

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 990 257**

51 Int. Cl.:

F25B 9/00 (2006.01)
F25B 9/06 (2006.01)
F01K 3/12 (2006.01)
F01K 3/18 (2006.01)
F02C 6/14 (2006.01)
F02C 1/10 (2006.01)
F01K 23/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.11.2018** **PCT/US2018/062232**
87 Fecha y número de publicación internacional: **31.05.2019** **WO19104156**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.11.2018** **E 18881159 (0)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2024** **EP 3714222**

54 Título: **Carga del sistema de almacenamiento térmico**

30 Prioridad:

21.11.2017 US 201762588991 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
29.11.2024

73 Titular/es:

AESTUS ENERGY STORAGE, LLC (100.0%)
1173 Pittsford-Victor Road Suite 250
Pittsford, NY 14534, US

72 Inventor/es:

WAGNER, THOMAS y
DUMLUPINAR, ERCAN

74 Agente/Representante:

ESPIELL GÓMEZ, Ignacio

ES 2 990 257 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**Carga del sistema de almacenamiento térmico**5 **CAMPO TÉCNICO**

La presente descripción se refiere en general a sistemas de generación de energía, y más particularmente a un sistema mejorado de almacenamiento de energía térmica para la carga / descarga del sistema de almacenamiento de energía térmica.

10 **ANTECEDENTES**

El almacenamiento de energía ha entrado en uso de calificación piloto en la industria de generación de energía. Esta tecnología está llamando la atención de analistas clave, como los de Bloomberg, McKinsey y Green Tech Media, y se está reportando como la próxima tecnología disruptiva para la generación de energía. Por ejemplo, más de 20 estados (por ejemplo, California, Illinois, Hawái, Texas, Ohio, Nueva York, Oregón, Massachusetts y Utah) están ofreciendo actualmente incentivos a los proveedores de generación para probar el almacenamiento de baterías, como un medio para suavizar los períodos de generación de energía renovable, regular la frecuencia de la red y diferir las actualizaciones de transmisión y distribución. Además, ha habido una reducción significativa de costos en el almacenamiento de baterías, pasando de aproximadamente 1000 \$/kW en 2010 a aproximadamente 230 \$/kW en 2016.

Además, el estado actual de la tecnología está permitiendo el desarrollo de aplicaciones detrás del medidor. Los analistas clave en el campo han pronosticado una disminución aún mayor en los costos de almacenamiento de baterías, a una tasa de aproximadamente el 10 % por año, y una generación total de servicio de alrededor de 1 GW para 2018. Una parte del aumento puede estar detrás del medidor y en aplicaciones distribuidas en apoyo a la postergación de la mejora de la red. Hay una necesidad de sistemas y métodos que puedan ayudar a reducir los cargos por demanda, reemplazar la energía de respaldo convencional y, además, almacenar la energía renovable generada en el sitio.

El documento US 2015/260463 A1 describe un sistema de almacenamiento y recuperación de energía, que comprende un compresor, una primera unidad de almacenamiento de calor, una turbina, una segunda unidad de almacenamiento de calor y un fluido de trabajo. El fluido de trabajo fluye a lo largo de una trayectoria de flujo de fluido en un ciclo cerrado, en donde el sistema opera alternativamente como un motor térmico para proporcionar trabajo mecánico a partir del calor y como una bomba de calor para utilizar trabajo mecánico para almacenar calor.

El documento US 2017/081980 A1 describe una planta de energía que comprende un circuito de tuberías termodinámico que contiene un fluido de trabajo. Los componentes de la planta de energía están interpuestos en el circuito de tuberías termodinámicas e incluyen un sistema de compresores, un sistema de recuperadores, una fuente de calor, un sistema de turbinas, un sistema de rechazo de calor y un sistema de almacenamiento de energía térmica. Un sistema de válvulas es operable para acoplar selectivamente el sistema de rechazo de calor, el sistema de almacenamiento de energía térmica y el sistema de compresores en comunicación termohidráulica con el fluido de trabajo para implementar un ciclo termodinámico.

El documento US 2014/338329 A1 describe una instalación para almacenar energía térmica, que comprende un circuito para un gas de trabajo, en donde un acumulador de frío, una primera máquina de energía térmica de fluido, un acumulador de calor y una segunda máquina de energía térmica de fluido están conectados entre sí en la secuencia indicada por una línea para el gas de trabajo. La primera máquina de energía de fluido térmico se posiciona como una máquina de trabajo y la segunda máquina de energía de fluido térmico se posiciona como un motor primario, en donde se proporciona una unidad de humidificación para el gas de trabajo en la línea entre la primera máquina de energía de fluido térmico y el acumulador de calor.

El documento US 4 984 432 A describe una máquina de ciclo Ericsson que puede ser utilizada para refrigeración, licuefacción de nitrógeno o como motor. La máquina incluye un compresor de anillo líquido conectado a un expansor de anillo líquido por un circuito de gas que comprende un recuperador. Como unidad de refrigeración, el anillo líquido en el compresor se canaliza a través de un intercambiador de calor para rechazar el calor residual y se extrae líquido del anillo líquido del expansor y se utiliza como refrigerante.

El documento EP 2 905 432 A2 describe una instalación para acumular, almacenar y devolver una energía mecánica, que comprende al menos un lazo de un agente de transferencia de calor convencionalmente frío, al menos un lazo de un agente de transferencia de calor convencionalmente caliente, y al menos un lazo de un medio de trabajo gaseoso, conectado con al menos una fuente de energía mecánica, y con al menos un equipo de uso, en donde la energía acumulada se transforma en energía térmica del medio de trabajo gaseoso, y la energía térmica acumulada a través del medio de trabajo gaseoso se transforma en energía mecánica.

El documento US 7 870 746 B2 describe un sistema para liberar y reemplazar energía almacenada que comprende capturar aire de entrada del entorno ambiental. El aire líquido liberado se bombea a presión, y el aire líquido liberado y el aire de entrada fluyen uno al lado del otro de tal manera que se produce un intercambio de calor. El aire de entrada calienta el aire líquido liberado de tal manera que el aire líquido liberado se vaporiza sustancialmente, y el aire líquido liberado enfría el aire de entrada. Se eliminan la humedad y el dióxido de carbono del aire de entrada, y

el aire de entrada se comprime y se enfría de tal manera que el aire de entrada se licúa sustancialmente. El aire sustancialmente licuado reemplaza una parte del aire líquido liberado; y el aire líquido liberado sustancialmente vaporizado se quema con combustible para producir electricidad.

5 Resumen

El problema anterior se resuelve mediante el objeto de las características definidas en la reivindicación 1. Las modalidades preferidas se definen en las reivindicaciones dependientes.

10 En una modalidad, se describe un sistema de almacenamiento de energía. El sistema de almacenamiento de energía incluye un accionamiento del tren turbo, un disipador de calor caliente y un depósito. El accionamiento del tren turbo está en comunicación mecánica con un compresor y un expansor. El disipador de calor caliente está en comunicación térmica entre una salida del compresor y una entrada del expansor. El depósito está en comunicación térmica entre una salida del expansor y una entrada del compresor. El compresor y el expansor, a través del
15 accionamiento del tren turbo, son operables entre una función de carga para cargar el disipador de calor caliente mientras se descarga el depósito y una función de descarga para descargar el disipador de calor caliente. En algunas modalidades, el disipador de calor caliente se descarga mientras se carga el depósito.

20 En otra modalidad, se describe en la presente descripción un sistema de almacenamiento de energía. El sistema de almacenamiento de energía incluye un tren de turbinas, un disipador de calor caliente y un recuperador. El accionamiento del tren turbo está en comunicación mecánica con un compresor y un expansor. El disipador de calor caliente está en comunicación térmica entre una salida del compresor y una entrada del expansor. El recuperador está en comunicación térmica entre una salida del expansor y una entrada del compresor. El compresor y el expansor, a través del accionamiento del tren turbo, son operables entre una función de carga para cargar el
25 disipador de calor caliente y una función de descarga para descargar el disipador de calor caliente.

30 En otra modalidad, se describe en la presente descripción un sistema de almacenamiento de energía. El sistema de almacenamiento de energía incluye un tren de turbinas, un disipador de calor caliente, un ciclo de reaprovechamiento y un potenciador de calor. El accionamiento del tren turbo está en comunicación mecánica con un compresor y un expansor. El disipador de calor caliente está en comunicación térmica entre una salida del compresor y una entrada del expansor. El ciclo de reaprovechamiento está en comunicación térmica entre una salida del disipador de calor caliente y la entrada del expansor. El potenciador de calor está en comunicación térmica entre una salida del expansor y una entrada del compresor. El compresor y el expansor, a través del accionamiento del tren turbo, son operables entre una función de carga para cargar el disipador de calor caliente y una función de
35 descarga para descargar el disipador de calor caliente.

DESCRIPCIÓN BREVE DE LAS FIGURAS

40 Para que la manera en que las características mencionadas anteriormente de la presente invención puedan ser entendidas en detalle, se puede tener una descripción más particular de la invención haciendo referencia a uno o más ejemplos, algunos de los cuales están ilustrados en las figuras adjuntas. Las figuras adjuntas ilustran ejemplos de esta invención y, por lo tanto, no deben considerarse como una limitación de su alcance.

45 La Figura 1A ilustra un esquema de un ejemplo de sistema de almacenamiento de energía térmica (TESS) (no es una modalidad de la invención).

La Figura 1B ilustra un esquema de un ejemplo de sistema de almacenamiento de energía térmica (TESS) (no es una modalidad de la invención).

50 La Figura 2 ilustra un esquema de un TESS de ejemplo (no es una modalidad de la invención).

La Figura 3 ilustra un esquema de un TESS de ejemplo (no es una modalidad de la invención).

55 La Figura 4 ilustra un esquema de un TESS de ejemplo (no es una modalidad de la invención).

La Figura 5 ilustra un esquema de un TESS de ejemplo (no es una modalidad de la invención).

La Figura 6 ilustra un esquema de un TESS de ejemplo (no es una modalidad de la invención).

60 La Figura 7A ilustra un esquema de un TESS de ejemplo (no es una modalidad de la invención).

La Figura 7B ilustra un esquema de un TESS de ejemplo (no es una modalidad de la invención).

La Figura 8 ilustra un esquema de un TESS de ejemplo (no es una modalidad de la invención).

65 La Figura 9 ilustra un esquema de un TESS de ejemplo (no es una modalidad de la invención).

La Figura 10 ilustra un esquema de un TESS de ejemplo (no es una modalidad de la invención).

70 La Figura 11A ilustra un esquema de un TESS de ejemplo (no es una modalidad de la invención).

La Figura 11B ilustra un esquema de un TESS de ejemplo (no es una modalidad de la invención).

La Figura 12 ilustra un esquema de un TESS de ejemplo, de acuerdo con una modalidad de la invención.

5 La Figura 13 ilustra un esquema de un TESS de ejemplo (no es una modalidad de la invención).

La Figura 14 ilustra un esquema de un TESS de ejemplo (no es una modalidad de la invención).

10 La Figura 15 ilustra un esquema de un TESS de ejemplo (no es una modalidad de la invención).

La Figura 16 ilustra un esquema de un TESS de ejemplo (no es una modalidad de la invención).

La Figura 17A ilustra un esquema de un TESS de ejemplo (no es una modalidad de la invención).

15 La Figura 17B ilustra un esquema de un TESS de ejemplo (no es una modalidad de la invención).

La Figura 18 ilustra un esquema de un TESS de ejemplo (no es una modalidad de la invención).

20 La Figura 19 ilustra un esquema de un TESS de ejemplo (no es una modalidad de la invención).

La Figura 20 ilustra un esquema de un TESS de ejemplo (no es una modalidad de la invención).

La Figura 21 ilustra un esquema de un TESS de ejemplo (no es una modalidad de la invención).

25 La Figura 22A es un diagrama en sección transversal de un ejemplo de almacenamiento de calor caliente (no es una modalidad de la invención).

30 La Figura 22B es un diagrama en sección transversal de un ejemplo de depósito (no es una modalidad de la invención).

La Figura 23 es un gráfico de ejemplo de eficiencia en función de la relación de presión para varios gases (no es una modalidad de la invención).

DESCRIPCIÓN DETALLADA

35 La presente invención se dirige a un sistema de almacenamiento de energía térmica (TESS) mejorado y a métodos mejorados para cargar y descargar el TESS. El TESS utiliza un mecanismo de compresión y expansión de turbina de gas de alta eficiencia para accionar un generador utilizando un almacenamiento de calor (también referido en la presente descripción como un disipador de calor). El TESS mejora los puntos del ciclo de trabajo del sistema para
40 lograr una configuración del sistema más rentable basada en puntos de eficiencia general. Por ejemplo, el TESS de la presente descripción puede utilizar un proceso de compresor-expansor-motor para calentar un fluido de trabajo, circular el fluido de trabajo dentro del sistema de ciclo cerrado (por ejemplo, un ciclo Brayton de ciclo cerrado) y almacenar calor en el almacenamiento de calor para su descarga o generación de energía posterior. Este proceso también puede aplicar el calor residual almacenado durante un ciclo de descarga para mejorar la eficiencia del
45 sistema de almacenamiento de energía térmica, minimizando así la cantidad de calor necesaria para producir un kilovatio hora (kWh) de energía despachada.

Aunque los componentes de TESS 100 en la Figura 1A y TESS 150 en la Figura 1B, TESS 700 en la Figura 7A y TESS 750 en la Figura 7B, TESS 1100 en la Figura 11A y TESS 1150 en la Figura 11B, y TESS 1700 en la Figura
50 17A y TESS 1750 en la Figura 17B (no es una modalidad de la invención) se describen con números de referencia únicos, los expertos en la técnica pueden entender fácilmente que TESS 100 y TESS 150, TESS 700 y TESS 750, TESS 1100 y TESS 1150, así como TESS 1700 y TESS 1750 pueden compartir uno o más componentes.

55 Además, aunque se puedan discutir los rangos de temperatura, los rangos de presión y las calificaciones de eficiencia del ciclo de carga y descarga con respecto a una cierta Figura, los expertos en la técnica pueden entender fácilmente que tales rangos de temperatura, rangos de presión y eficiencia del ciclo de carga y descarga pueden ser aplicables a todos los sistemas descritos en la presente descripción, a menos que se indique explícitamente lo contrario.

60 Además, con respecto a las Figuras 1-18, las líneas sólidas pueden representar un camino de mayor temperatura/mayor presión a través del sistema, mientras que las líneas discontinuas pueden representar un camino de menor temperatura/menor presión a través del sistema.

65 Este proceso puede ser realizado por un sistema de tren de turbinas de carga específico que está diseñado explícitamente para la carga y un segundo sistema de tren de turbinas específico que está diseñado para la descarga. Además, este proceso puede ser realizado por un sistema de propulsión de turbo tren de doble propósito que realiza funciones de carga y descarga. Además, el TESS puede utilizar el ciclo Brayton para aplicar trabajo termodinámico sobre un fluido de trabajo y almacenar la energía térmica en un sumidero térmico.

70 El TESS de la presente descripción puede incluir tecnología que es compacta y se integra rápidamente utilizando técnicas de control y despacho. Además, el TESS también puede contener un sistema de electrónica de potencia

con descarga de condensadores, para permitir una sincronización de red casi instantánea y la entrega de energía durante el tiempo en que el sistema turbo está en una rampa de inicio. El almacenamiento de calor para el TESS puede ser un lecho contenido de guijarros y/o material cerámico que puede calentarse hasta 1250 °C. El almacenamiento de calor puede ser utilizado para introducir energía en un fluido de gas de trabajo que puede ser expandido más tarde en un turbocompresor y utilizado para accionar un generador. En algunos ejemplos, el TESS puede representar una clase particular de batería. Esta clase de batería tiene varias ventajas, incluyendo, por ejemplo, una larga vida útil (por ejemplo, de aproximadamente 25 años), un uso de ciclos de carga y descarga casi ilimitado, y una limitación normal y un factor de costo de otros tipos de baterías de flujo o químicas.

Los sistemas de TES convencionales sufren de una menor eficiencia de ciclo completo. Los uno o más sistemas TES que se describen en la presente descripción son capaces de obtener una mayor eficiencia de ciclo completo (de 0,50 a aproximadamente 0,90) debido a la naturaleza de lazo cerrado de los ciclos de carga y descarga.

El sistema presente puede almacenar energía de fuentes renovables en horas de menor demanda. Además, la energía puede ser comprada de la red durante períodos de baja demanda o de fuentes de reserva giratoria. El sistema presente también puede despachar la energía durante los picos de demanda de energía. El sistema puede permanecer cargado durante varios días, utilizando aislamiento cerámico y refractario. Debido a las bajas presiones de trabajo y a la disponibilidad de materiales de aislamiento adecuados, se pueden aplicar materiales estructurales de bajo costo para albergar el disipador de calor y la maquinaria turbo de la presente descripción.

Los ciclos de trabajo del TESS de la presente descripción pueden soportar un bajo costo de mantenimiento, alta fiabilidad operativa y una vida útil cíclica mejorada (por ejemplo, de aproximadamente 25 años).

El software de análisis, que simula el ciclo termodinámico, puede ser utilizado para proporcionar una eficiencia de ciclo de trabajo de ida y vuelta aproximada del sistema. Por ejemplo, las simulaciones para el TESS de la presente descripción, utilizando un modelo de simulación de ciclo, ilustran una eficiencia del ciclo de carga y descarga de aproximadamente el 70 %. La eficiencia de ciclo de ida y vuelta en funcionamiento aborda tanto el proceso de carga como el de generación como un proceso combinado. La eficiencia de ciclo completo (de aproximadamente el 70 %) apoya un bajo costo de operación. La combinación de bajo costo de capital, bajo costo de servicio, larga vida útil y bajo costo de operación se combina para llenar una brecha en la tecnología existente a través de la capacidad de lograr costos totales del ciclo de vida que se acercan a un punto de costo de generación actual de mejor en su clase.

La Figura 23 es un gráfico de la eficiencia del sistema de ejemplo en función de la relación de presión del compresor para varios fluidos de trabajo (por ejemplo, aire, dióxido de carbono (CO₂) y argón (Ar), o una mezcla de ellos). Se entiende que los fluidos de trabajo ilustrados en la Figura 23 son fluidos de trabajo de ejemplo. Otros ejemplos adecuados y no limitantes de fluidos de trabajo incluyen helio (He), nitrógeno (N₂), así como cualquier tipo de mezcla de gases.

La Figura 23 ilustra un espacio de trabajo para suministrar un sistema eficiente para una variedad de materiales, en un rango razonable de relaciones de presión del compresor de trabajo. El espacio de diseño puede ser analizado más a fondo para optimizar la selección de componentes del TESS en función del costo y rendimiento utilizando, por ejemplo, materiales comúnmente disponibles.

La Figura 1A ilustra un esquema del TESS 100 para la generación, almacenamiento, carga y descarga de energía térmica (no es una modalidad de la invención). TESS 100 puede incluir el compresor 102, el componente de rechazo de calor 104 (para producir el calor de salida Q_{sal}), el depósito 106, el recuperador 108, el disipador de calor caliente 110, el expansor 112 y el sistema de transmisión turbo 114. En algunos ejemplos, el compresor 102 y el expansor 112 pueden representar el turbo compresor 102 y el turbo expansor 112.

En algunos ejemplos, TESS 100 puede utilizar un tren de potencia de turbomáquinas 114 que tiene niveles de eficiencia en el bajo al medio 80 por ciento hasta el medio 90 por ciento. El ciclo de calor puede ser gestionado por TESS 100 para reciclar el calor agotado del expansor turbo 112 y para rechazar un nivel mínimo de calor al medio ambiente. En algunos ejemplos, el calor rechazado puede ser capturado por TESS 100, y aumentar aún más la eficiencia de TESS 100. Por ejemplo, el depósito 106 puede almacenar el calor rechazado en la fase de generación para su uso en la fase de carga, y puede ayudar a permitir una alta eficiencia total del ciclo. El par creado por la expansión de gas caliente en el expansor 112 puede ser utilizado para accionar el compresor 102 y el alternador (o generador) 116 equipado con electrónica de potencia para despachar energía bajo demanda. El recuperador 108 puede estar ubicado entre una salida del compresor 102 y una entrada del disipador de calor caliente 110 por un lado, y entre una salida del expansor 112 y la entrada del depósito 106 por el otro lado. El recuperador 108 puede utilizar parte del calor de la salida del expansor 112 para precalentar el fluido de trabajo antes de que el fluido de trabajo entre en el disipador de calor caliente 110.

El componente 104 puede ser un sistema de rechazo de calor ambiental, que puede operar durante la descarga. El recuperador 108 puede ser un intercambiador de calor de contraflujo que permite que el calor, rechazado durante la descarga, de la salida del expansor 112 se utilice para precalentar la salida del compresor 102 antes de entrar en el disipador de calor caliente 110. El recuperador 108 puede permitir que el TESS 100 utilice la máxima cantidad de calor disponible durante la fase de descarga. Un segundo recuperador (no mostrado) puede ser utilizado en el ciclo de carga para aprovechar el calor de la entrada del expansor 112 para precalentar la entrada del compresor 102 y utilizar una mayor cantidad de calor disponible dentro del ciclo y, por lo tanto, aumentar la eficiencia del sistema en general.

El compresor 102 puede tener una relación de presión entre aproximadamente 1,1 y 35, dependiendo del tipo de fluido de trabajo utilizado y la eficiencia del ciclo de carga y descarga objetivo de TESS 100. El compresor 102 puede ser un compresor axial, un compresor radial, o un compresor axial-radial combinado, y puede ser un expansor de una sola etapa o un compresor de múltiples etapas.

El expansor 112 puede tener una relación de presión de entre aproximadamente 1,1 y 35, dependiendo del tipo de fluido de trabajo utilizado y la eficiencia de ciclo completo objetivo de TESS 100. El expansor 112 puede ser un expansor axial, un expansor radial, puede ser un expansor de una sola etapa o un expansor de múltiples etapas.

Una temperatura de almacenamiento térmico del disipador de calor caliente 110 puede estar entre aproximadamente 600 °C y aproximadamente 1250 °C. Además, la entrada del compresor de descarga puede ser inferior a aproximadamente 0 °C a 30 °C. Este rango de temperatura de trabajo puede ayudar a lograr una alta eficiencia del sistema de ida y vuelta (por ejemplo, superior al 70 %, como el 85 %). El fluido de trabajo del sistema puede ser elegido entre gases comunes (por ejemplo, aire, nitrógeno, argón, CO₂, He, cualquier tipo de mezcla de los mismos, o cualquier gas adecuado). Estos fluidos de trabajo están fácilmente disponibles, son seguros de operar y son de bajo costo. El rango de temperatura de ejemplo anterior permite el uso de cerámica, acero y tecnología de unión de tal manera que el costo inicial del sistema puede ser gestionado, y la confiabilidad del sistema puede ser llevada a altos niveles debido a la validación previa de procesos especiales. El control para la interfaz de red o aplicaciones de microrred puede ser utilizado de manera específica para la aplicación.

En operación, TESS 100 recircula el fluido de trabajo basado, por ejemplo, en un ciclo Brayton cerrado. El fluido de trabajo expulsado del expansor 112 puede ser alimentado al compresor 102 que, a su vez, calienta el fluido y bombea el fluido al disipador de calor 110 (por ejemplo, un lecho de guijarros) para el almacenamiento de la energía térmica, como se muestra en la Figura 1A. El par resultante producido por el proceso puede ser utilizado para hacer girar el alternador 116 para convertir la energía térmica en electricidad. El ciclo de generación puede comprender una compresión adiabática del gas desde el estado 1 hasta el estado 2, una adición de calor utilizando un disipador de calor caliente 110 a presión constante hasta el estado 3, una expansión adiabática hasta el estado 4 (donde se realiza trabajo), y un cierre isobárico del ciclo de vuelta al estado 1. Además del intercambiador de calor caliente 110, el TESS 100 también puede emplear el recuperador 108 y el depósito 106 para ayudar a reducir los requisitos de tamaño de ambas estructuras de intercambiador de calor (es decir, el depósito 106 y el intercambiador de calor caliente 110) y mejorar la eficiencia del ciclo. En una fase de generación, el recuperador 108 puede estar ubicado entre una salida del compresor 102 y el disipador de calor caliente 110 por un lado, y entre una salida del expansor 112 y una entrada del depósito 106 por el otro lado. El recuperador 108 puede utilizar parte del calor de salida del expansor 112 para precalentar el fluido de trabajo antes de entrar en el disipador de calor caliente 110. Al mismo tiempo, el recuperador 108 permite enfriar el fluido de trabajo en la salida del expansor 112 antes de ser introducido en el depósito 106. El depósito 106 permite el uso de parte de la energía térmica restante en el flujo de escape del expansor 108 durante la fase de carga. Este disipador de calor adicional (por ejemplo, el depósito 106) hace posible lograr una eficiencia de ciclo mejorada. El ciclo de generación también utiliza el componente de rechazo de calor 104 para reducir aún más la temperatura del fluido de salida del expansor 108 a su condición inicial.

