

MOTOR DE CICLO STIRLING Y SISTEMA TERMICO PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA

CAMPO TECNICO

La presente invención se refiere a un motor activado térmicamente que opera en ciclo Stirling y de
5 manera más particular a la utilización de un sistema de enfriamiento directo por aire y a la
utilización de un aislante térmico interno para evitar las pérdidas de calor, lo cual contribuye a la
reducción del costo, complejidad y número de equipos necesarios para el funcionamiento del
sistema y para lograr mayores eficiencias. La maquina también puede tener acoplado un
10 generador eléctrico para convertir la energía mecánica en energía eléctrica. La invención puede
ser enfriada indirectamente por un fluido y acoplarse a un sistema de cogeneración para
aprovechar el fluido de enfriamiento, aumentando considerablemente la eficiencia global.

ANTECEDENTES

El motor Stirling fue inventado y patentado por Robert Stirling [1816] reclamando la utilización de
15 una mejora para reducir el consumo de combustible en maquinaria bajo un principio enteramente
nuevo. Aunque su aplicación llegó a ser popular, fue remplazado por el motor de combustión
interna y el motor eléctrico [Sentf, 1993]. A mediados de 1930 el motor Stirling tuvo un
resurgimiento principalmente pensado para activar generadores para radios en áreas sin acceso a
la red eléctrica, desde entonces se tenido un desarrollo de tecnología Stirling para diversas
20 aplicaciones [Finkelstein, 2001].

Un sistema de generación eléctrica termo solar de disco/Stirling se compone comúnmente por,
concentrador solar, receptor, motor Stirling y un generador eléctrico. El calentador es colocado
dentro de una cavidad para disminuir las perdidas térmicas por convección y radiación hacia el
ambiente. El motor utiliza un fluido de trabajo y tiene al menos dos pistones de simple acción en
25 acoplamiento tipo alfa, un regenerador de mallas metálicas y un disipador de calor compacto del
tipo de tubos con aleta ondulada enfriado por aire directamente. Una de las ventajas de utilizar

enfriamiento directo, es que elimina la necesidad del intercambiador agua/aire y la bomba de agua utilizados en el enfriamiento indirecto (convencional), reduciendo el costo del sistema.

La novedad de la patente WO 2010024579 A2 consiste en que tiene acoplado un generador lineal alternativo sobre uno de los cilindros y del pistón del motor, sin embargo su utilización se vuelve impráctica conforme se requiere de una mayor capacidad del motor, debido a las vibraciones generadas por un alternador lineal cada vez mayor. Para evitar estas limitantes en capacidad y poder desarrollar sistemas más estables, con menor vibración en esta invención se propone la utilización de alternadores principalmente del tipo rotativo. Las patentes JP 1045972 (A), US 4745749, US 4642988 son similares a la anterior ya que consisten en un motor Stirling de pistón libre que tiene acoplado un generador eléctrico alternativo en vez de rotativo lo cual produce las mismas limitantes que la patente anterior.

Las patentes US 2009320830 (A1) y DE 19507511 (A1) consisten en un concentrador solar de dos etapas de concentración y la zona de colección y absorción de energía solar se encuentra en el vértice de la primera superficie concentradora, no obstante esta configuración presenta varias desventajas, una de ellas es que al utilizar dos etapas de concentración se pierde una fracción de la energía reflejada en cada superficie debido a que la reflectancia de las superficies reales siempre es menor a la unidad, de manera similar, utilizar dos etapas de concentración aumenta la precisión requerida por el concentrador y por tanto su costo, además no resuelve la disminución de las pérdidas por convección ocurridas en el receptor solar debido a que su posición permite que el aire caliente fluya libremente fuera del receptor y retire calor; mediante la configuración propuesta en esta invención se utiliza una sola etapa de concentración con la finalidad de colocar el calentador dentro de una cavidad cuya apertura de la cavidad se encuentra en la parte inferior, y de esta manera producir una estratificación del aire caliente dentro de la cavidad y reducir las pérdidas térmicas de radiación emitida, radiación reflejada y convección.

La patente JA 01151757 consiste de un concentrador solar de disco parabólico con dos etapas de concentración y otras dos etapas de reflexión de la radiación solar que hacen incidir dicha energía sobre el calentador de un motor Stirling que se encuentra dentro de una cavidad donde cuenta además con un sistema de combustión del tipo de lecho fluidizado, sin embargo no resuelve el problema de una alta eficiencia de conversión de energía solar a eléctrica debido a la disminución de la cantidad de energía reflejada en cada una de las etapas de concentración y reflexión, es por

esto que la presente invención solo requiere de una etapa de concentración para evitar reducir la cantidad de energía que incide sobre el calentador.

Las patentes JA 2009079510 y JA 59096487 consisten en un concentrador de disco parabólico con distancia focal corta y un motor Stirling colocado en un hoyo sobre el vértice de la superficie de concentración, sin embargo no resuelve el problema de las pérdidas por convección descritas en la patente anterior.

La patente DE 102006061509 A1 consiste de un motor Stirling y un nuevo calentador que puede aprovechar diversas fuentes térmicas y lograr mayores temperaturas y presiones sobre el fluido de trabajo sin embargo no resuelve el problema de manufacturar bloques para motores Stirling a bajo costo, debido a que utiliza pistones con cabezas cruzadas que sirven de guía al pistón de expansión y compresión, también utiliza al menos dos sellos entre el gas de trabajo y el espacio que ocupa el gas en el cárter lo que aumenta las pérdidas mecánicas por fricción, y utiliza como medio de enfriamiento agua, lo cual hace necesario una bomba de agua y otro intercambiador de calor adicional para enfriar el agua, haciendo más costoso el sistema. Mediante las partes e intercambiadores de calor presentados en la presente invención no solo se hace posible reutilizar los bloques de motores de combustión interna convencionales para su operación en ciclo Stirling sino que también permiten la facilidad de ser enfriado por agua o directamente por aire, lo cual reduce la complejidad el número de equipos y el costo del sistema. La patente DE 3535414 consiste de un motor Stirling que tiene las paredes transparentes en el calentador que permiten el paso de la luz y reflejarse en el pistón para calentar directamente el gas; sin embargo de manera similar a la patente anterior, no soluciona el problema de utilizar un mecanismo simple para el motor Stirling y poder construir motores que operen en este ciclo mediante la utilización de los bloques de motor que utilizan los motores de combustión interna convencionales y además facilitar la integración de un medio de enfriamiento directamente por aire.

