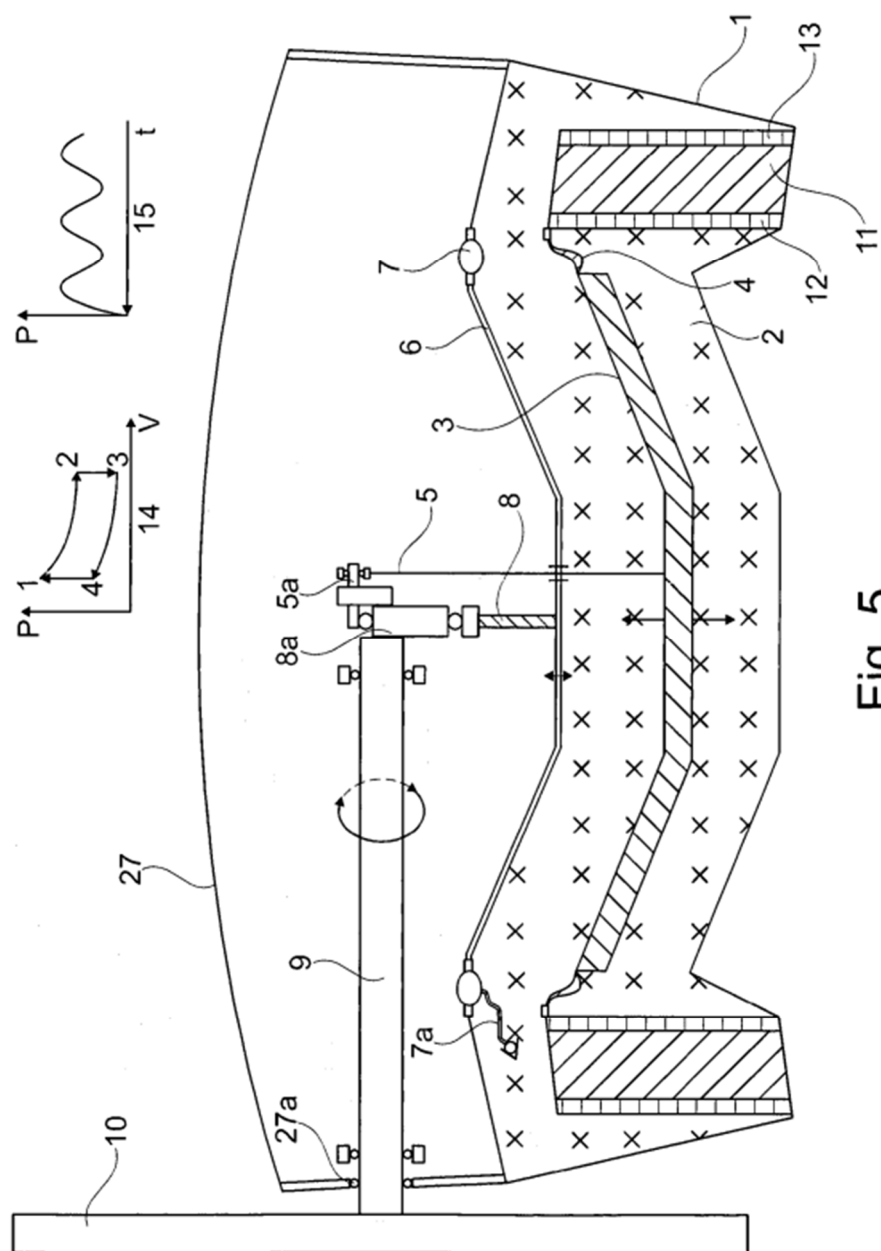


Fig. 5

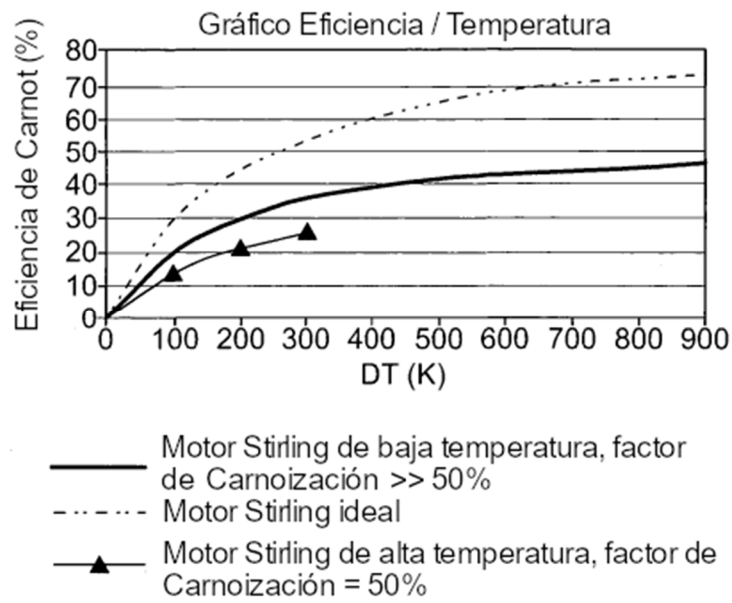


Fig. 6

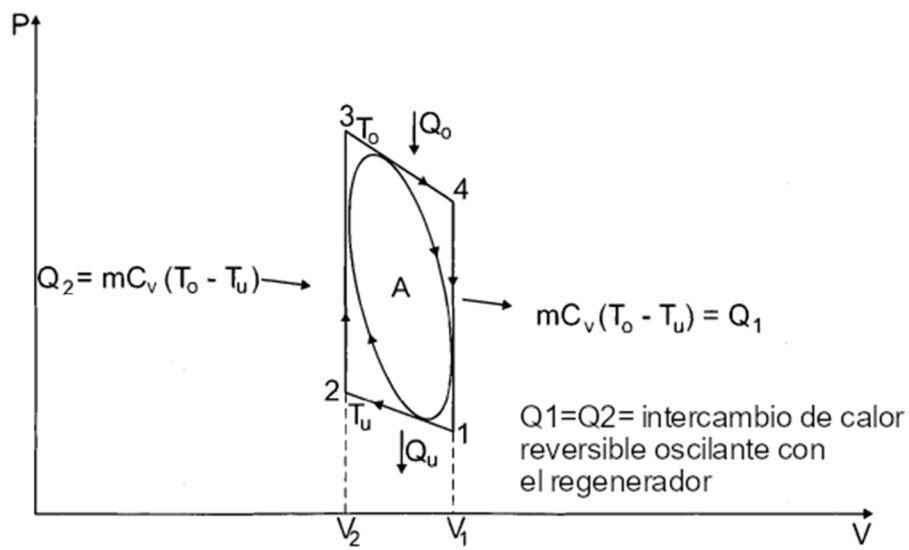


Fig. 7