La eficiencia de fase de generación y la tasa de flujo másico del ciclo, mostradas en la Figura 1A, pueden obtenerse de las relaciones a continuación. Por ejemplo, la relación de presión del expansor 112 puede ser menor que la relación de presión del compresor 102 para tener en cuenta la pérdida de presión en el disipador de calor caliente 110 y para superar la pérdida de presión en el recuperador 108.

La tasa de flujo másico del ciclo, $\dot{m}$ [kg/s], se puede calcular utilizando la Ecuación 1 para asegurar una producción de potencia específica.

$$\dot{m} = \frac{\text{Producción de Energía}}{\eta_{\text{generador}} \cdot \dot{w}_{\text{ciclo}}} \quad [1]$$

en donde, $\dot{w}_{\text{ciclo}}$ [kJ/kg], es el trabajo neto por unidad de masa, y puede ser definido por:

$$\dot{w}_{\text{ciclo}} = \dot{w}_{\text{Exp.}} + \dot{w}_{\text{Comp.}} \quad [2]$$

En la Ecuación 2, $\dot{w}_{\text{Exp.}}$ y $\dot{w}_{\text{Comp.}}$ representan el trabajo neto realizado por unidad de masa del expansor 112 y del compresor 102, respectivamente.

El calor añadido al sistema, Q_{HS} [kW].

La cantidad de calor almacenado en el depósito 106 utilizado en la fase de carga, Q_{CS} [kW].

Así, la eficiencia general del ciclo completo, η ,

$$\eta = \frac{\text{Producción de Energía} \cdot \eta_{\text{generador}}}{Q_{\text{HS}} - Q_{\text{CS}}} \quad [5]$$

Las siguientes suposiciones pueden aplicarse a los casos: la eficiencia politrópica del compresor puede estar cerca

del 90 %; la eficiencia politrópica del expansor puede estar alrededor del bajo 90 %; la eficiencia del recuperador podría estar alrededor del 90 % (por ejemplo, basándose en una temperatura de enfoque de 8 °C a 36 °C); la temperatura de salida del almacenamiento caliente puede estar cerca de 900 °C; la eficiencia del generador puede estar alrededor del 95 %. Los valores de ejemplo se utilizan más abajo en los análisis de fluidos de trabajo de ejemplo descritos con respecto a la Figura 23.

Debido a que las temperaturas de entrada del compresor 102 y del expansor 108 pueden mantenerse constantes (o casi constantes) en algunos casos, la eficiencia general del ciclo puede depender, en algunos ejemplos, solo de la relación de presiones y de la relación de capacidades térmicas del fluido de trabajo. Las relaciones anteriores también indican que la eficiencia máxima del ciclo puede lograrse en la tasa de flujo másica mínima debido al requisito constante de producción de potencia.

En operación, durante la fase de descarga, el compresor 102 puede presurizar el fluido de trabajo a baja temperatura. La presurización del fluido de trabajo a baja temperatura puede llevar a un aumento de temperatura debido a la compresión adiabática. El fluido de trabajo (ahora a alta presión y alta temperatura) puede salir del compresor 102 y entrar en el recuperador 108. El recuperador 108 puede precalentar el fluido de trabajo utilizando el calor de salida del expansor 112 antes de entrar en el disipador de calor caliente 110. En el disipador de calor caliente 110, el fluido de trabajo puede pasar a través de un almacenamiento de energía térmica en lecho empacado, que está a una temperatura más alta que el fluido de trabajo entrante. Así, a medida que el fluido de trabajo pasa a través del material de almacenamiento del disipador de calor caliente 110, su temperatura aumenta. Además, la temperatura del fluido de trabajo puede aumentar hasta aproximadamente la temperatura máxima de operación del sistema. El fluido de trabajo (ahora calentado y presurizado) puede ceder su energía térmica a través de un proceso de expansión adiabática mientras el fluido de trabajo fluye a través del expansor 108 (por ejemplo, una turbina). El par resultante producido por este proceso puede ser utilizado para hacer girar un alternador 116. El alternador 116 puede convertir la energía mecánica en energía eléctrica. El escape del expansor de alta temperatura puede ser devuelto al recuperador 108 donde puede ser utilizado para aumentar la temperatura del fluido de trabajo (por ejemplo, antes de que entre en el depósito 106). Después de pasar por el recuperador 108, el fluido de trabajo puede fluir hacia el depósito 106, donde, a través de un proceso de presión constante, fluye a través de un lecho empacado del depósito 106, entregando su energía térmica al medio de almacenamiento. (Se describen ejemplos del disipador de calor caliente 110 y del depósito 106 más adelante con respecto a las Figuras 22A y 22B.) En este punto, TESS 100 también puede utilizar el componente de rechazo de calor 104 como un dispositivo de seguridad para reducir aún más la temperatura del fluido a los niveles requeridos por la entrada del compresor 102.

La Figura 1B ilustra un esquema de carga 150 para TESS 100 (no es una modalidad de la invención). El esquema de carga 150 puede incluir maquinaria turbo. La turbo maquinaria que comprende el compresor 152, el disipador de calor caliente 154, el recuperador 156, el depósito 158, el expansor 160 y el eje de accionamiento del tren turbo 162. En este modo, el TESS 150 puede utilizar el motor 166 para accionar el eje de accionamiento del tren turbo 162 para cargar el disipador de calor caliente 154 para su descarga. El depósito 158 puede ayudar a utilizar el calor residual de la generación para ser reutilizado y contribuir a mejorar la eficiencia en un ciclo completo (por ejemplo, de aproximadamente 70 %). TESS 150 puede utilizar un calentador de gas estándar en lugar de turbomáquinas para proporcionar el calor de carga. A continuación, se proporciona una descripción más detallada de uno o más componentes ilustrados en las Figuras 1A y 1B.

La turbo maquinaria es un componente integral de TESS 100. Este equipo ha sido ampliamente analizado y aplicado en muchas aplicaciones en la generación de energía y el transporte. Dada tal análisis y aplicación exhaustivos, la eficiencia y fiabilidad del equipo se mejora. Actualmente, la eficiencia de cada componente de la turbomáquina (es decir, compresor 102 (152), expansor 112 (160) y alternador 116) se encuentra entre el bajo y el alto percentil 80 y el percentil medio 90.

Además, TESS 100 puede incluir etapas adicionales de compresión, por ejemplo, para aprovechar una mayor eficiencia proporcionada por el mayor ratio de compresión. Por ejemplo, etapas adicionales de compresión pueden tener como objetivo que las eficiencias de compresión y expansión se encuentren en los percentiles bajos a superiores del 80 al 90 por ciento. Lograr estas eficiencias representa una mejora de aproximadamente un 6 % a un 8 % en comparación con los sistemas convencionales. El proceso de diseño general puede ser guiado, por ejemplo, por un análisis de costo del ciclo de vida y una fiabilidad general del sistema.

Además, el compresor 152 puede tener una relación de presión de entre aproximadamente 1,1 y 35, dependiendo del tipo de fluido de trabajo utilizado y la eficiencia del ciclo de carga y descarga objetivo de TESS 100 y TESS 150. El compresor 152 puede ser un compresor axial, un compresor radial, o un compresor axial-radial combinado, y puede ser un expansor de una sola etapa o un compresor de múltiples etapas.

Además, el expansor 160 puede tener una relación de presión entre aproximadamente 1,1 y 35, dependiendo del tipo de fluido de trabajo utilizado y la eficiencia de ciclo objetivo de TESS 100 y TESS 150. El expansor 160 puede ser un expansor axial, un expansor radial, tal vez un expansor de una sola etapa o un expansor de múltiples etapas.

Refiriéndose nuevamente a la Figura 1B, el tren de potencia turbo 162 (ilustrado en la Figura 1B) y/o un calentador de fluido de trabajo, pueden estar configurados para cargar el disipador de calor 154. La decisión de utilizar un conjunto de turbocompresor de carga (por ejemplo, el accionamiento de tren turbo 162) o un calentador (por ejemplo, un calentador de fluido de trabajo) puede basarse en un proceso de simulación y análisis. Los componentes adecuados para configurar el sistema de carga pueden ser seleccionados en función de uno o más

factores como el costo, el rendimiento y la fiabilidad.

Refiriéndose nuevamente a la Figura 1A, como se discutió anteriormente, TESS 100 puede accionar el alternador 116. En algunos ejemplos, el alternador 116 puede representar una combinación de motor y generador. En algunos ejemplos, un modo de motor del alternador 116 puede ser utilizado para cargar el sistema utilizando el trabajo realizado por el eje turbo para calentar el fluido de trabajo. Un modo generador del alternador 116 puede ser utilizado para generar energía a partir del almacenamiento de energía térmica del sistema de transmisión turbo 114. En algunos ejemplos, el alternador 116 puede incluir una máquina de imán permanente con electrónica de potencia coincidente, para permitir una alta eficiencia y una interfaz de electrónica de potencia directa.

La Figura 1B ilustra un posible diagrama de ciclo de carga utilizado por TESS 100 (no es una modalidad de la invención). En la fase de carga, TESS 100 puede utilizar el motor 166 para accionar la turbomáquina y recircular fluidos de trabajo a alta temperatura en, por ejemplo, un ciclo Brayton cerrado para cargar el disipador de calor caliente 154 utilizado durante la fase de descarga. El ciclo de carga puede incluir una compresión adiabática del fluido de trabajo del estado 1 al 2, un intercambio de calor isobárico al estado 3 del fluido de trabajo al medio del disipador de calor (es decir, el disipador de calor caliente 154), una expansión adiabática al estado 4, y finalmente una adición de calor utilizando el medio del depósito 158 al fluido de trabajo a presión constante de regreso al estado 1. Como se mencionó anteriormente, el depósito 158 permite que TESS 100 utilice la energía térmica en el flujo de escape del expansor 160 durante la fase de carga, lo que impacta directamente en la eficiencia de ciclo completo. En la fase de carga, se puede emplear un recuperador adicional (no mostrado). Por ejemplo, un recuperador adicional puede estar ubicado entre la salida del disipador de calor caliente 154 y la entrada del expansor 160 en el lado de alta presión, entre la salida del depósito 158 y la entrada del compresor 152 en el lado de baja presión del sistema. El recuperador adicional puede utilizar el fluido de trabajo caliente que sale del disipador de calor 154 para precalentar el fluido de trabajo antes de entrar en el compresor 152. En un ciclo de carga, también es posible tener un subsistema adicional, como un fluido de trabajo de enfriamiento mediante rechazo de calor (como se muestra en el componente de rechazo de calor 170), para mejorar el uso del depósito 158 y lograr una mayor eficiencia de ciclo completo.

El disipador de calor caliente 110 es otro elemento integral de TESS 100. El disipador de calor caliente 110 puede incluir un núcleo para almacenamiento térmico, contenido por un revestimiento de presión, aislamiento y un recipiente exterior a presión. La configuración puede ser utilizada para reducir la pérdida por bombeo o la caída de presión a través del disipador de calor caliente 110. Se muestra un diagrama conceptual del disipador de calor caliente 110 en la Figura 22A y un diagrama conceptual del depósito 158 en la Figura 22B.

Por ejemplo, como se muestra en la Figura 22A, el disipador de calor caliente 110 puede incluir un cuerpo 2200, una entrada 2202 y una salida 2204. El cuerpo 2200 puede definir el volumen interior 2206. Dispuesto en el volumen interior 2206 puede estar el medio de calentamiento 2208. El medio de calentamiento 2208 puede ser uno o más de un lecho de material de almacenamiento de calor sensible de empaquetado suelto, como guijarros, grava, rocas, cerámica de óxido de aluminio, cerámica de panal de cordierita, cerámica de panal de cordierita densa, etc. Estos almacenamientos pueden estar bien aislados, por lo que no pierden más del 15 % del calor durante 24 horas de tiempo de retención.

Como se muestra en la Figura 22B, el depósito 158 puede incluir un cuerpo 2250, una entrada 2252 y una salida 2254. El cuerpo 2250 puede definir el volumen interior 2256. Dispuesto en el volumen interior 2256 puede estar el medio de calentamiento 2258. El medio de calentamiento 2258 puede ser uno o más de una cama de material de almacenamiento de calor sensible poco compactado, como guijarros, grava, rocas, cerámica de óxido de aluminio, cerámica de panal de cordierita, cerámica de panal de cordierita densa, etc. Estos almacenamientos pueden estar bien aislados, por lo que no pierden más del 15 % de calor durante 24 horas de tiempo de retención.

Las temperaturas máximas de operación tanto del disipador de calor caliente 110 como del depósito 158 pueden estar entre aproximadamente 650 °C y aproximadamente 1250 °C. Por ejemplo, la temperatura de operación para un disipador de calor caliente de 2 MW 110 (o depósito 158) puede ser aproximadamente 935 °C. En otro ejemplo, la temperatura de operación para un disipador de calor caliente 110 (o depósito 158) entre aproximadamente 25 y aproximadamente 50MW puede ser aproximadamente 1200 °C. Las temperaturas mínimas de operación tanto del disipador de calor caliente 110 como del depósito 158 pueden estar en el rango de 0 °C a aproximadamente 650 °C. Tanto el disipador de calor caliente 110 como el depósito 158 pueden estar configurados con varios materiales adecuados, incluyendo, pero no limitado a los materiales de ejemplo mostrados en la Tabla 1.

La temperatura mínima de operación del ciclo de carga puede ocurrir entre el expansor 160 y el depósito 158. Por ejemplo, la temperatura mínima de funcionamiento puede ser tan baja como -70 °C. Una temperatura en la entrada del compresor 152 puede estar entre aproximadamente 0 °C y aproximadamente 30 °C. Además, la relación de presión del compresor 152 (la relación entre los valores de alta presión y baja presión) de TESS 150 puede depender de los fluidos de trabajo y de la eficiencia del ciclo de carga y descarga objetivo.

La Tabla 1, como se muestra a continuación, proporciona un ejemplo de una lista de materiales adecuados para el disipador de calor caliente 110 y el depósito 158.

	KANTHAL® A-1	Óxido de Aluminio	Panal de abeja Cerámico
Densidad [kg/m ³]	7100	3720	2300
Cp [kJ/kg*K]	0,720	0,880	1,150

ES 2 990 257 T3

ε - porosidad	0,4	0,4	0
---------------------------	-----	-----	---

Tabla 1

Un factor en la determinación de la selección de materiales es el calor específico (C_p) del material. Cuanto mayor sea el valor del calor específico, menor podrá ser la masa y la huella general del sistema. Q_{HS} representa el calor sensible del almacenamiento caliente. Durante una fase de carga, Q_{HS} es la energía térmica añadida al disipador de calor 110; durante la fase de descarga, Q_{HS} es la adición de calor al fluido de trabajo desde el disipador de calor 110. La selección de materiales también puede estar guiada por el costo del sistema, así como por la robustez para muchos años (por ejemplo, 25 años) de servicio. El material KANTHAL® también podría ser reemplazado por aceros al carbono (por ejemplo, típicamente utilizados para aplicaciones de rodamientos). La elección del material para el disipador de calor caliente 110 puede ser un panel de cerámica, comúnmente llamado cordierita. Este material es predominantemente un panel de cerámica de óxido de aluminio/óxido de silicio con un rango de temperatura de trabajo adecuado y calor específico. El costo de los medios y la capacidad de cargar y descargar la embarcación pueden ser un factor para finalizar el diseño del disipador de calor caliente 110.

Otra consideración de diseño para el disipador de calor caliente 110 y el depósito 158 es la gestión del flujo a través del disipador de calor 110 y el depósito 158. La configuración del disipador de calor 110 y el depósito 158 para garantizar un flujo uniforme y temperaturas de salida predecibles ayuda a entregar un sistema de ida y vuelta en general de mayor eficiencia.

El sistema de almacenamiento de recuperación de calor (es decir, el depósito 106) puede ser similar al sistema de almacenamiento caliente (es decir, el disipador de calor caliente 110); sin embargo, los rangos de temperatura y la carga cíclica del sistema de almacenamiento de recuperación de calor (106) pueden ser inferiores a los del sistema de disipador de calor caliente (110). Además, el depósito 106 tiene una temperatura de entrada de aproximadamente 425 °C y una temperatura de salida de aproximadamente 50 °C durante la generación para un ciclo utilizando una relación de compresión específica. Estos valores pueden modularse en función de la relación de compresión del depósito 106. El depósito 106 puede ayudar a mejorar la eficiencia del ciclo de carga y descarga durante la carga cíclica. Estas condiciones de trabajo también pueden permitir una mayor variedad en el material del disipador de calor, permitiendo el uso, por ejemplo, de uno o más aceros, granito triturado o disipadores de agua y glicol. La selección del material para el depósito 106 puede basarse en el costo y/o la optimización del embalaje.

La Tabla 2 ilustra un ejemplo de delimitación de medios de depósito y volúmenes adecuados para el depósito 106.

		Densidad (kg/m ³)	C_p (kJ/kg*K)	Q_{CS} (kW) para 2 MW	Número de embarcaciones basadas en 6,283 m ³ cada una
Sólido Almacenamiento Medios	Aceite mineral	1700	1,30	2143,34	45
	Sandrock				
	Hormigón armado	2200	0,85	2143,34	53
	NaCl (sólido)	2160	0,85	2143,34	54
	Hierro fundido	7200	0,56	2143,34	25
	Acero fundido	7800	0,60	2143,34	21
	Ladrillos refractarios de sílice	1820	1,00	2143,34	54
Líquido Almacenamiento Medios	Ladrillos refractarios de magnesita	3000	1,15	2143,34	29
		Densidad (kg/m ³)	C_p (kJ/kg*K)	Q_{CS} (kW) para 2 MW	Número de embarcaciones basadas en 6,283 m ³ cada una
	Sales de Carbonato	2100	1,80	2143,34	N/a
	Sodio líquido	850	1,30	2143,34	N/a

Tabla 2

TESS 100 también puede utilizar un componente de rechazo de calor, como un enfriador de lazo cerrado, como parte del dispositivo de seguridad y puede utilizarlo para reducir aún más la temperatura del fluido de trabajo si es necesario. El sistema de rechazo de calor ambiental 104 puede ajustarse a una huella de 10 x 22 pies y puede tener una vida útil de 20 años. La revisión del sistema para lograr una vida útil de 25 años se considera fácilmente alcanzable, basada en la experiencia de operación y cierta atención a la selección de bombas.

Aunque no se muestra, TESS 100 puede incluir electrónica de control para controlar la operación de uno o más de compresor 102, componente de rechazo de calor 104, depósito 106, recuperador 108, disipador de calor caliente 110, expansor 112, maquinaria turbo (por ejemplo, tren de potencia 114) y alternador 116 (y en algunos ejemplos motor 166). El control de TESS 100 puede incluir una interfaz (no mostrada) para la turbo maquinaria para seleccionar ya sea los modos de generación o de carga. El modo de carga puede considerar el costo de la fuente de

carga y aceptar la carga, basándose en la disponibilidad de almacenamiento renovable o en la aceptación del costo del suministro de red disponible. Además, el suministro de la red puede ser energía de generación de reserva giratoria, que puede ser una generación fuera de punta con un precio bajo. El suministro renovable puede basarse en la disponibilidad de generación renovable y en el momento fuera de la demanda máxima.

El estado de temperatura del lecho de guijarros del disipador de calor caliente 110 (así como del depósito 106, en algunos ejemplos) puede ser monitoreado (por ejemplo, por la electrónica de control) durante la carga y la generación, para moverse secuencialmente a través del lecho de guijarros del disipador de calor caliente 110, y controlar el proceso seleccionado (por ejemplo, los procesos de carga o generación). Una serie de sensores de temperatura y lógica de control puede alternar entre grupos de los recipientes de lecho de guijarros utilizando criterios de temperatura establecidos.

Una interfaz de rejilla durante la generación del sistema de control (no mostrado) también puede estar conectada a un banco de capacitores (no mostrado) que puede proporcionar sincronización de rejilla inmediata (o casi inmediata), cuando se requiera, para permitir el suministro instantáneo (o casi instantáneo) de energía basado en la demanda. Por ejemplo, el suministro de energía puede tener una duración de 1-2 minutos, para permitir que la batería térmica esté a plena capacidad de generación y asuma la carga de demanda.

Durante la fase de carga de operación, el banco de capacitores puede ser recargado, seguido por la recarga del lecho de bolas del disipador de calor caliente 110.

Se puede formar una huella de control para el controlador y la electrónica de potencia de manera compacta. Pueden estar disponibles varias opciones para la interfaz de TESS 100 con el control de generación de servicios públicos a través de protocolos de comunicación de control de supervisión.

TESS 100 puede ser formado como una configuración flexible, para permitir una instalación permanente en una base convencional o una aplicación móvil en remolques o barcas. Además, los componentes de TESS 100 pueden estar empaquetados en remolques estándar de 8 pies por 53 pies. El embalaje alternativo en remolques de baja altura puede suministrar la posibilidad de colocar el sistema sobre los remolques, al eliminar las ruedas y conectar la tubería entre los sistemas individuales. En algunos ejemplos, el peso del depósito 106 y del disipador de calor 110 puede requerir una carga separada después de la colocación en el sitio; sin embargo, esta carga puede lograrse con un servicio de grúa portátil estándar.

La preparación del sitio para TESS 100 puede incluir una compactación del suelo, seguida de la colocación de una cama de agregado triturado y la colocación de patines de acero estructural para soportar cada componente. Los componentes pueden incluir una matriz de lechos de guijarros (es decir, uno o más sumideros de calor caliente 110), una matriz de depósitos (es decir, uno o más depósitos 106) y un tercer patín para la maquinaria turbo (es decir, compresor 102, expansor 112, tren de transmisión 114)/rechazo de calor ambiental (es decir, uno o más componentes de rechazo de calor 104). La tubería de interconexión puede vincular los tres patines. Los controles se pueden colocar en una sala de control existente o en un conex separado para la interfaz local y el control remoto desde una instalación de control establecida. Una configuración final puede incluir envoltura de patín para marcas comerciales. Este enfoque puede proporcionar una capacidad de implementación flexible y permitir una ubicación económica.

Haciendo referencia a la Figura 1B, en funcionamiento, durante un ciclo de carga, el motor 166 puede hacer girar el eje de transmisión del turbo tren 162 para proporcionar movimiento al compresor 152 y al expansor 160. El fluido de trabajo puede ser extraído continuamente en el compresor 152. El compresor 152 puede aumentar la temperatura y la presión del fluido de trabajo durante un proceso de compresión. El fluido de trabajo puede salir del compresor 152 (a temperaturas elevadas) y puede entrar en el disipador de calor caliente 154. En el disipador de calor caliente 154, el fluido de trabajo puede transferir su calor al disipador de calor caliente 154 y puede salir del disipador de calor caliente 154 con una energía térmica más baja pero a la misma presión. El fluido de trabajo puede entonces entrar en el recuperador 156. En el recuperador 156, se puede eliminar energía térmica adicional del fluido de trabajo a una presión constante sin inducir un cambio de fase, que se utiliza para precalentar el fluido de trabajo a baja presión antes de que entre en la entrada del compresor. A continuación, el fluido de trabajo puede fluir a través del expansor 160 donde su presión se reduce a un valor similar al de su entrada en el compresor 152. En consecuencia, cualquier pérdida del sistema puede impedir la recuperación completa de presión. El fluido de trabajo también puede experimentar una caída en la temperatura a medida que su presión se reduce en el expansor 160. En este punto, el fluido de trabajo puede fluir a través del componente de rechazo de calor 170. El componente de rechazo de calor 170 puede actuar como un mecanismo de seguridad. El componente de rechazo de calor 170 también puede estar configurado para reducir aún más la temperatura del fluido de trabajo. En consecuencia, el fluido de trabajo (ahora frío) puede entrar en el depósito 158. En el depósito 158, el fluido de trabajo puede ser calentado mientras atraviesa el medio de almacenamiento (contenido en el depósito 158) a una presión constante. El fluido de trabajo (ahora precalentado) puede entrar en el recuperador 156, donde se extrae calor del fluido de trabajo en el lado de alta presión para elevar aún más la temperatura del fluido de trabajo en el lado de baja presión a niveles vistos en la entrada del compresor 152.

La Figura 2 ilustra un esquema de carga para TESS 250 (no es una modalidad de la invención). TESS 250 puede ser similar a TESS 150 ilustrado arriba junto con la Figura 1B. TESS 250 puede incluir además un potenciador de calor 204. El calentador de calor 204 puede estar posicionado entre el compresor 152 y el disipador de calor caliente 154 en el lado de alta temperatura/presión de TESS 250. Por ejemplo, el potenciador de calor 204 puede añadirse al ciclo de carga aguas abajo del compresor 152 y antes del disipador de calor caliente 154. El calentador 204 puede

ES 2 990 257 T3

ser un calentador eléctrico. Además, el potenciador de calor 204 puede ser un calentador de gas natural ubicado en la línea para simplificar el diseño y permitir un mejor uso del volumen de almacenamiento. La adición del potenciador de calor 204 al TESS 250 puede ayudar a reducir el costo de la turbo maquinaria al limitar la temperatura del fluido de trabajo en la salida del compresor 152. Además, la adición del potenciador de calor 204 al TESS 250 puede

5 aumentar la temperatura de operación más alta del TESS 250, lo que puede resultar en una mayor eficiencia de ciclo completo.