Las patentes US 2004231329 (A1), US 7628017 (B) US 6886339 (B2), constan de un concentrador de canal parabólico con un receptor lineal en la zona focal del concentrador a través del cual provee de energía térmica a un motor térmico, sin embargo no resuelve el problema de reducir las pérdidas térmicas en el receptor solar debido a que se tiene una mayor área expuesta y conforme se aumenta la temperatura se producirán mayores pérdidas en comparación si se utiliza un receptor dentro de una cavidad como se describe en la presente invención. De manera similar la

patente CH 672368 (A5) utiliza un concentrador de canales parabólicos que pueden proveer la energía térmica a un motor Stirling en conjunto con otras fuentes de energía térmica

La patente JP 6213514 (A) y la patente US 4583520 (A) consistan en un concentrador de disco parabólico con estructuras montadas sobre dos ejes con movimientos para el seguimiento solar;

5 las patentes CH 672368 (A5), US 4586334 (A), US 4335578 (A) consistan de un colector solar con almacenamiento térmico asistido por una fuente de calor auxiliar que suministra energía térmica a través de un fluido a un motor Stirling; sin embargo ninguna de estas patentes resuelve el problema de reducir la complejidad del mecanismo del motor así como sus componentes para lograr un sistema simple, eficiente, confiable y económicamente accesible.

10 La patente US 5228293 (A) consiste de un sistema para generar energía eléctrica mediante un motor Stirling que puede aprovechar la energía solar o en su defecto utilizar un calentador auxiliar en base a combustibles fósiles o biomasa, sin embargo no resuelve el problema de reducir el número de equipos necesarios para el sistema de enfriamiento debido a que utiliza enfriamiento por agua lo cual hace requerir al menos una bomba de agua y un intercambiador de calor adicional para el enfriamiento del agua en comparación con la alternativa presentada en esta invención la cual realiza el enfriamiento del gas de trabajo directamente mediante un intercambiador aire-aire.

15 Las patentes US 6775 982 (B1) y JA 2004332672 consisten de un motor Stirling con un concentrador de tipo fresnel que dirige su energía hacia una fibra óptica y a través de esta se conduce hacia un motor Stirling, sin embargo tampoco resuelve el problema de reducir el número de equipos necesarios para el sistema de enfriamiento debido a que utiliza enfriamiento por agua.

20 La patente WO 2006027438 consta de colectores solares y disipadores de calor para obtener agua caliente durante el día y agua fría durante la noche respectivamente, que en combinación con un motor Stirling produce energía eléctrica, sin embargo no resuelve el problema de lograr una alta eficiencia de conversión de energía solar a eléctrica, mediante un mecanismo sencillo de motor y la posibilidad de enfriarlo directamente por aire para reducir el número de equipos necesario por el sistema.

Actualmente la necesidad de nuevas fuentes de energía sustentables ha despertado un renovado
30 interés en el desarrollo de tecnología de ciclo Stirling y aunque existen distintas tecnologías para

convertir la energía solar en energía eléctrica, destaca entre ellas la tecnología Stirling por su máxima eficiencia [Thombare et al, 2008] sin embargo no se han encontrado trabajos sobre motores enfriados directamente por aire, para la generación de energía eléctrica de baja capacidad [Kongtragool, 2003].

- 5 Un sistema de generación eléctrica termosolar de disco/Stirling se compone comúnmente por, concentrador solar, receptor, motor Stirling y un generador eléctrico. El calentador es colocado dentro de una cavidad para disminuir las pérdidas térmicas por convección y radiación hacia el ambiente. El motor utiliza un fluido de trabajo y tiene al menos dos pistones de simple acción en acoplamiento tipo alfa, un regenerador de mallas metálicas y un disipador de calor compacto del
- 10 tipo de tubos con aleta ondulada enfriado por aire directamente. Una de las ventajas de utilizar enfriamiento directo, es que elimina la necesidad del intercambiador agua/aire y la bomba de agua utilizados en el enfriamiento indirecto (convencional), reduciendo el costo del sistema.

En teoría el ciclo Stirling es el dispositivo más eficiente para convertir calor en trabajo mecánico

15 cuando opera a alta temperatura [Stine y Diver, 1994]. Un motor Stirling es una máquina dentro del cual un fluido de trabajo pretende realizar los procesos que describe el ciclo Stirling según se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**2. Idealmente el ciclo Stirling es formado por cuatro procesos distintos, donde dos de ellos implican una transferencia de calor a temperatura constante y los otros dos procesos, una transferencia de calor a volumen constante.

20 El principio de funcionamiento del motor es el aprovechamiento del trabajo generado por el gas cuando este se expande a alta temperatura, posteriormente el gas es enfriado transfiriendo el calor hacia un sumidero de calor. Por tanto de manera general, los únicos requisitos para su funcionamiento son una fuente y un sumidero de calor. Por ende, en teoría cualquier diferencia de temperatura a través de la máquina será convertida en trabajo mecánico. Esta simplicidad de

25 condiciones es una de las singularidades de la máquina para operar empleando diversas fuentes de calor de manera externa. La sencillez del ciclo Stirling demuestra su sencillez de operación al ser capaz de funcionar como bomba de calor cuando se realiza el ciclo en el sentido inverso.

El ciclo teórico se compone según muestra la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** por cuatro distintos procesos, comenzando en el punto arbitrario 1, el gas se expande

30 isotérmicamente hasta el punto (lo cual produce trabajo) 2, luego se enfría a volumen constante

hasta llegar al estado 3, en el proceso 3-4 el gas es comprimido a temperatura constante y finalmente en el proceso 4-1 el gas se calienta a volumen constante llegando nuevamente al punto de inicio.