La Figura 3 ilustra un esquema de carga para TESS 350 (no es una modalidad de la invención). TESS 350 puede ser similar a TESS 150 ilustrado arriba junto con la Figura IB. TESS 350 puede incluir además el subsistema de ciclo de reaprovechamiento 304 (también denominado en la presente descripción como "ciclo de reaprovechamiento" 304). El ciclo de reaprovechamiento 304 puede estar configurado para extraer energía del calor residual entre el lado de salida del recuperador 156 y la entrada del expansor 160 en el lado de alta temperatura/alta presión.

10

La adición del ciclo de reaprovechamiento 304 puede aumentar el uso del depósito 158. Por ejemplo, TESS 350 puede maximizar el almacenamiento térmico durante la descarga y minimizar el rechazo ambiental para mantener el equilibrio térmico entre las fases de descarga/carga y lograr una eficiencia de ciclo completo mucho más alta que los sistemas sin un ciclo de reaprovechamiento. Por ejemplo, la eficiencia de ciclo cerrado puede aumentar aproximadamente un 10 % del 70 % (sin el ciclo de reaprovechamiento 304) a aproximadamente el 80 % (con el ciclo de reaprovechamiento 304). En tal formación, el componente de rechazo de calor 170 puede ser utilizado para la seguridad del sistema.

15
20

En operación, el fluido de trabajo en el ciclo principal (por ejemplo, TESS 150, TESS 250) puede pasar a través del disipador de calor caliente 154 para comunicar o entregar calor residual al ciclo final 304. El ciclo de reaprovechamiento 304 puede estar configurado para operar como uno o más de, por ejemplo, un ciclo Rankine, un ciclo Rankine orgánico y un ciclo de dióxido de carbono supercrítico, cuya operación puede depender de la máxima energía térmica disponible en TESS 350.

25

La Figura 4 ilustra un esquema de carga para TESS 450 (no es una modalidad de la invención). TESS 450 puede ser similar a TESS 150 ilustrado arriba junto con la Figura IB. TESS 450 puede incluir además el potenciador de calor 404 y el ciclo inferior 406. El calentador de refuerzo 404 y el ciclo de reaprovechamiento 406 pueden ser añadidos al lado de alta temperatura/alta presión. Por ejemplo, como se ilustra, el potenciador de calor 404 puede estar posicionado aguas abajo del compresor 152 y aguas arriba del disipador de calor caliente 154. El ciclo de reaprovechamiento 406 puede estar posicionado aguas abajo del recuperador 156 y aguas arriba del expansor 160. El uso del potenciador de calor 404 y el ciclo de reaprovechamiento 406 puede reducir el costo del compresor 152 al limitar la temperatura de salida del fluido de trabajo. El uso del potenciador de calor 404 y del ciclo de reaprovechamiento 406 también puede aumentar la eficiencia de ciclo de ida y vuelta del TESS 400 al aumentar una temperatura máxima de operación.

30
35

La Figura 5 ilustra un esquema de carga para TES 550 (no es una modalidad de la invención). TES 550 puede ser similar a TESS 150 ilustrado arriba junto con la Figura IB. TES 550 puede incluir además un primer ciclo de reaprovechamiento 504 y un segundo ciclo de reaprovechamiento 506. El primer ciclo de reaprovechamiento 504 puede ser añadido al lado de alta temperatura/alta presión. El segundo ciclo de reaprovechamiento 506 puede ser añadido al lado de baja temperatura/baja presión. Por ejemplo, como se ilustra, el primer ciclo de reaprovechamiento 504 puede estar posicionado aguas abajo del recuperador 156 y aguas arriba del expansor 160; el segundo ciclo de reaprovechamiento 506 puede estar posicionado aguas abajo del recuperador 156 y aguas arriba del compresor 152.

40
45

La Figura 6 ilustra un esquema de carga para TESS 650 (no es una modalidad de la invención). TESS 650 puede ser similar a TESS 150 ilustrado arriba junto con la Figura IB. TESS 650 puede incluir además el potenciador de calor 604, el primer ciclo de reaprovechamiento 606 y el segundo ciclo de reaprovechamiento 608. El calentador de refuerzo 604 y el primer ciclo de reaprovechamiento 606 pueden ser añadidos al lado de alta temperatura/alta presión. El segundo ciclo de reaprovechamiento 608 puede ser añadido al lado de baja temperatura/baja presión. Por ejemplo, como se ilustra, el potenciador de calor 604 puede estar posicionado aguas abajo del compresor 152 y aguas arriba del disipador de calor caliente 154; el primer ciclo de aprovechamiento 606 puede estar posicionado aguas abajo del recuperador 156 y aguas arriba del expansor 160; y el segundo ciclo de aprovechamiento 608 puede estar posicionado aguas abajo del recuperador 156 y aguas arriba del compresor 152.

50
55

Tal configuración puede resultar en posibles ahorros de costos en el diseño del compresor 152 debido a la baja temperatura del fluido de trabajo de salida. El calentador de refuerzo 604 puede ser utilizado para aumentar la temperatura del fluido de trabajo que sale del compresor 152 a un nivel deseado. La potencia de salida de ambos ciclos de fondo (606 y 608) puede configurarse para suministrar energía al potenciador de calor 604.

60

La Figura 7A ilustra un esquema de descarga para TESS 700 (no es una modalidad de la invención). TESS 700 puede ser similar a TESS 100 ilustrado arriba junto con la Figura 1A. Por ejemplo, TESS 700 puede incluir un compresor 702 (similar al compresor 102), un recuperador 706 (similar al recuperador 108), un disipador de calor caliente 704 (similar al disipador de calor caliente 110), un expansor 710 (similar al expansor 112), un accionamiento del tren turbo 712, y un sistema de potencia 716 (similar al sistema de potencia 116). Sin embargo, TESS 700 no incluye un depósito.

65

Como se ilustra, en un lado de alta temperatura/alta presión (ilustrado por la línea sólida), el recuperador 706 puede

70

estar aguas arriba del compresor 702; el disipador de calor caliente 704 puede estar aguas arriba del recuperador 706; y el expansor 710 puede estar aguas arriba del disipador de calor caliente 704. En un lado de baja temperatura/baja presión (ilustrado por la línea discontinua), el recuperador 706 puede estar aguas abajo del expansor 710; el componente de rechazo de calor 720 puede estar aguas abajo del recuperador 706; y el compresor 702 puede estar aguas abajo del componente de rechazo de calor 720. TESS 700 puede incluir además el ciclo de reaprovechamiento 722. El ciclo de reaprovechamiento 722 puede ser utilizado en la fase de descarga para extraer energía del fluido de trabajo inmediatamente aguas abajo del recuperador 706.

La Figura 7B ilustra un esquema de carga para TESS 750 (no es una modalidad de la invención). TESS 750 puede ser similar a TESS 150 ilustrado arriba junto con la Figura 1B. Por ejemplo, TESS 750 puede incluir compresor 752 (similar al compresor 152), recuperador 756 (similar al recuperador 156), disipador de calor caliente 754 (similar al disipador de calor 154), expansor 760 (similar al expansor 160), transmisión turbo 762 y sistema de potencia 766 (similar al compresor 166). Sin embargo, TESS 700 no incluye un depósito.

Como se ilustra, en un lado de alta temperatura/alta presión (ilustrado por la línea sólida), el disipador de calor caliente 754 puede estar aguas arriba del compresor 752; el recuperador 756 puede estar aguas arriba del disipador de calor caliente 754; y el expansor 760 puede estar aguas arriba del recuperador 756. En un lado de baja temperatura/baja presión (ilustrado por la línea de discontinua), el recuperador 756 puede estar aguas abajo del expansor 760; y el compresor 752 puede estar aguas abajo del recuperador 756. TESS 700 puede incluir además un potenciador de calor 775. Por ejemplo, el potenciador de calor 775 puede ser añadido en el lado de baja temperatura/baja presión aguas abajo del expansor 760 y aguas arriba del recuperador 756. El calentador de refuerzo 775 puede ser utilizado para precalentar el fluido de trabajo antes de entrar en el recuperador 756.

La Figura 8 ilustra un esquema de carga para TESS 850 (no es una modalidad de la invención). TESS 850 puede ser similar a TESS 750 ilustrado arriba junto con la Figura 7B. Por ejemplo, la Figura 8 puede ilustrar un esquema de carga correspondiente al esquema de descarga ilustrado en la Figura 7A. TESS 850 puede incluir además el potenciador de calor 877. El calentador de refuerzo 877 puede ser añadido al lado de alta temperatura/alta presión. Por ejemplo, como se ilustra, el potenciador de calor 877 puede estar posicionado aguas abajo del compresor 752 y aguas arriba del disipador de calor caliente 754. Tal configuración puede mejorar la eficiencia del ciclo de carga y descarga al aumentar la temperatura máxima de operación de TESS 850.

La Figura 9 ilustra un esquema de carga para TESS 950 (no es una modalidad de la invención). TESS 950 puede ser similar a TESS 850 ilustrado arriba junto con la Figura 8B. Por ejemplo, la Figura 9 puede ilustrar un esquema de carga correspondiente al esquema de descarga ilustrado en la Figura 7A. TESS 950 puede incluir además el ciclo de reaprovechamiento 904. El ciclo de reaprovechamiento 904 puede ser añadido al lado de alta temperatura/alta presión. Por ejemplo, como se ilustra, el ciclo de reaprovechamiento 904 puede estar posicionado aguas abajo del recuperador 756 y aguas arriba del expansor 760. Tal configuración puede mejorar la eficiencia del ciclo de carga y descarga al aumentar la temperatura máxima de operación de TESS 950. Tal ciclo de reaprovechamiento 904 puede mejorar la eficiencia del ciclo de carga y descarga general. El ciclo de reaprovechamiento 904 también puede estar configurado para proporcionar energía a uno o más potenciadores de calor 775, 877.

La Figura 10 ilustra un esquema de carga para TESS 1050 (no es una modalidad de la invención). TESS 1050 puede ser similar a TESS 950 ilustrado arriba junto con la Figura 9. Por ejemplo, la Figura 10 puede ilustrar un esquema de carga correspondiente al esquema de descarga ilustrado en la Figura 7A. TESS 1050 puede incluir además el ciclo de reaprovechamiento 1004. El ciclo de reaprovechamiento 1004 puede ser añadido al lado de baja temperatura/baja presión. Por ejemplo, como se ilustra, el ciclo de reaprovechamiento 1004 puede estar posicionado aguas abajo del recuperador 756 y aguas arriba del compresor 752. Tal configuración puede mejorar la eficiencia del ciclo de carga y descarga al aumentar la temperatura máxima de operación de TESS 1050. Tal ciclo de reaprovechamiento 1004 puede mejorar la eficiencia del ciclo de carga y descarga general. El ciclo de reaprovechamiento 1004 también puede estar configurado para proporcionar energía a uno o más potenciadores de calor 775, 877.

La Figura 11A ilustra un esquema de descarga de TESS 1100 (no es una modalidad de la invención). TESS 1100 puede ser similar a TESS 100 ilustrado arriba junto con la Figura 1A. TESS 1100 puede incluir el compresor 1102, el disipador de calor caliente 1104, el expansor 1110, el depósito 1108, el componente de rechazo de calor 1120, el alternador 1116 y el tren turbo 1112.

TESS 1100 puede incluir un lado de alta temperatura/alta presión (ilustrado por una línea sólida) y un lado de baja temperatura/baja presión (ilustrado por una línea discontinua). A lo largo del lado de alta temperatura/alta presión, el disipador de calor caliente 1104 puede estar posicionado aguas abajo del compresor 1102. El compresor 1102 puede estar configurado para presurizar y calentar el fluido de trabajo que se introduce en TESS 1100 a través de un proceso de compresión adiabática. El compresor 1102 puede tener una relación de presión entre aproximadamente 1,1 y 35, dependiendo del tipo de fluido de trabajo utilizado y la eficiencia del ciclo de carga y descarga objetivo del TESS 1100. Además, el compresor 1102 puede ser un compresor axial, un compresor radial, o un compresor axial-radial combinado, puede ser un expansor de una sola etapa o un compresor de múltiples etapas.

El expansor 1110 puede tener una relación de presión entre aproximadamente 1,1 y 35, dependiendo del tipo de fluido de trabajo utilizado y la eficiencia del ciclo de carga y descarga objetivo de TESS 1100. Además, el expansor 1110 puede ser un expansor axial, un expansor radial, puede ser un expansor de una sola etapa o un expansor de múltiples etapas.

El fluido de trabajo puede salir del compresor 1102 y proceder al disipador de calor caliente 1104. El disipador de calor caliente 1104 puede incluir un almacenamiento de energía térmica en lecho empacado, que puede estar formado por medios de almacenamiento sólidos. Durante la fase de descarga, puede ocurrir la transferencia de calor en el disipador de calor caliente 1104 desde el material de almacenamiento a alta temperatura hasta el fluido de trabajo. El fluido de trabajo (ahora a una temperatura más alta) puede fluir desde el disipador de calor caliente 1104 hasta el expansor 1100. El expansor 1100 puede estar configurado para disminuir la presión del fluido de trabajo, disminuyendo así la temperatura del fluido de trabajo a través de un proceso de expansión adiabática. Además, durante la descarga, la cantidad máxima de energía residual del expansor 1160 puede ser almacenada en el depósito 1158 para su uso en el ciclo de carga.

A lo largo del lado de baja temperatura/baja presión, el depósito 1108 puede estar posicionado aguas abajo del expansor 1110. El componente de rechazo de calor 1120 puede estar posicionado aguas abajo del depósito 1108. El compresor 1102 puede estar posicionado aguas abajo del componente de rechazo de calor 1120. El fluido de trabajo puede salir del expansor 1110 (a una presión y temperatura ahora más bajas) y proceder al depósito 1108. El depósito 1108 puede incluir un almacenamiento de energía térmica de lecho empacado formado por medios de almacenamiento sólidos. Durante la fase de descarga, el fluido de trabajo puede fluir a través del depósito 1108 y entregar su energía térmica al medio de almacenamiento en el depósito 1108. El fluido de trabajo puede proceder al componente de rechazo de calor ambiental 1120. El componente de rechazo de calor ambiental 1120 puede ser utilizado, por ejemplo, como un medio de seguridad del sistema. Desde el componente de rechazo de calor ambiental 1120, el fluido de trabajo puede fluir hacia el compresor 1102. En una entrada del compresor 1102, el fluido de trabajo puede estar entre aproximadamente 0 °C y 30 °C.

En operación, el fluido de trabajo puede alcanzar una presión de operación máxima de hasta aproximadamente 35 atm en el lado de alta presión/alta temperatura. La presión mínima de operación del fluido de trabajo puede ser de aproximadamente 1 atm. En el lado de alta temperatura/alta presión, el fluido de trabajo puede alcanzar una temperatura entre aproximadamente 700 °C y 1250 °C.

La Figura 11B ilustra un esquema de carga del TESS 1150 (no es una modalidad de la invención). TESS 1150 puede ser similar a TESS 150 ilustrado arriba junto con la Figura 1B. TESS 1150 puede incluir el compresor 1152, el disipador de calor caliente 1154, el ciclo de reaprovechamiento 1174, el expansor 1160, el depósito 1158, el componente de rechazo de calor 1170, el alternador 1166 y el tren turbo de accionamiento 1162.

TESS 1150 puede incluir un lado de alta temperatura/alta presión (ilustrado por una línea sólida) y un lado de baja temperatura/baja presión (ilustrado por una línea discontinua). A lo largo del lado de alta temperatura/alta presión, el disipador de calor caliente 1154 puede estar posicionado aguas abajo del compresor 1152. Un fluido de trabajo puede ser introducido en el compresor 1152. Los fluidos de trabajo ejemplares pueden incluir, pero no se limitan a, Ar, N₂, CO₂, aire, He, cualquier mezcla de He, cualquier mezcla, y similares. El compresor 1152 puede estar configurado para presurizar y calentar el fluido de trabajo que se introduce en el TESS 1150 a través de un proceso de compresión adiabática. Además, el compresor 1152 puede tener una relación de presión de aproximadamente 1,1 a 35, dependiendo del tipo de fluido de trabajo utilizado y la eficiencia del ciclo de carga y descarga objetivo del TESS 1150. Además, el compresor 1152 puede ser un compresor axial, un compresor radial o un compresor axial-radial combinado. El compresor 1152 puede tener una eficiencia politrópica de entre aproximadamente 0,8 y aproximadamente 0,95. El fluido de trabajo puede salir del compresor 1152 y proceder al disipador de calor caliente 1154. Además, la temperatura de operación más alta del fluido de trabajo puede ocurrir entre la salida del compresor 1152 y el disipador de calor caliente 1154. Por ejemplo, la temperatura de operación del fluido de trabajo puede estar entre aproximadamente 700 °C y 1250 °C.

El disipador de calor caliente 1154 puede incluir un almacenamiento de energía térmica en lecho empacado, que puede estar formado por un medio de almacenamiento sólido. Durante la fase de carga, un fluido de trabajo a alta temperatura puede fluir a través del disipador de calor caliente para entregar calor al material de almacenamiento en el disipador de calor caliente 1154. El fluido de trabajo (ahora a una temperatura más baja) puede fluir desde el disipador de calor caliente 1154 hacia el ciclo de reaprovechamiento 1174. El ciclo de reaprovechamiento 1174 puede incluir, sin limitarse a, Rankine, Rankine orgánico o SCO₂. El ciclo de reaprovechamiento 1174 puede añadirse al ciclo para utilizar la máxima cantidad de energía térmica residual. El fluido de trabajo puede fluir del ciclo de reaprovechamiento 1174 al expansor 1160. El expansor 1160 puede estar configurado para disminuir la presión del fluido de trabajo, disminuyendo así la temperatura del fluido de trabajo a través de un proceso de expansión adiabática. El expansor 1160 puede ser un expansor axial, un expansor radial, puede ser un expansor de una sola etapa o un expansor de múltiples etapas. Además, el expansor 1160 puede tener una eficiencia politrópica de entre aproximadamente 0,8 y 0,95.

A lo largo del lado de baja temperatura/baja presión, el depósito 1158 puede estar posicionado aguas abajo del expansor 1160. El componente de rechazo de calor 1170 puede estar posicionado aguas abajo del depósito 1158. El compresor 1152 puede estar posicionado aguas abajo del componente de rechazo de calor 1170. El fluido de trabajo puede salir del expansor 1160 (a una presión y temperatura ahora más bajas) y proceder al depósito 1158. La temperatura mínima de operación del fluido de trabajo (por ejemplo, puede ser mucho más baja que 0 °C) puede ocurrir entre el expansor 1160 y el depósito 1158. El depósito 1158 puede incluir un almacenamiento de energía térmica de lecho empacado formado por medios de almacenamiento sólidos. Los medios de almacenamiento sólido ejemplares pueden incluir guijarros, grava, rocas, cerámica de óxido de aluminio, cerámica de panal de cordierita, cerámica de panal de cordierita densa, y similares. En general, el depósito 1158 puede estar aislado, de manera que

el depósito 1158 no pierda más del 15 % de calor durante aproximadamente 24 horas de tiempo de retención. Durante la fase de carga, un fluido de trabajo a baja temperatura puede fluir a través del depósito 1158 y se calienta a medida que avanza. El fluido de trabajo (ahora a una temperatura más alta) puede proceder al componente de rechazo de calor ambiental 1170. El componente de rechazo de calor ambiental 1170 puede ser utilizado como un medio de seguridad del sistema. Desde el componente de rechazo de calor ambiental 1170, el fluido de trabajo puede fluir hacia el compresor 1152.

Basado en el fluido de trabajo y la temperatura máxima de operación mencionada anteriormente, TESS 1100 y TESS 1150 pueden suministrar una eficiencia de ciclo completo entre aproximadamente 0,5 y aproximadamente 0,90. En consecuencia, TESS 1100 y 1150 pueden ser configurados para proporcionar potencia entre aproximadamente 0,1 MW y aproximadamente 100 MW durante hasta aproximadamente 10 horas de operación. A pesar de que la descripción anterior es un ciclo de bucle cerrado, TESS 1100 y 1150 pueden utilizar un tanque auxiliar de compensación para el fluido de trabajo en el nivel mínimo de presión de operación.

La Figura 12 ilustra un esquema de carga para TESS 1250, de acuerdo con una modalidad de la invención. TESS 1250 puede ser similar a TESS 1150 ilustrado arriba junto con la Figura 11B. Por ejemplo, la Figura 12 puede ilustrar un esquema de carga correspondiente al esquema de descarga ilustrado en la Figura 11A. TESS 1250 puede incluir además el ciclo de reaprovechamiento 1204. El ciclo de reaprovechamiento 1204 puede ser añadido al lado de baja temperatura/baja presión. Por ejemplo, como se ilustra, el ciclo de reaprovechamiento 1204 puede estar posicionado aguas abajo del depósito 1158 y aguas arriba del componente de rechazo de calor 1170. Tal configuración puede mejorar la eficiencia del ciclo de carga y descarga al aumentar la temperatura máxima de operación de TESS 1250. Tal ciclo de reaprovechamiento 1204 puede mejorar la eficiencia del ciclo de carga y descarga general. El ciclo de reaprovechamiento 1204 puede incluir, sin limitarse a, Rankine, Rankine Orgánico, SCO_2 , y similares.

La Figura 13 ilustra un esquema de carga para TESS 1350 (no es una modalidad de la invención). TESS 1350 puede ser similar a TESS 1150 ilustrado arriba junto con la Figura 11B. Por ejemplo, la Figura 13 puede ilustrar un esquema de carga correspondiente al esquema de descarga ilustrado en la Figura 11A. TESS 1350 puede incluir además el potenciador de calor 1304. El refuerzo de calor 1304 puede ser añadido al lado de alta temperatura/alta presión. Por ejemplo, como se ilustra, el potenciador de calor 1304 puede estar posicionado aguas abajo del compresor 1152 y aguas arriba del disipador de calor caliente 1154. Tal configuración ayuda a aumentar la temperatura máxima de TESS 1350, lo que puede aumentar directamente la eficiencia del ciclo de carga y descarga de TESS 1350 sin aumentar la relación de presión del compresor 1152. Como tal, TESS 1350 puede operar al mismo nivel de presión máxima, pero a una temperatura mucho más alta. Esto también puede resultar en ahorros de costos en el diseño del compresor 1152.

La Figura 14 ilustra un esquema de carga para TESS 1450 (no es una modalidad de la invención). TESS 1450 puede ser similar a TESS 1350 ilustrado arriba junto con la Figura 13. Por ejemplo, la Figura 14 puede ilustrar un esquema de carga correspondiente al esquema de descarga ilustrado en la Figura 11 A. TESS 1450 puede incluir además el ciclo de reaprovechamiento 1404. El ciclo de reaprovechamiento 1404 puede ser añadido al lado de baja temperatura/baja presión. Por ejemplo, como se ilustra, el ciclo de reaprovechamiento 1404 puede estar posicionado aguas abajo del depósito 1158 y aguas arriba del componente de rechazo de calor ambiental 1170. El uso del ciclo de reaprovechamiento 1404 con el potenciador de calor 1304 puede ayudar a reducir la temperatura de salida del fluido de trabajo del compresor 1152. Tal configuración también puede mejorar la eficiencia del ciclo de carga y descarga al aumentar la temperatura máxima de operación de TESS 1450, por ejemplo, almacenando una mayor energía térmica durante la fase de carga. El ciclo de reaprovechamiento 1404 puede incluir Rankine, Rankine orgánico, SCO_2 y similares.

La Figura 15 ilustra un esquema de descarga para TESS 1500 (no es una modalidad de la invención). TESS 1500 puede ser similar a TESS 1100 ilustrado arriba junto con la Figura 11A. TESS 1500 puede incluir además el ciclo de reaprovechamiento 1504. El ciclo de reaprovechamiento 1504 puede ser añadido al lado de baja temperatura/baja presión. Por ejemplo, como se ilustra, el ciclo de reaprovechamiento 1504 puede estar posicionado aguas abajo del expansor 1110 y aguas arriba del depósito 1108. Tal configuración puede generar una temperatura del fluido de trabajo lo suficientemente alta como para utilizar un ciclo de reaprovechamiento más eficiente, como el SCO_2 , o un generador de vapor simple (por ejemplo, ciclo de Rankine) que también es menos eficiente pero de menor costo.

La Figura 16 ilustra un esquema de carga para TESS 1650 (no es una modalidad de la invención). TESS 1650 puede ser similar a TESS 1150 ilustrado arriba junto con la Figura 11B. La Figura 16 puede ilustrar un esquema de carga correspondiente al esquema de descarga ilustrado en la Figura 15. TESS 1650 puede incluir además un potenciador de calor 1604. El calentador de refuerzo 1604 puede ser añadido al lado de alta temperatura/alta presión. Por ejemplo, como se ilustra, el potenciador de calor 1604 puede estar posicionado aguas abajo del compresor 1152 y aguas arriba del disipador de calor caliente 1154. Tal configuración ayuda a aumentar la temperatura máxima de TESS 1650, lo que puede aumentar directamente la eficiencia del ciclo de carga y descarga de TESS 1650 sin aumentar la relación de presión del compresor 1152. Como tal, TESS 1650 puede operar al mismo nivel de presión máxima, pero a una temperatura mucho más alta. Esto también puede resultar en ahorros de costos en el diseño del compresor 1152.

La Figura 17A ilustra un esquema de descarga de TESS 1700 (no es una modalidad de la invención). TESS 1700 puede ser similar a TESS 1100 ilustrado arriba en relación con la Figura 11 A. Por ejemplo, TESS 1700 puede incluir uno o más componentes similares a TESS 1100. Sin embargo, TESS 1700 no utiliza una unidad de almacenamiento en frío (es decir, un depósito). Como se ilustra, TESS 1700 puede incluir compresor 1702, disipador de calor caliente

1704, expansor 1710, ciclo de reaprovechamiento 1724, componente de rechazo de calor 1720, alternador 1716 y transmisión turbo 1712.

TESS 1700 puede incluir un lado de alta temperatura/alta presión (ilustrado por una línea sólida) y un lado de baja temperatura/baja presión (ilustrado por una línea de discontinua). A lo largo del lado de alta temperatura/alta presión, el dissipador de calor caliente 1704 puede estar posicionado aguas abajo del compresor 1702. El compresor 1102 puede estar configurado para presurizar y calentar el fluido de trabajo que se introduce en TESS 1700 a través de un proceso de compresión adiabática. Además, el compresor 1702 puede tener una relación de presión de entre aproximadamente 1,1 y 35, dependiendo del tipo de fluido de trabajo utilizado y la eficiencia del ciclo de carga y descarga objetivo de TESS 1700. El compresor 1702 puede ser un compresor axial, un compresor radial o un compresor axial-radial combinado.

El fluido de trabajo puede salir del compresor 1702 y proceder al dissipador de calor caliente 1704. El dissipador de calor caliente 1704 puede incluir un almacenamiento de energía térmica en lecho empacado, que puede estar formado por medios de almacenamiento sólido. Durante la fase de descarga, puede ocurrir la transferencia de calor en el dissipador de calor caliente 1704 desde el material de almacenamiento a alta temperatura hasta el fluido de trabajo. El fluido de trabajo (ahora a una temperatura más alta) puede fluir del dissipador de calor caliente 1704 al expansor 1710. El expansor 1710 puede estar configurado para disminuir la presión del fluido de trabajo, disminuyendo así la temperatura del fluido de trabajo a través de un proceso de expansión adiabática.

A lo largo del lado de baja temperatura/baja presión, el ciclo de reaprovechamiento 1724 puede estar posicionado aguas abajo del expansor 1710. El componente de rechazo de calor 1720 puede estar posicionado aguas abajo del expansor 1710. El compresor 1702 puede estar posicionado aguas abajo del componente de rechazo de calor 1720. El fluido de trabajo puede salir del expansor 1710 (a una presión y temperatura ahora más bajas) y continuar hacia el ciclo de reaprovechamiento 1724. Dicho ciclo de reaprovechamiento 1724 puede mejorar la eficiencia del ciclo de carga y descarga general. El ciclo de reaprovechamiento 1724 puede incluir Rankine, Rankine orgánico, SCO_2 y similares. El fluido de trabajo puede proceder al componente de rechazo de calor ambiental 1720. El componente de rechazo de calor ambiental 1720 puede ser utilizado como un medio de seguridad del sistema. Desde el componente de rechazo de calor ambiental 1720, el fluido de trabajo puede fluir hacia el compresor 1702. En una entrada del compresor 1702, el fluido de trabajo puede estar entre aproximadamente 0 °C y 30 °C.

En operación, el fluido de trabajo puede alcanzar una presión de operación máxima de hasta aproximadamente 35 atm en el lado de alta presión/alta temperatura. La presión mínima de operación del fluido de trabajo puede ser de aproximadamente 1 atm. En el lado de alta temperatura/alta presión, el fluido de trabajo puede alcanzar una temperatura entre aproximadamente 700 °C y 1250 °C.

La Figura 17B ilustra un esquema de carga de TESS 1750 (no es una modalidad de la invención). TESS 1750 puede ser similar a TESS 1150 ilustrado arriba junto con la Figura 11B. Por ejemplo, TESS 1750 puede incluir uno o más componentes similares a TESS 1150. Sin embargo, TESS 1750 no utiliza un depósito. TESS 1750 puede incluir el compresor 1752, el dissipador de calor caliente 1754, el expansor 1760, el potenciador de calor 1758, el componente de rechazo de calor 1770, el alternador 1766 y el tren de turbo 1762.

TESS 1750 puede incluir un lado de alta temperatura/alta presión (ilustrado por una línea sólida) y un lado de baja temperatura/baja presión (ilustrado por una línea discontinua). A lo largo del lado de alta temperatura/alta presión, el dissipador de calor caliente 1754 puede estar posicionado aguas abajo del compresor 1752. Un fluido de trabajo puede ser introducido en el compresor 1752. Los fluidos de trabajo ejemplares pueden incluir, pero no se limitan a, Ar, N_2 , CO_2 , aire, He, mezclas de He, y similares. El compresor 1752 puede estar configurado para presurizar y calentar el fluido de trabajo que se introduce en el TESS 1750 a través de un proceso de compresión adiabática. El compresor 1752 puede tener una relación de presión entre aproximadamente 1,1 y 35, dependiendo del tipo de fluido de trabajo utilizado y la eficiencia del ciclo de carga y descarga objetivo de TESS 1750. Además, el compresor 1752 puede ser un compresor axial, un compresor radial o un compresor axial-radial combinado. El compresor 1752 puede tener una eficiencia politrópica de entre aproximadamente 0,8 y aproximadamente 0,95. El compresor 1752 puede ser un compresor de una sola etapa o de múltiples etapas. El fluido de trabajo puede salir del compresor 1752 y proceder al dissipador de calor caliente 1754. La temperatura de funcionamiento más alta del fluido de trabajo puede ocurrir entre la salida del compresor 1752 y el dissipador de calor caliente 1754. Por ejemplo, la temperatura de funcionamiento del fluido de trabajo puede estar entre aproximadamente 700 °C y 1250 °C.

El dissipador de calor caliente 1754 puede incluir un almacenamiento de energía térmica de lecho empacado, que puede estar formado por medios de almacenamiento sólidos. Durante la fase de carga, un fluido de trabajo a alta temperatura puede fluir a través del dissipador de calor caliente para entregar calor al material de almacenamiento en el dissipador de calor caliente 1754. El fluido de trabajo (ahora a una temperatura más baja) puede fluir del dissipador de calor caliente 1754 al expansor 1760. El expansor 1760 puede estar configurado para disminuir la presión del fluido de trabajo, disminuyendo así la temperatura del fluido de trabajo a través de un proceso de expansión adiabática. El expansor 1760 puede ser un expansor axial, un expansor radial, puede ser un expansor de una sola etapa o un expansor de múltiples etapas. El expansor 1760 puede tener una eficiencia politrópica de entre aproximadamente 0,8 y aproximadamente 0,95.

A lo largo del lado de baja temperatura/baja presión, el potenciador de calor 1758 puede estar posicionado aguas abajo del expansor 1760. El componente de rechazo de calor 1770 puede estar posicionado aguas abajo del refuerzo de calor 1758. El compresor 1752 puede estar posicionado aguas abajo del componente de rechazo de

calor 1770. El fluido de trabajo puede salir del expansor 1760 (a una presión y temperatura ahora más bajas) y proceder al potenciador de calor 1758. El potenciador de calor 1758 puede configurarse para precalentar el fluido de trabajo antes de entrar en el compresor 1752. El fluido de trabajo (ahora a una temperatura más alta) puede proceder al componente de rechazo de calor ambiente 1770. El componente de rechazo de calor ambiental 1770 puede ser utilizado como un medio de seguridad del sistema. Desde el componente de rechazo de calor ambiental 1770, el fluido de trabajo puede fluir hacia el compresor 1752.

La Figura 18 ilustra un esquema de carga para TESS 1850 (no es una modalidad de la invención). TESS 1850 puede ser similar a TESS 1750 ilustrado arriba junto con la Figura 17B. La Figura 18 puede ilustrar un esquema de carga correspondiente al esquema de descarga ilustrado en la Figura 17A. TESS 1850 puede incluir además un potenciador de calor 1804. El potenciador de calor 1804 puede ser añadido al lado de alta temperatura/alta presión. Por ejemplo, como se ilustra, el refuerzo de calor 1804 puede estar posicionado aguas abajo del compresor 1752 y aguas arriba del disipador de calor caliente 1754. Tal configuración ayuda a aumentar la temperatura máxima de TESS 1850, lo que puede aumentar directamente la eficiencia del ciclo de carga y descarga de TESS 1850 sin aumentar la relación de presión del compresor 1752. Como tal, TESS 1850 puede operar a el mismo nivel de presión máxima, pero a una temperatura mucho más alta. Esto también puede resultar en ahorros de costos en el diseño del compresor 1752.

La Figura 19 ilustra un esquema de TESS 1900 para la generación, almacenamiento, carga y descarga de energía térmica (no es una modalidad de la invención). TESS 1900 puede incluir compresor 1902, expansor 1904, alternador 1906, compresor 1908 y expansor 1909, todos unidos por el eje de transmisión de un solo turbo 1901. En la Figura 19, el eje de accionamiento del tren turbo simple 1901 es un accionamiento del tren turbo de doble propósito que realiza funciones tanto de carga como de descarga.

La Figura 20 ilustra un esquema de TESS 2000 para la generación, almacenamiento, carga y descarga de energía térmica (no es una modalidad de la invención). TESS 2000 puede incluir el compresor 2002, el ciclo de reaprovechamiento 2004, el disipador de calor alto 2006, el expansor 2010, el componente de rechazo de calor 2012, el depósito 2008, otro ciclo de reaprovechamiento 2016, el tren de turbo único 2001 y una o más válvulas 2020₁-2020₄ (generalmente "válvula 2020"). Además, aunque no se muestra, TESS 2000 puede incluir un eje que conecta compresor, expansor y alternador.

El tren turbo de 2001 puede ser un accionamiento del tren turbo de doble propósito que realiza funciones tanto de carga como de descarga. Por ejemplo, TESS 2000 puede utilizar el mismo compresor (es decir, compresor 2002) y el mismo expansor (es decir, expansor 2010) para las fases de carga y descarga. Esto es porque TESS 2000 puede no realizar operaciones de carga y operaciones de descarga al mismo tiempo. La dirección del flujo a través de TESS 2000 puede ser controlada por una o más válvulas 2020. Por ejemplo, la primera válvula 2020₁ puede estar posicionada entre el compresor 2002 y el disipador de calor caliente 2006; la segunda válvula 2020₂ puede estar posicionada en una unión entre el disipador de calor caliente 2006, el ciclo de reaprovechamiento 2004 y el expansor 2010; la tercera válvula 2020₃ puede estar posicionada entre el expansor 2010 y el depósito 2008; y la cuarta válvula 2020₄ puede estar posicionada en una unión entre el depósito 2008, el ciclo de reaprovechamiento 2016, y el componente de rechazo de calor 2012. Como se ilustra, hay dos caminos a través de TESS 2000. Un primer camino (representado por una línea discontinua) ilustra un camino de fase de carga. Un segundo camino (representado por una línea discontinua) ilustra una fase de descarga. Un tercer camino (representado por la línea sólida) ilustra un camino común tanto para las fases de carga como de descarga.

Siguiendo el camino de la fase de carga, un fluido de trabajo puede ser introducido en el compresor 2002. Los fluidos de trabajo ejemplares pueden incluir, pero no están limitados a, Ar, N₂, CO₂, aire, mezclas de helio, y similares. El compresor 2002 puede estar configurado para presurizar y calentar el fluido de trabajo que se introduce en TESS 2000 a través de un proceso de compresión adiabática. El disipador de calor caliente 2006 puede estar posicionado aguas abajo del compresor 2002. El disipador de calor caliente 2006 puede incluir un almacenamiento de energía térmica en lecho empacado, que puede estar formado por medios de almacenamiento sólidos. Durante la fase de carga, un fluido de trabajo a alta temperatura puede fluir a través del disipador de calor caliente para entregar calor al material de almacenamiento en el disipador de calor caliente 2006. El fluido de trabajo puede ir del disipador de calor caliente 2006 al expansor 2010 posicionado aguas abajo del disipador de calor caliente 2006, después de pasar por el ciclo de reaprovechamiento 2004. El ciclo de reaprovechamiento 2004 puede ser utilizado para mejorar la eficiencia del ciclo de carga y descarga general. El ciclo de reaprovechamiento 2004 puede incluir Rankine, Rankine orgánico, SCO₂, y similares. El expansor 2006 puede ser configurado para disminuir la presión del fluido de trabajo, disminuyendo así la temperatura del fluido de trabajo mediante un proceso de expansión adiabática. El expansor 2006 puede ser un expansor axial, un expansor radial, puede ser un expansor de una sola etapa o un expansor de múltiples etapas. El fluido de trabajo puede salir del expansor 2006 y proceder al depósito 2008.

El depósito 2008 puede incluir un almacenamiento de energía térmica de lecho empacado formado por medios de almacenamiento sólidos. Los medios de almacenamiento sólido ejemplares pueden incluir guijarros, grava, rocas, cerámica de óxido de aluminio, cerámica de panal de cordierita, cerámica de panal de cordierita densa y similares. Durante la fase de carga, un fluido de trabajo a menor temperatura puede fluir a través del depósito 2008 y se calienta a medida que avanza. El fluido de trabajo (ahora a una temperatura más alta) puede proceder al ciclo de reaprovechamiento 2016. El ciclo de reaprovechamiento 2016 puede ser utilizado para mejorar la eficiencia del ciclo de carga y descarga general. El ciclo de reaprovechamiento 2016 puede incluir Rankine, Rankine Orgánico, SCO₂ y similares. A partir del ciclo de reaprovechamiento 2016, el fluido de trabajo puede proceder al componente de

rechazo de calor 2012. El componente de rechazo de calor 2012 está configurado para proteger TESS 2000 durante el procesamiento. El fluido de trabajo puede ser devuelto al compresor 2002.

5 Siguiendo el camino de la fase de descarga, el fluido de trabajo puede salir del compresor 2002 y dirigirse al disipador de calor caliente 2006. Del disipador de calor caliente 2006, el fluido de trabajo puede proceder al expansor 2010. El expansor 2010 puede estar configurado para disminuir la presión del fluido de trabajo, disminuyendo así la temperatura del fluido de trabajo a través de un proceso de expansión adiabática. El fluido de trabajo puede entonces proceder del expansor 2010 al depósito 2008. Durante la fase de descarga, el fluido de trabajo (a una temperatura inicial) puede fluir a través del depósito 2008 y proceder al compresor 2002, mientras
10 pasa por el componente de rechazo de calor 2012.

La Figura 21 ilustra un esquema de TESS 2100 para la generación, almacenamiento, carga y descarga de energía térmica (no es una modalidad de la invención). TESS 2100 puede ser similar a TESS 2000 discutido anteriormente junto con la Figura 20. TESS 2100 puede incluir además un calentador adicional 2104, un recuperador 2106 y una o
15 más válvulas 2102₁-2102₉.

Como se ilustra, hay dos caminos a través de TESS 2100. Un primer camino (representado por una línea discontinua) ilustra un camino de fase de carga. Un segundo camino (representado por una línea discontinua) ilustra una fase de descarga. Un tercer camino (representado por la línea sólida) ilustra un camino común para ambas
20 fases de carga y descarga.

Siguiendo el camino de la fase de carga, un fluido de trabajo puede fluir desde el compresor 2002 al potenciador de calor 2104 a través de la válvula 2102₁. El calentador de calor 2104 puede estar configurado para elevar la temperatura del fluido de trabajo recibido del compresor 2002. El fluido de trabajo puede fluir desde el potenciador de calor 2104 hasta el disipador de calor caliente 2006. Desde el disipador de calor caliente 2006, el fluido de trabajo
25 puede fluir hacia el recuperador 2106 a través de la válvula 2102₆ y la válvula 2102₇. Desde el recuperador 2106, el fluido de trabajo puede fluir hacia el ciclo de reaprovechamiento 2004 a través de la válvula 2102₉. El fluido de trabajo puede entonces proceder del ciclo de reaprovechamiento 2004 al expansor 2010 a través de la válvula 2102₂. Desde el expansor 2010, el fluido de trabajo puede proceder al depósito 2008 a través de la válvula 2102₃. El
30 fluido de trabajo puede luego regresar al recuperador 2106 a través de la válvula 2102₈. El fluido de trabajo puede entonces proceder del recuperador 2106 al ciclo de reaprovechamiento 2016 a través de la válvula 2102₅. A partir del ciclo de reaprovechamiento 2016, el fluido de trabajo puede proceder al componente de rechazo de calor 2012 a través de la válvula 2102₄. En consecuencia, el fluido de trabajo regresa al compresor 2002 a través de los
35 componentes de rechazo de calor 2012.

Siguiendo el camino de la fase de descarga, el fluido de trabajo puede fluir desde el compresor 2002 hacia el recuperador 2106 a través de la válvula 2102₅. Desde el recuperador 2106, el fluido de trabajo puede proceder al disipador de calor caliente 2006 a través de las válvulas 2102₆ y 2102₈. Del disipador de calor caliente 2006, el fluido
40 de trabajo puede proceder al expansor 2010 a través de la válvula 2102₂. El fluido de trabajo puede luego proceder del expansor 2010 de regreso al recuperador 2106 a través de la válvula 2102₉. Desde el recuperador 2106, el fluido de trabajo puede fluir al depósito 2008 a través de la válvula 2102₇. Desde el depósito 2008, el fluido de trabajo puede proceder al componente de rechazo de calor 2012 a través de la válvula 2102₄. El fluido de trabajo puede regresar entonces al compresor 2002.

45 En general, cada TESS descrito anteriormente puede ayudar a mejorar la generación de energía, por ejemplo, al suavizar la entrega de energía de la generación renovable y proporcionar una opción para diferir el costo de distribución de la red al suministrar una opción de energía distribuida para regiones congestionadas y aplicaciones detrás del medidor. La configuración de cada TESS puede proporcionar un alto nivel de fiabilidad y eficiencia de
50 costos que puede permitir el uso del sistema en una amplia gama de aplicaciones industriales y de servicios públicos. Además, los avances en el ciclo de turbo maquinaria y los materiales de disipación de calor también tienen el potencial de mejorar aún más la eficiencia general y suministrar una mayor rentabilidad. Actualmente existen prácticas de operación estándar para desplegar y operar el TESS 100 para ciclos diarios a lo largo de una larga vida útil (por ejemplo, alrededor de 25 años de vida útil del sistema).

55 Si bien la presente descripción se ha discutido en términos de ciertas modalidades, se debe apreciar que la presente descripción no está limitada de esa manera. Las modalidades se describen en la presente descripción a modo de ejemplo, y existen numerosas modificaciones, variaciones y otras modalidades que pueden ser empleadas y que seguirían estando dentro del alcance de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de almacenamiento de energía (1250; 1450), que comprende:
 5 un accionamiento del tren turbo (1162) en comunicación mecánica con un compresor (1152) y un expansor (1160);
 un disipador de calor caliente (1154) en comunicación térmica entre una salida del compresor (1152) y una entrada del expansor (1160); y
 un depósito (1158) en comunicación térmica entre una salida del expansor (1160) y una entrada del compresor (1152),
 10 en donde el compresor (1152) y el expansor (1160), a través del accionamiento del tren turbo (1162), son operables entre una función de carga para cargar el disipador de calor caliente (1154) y una función de descarga para descargar el disipador de calor caliente (1154),
 caracterizado por
 el sistema de almacenamiento de energía (1250; 1450) que comprende además:
 15 un primer ciclo de reaprovechamiento (1174) posicionado entre una salida del disipador de calor caliente (1154) y la entrada del expansor (1160); y
 un segundo ciclo de reaprovechamiento (1204; 1404) posicionado entre una salida del depósito (1158) y la entrada del compresor (1152).
- 20 2. El sistema de almacenamiento de energía (1250; 1450) de la reivindicación 1, en donde:
 el compresor (1152), el disipador de calor caliente (1154) y el expansor (1160) definen una trayectoria de flujo de alta presión, y
 el expansor (1160), el depósito (1158) y el compresor (1152) definen una trayectoria de flujo de baja presión.
- 25 3. El sistema de almacenamiento de energía (1250; 1450) de la reivindicación 2, en donde el disipador de calor caliente (1154) está posicionado aguas abajo del compresor (1152) y aguas arriba del expansor (1160).
4. El sistema de almacenamiento de energía (1250; 1450) de la reivindicación 1, en donde:
 el compresor (1152), el disipador de calor caliente (1154) y el expansor (1160) definen una trayectoria de flujo de temperatura más alta, y
 30 el expansor (1160), el depósito (1158) y el compresor (1152) definen una trayectoria de flujo de temperatura más baja.
5. El sistema de almacenamiento de energía (1250; 1450) de la reivindicación 4, en donde el depósito (1158) está posicionado aguas abajo del expansor (1160) y aguas arriba del compresor (1152).
- 35 6. El sistema de almacenamiento de energía (1250; 1450) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende:
 un potenciador de calor (1304) posicionado entre la salida del compresor (1152) y la entrada del disipador de calor caliente (1154).
- 40 7. El sistema de almacenamiento de energía (1250; 1450) de la reivindicación 1, que comprende:
 un componente de rechazo de calor (1170) posicionado entre una salida del depósito (1158) y la entrada del compresor (1152).
- 45 8. El sistema de almacenamiento de energía (1250; 1450) de la reivindicación 1, que comprende:
 un accionamiento del tren turbo adicional en comunicación mecánica con el compresor (1152), el depósito (1158), el expansor (1160) y el disipador de calor caliente (1154), en donde el tren turbo adicional está dedicado a la función de descarga y el tren turbo está dedicado a la función de carga.
- 50 9. El sistema de almacenamiento de energía (1250; 1450) de la reivindicación 8, que comprende:
 un ciclo de reaprovechamiento en comunicación mecánica adicional con el tren de turbinas adicional (1162), el ciclo de reaprovechamiento posicionado en la salida del expansor (1160) y una entrada del depósito (1158).