El diagrama temperatura contra entropía mostrado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. 2** es posible visualizar la oportunidad de almacenar temporalmente energía térmica en un lecho poroso durante el proceso 2-3, de tal forma que esta energía térmica sea recuperada por el mismo fluido en el proceso de calentamiento posterior 4-1. A este almacenamiento y recuperación de calor se le denomina regeneración y permite disminuir las necesidades de calentamiento y enfriamiento durante la expansión y compresión respectivamente, lo que hace posible aumentar la eficiencia del equipo.

La misma máquina puede operar inversamente y producir enfriamiento. Esto se logra ejerciendo trabajo para hacer mover los pistones y producir un efecto de disminución de la temperatura durante la expansión del gas. La aplicación práctica del ciclo en donde los procesos no son a volumen constante ni isotérmicos, están dentro del alcance de la presente invención y se les puede hacer referencia dentro la presente descripción en la consideración del ciclo ideal sin limitación del alcance de la invención como se reclama.

DESCRIPCION

Los detalles característicos de esta novedosa máquina se muestran claramente en la siguiente descripción y en los dibujos que se acompañan, así como una ilustración de aquella y siguiendo los mismos signos de referencia para indicar las partes y las figuras mostradas.

BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

- La figura 1 es una gráfica presión-volumen del ciclo Stirling.
- La figura 2 es una gráfica temperatura-entropía del ciclo Stirling.
- La figura 3 es una vista frontal de la máquina de ciclo Stirling de conformidad con la modalidad de enfriamiento indirecto, sin la coraza del enfriador.
- La figura 4 es una vista en perspectiva convencional de la geometría del calentador.

La figura 5 es una vista lateral de la máquina de ciclo Stirling.

La figura 6 es una vista en perspectiva convencional del motor Stirling mostrando la cavidad dentro de la cual se encuentra el calentador y también mostrando el enfriador con su respectiva coraza.

5 La figura 7 es una vista en perspectiva convencional del ensamble del pistón de expansión con el aislante térmico

La figura 8 es una vista en perspectiva convencional del despiece con una vista a detalle del interior del domo aislante del pistón.

10 La figura 9 es una vista en perspectiva convencional del motor con intercambiador de calor para enfriamiento directo aire-aire.

La figura 10 es una vista frontal del motor Stirling con enfriador de tubo con aletas.

La figura 11 es una vista lateral del motor para enfriamiento directo por aire, mostrando el detalle del intercambiador de calor aire-aire.

15 De conformidad con un aspecto de la invención se refiere a un motor de ciclo Stirling que se compone por un bloque de motor convencional (1), el cual a su vez tiene, por lo menos, un cilindro y pistón de trabajo (2) y un cilindro y pistón de desplazamiento y/o compresión (4), ambos de simple acción. La configuración del acoplamiento de los pistones se establece en configuración alfa. El grado de posición adelantada del pistón de expansión respecto al pistón de compresión está dado por la diferencia angular entre los ejes axiales de los cilindros de compresión y

20 expansión y por la diferencia angular de acoplamiento mecánico al cigüeñal. En este caso particular y sin limitar el beneficio de otro arreglo similar, el ángulo de desfase entre el pistón de expansión y compresión es de noventa grados y se debe a la diferencia entre las inclinaciones de los pistones de compresión y expansión, ya que ambos pistones están acoplados a la misma sección angular del cigüeñal.

25 La maquina tiene dos pistones acoplados mecánicamente a un cigüeñal (3) el cual convierte el movimiento alternativo de los pistones en rotativo. La maquina tiene un fluido de trabajo (calo portador) que se encuentra contenido dentro de los intercambiadores de calor y de las cámaras de

compresión y expansión. La maquina cuenta con, al menos, dos intercambiadores de calor, un calentador donde se absorbe la energía térmica (solar) y se transfiere al fluido de trabajo y un enfriador donde se remueve la mayor parte de la energía térmica no aprovechada para producir trabajo. Opcionalmente puede incorporar un intercambiador de calor regenerativo (17) acoplado mediante una brida (18) a la brida del enfriador (12) que comprende una matriz con un medio poroso que puede ser conformado por un apilamiento de mallas metálicas.

De conformidad con modalidades alternas de la invención, la forma de los tubos primarios que forman el receptor puede tener dobleces asimétricos en ambos extremos del tubo (FIG. 6) que faciliten la deformación por expansión térmica.

10 Otra de las modalidades de la invención es que el enfriador puede ser del tipo de tubos (14) y coraza (15). El intercambiador puede tener baffles (13) para aumentar la velocidad del fluido de enfriamiento y también permitir que las conexiones del fluido de enfriamiento (16) queden por la parte posterior del motor y evitar su contacto con la fuente térmica.

De conformidad con otra modalidad alterna de la invención, la maquina también puede tener acoplado al eje del cigüeñal un dispositivo para el aprovechamiento de la energía mecánica producida, tales como una bomba de agua, o un ventilador, o un arreglo primario para la transmisión de potencia o un generador eléctrico con un sub-sistema de control y acondicionamiento de la energía eléctrica producida. Así como la utilización de un volante para el almacenamiento de energía cinética y disminuir la variación en la velocidad angular del motor.

20 Incluso conforme a otras modalidades de la invención la maquina puede también incluir un conector formado por dos placas, la primera (5) para el acoplamiento con la cámara de compresión y la segunda placa (6) para su acoplamiento con la brida del el enfriador (12) que utiliza una menor cantidad de tubos en comparación a los contenidos dentro del enfriador (14), donde cada tubo tiene un dobles que permite a los tubos de conexión (7-11) incidir perpendicularmente sobre las bridas de conexión con el enfriador y la cámara de compresión.

De acuerdo con un aspecto más de la presente invención, en una de sus partes se tiene que el diseño del receptor solar presenta una unión de los tubos del calentador (20) con un elemento

primario como puede ser una placa plana (19), el cual a su vez puede ser unido a un elemento secundario como puede ser un tubo para servir de conducto distribuidor (21, 24).