55

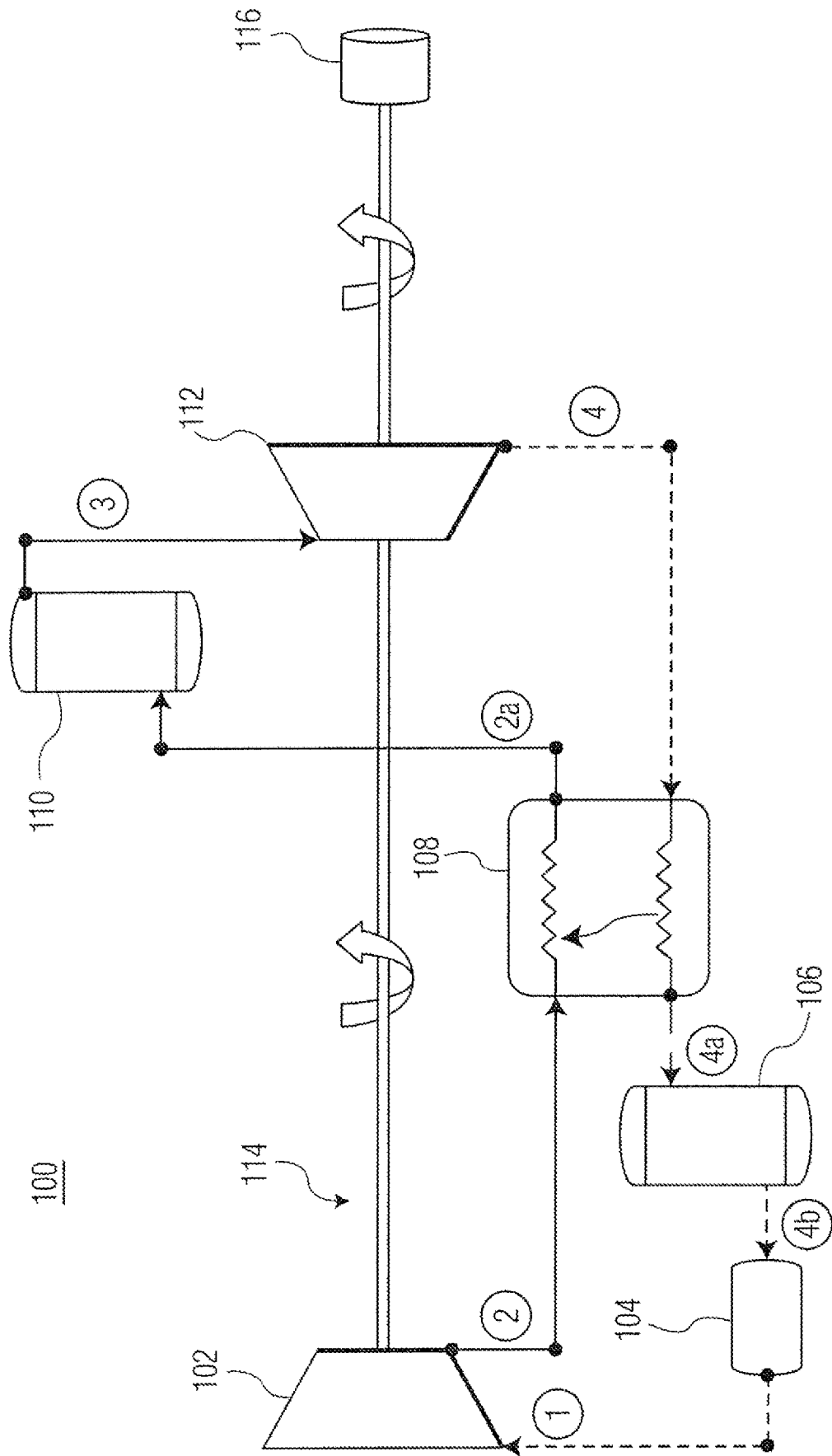


FIGURA 1A

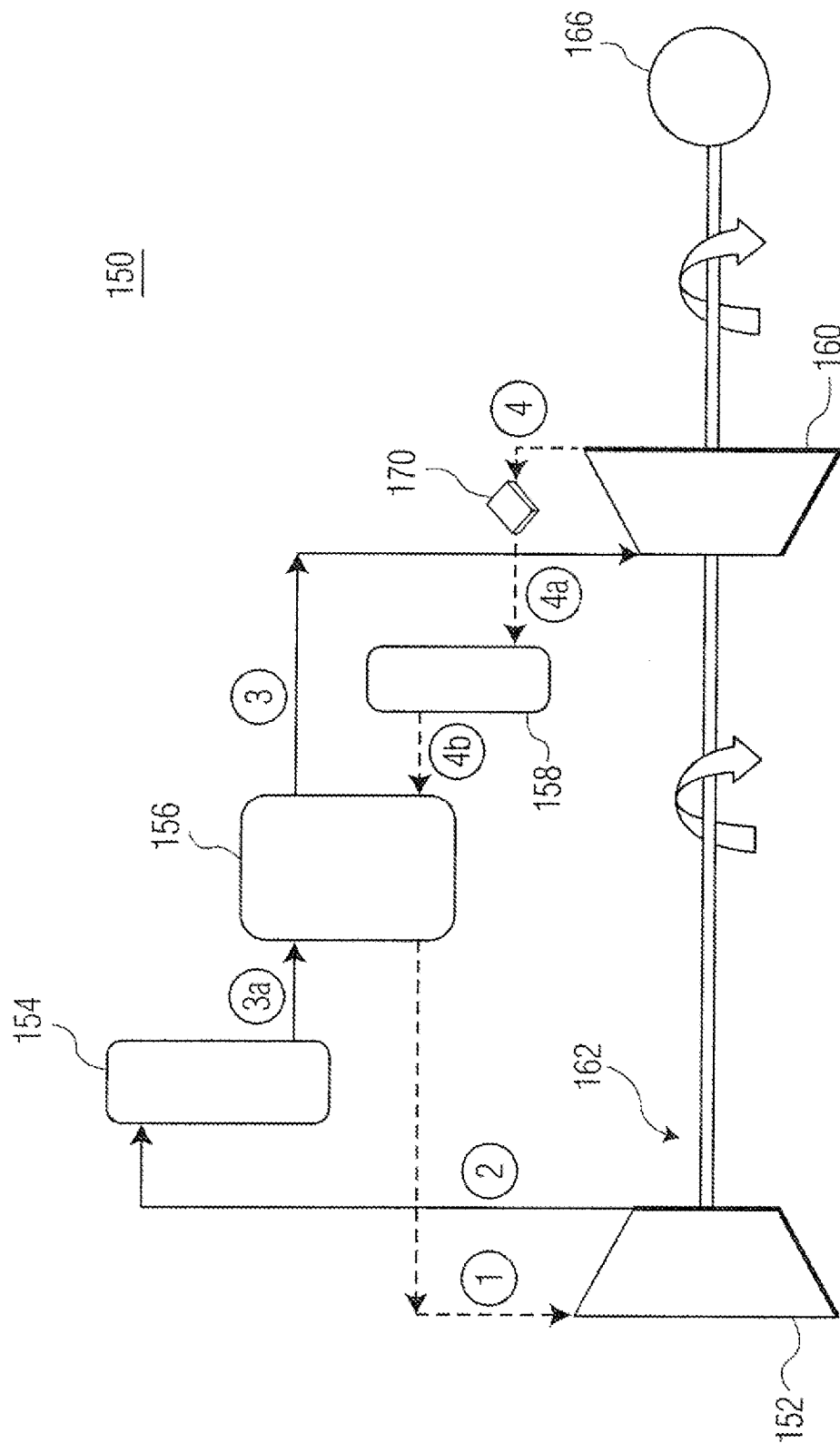


FIGURA 1B

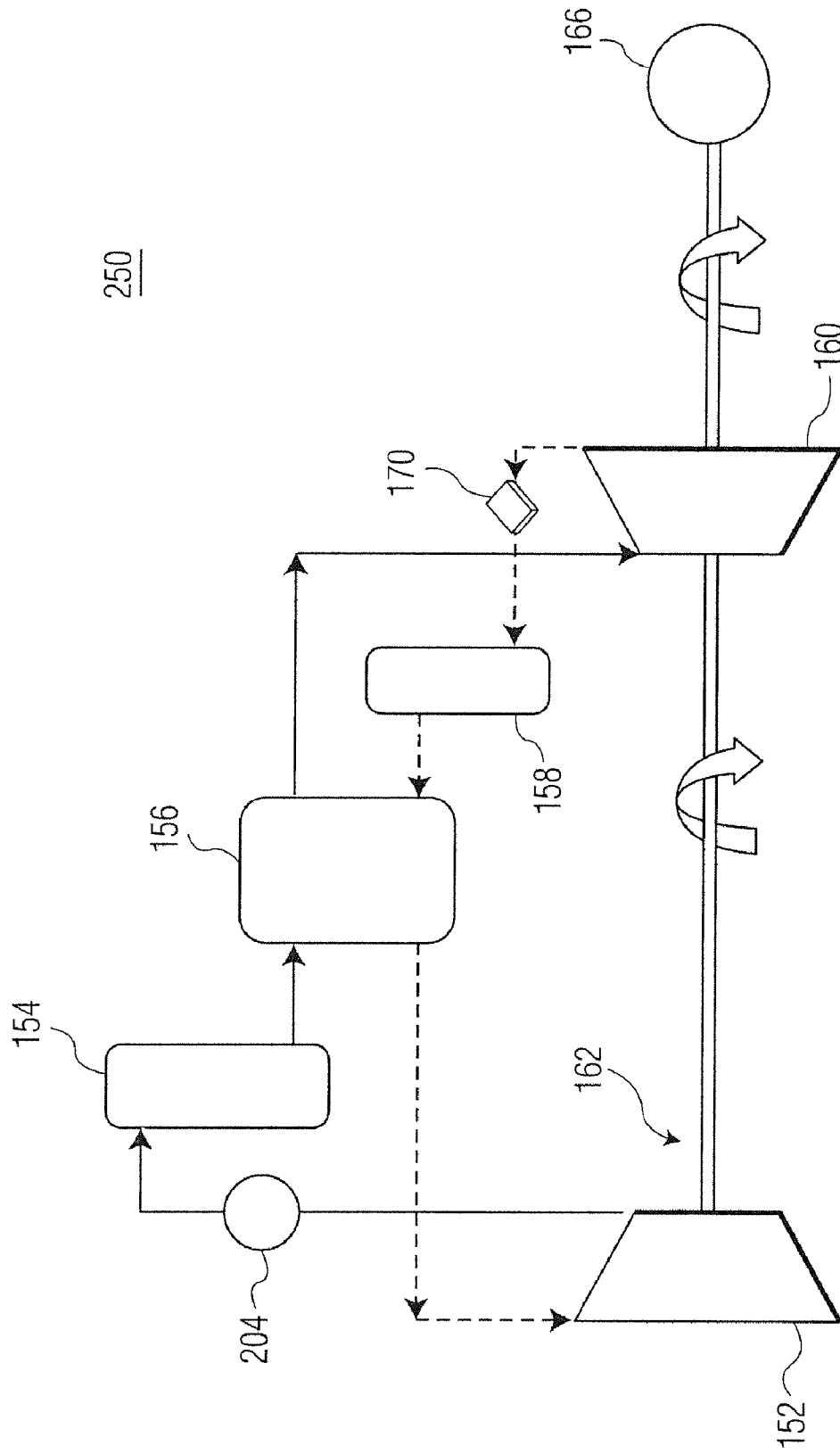


FIGURA 2

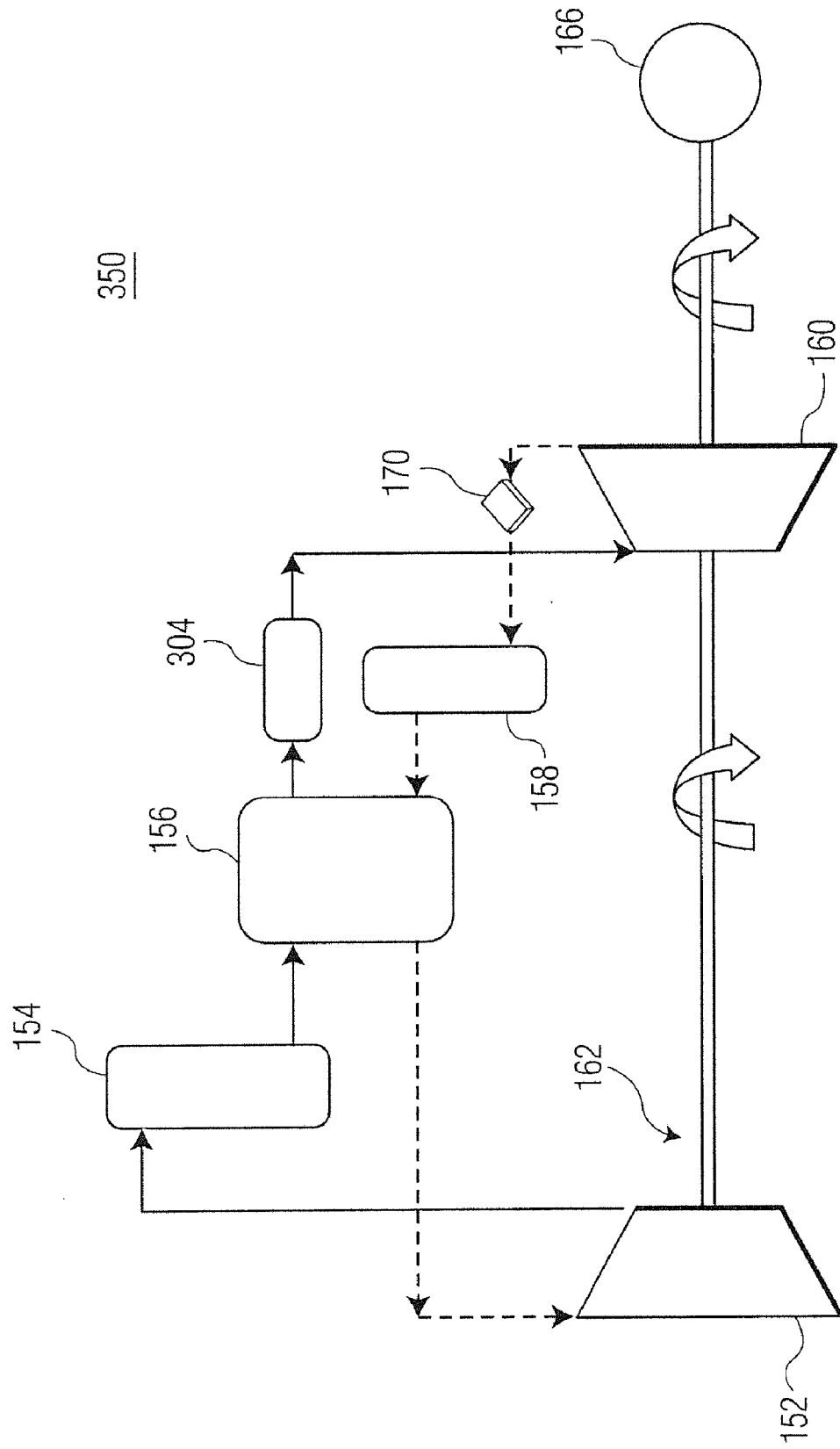


FIGURA 3

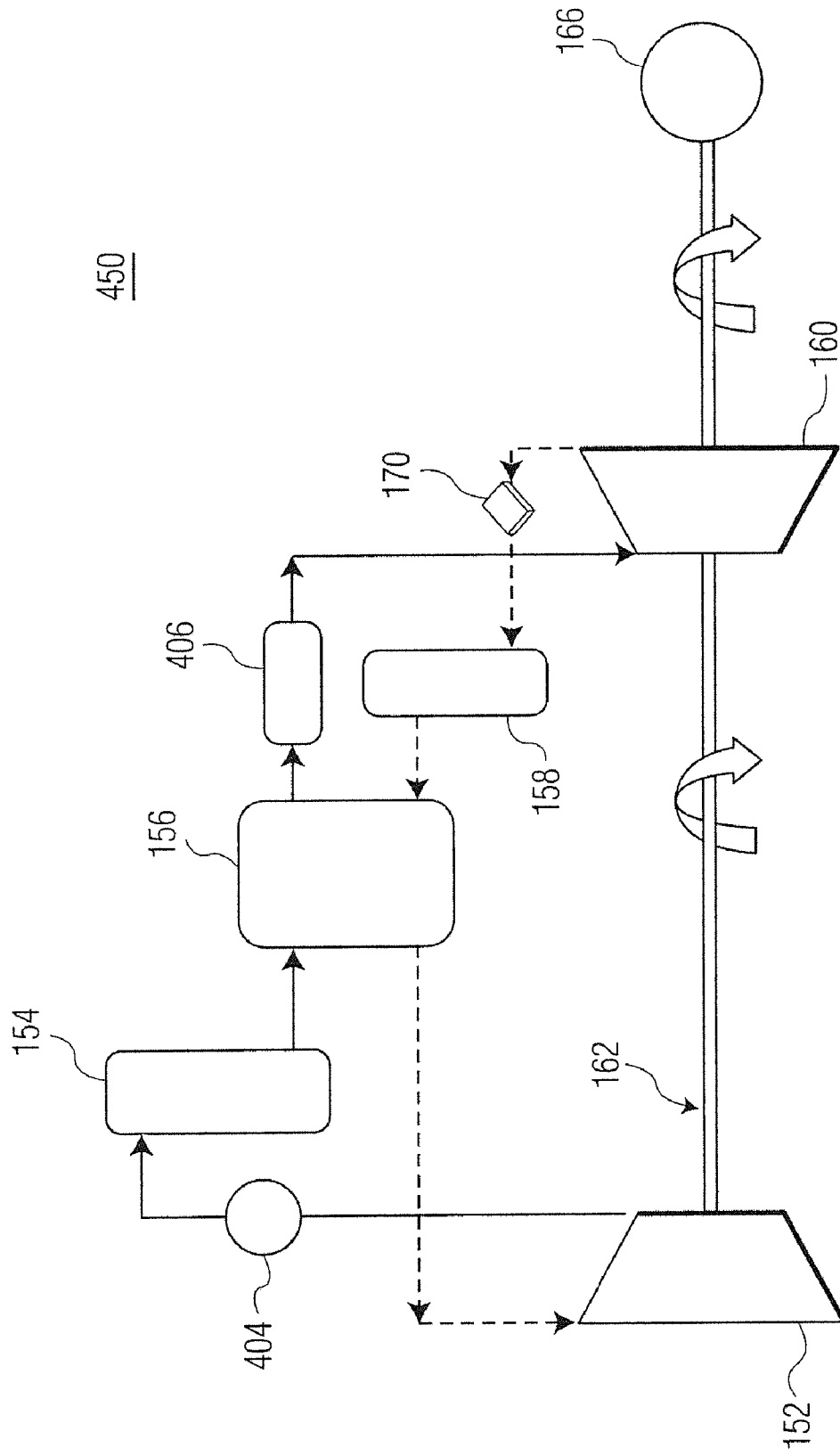


FIGURA 4

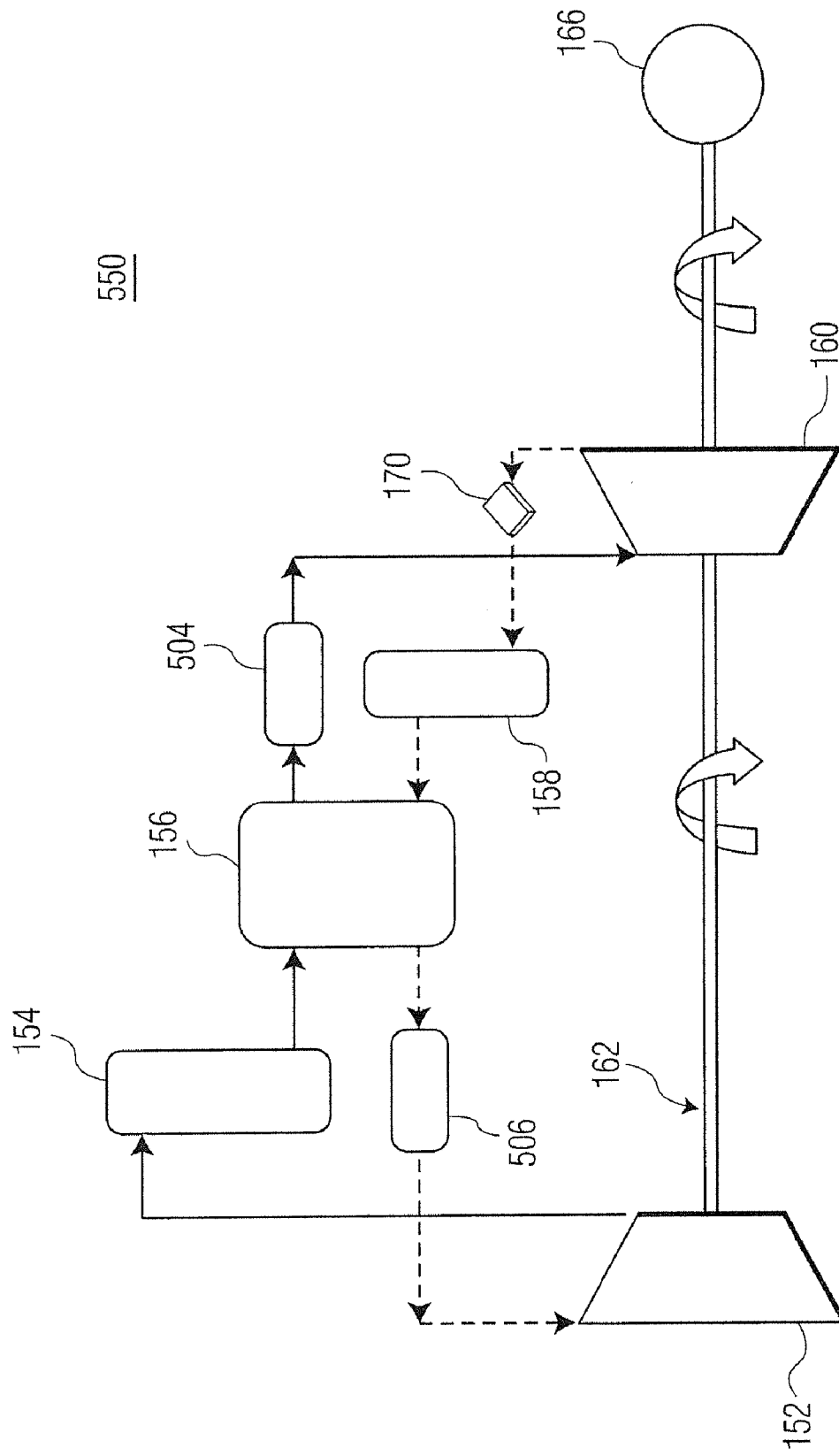


FIGURA 5

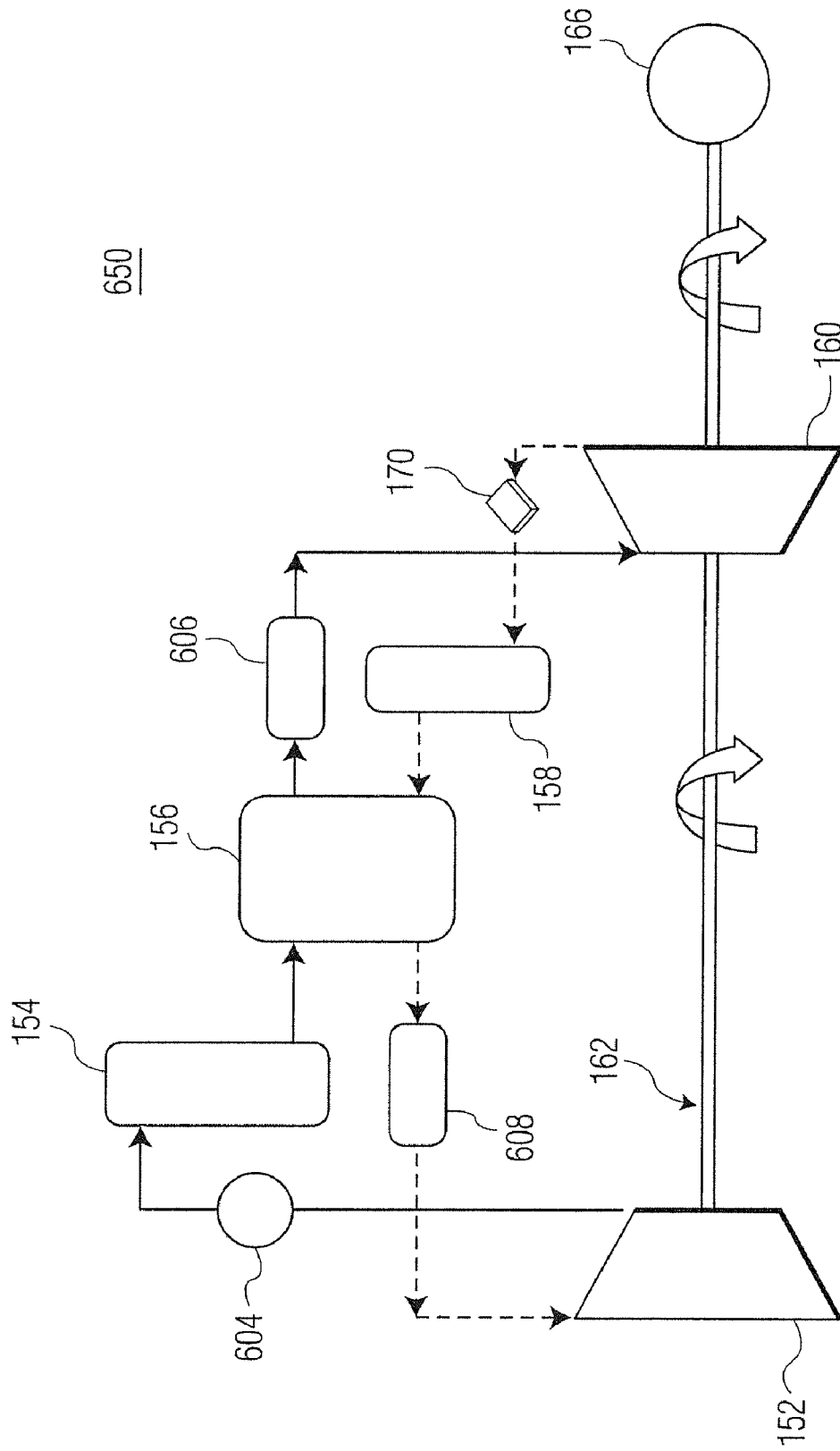


FIGURA 6

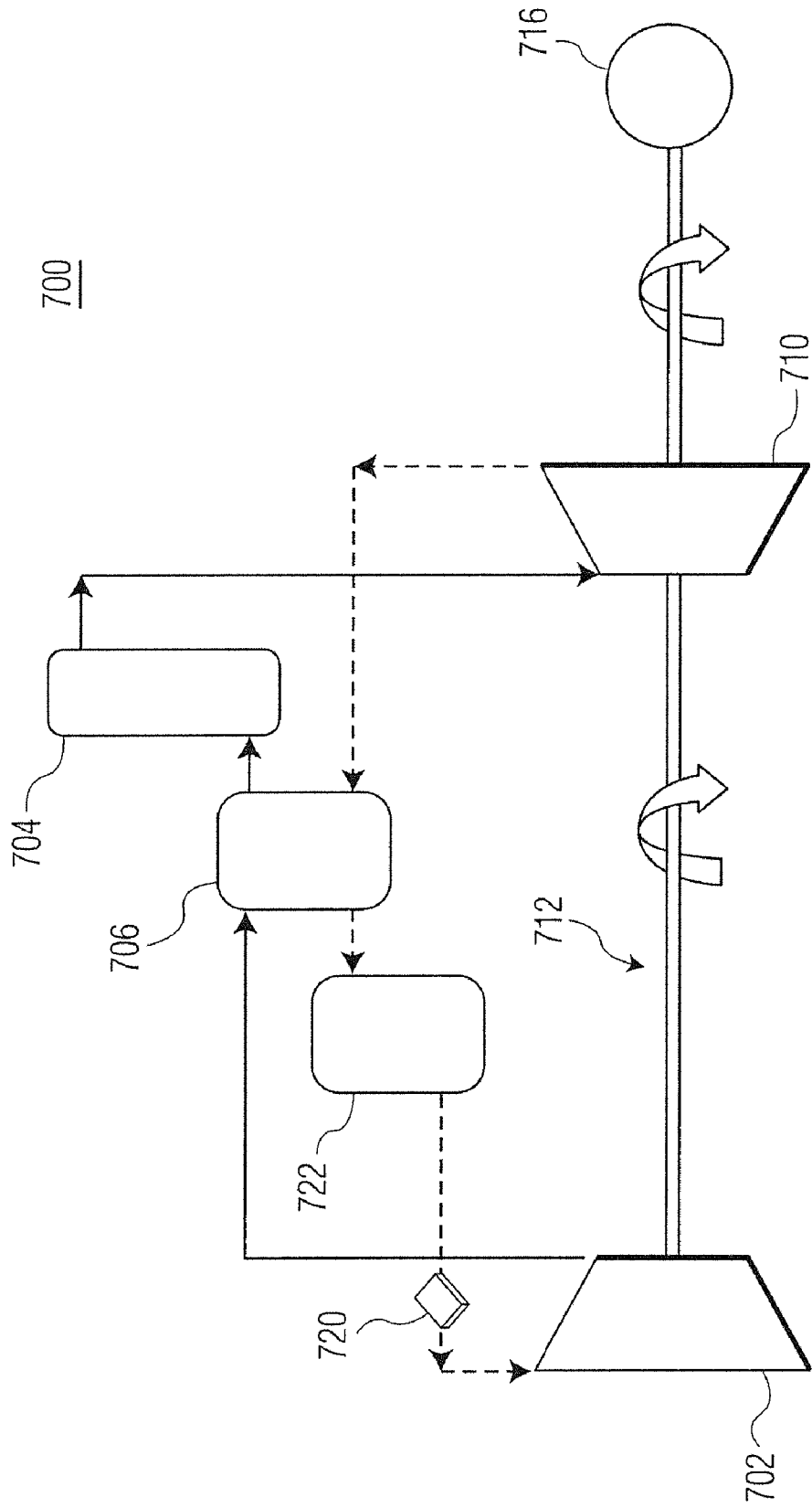


FIGURA 7A

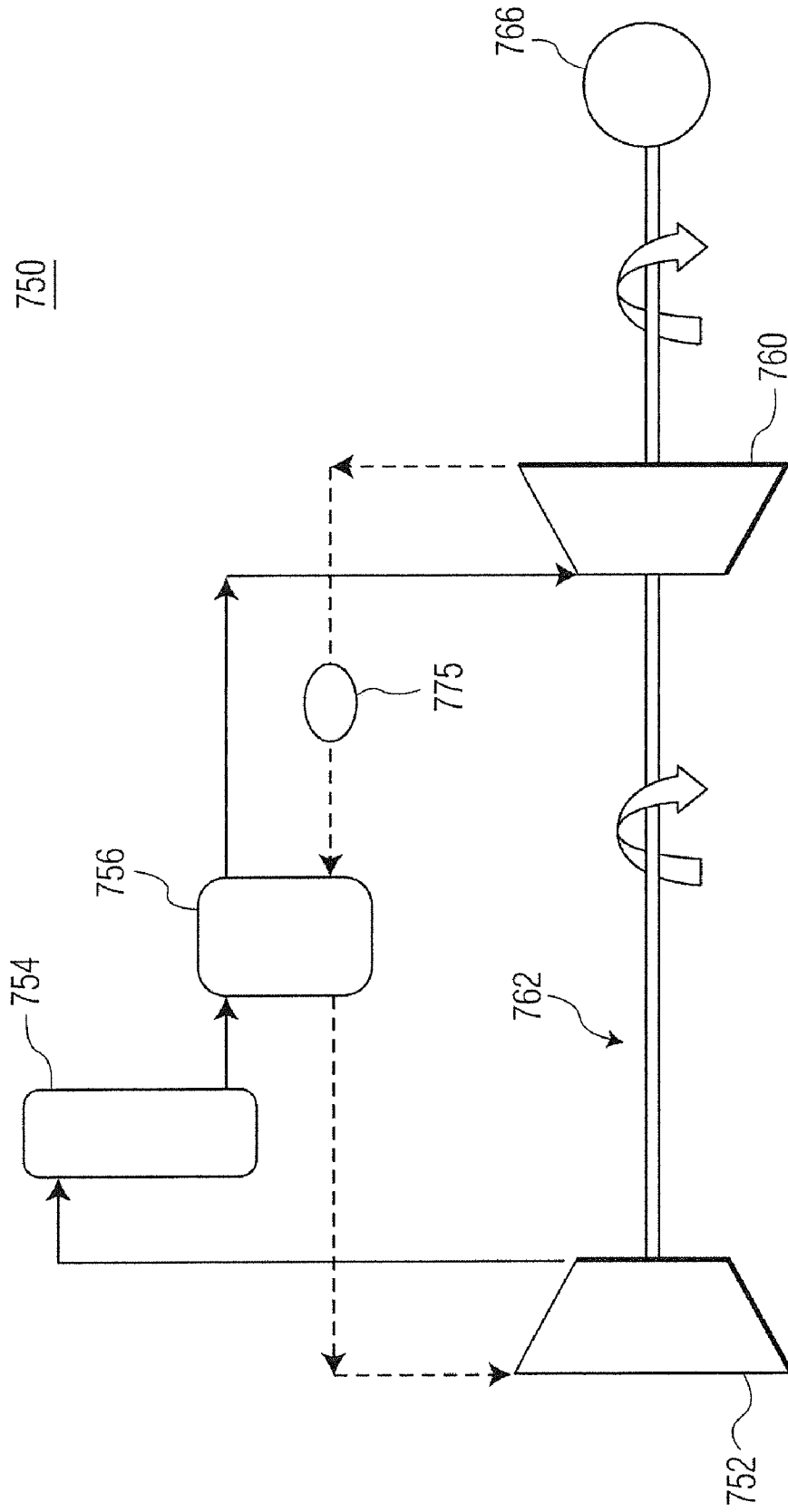


FIGURA 7B

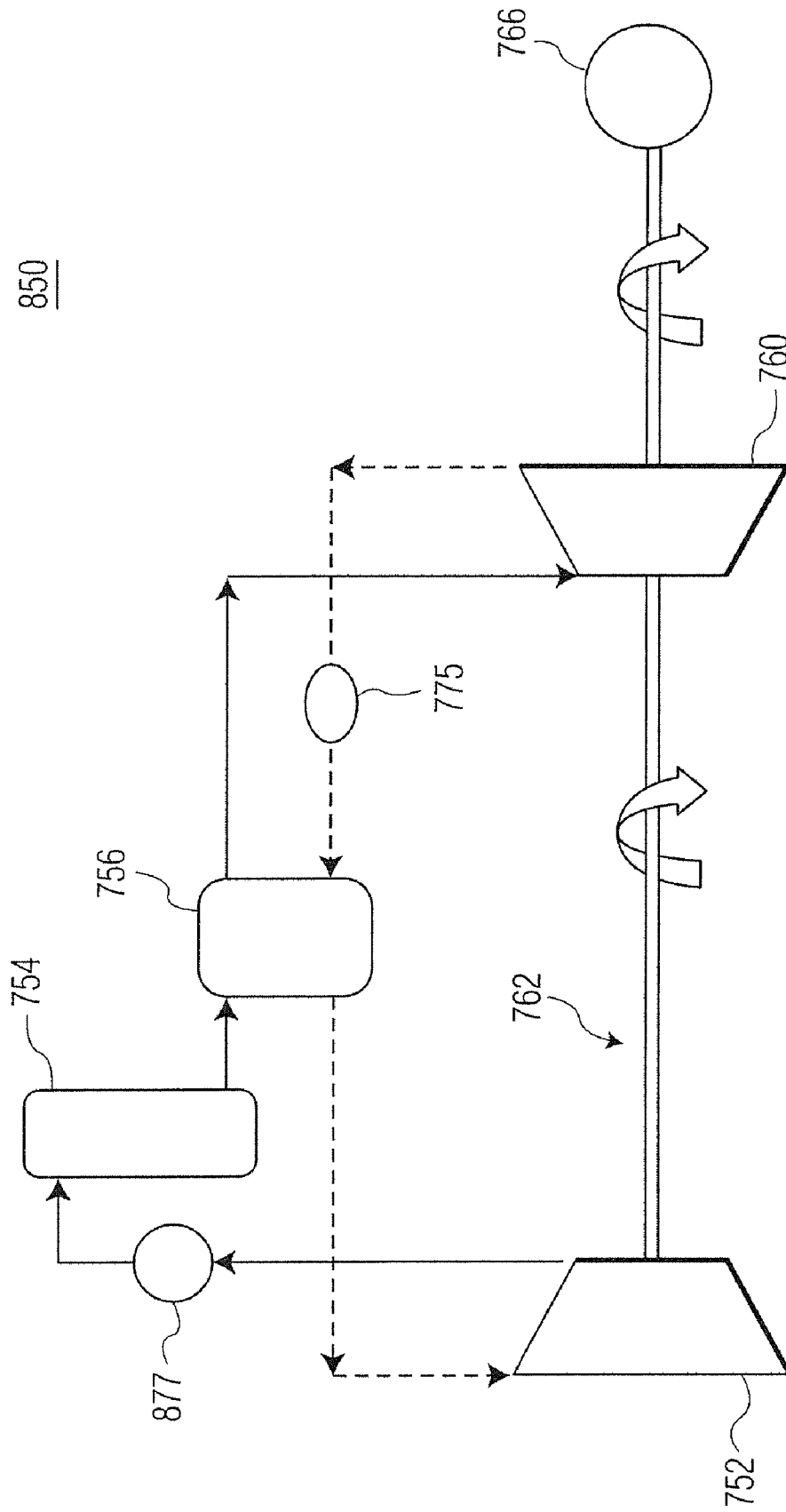


FIGURA 8