De conformidad con modalidades alternas de la invención, el calentador puede acoplarse mediante una extensión de cilindro (22) con una brida (23) a la cámara de expansión. El calentador es colocado dentro de una cavidad (25). La figura 6 muestra el ensamble para acoplar un elemento de material aislante térmicamente con forma de domo con el interior hueco. Esta modalidad de la invención utiliza una extensión de cilindro (22) más cortas en comparación si se utilizase un elemento metálico delgado y largo tal como lo describe Walker [1980].

De conformidad con otra modalidad alterna de la invención, la maquina también puede ser enfriada directamente por aire. La figura 9 y 10 muestra una variante del motor integrando un regenerador con perfil curvo (31) y un intercambiador de calor aire-aire de tubo con aletas planas continuas tipo herringbone (32). El intercambiador de tubo con aletas puede ser acoplado a la cámara de compresión mediante un distribuidor (26) o también pudiera utilizarse distribuidor hecho mediante tubos (7-11). La figura 11 muestra una vista lateral del motor con enfriador de tubo con aleta en donde se muestra en detalle la aleta continua ondulada.

De conformidad con esta última modalidad alterna de la invención del enfriamiento directo por aire, se tiene que el diseño del regenerador puede curvarse para conectar el calentador y al enfriador con el ángulo requerido según sean las dimensiones particulares de cada intercambiador de calor. Ya sea que el flujo del fluido calo portador tenga una trayectoria curvada a través del regenerador, o de manera similar pueden curvarse los tubos del calentador (20) o los tubos del enfriador (14) para lograr el mismo efecto.

REIVINDICACIONES

Habiendo descrito la invención, reclamamos la protección legal que corresponda a lo que consideramos nuestra propiedad y es presentado en las siguientes clausulas:

1. Un motor modificado para convertir la energía térmica en energía mecánica , de los conformados por, al menos, un pistón de expansión y un pistón de compresión, caracterizado porque comprende:
 - a. una tapa para el aislamiento térmico (30) de la cabeza del pistón de expansión;
 - 5 b. una pieza conectora, se coloca entre la tapa y la cabeza del pistón de expansión;
 - c. elementos de sujeción unen y fijan, a la tapa, la pieza conectora y la cabeza del pistón de expansión;
 - d. Un enfriador de superficies extendidas aire-aire;
 - e. Al menos un distribuidor de fluido une al enfriador de superficies extendidas aire-
10 aire con el cilindro de compresión del motor (4);
 - f. Una primer brida (5) se une al cilindro de compresión (4) para sostener al tubo curvo pasado (7-11);
 - g. Una segunda brida (6) que se une a una de las bridas del enfriador (12) de superficies extendidas para sostener el otro extremo del tubo curvo (7-11);
 - 15 h. Un regenerador térmico (17) se provee en el extremo opuesto al tubo curvo del enfriador de superficies extendidas, mediante una tercer brida;
 - i. Un calentador que absorbe la energía solar concentrada, se une al regenerador mediante uno de sus tubos de distribución (21) y al cilindro de expansión (4), por medio de su otro tubo de distribución (21);
 - 20 j. Una extensión cilíndrica pasada (22) se fija en el extremo del cilindro de expansión (4);
 - k. Un dispositivo para almacenamiento de energía cinética para reducir las fluctuaciones de la velocidad angular;
 - l. Un dispositivo o máquina para el aprovechamiento de la energía mecánica
25 producida; y
 - m. Una fuente térmica de energía convencional.

2. El motor de la reivindicación 1, donde el enfriador de superficies extendidas aire-aire se selecciona el grupo: tubo y aleta, tubo de calor, placas y la combinación entre ellos.

- 30 3. El motor de la reivindicación 1, donde el distribuidor de fluido es: de un conducto de sección transversal variable para la modalidad de enfriamiento por aire.

4. El motor de las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado porque comprende además, una extensión de uno de los tubos distribuidores del calentador (24), para unir al calentador con la extensión cilíndrica del cilindro de expansión (22).
5. El motor de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque comprende además una coraza (15) para el enfriador.
6. El motor de las reivindicaciones anteriores caracterizado además porque comprende una cubierta envolvente para el calentador con una apertura por la cual entra la energía solar.
7. El motor de las reivindicaciones anteriores caracterizado además porque el regenerador puede estar conformado por una matriz porosa del tipo de mallas metálicas apiladas.
10. 8. El motor de la reivindicación 1, donde el dispositivo de almacenamiento de energía cinética puede ser del tipo volante.
9. El motor de la reivindicación 1, donde el dispositivo para el aprovechamiento de la energía mecánica producida puede ser un generador eléctrico, del tipo alternador.
15. 10. Un sistema térmico para la generación de energía eléctrica, caracterizado porque comprende al motor de ciclo Stirling descrito en las reivindicaciones anteriores.

RESUMEN

Maquina de ciclo Stirling compuesta por: un mecanismo de dos pistones de simple acción acoplados a un cigüeñal; un calentador para absorber la energía térmica, un enfriador del fluido calo portador que puede estar en estado liquido o en estado gaseoso como puede ser aire; y un regenerador térmico; sin ser este ultimo indispensable. El calentador descrito es de fácil construcción y su diseño permite absorber la expansión térmica provocada por la alta temperatura de operación. Dicho calentador es acoplado a la cámara de expansión mediante un elemento intermedio el cual permite reducir las pérdidas térmicas debidas principalmente a la conducción de calor. Al pistón de expansión le es colocado un aislante térmico que también llena el espacio creado por la extensión del cilindro. La interconexión entre los intercambiadores que componen a la maquina con respecto al bloque del motor implica un mínimo de espacio en el interior de dichas interconexiones y facilita su flujo, disminuye el volumen requerido internamente por el gas y además permite reducir los esfuerzos producidos por la expansión térmica de los componentes adyacentes.

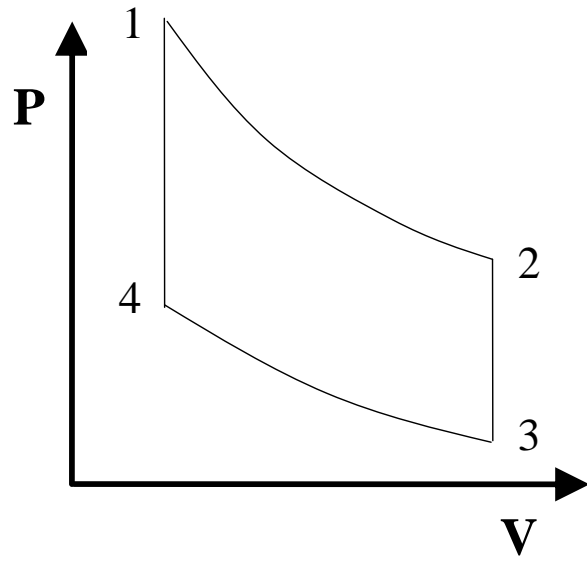


FIG. 3

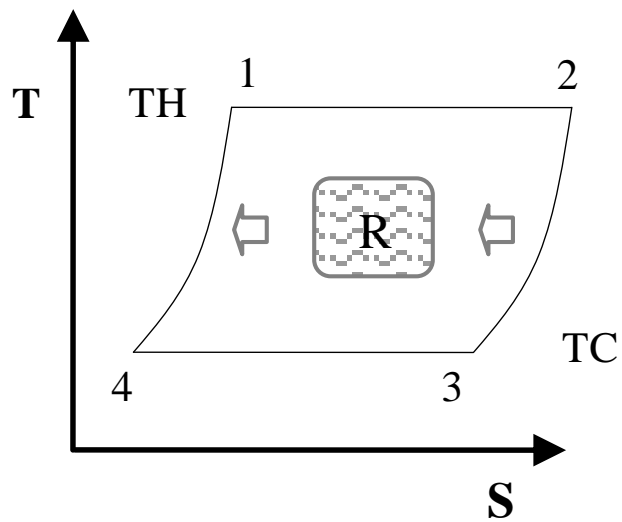


FIG. 4

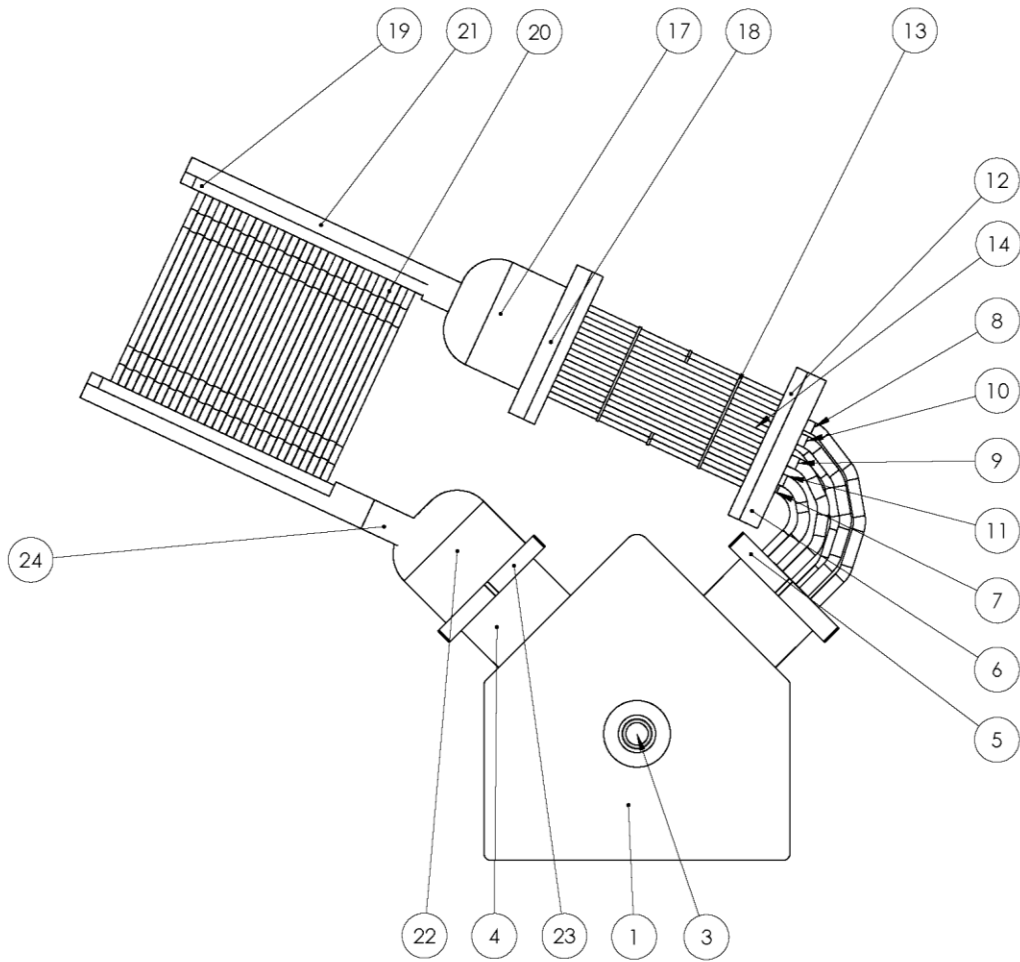