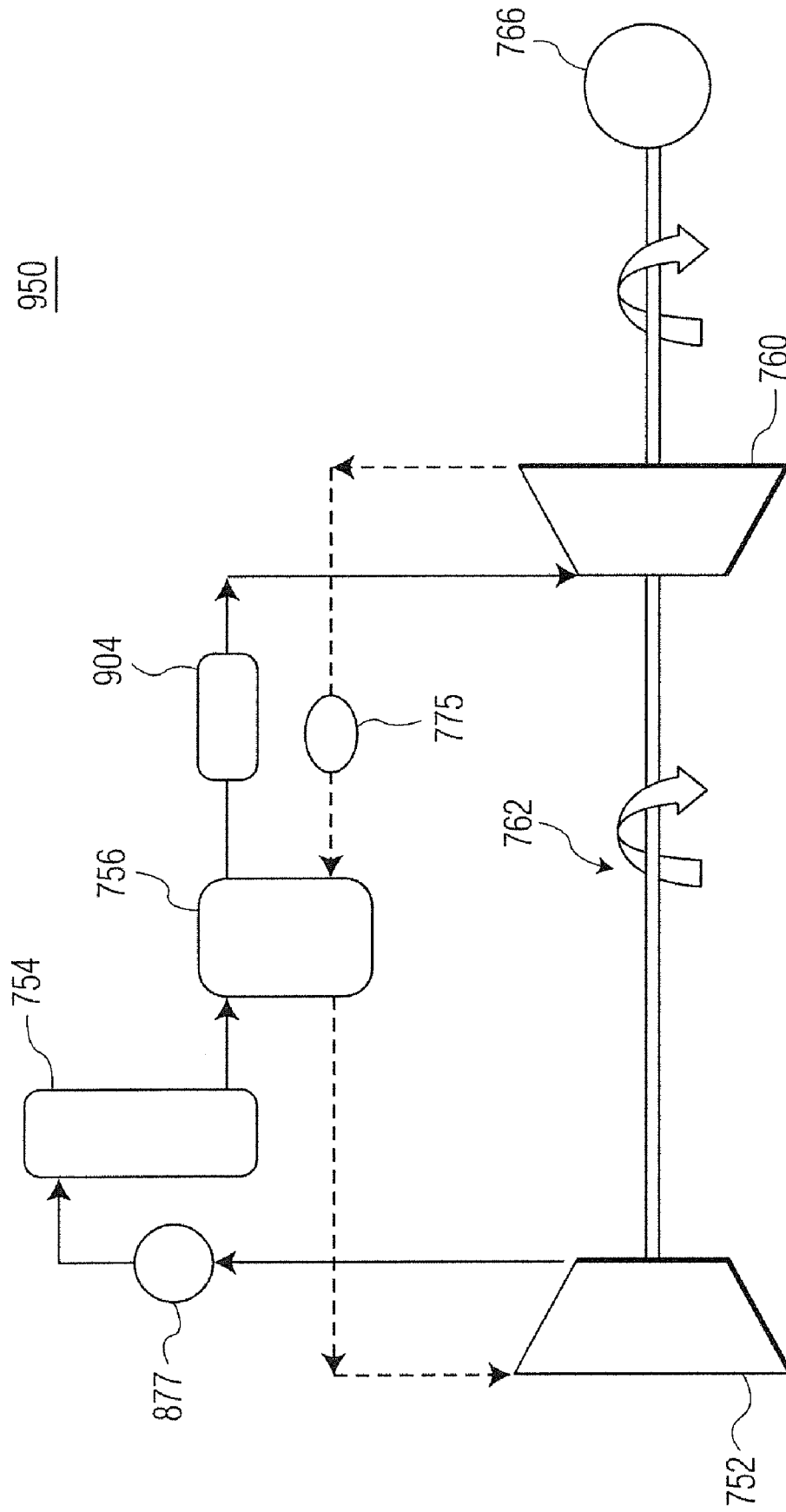


FIGURA 9

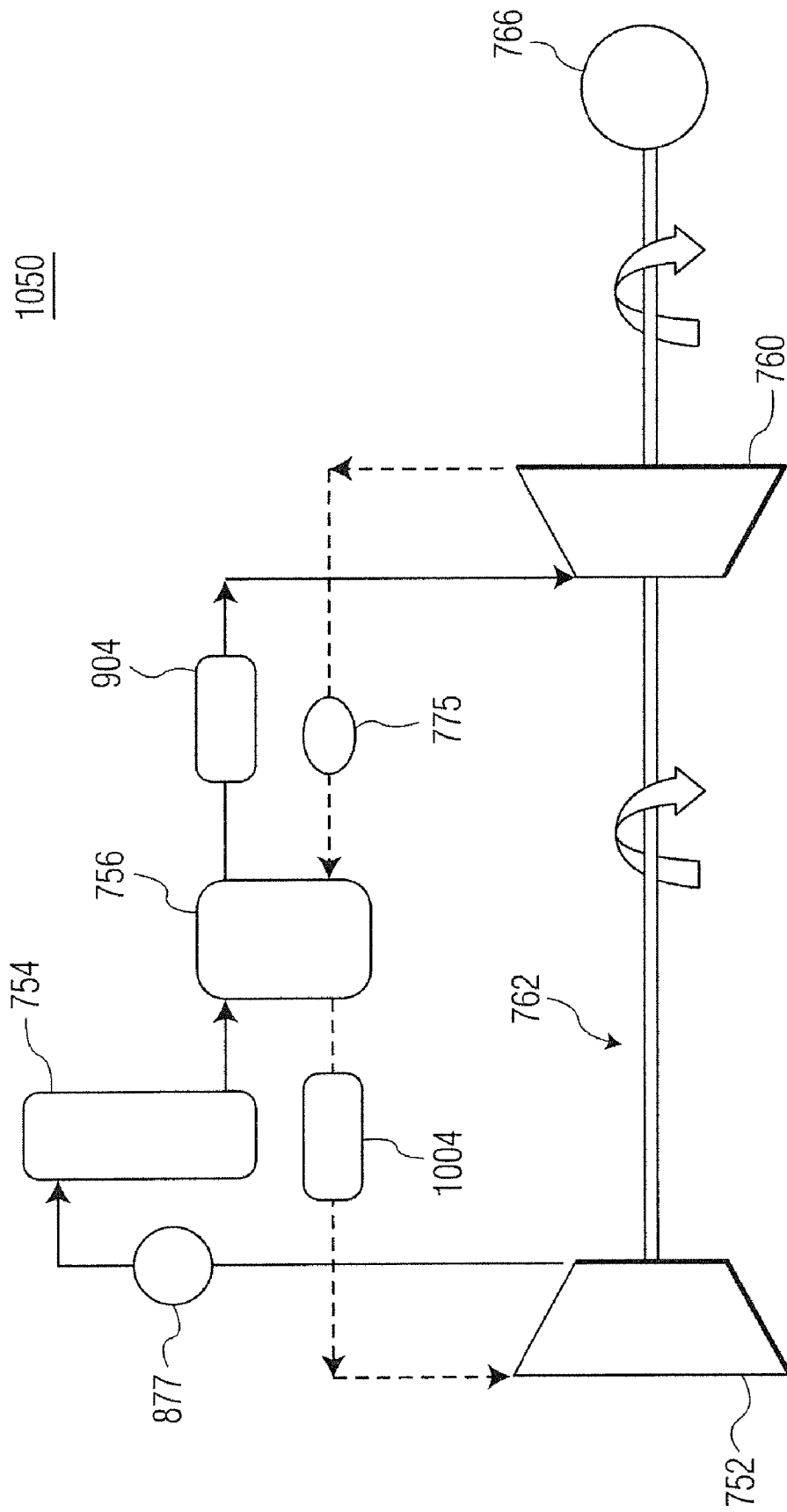


FIGURA 10

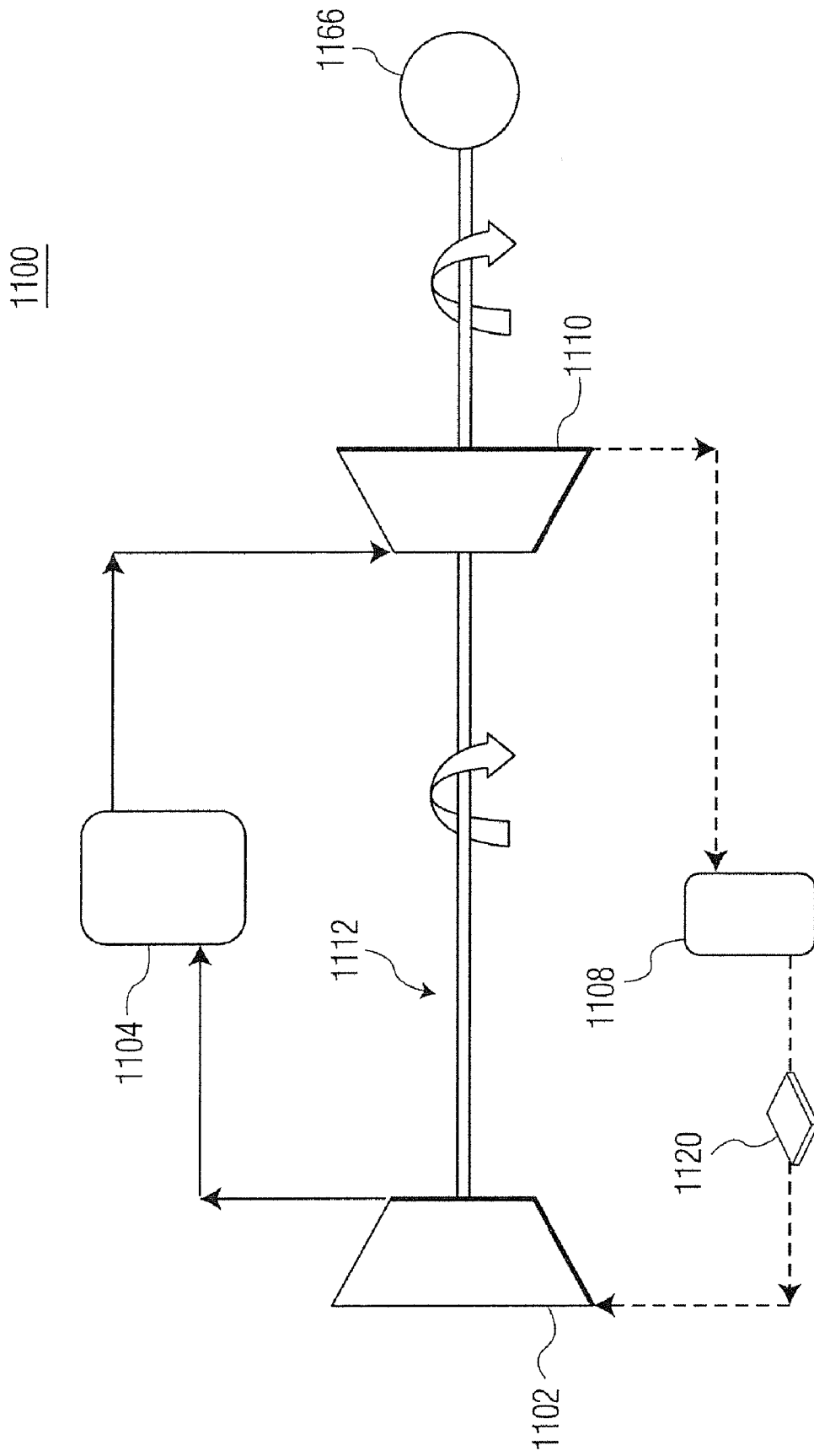


FIGURA 11A

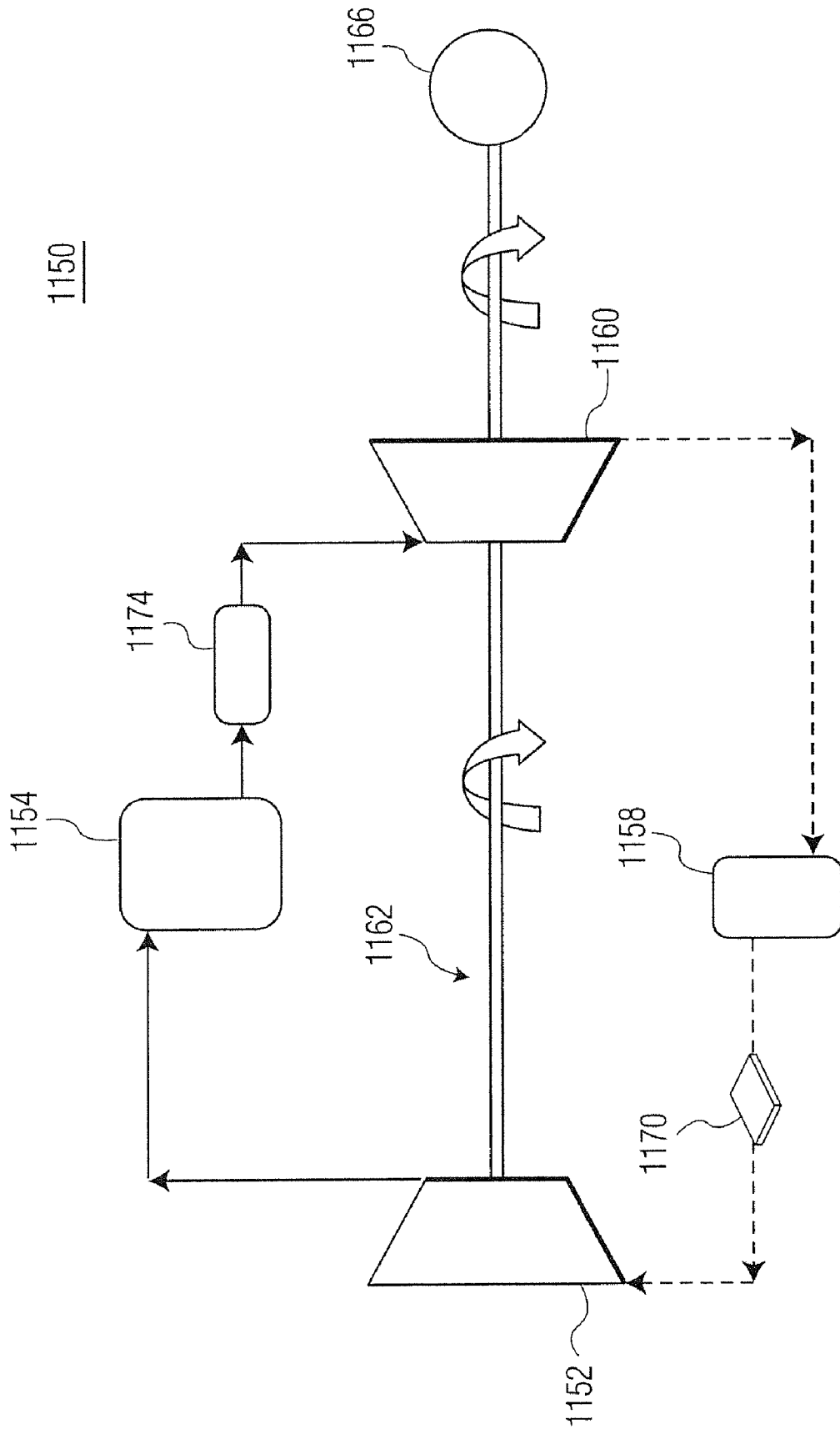


FIGURA 11B

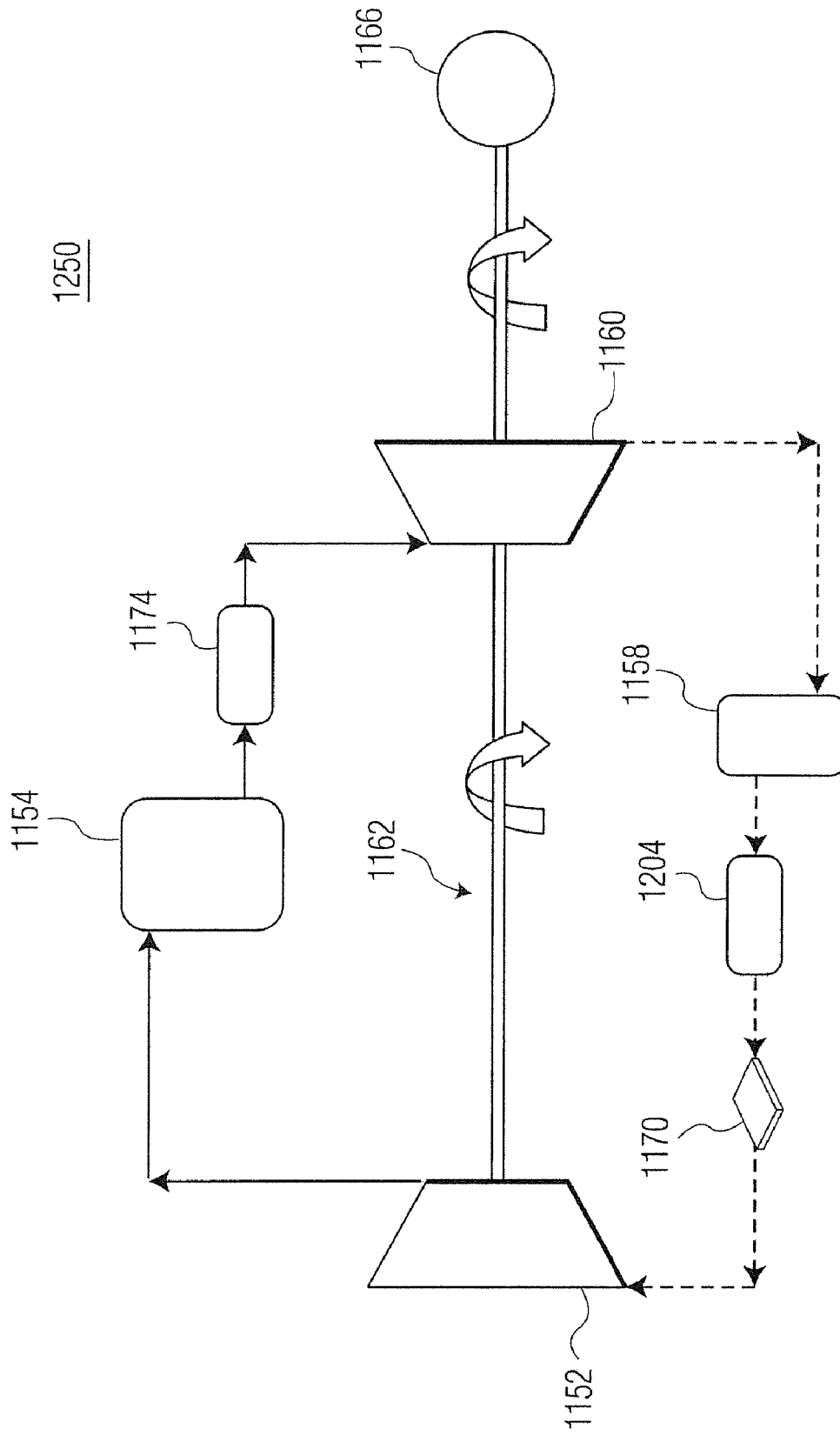


FIGURA 12

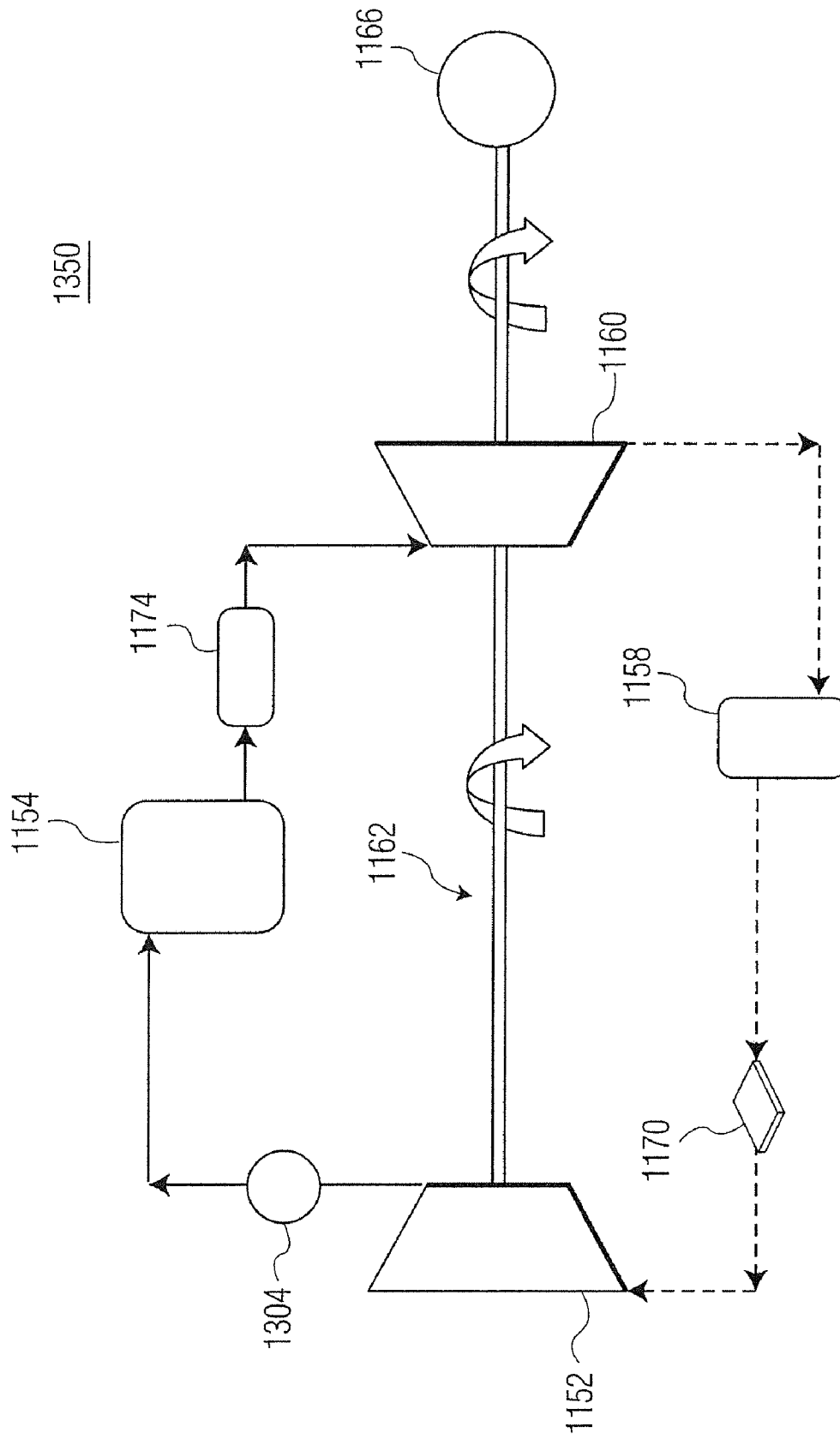


FIGURA 13

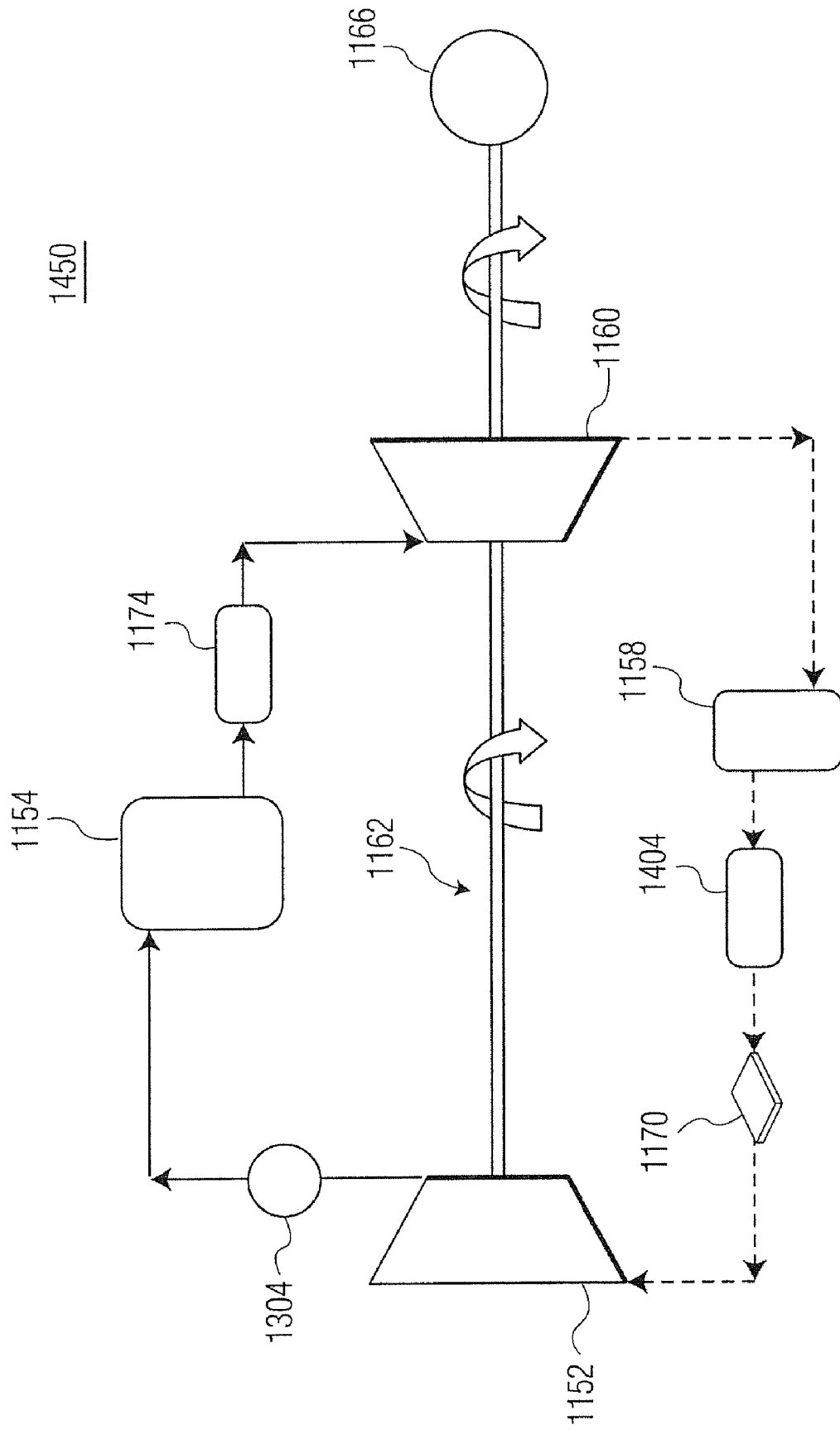


FIGURA 14

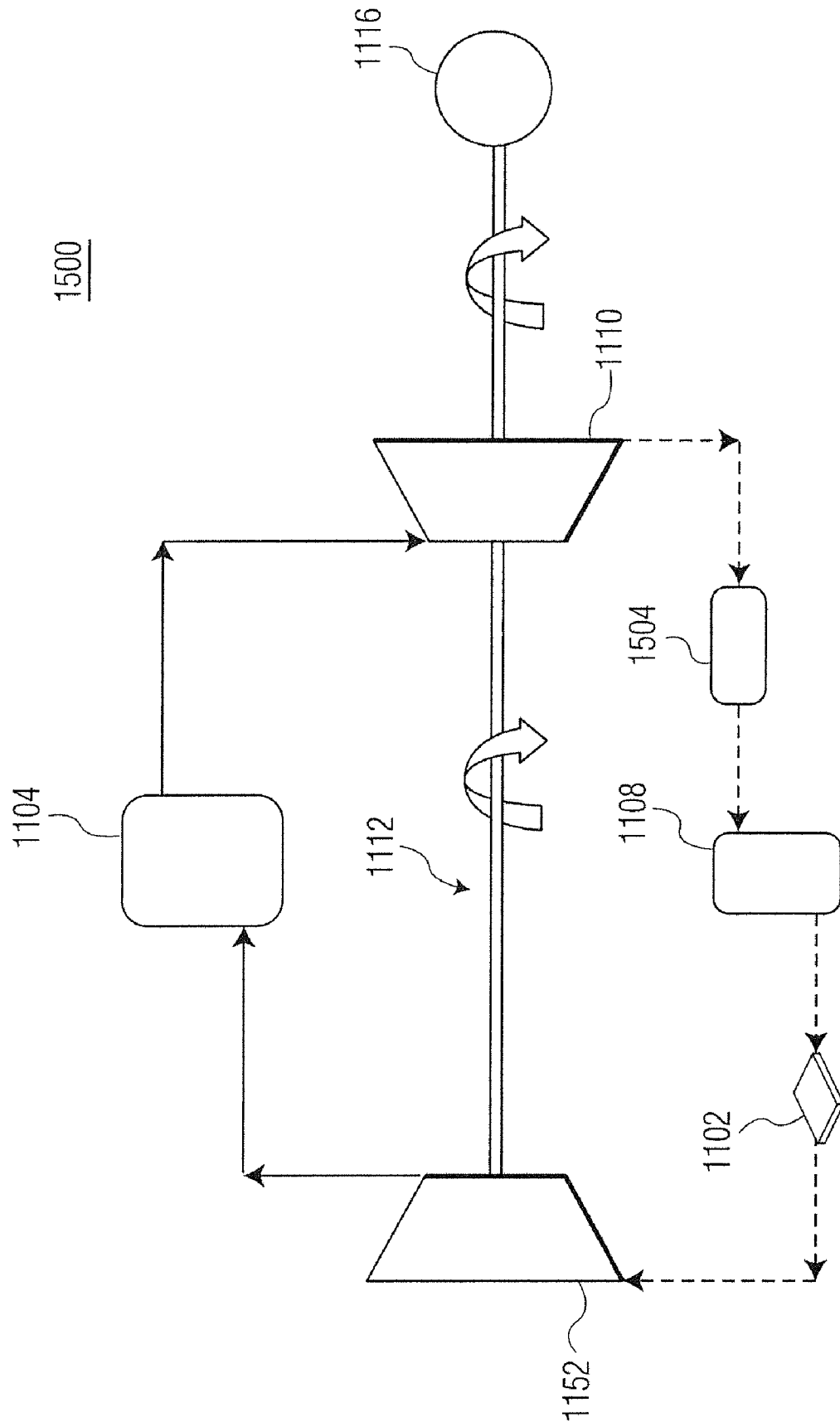


FIGURA 15

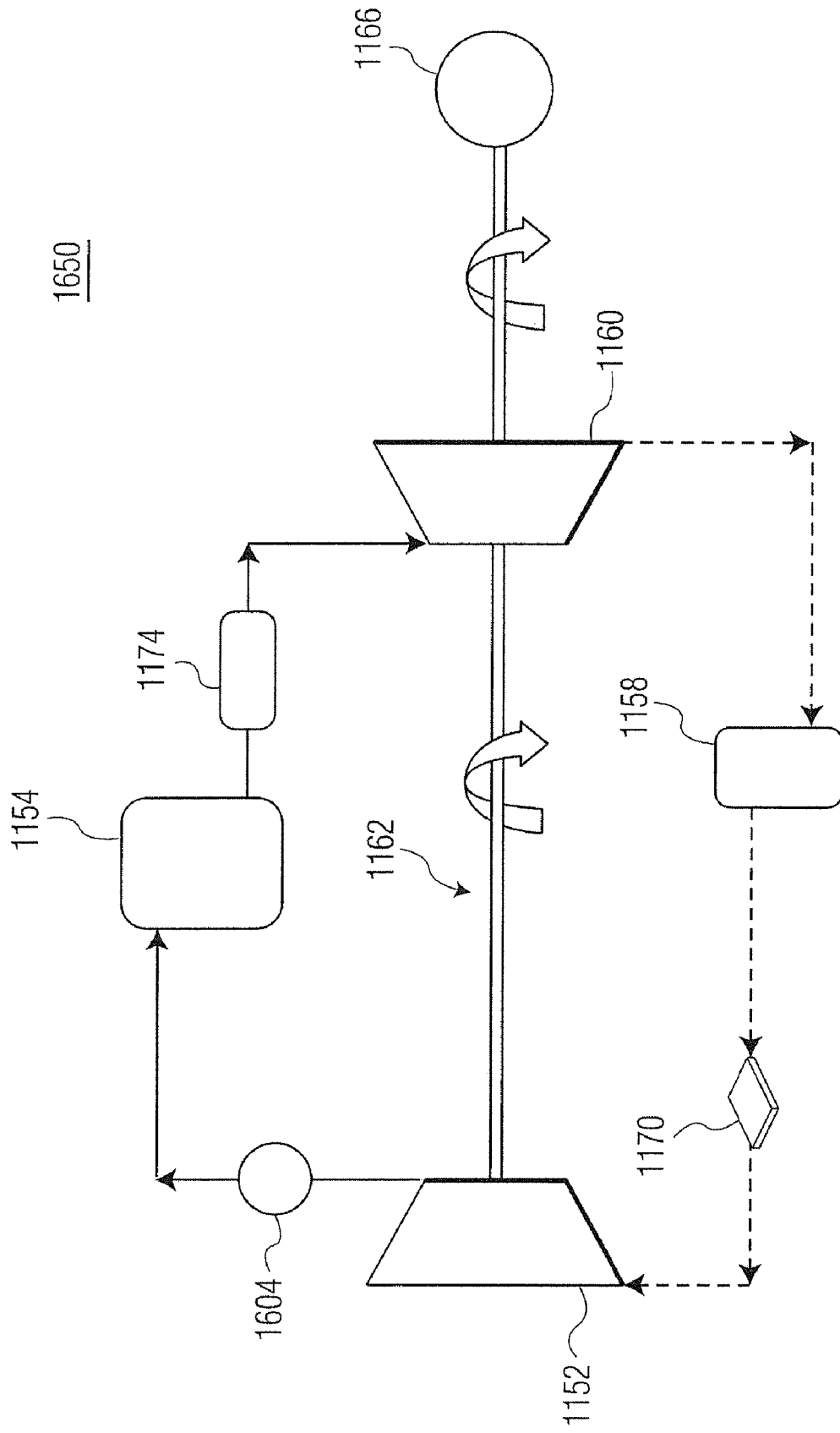


FIGURA 16

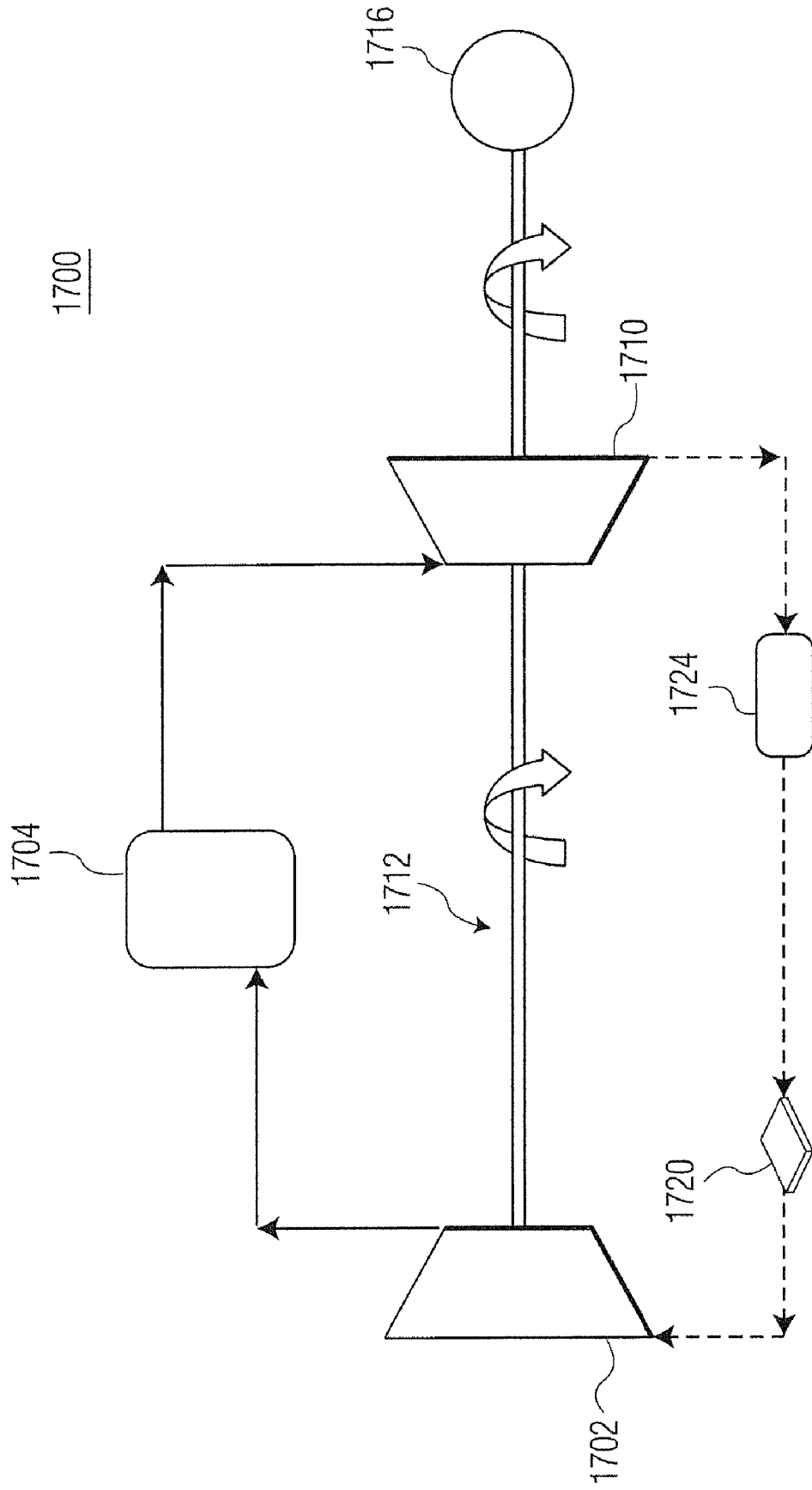


FIGURA 17A