FIG. 5

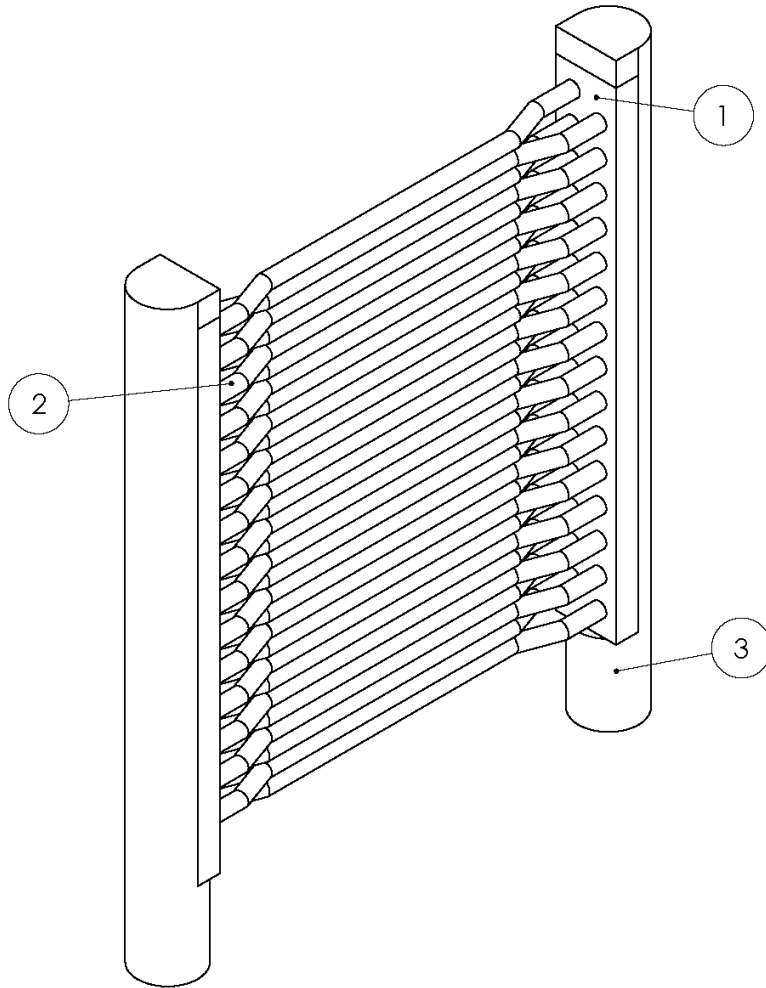


FIG. 6

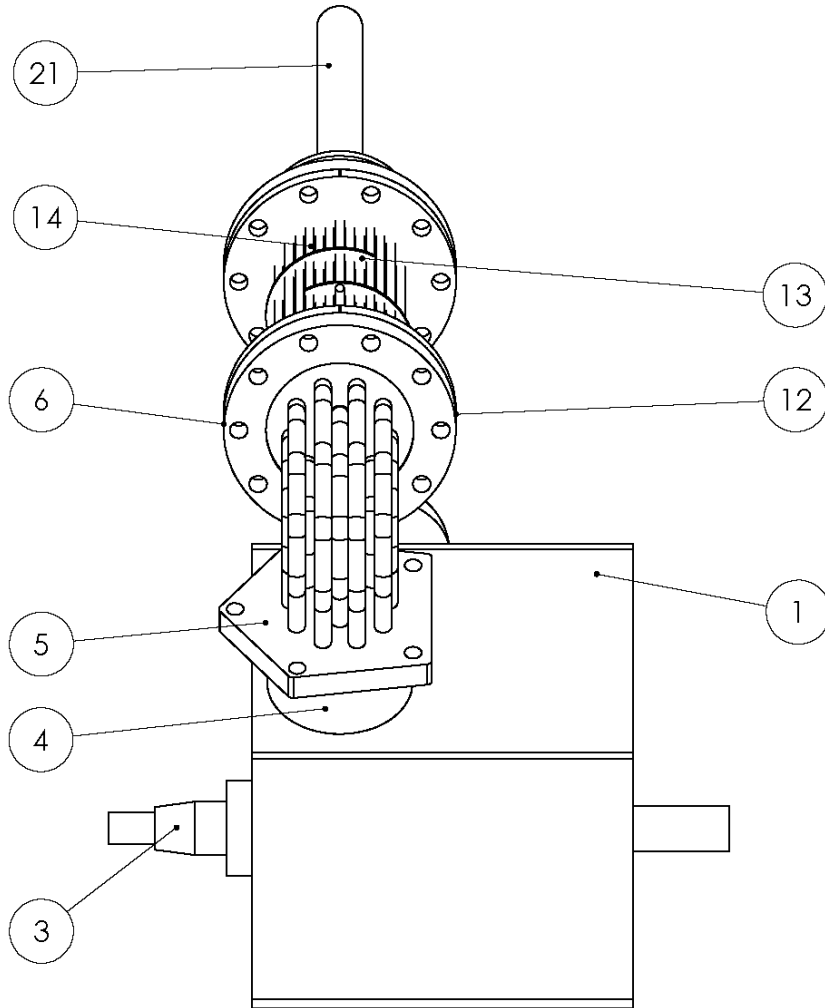


FIG. 7

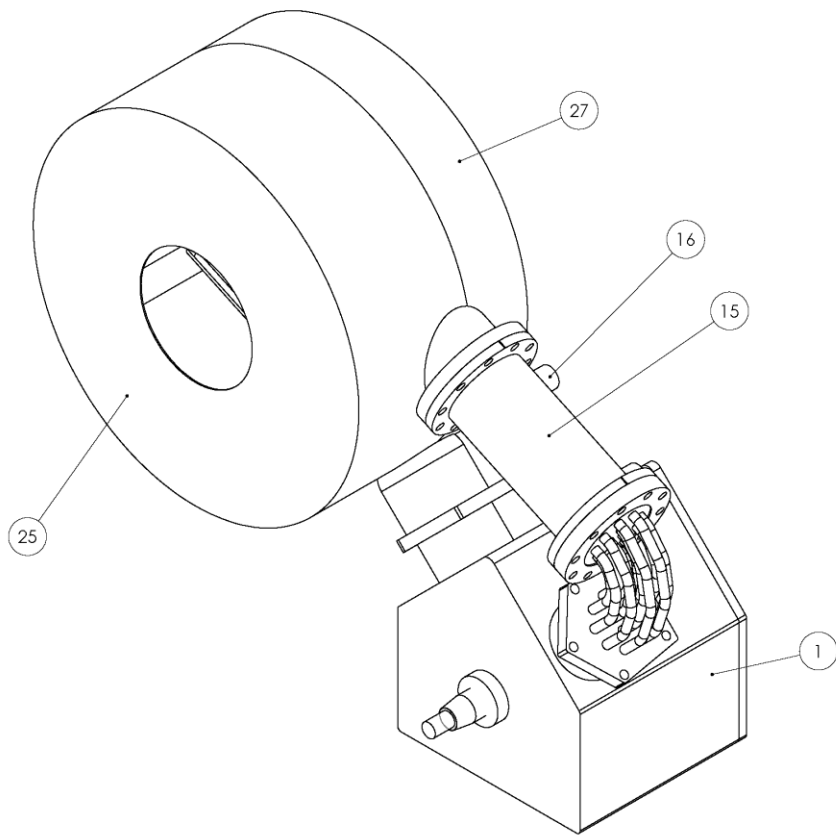


FIG. 8

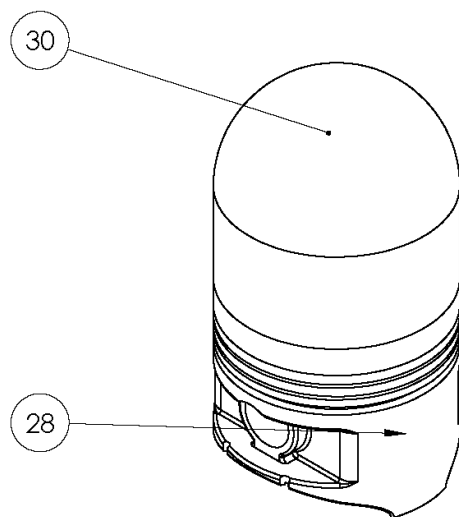


FIG. 9

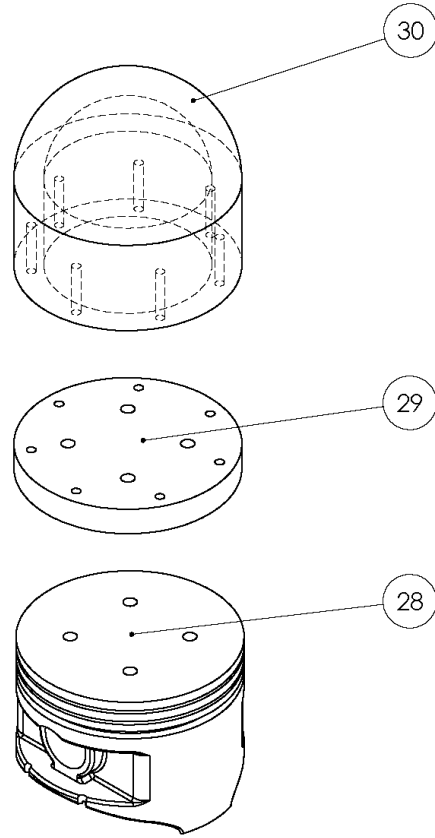


FIG. 10