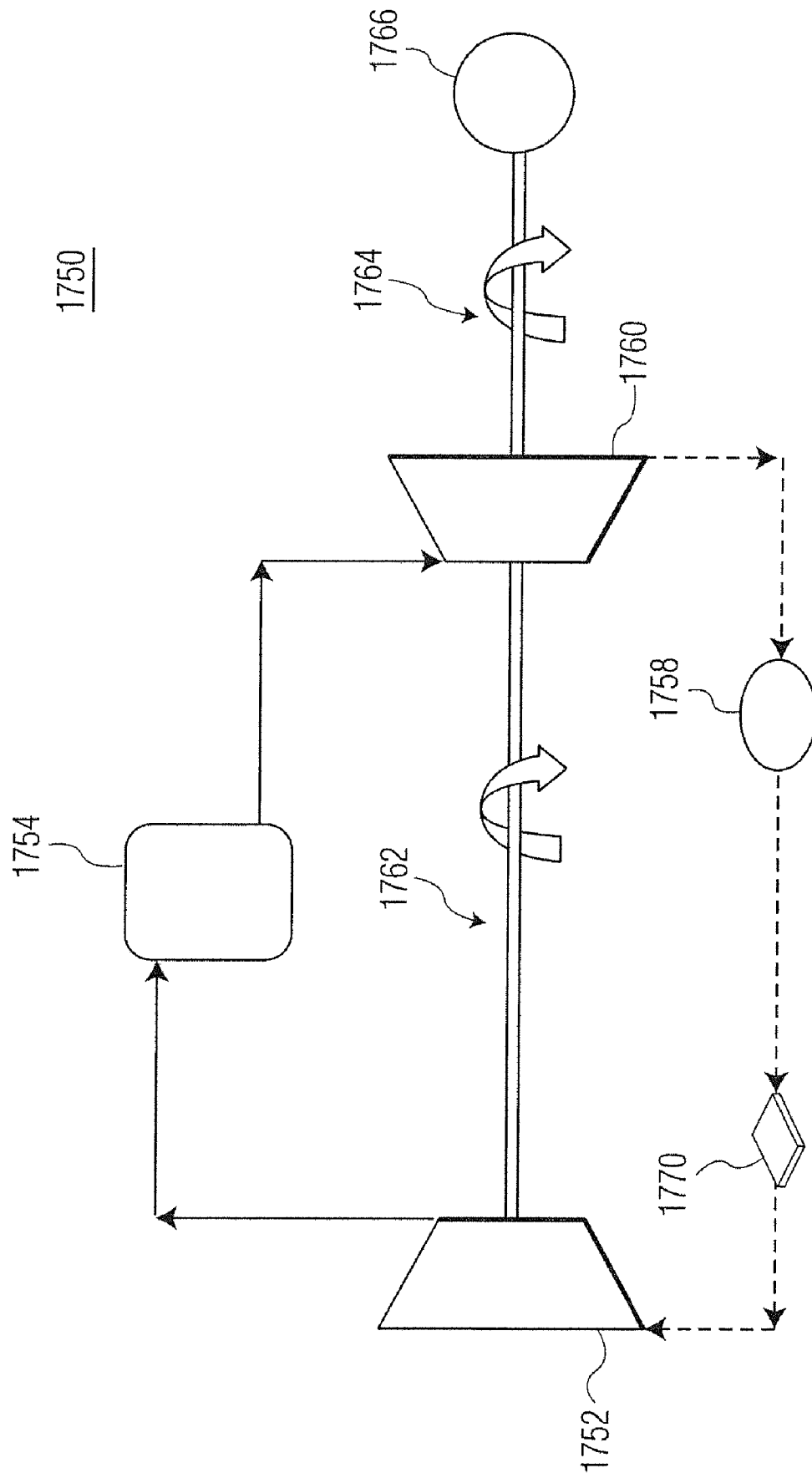


FIGURA 17B

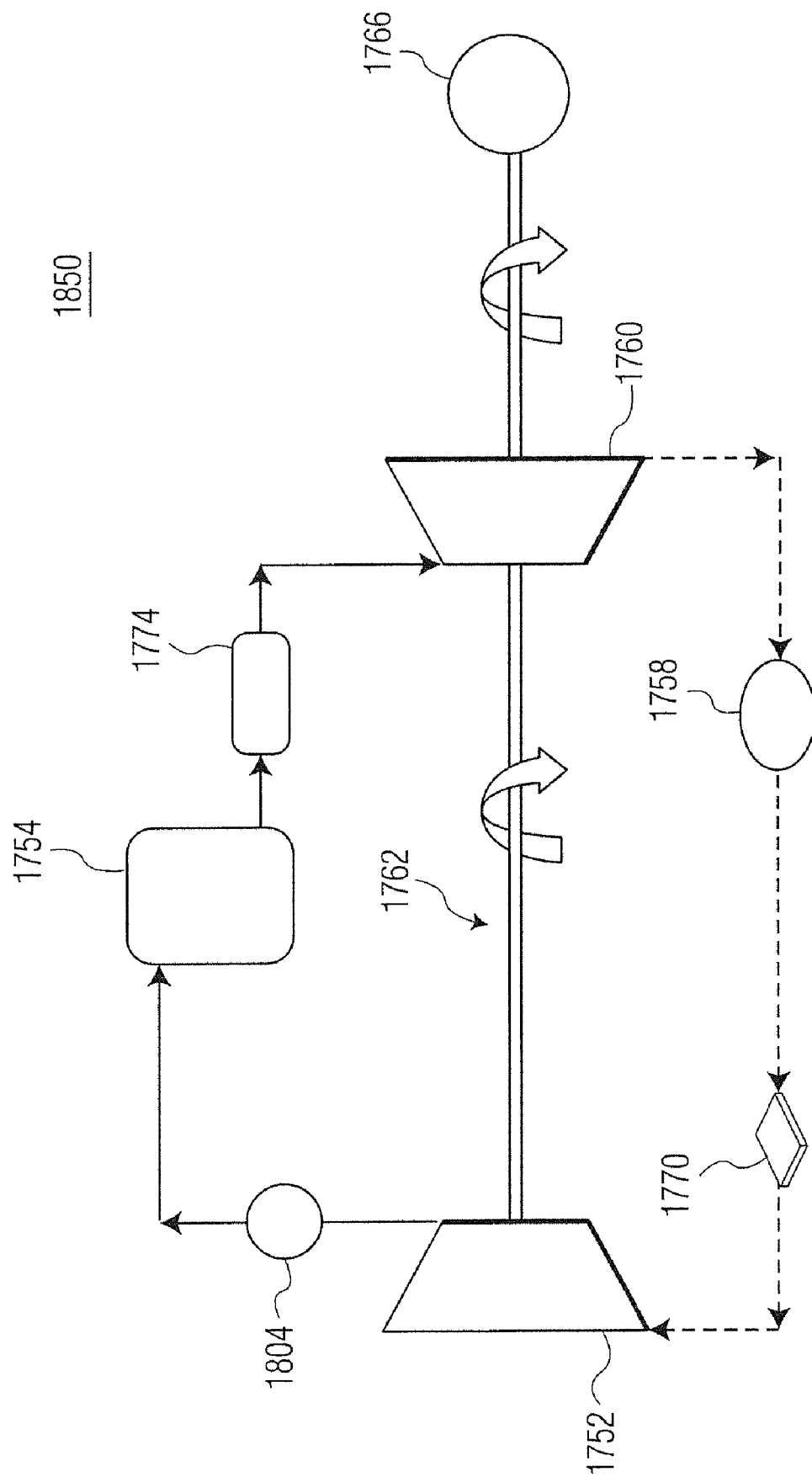


FIGURA 18

1900

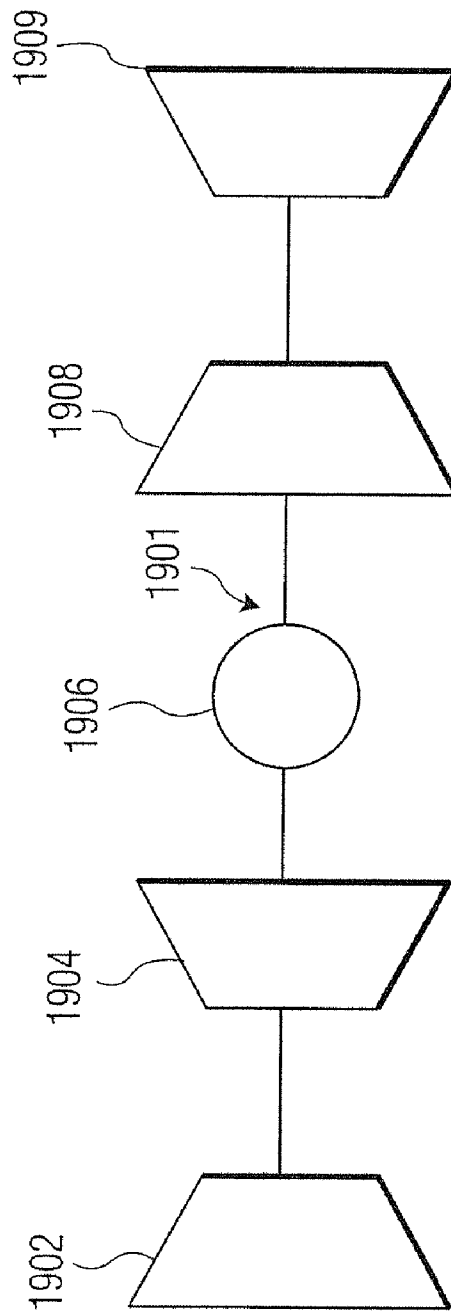


FIGURA 19

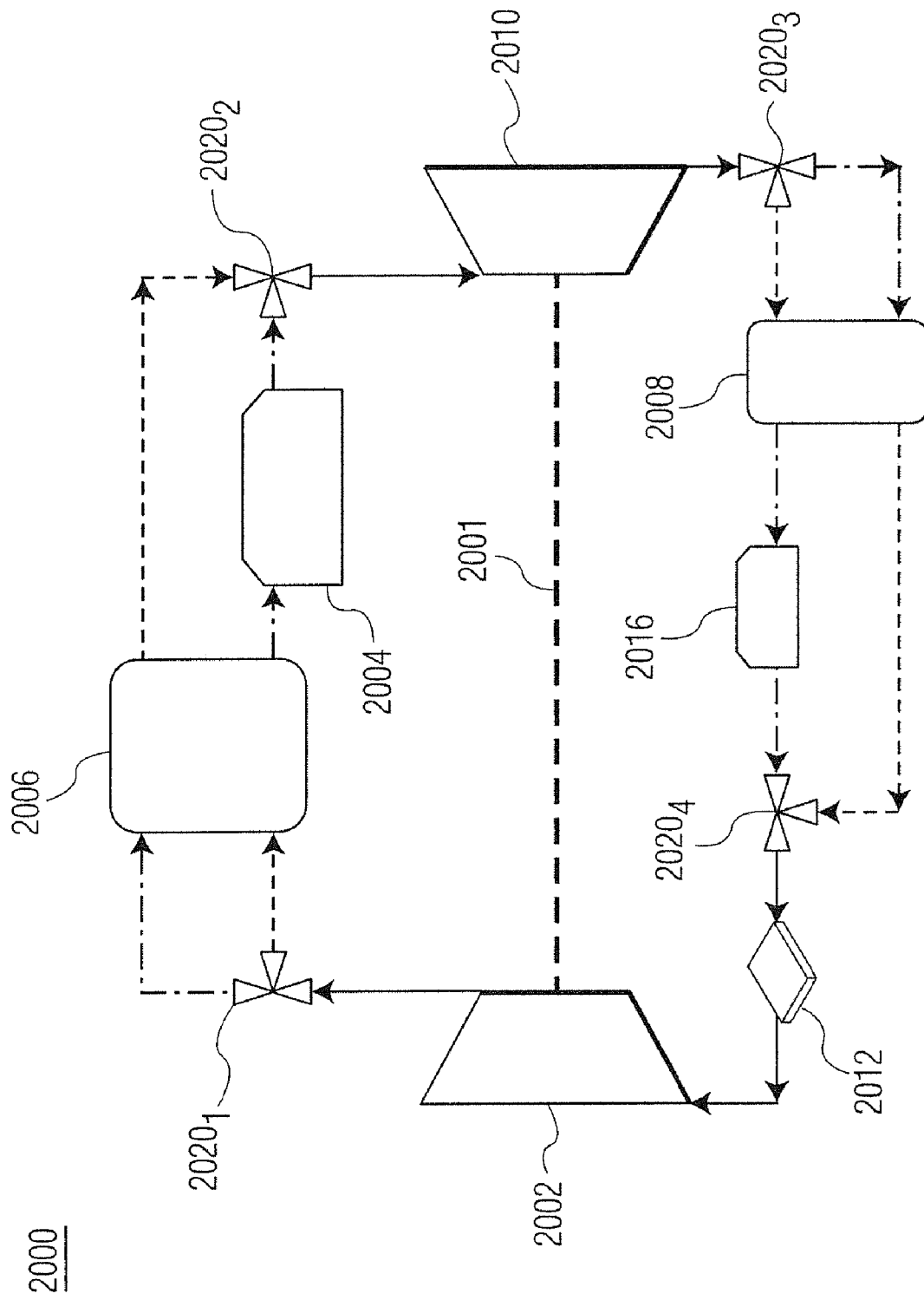


FIGURA 20

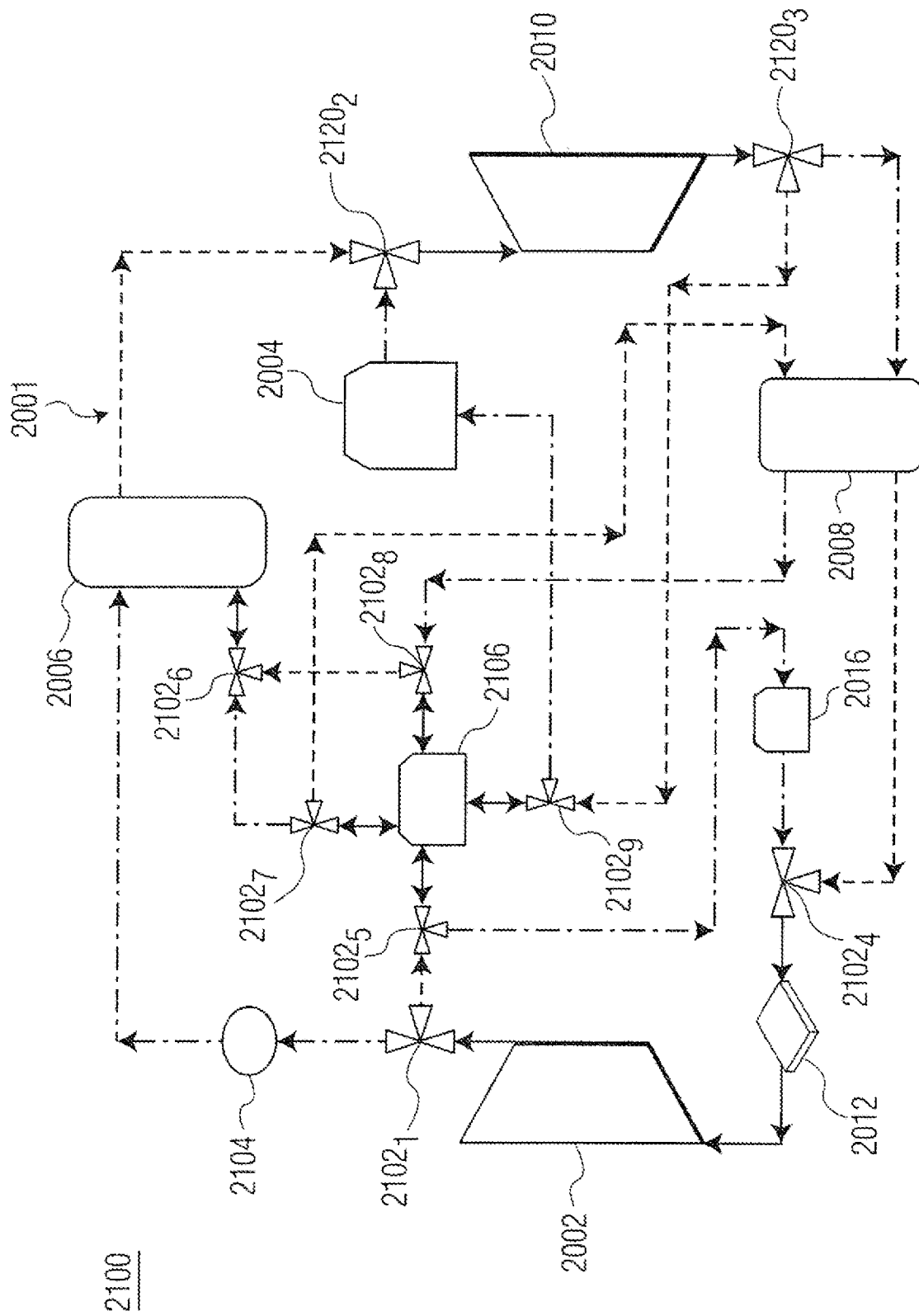


FIGURA 21

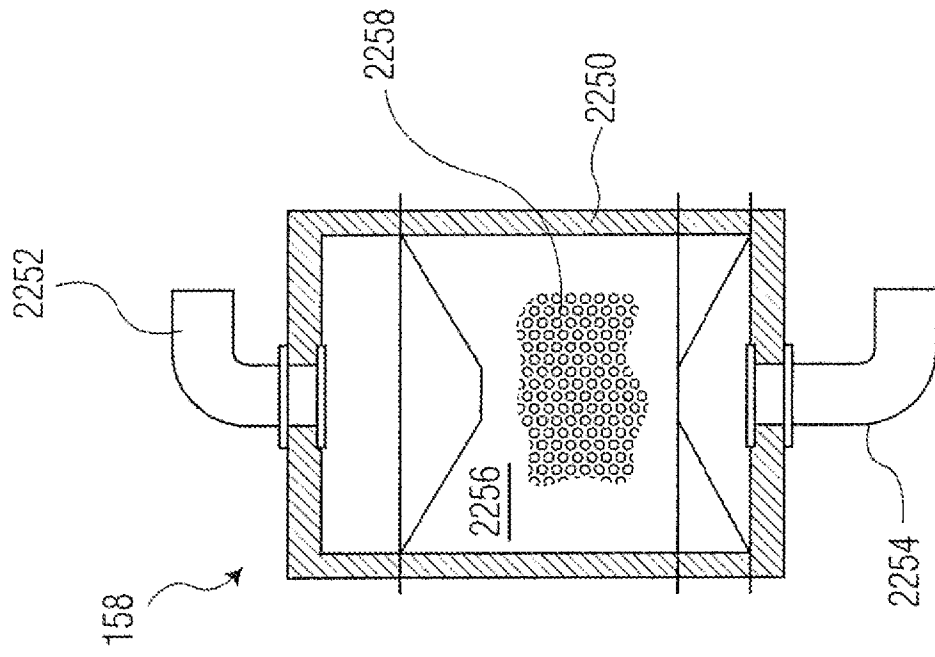


FIGURA 22B

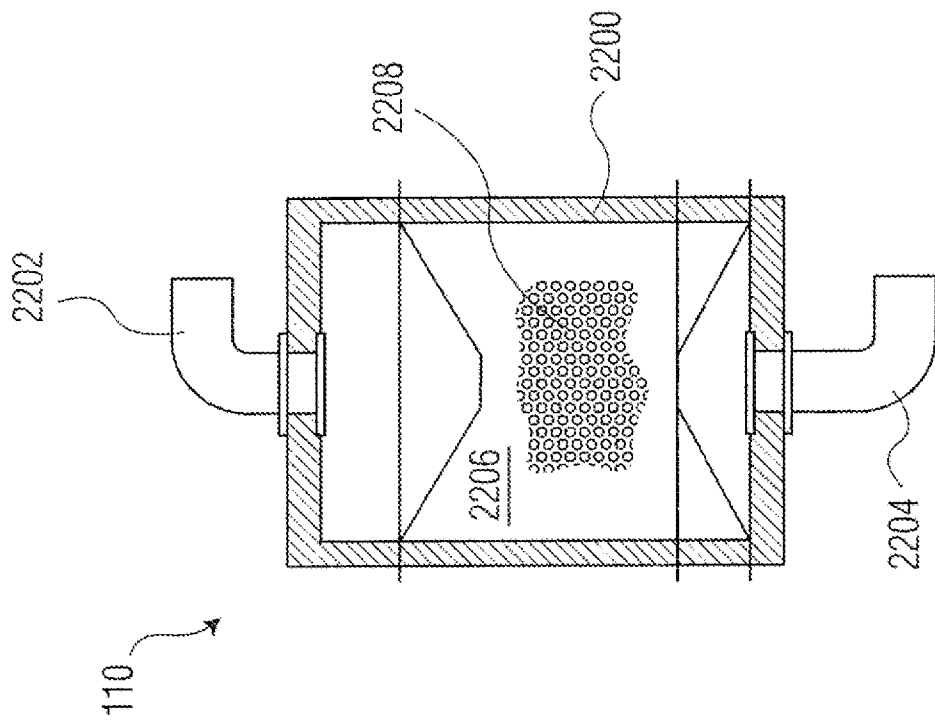


FIGURA 22A

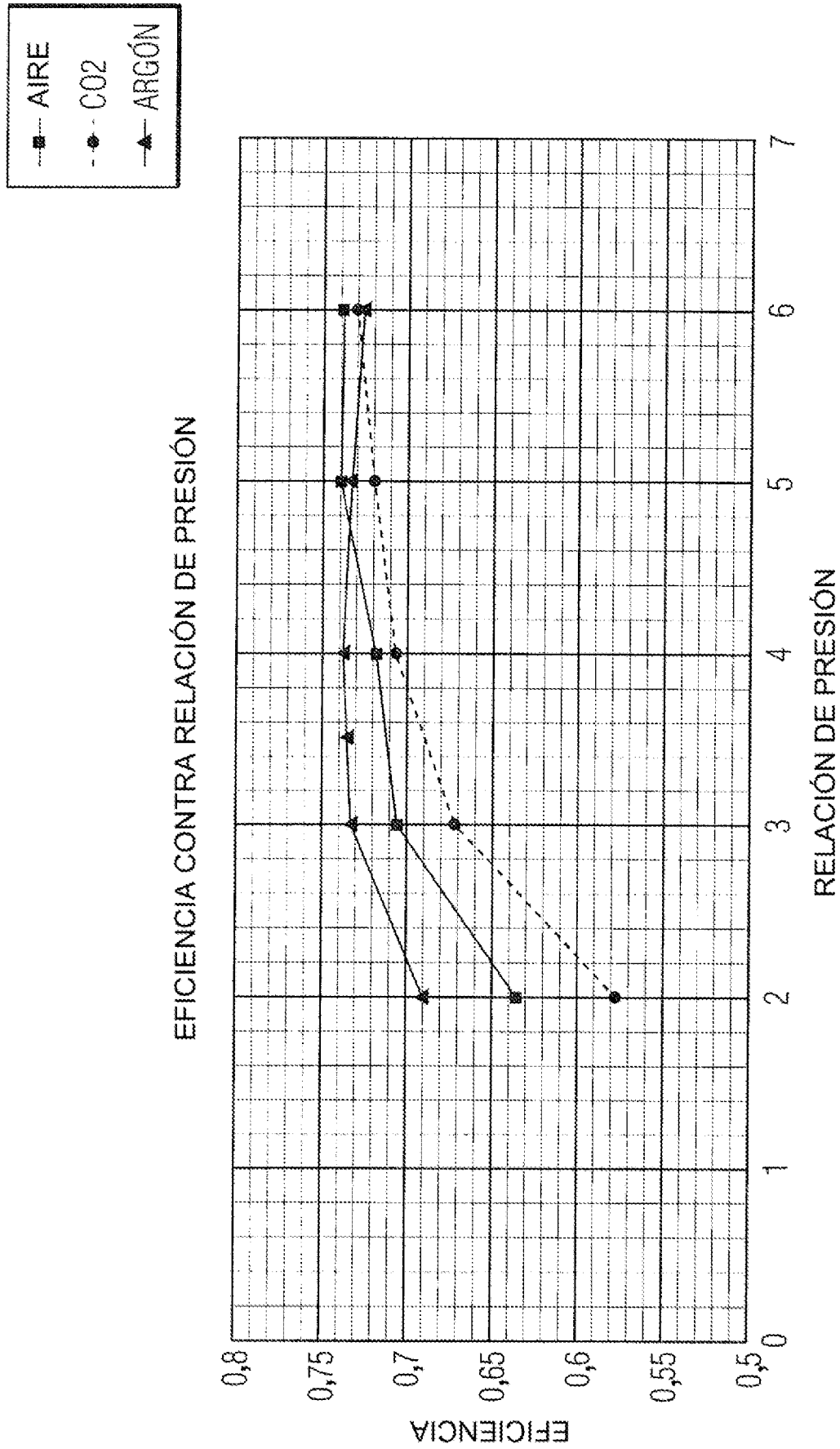


FIGURA 23

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

Este listado de referencias citadas por el solicitante tiene como único fin la conveniencia del lector. No forma parte del documento de la Patente Europea. Aunque se ha puesto gran cuidado en la compilación de las referencias, no pueden excluirse errores u omisiones y la EPO rechaza cualquier responsabilidad en este sentido.

Documentos de patentes citados en la descripción

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| • US 2015260463 A1 [0004] | • US 4984432 A [0007] |
| • US 2017081980 A1 [0005] | • EP 2905432 A2 [0008] |
| • US 2014338329 A1 [0006] | • US 7870746 B2 [0009] |