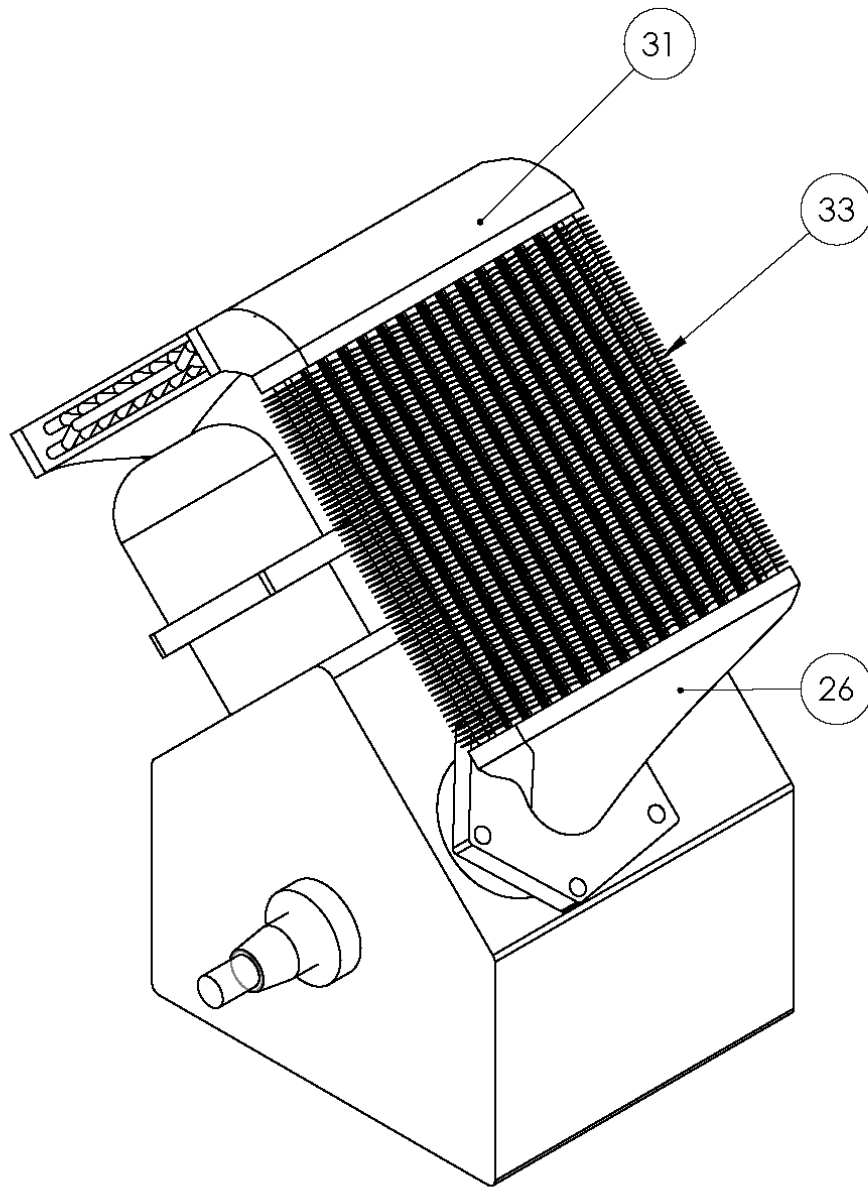


FIG. 11

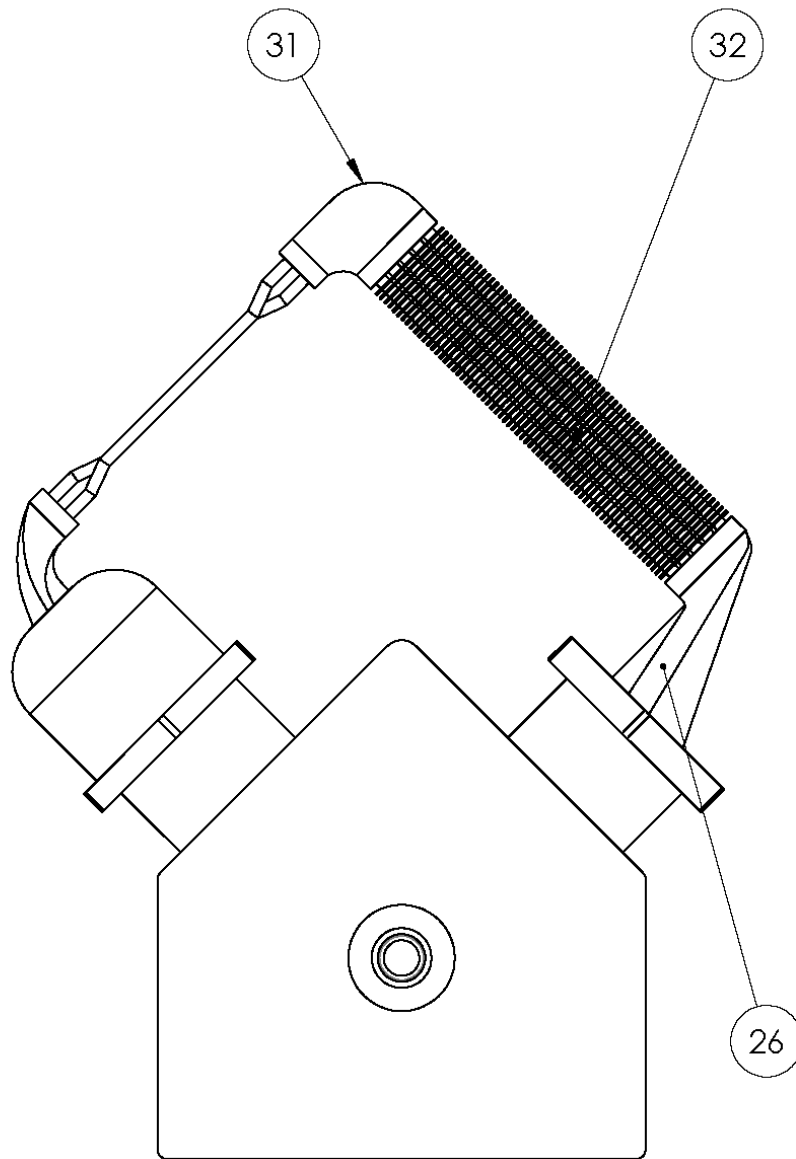


FIG. 12

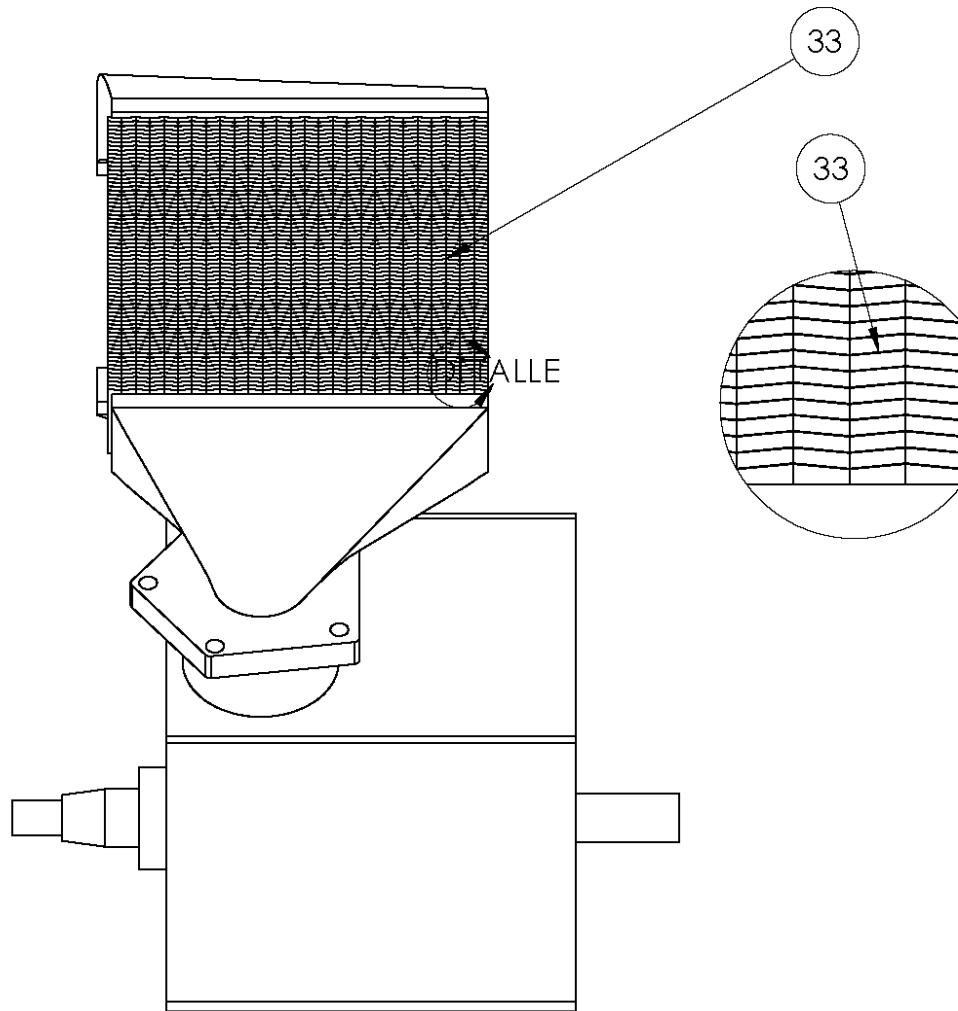


FIG. 13